Tampereen yliopisto

Teemu Pehkonen

KONEPALVELUROBOTIN KONSEPTISUUNNITTELU

Diplomityö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Niko Siltala
Tarkastaja: Jyrki Latokartano
Lokakuu 2023

TIIVISTELMÄ

Teemu Pehkonen: Konepalvelurobotin konseptisuunnittelu
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Automaatiotekniikan DI-ohjelma
Lokakuu 2023

Tämän diplomityön tarkoituksena oli kehittää Savon Automaatio Oy -yritykselle konepalvelurobottikonsepti. Konepalvelurobotti on teollisuudessa toimiva robotti, jonka tarkoituksena on automatisoida tuotteiden ja osien siirtoa koneisiin ja koneista pois. Automatisoimalla kyseisiä työtehtäviä saadaan parempaa tuottavuutta, tarvittavan työvoiman määrä vähenee ja samalla työturvallisuus kasvaa. Konsepti kehitettiin vastaamaan potentiaalisten asiakasyritysten tarpeita ja vaatimuksia.

Diplomityön aluksi asetettiin tutkimuskysymykset, joiden pohjalta myös konepalvelurobotin konseptia lähdettiin suunnittelemaan. Tutkimuskysymykset sisälsivätkin kysymyksiä liittyen keskeisiin konepalvelurobotin ominaisuuksiin. Diplomityössä tutkittuihin tutkimuskysymyksiin saatiin kattavasti tietoa asiakashaastatteluissa, joita tehtiin kolmeen erikokoiseen yritykseen Savon alueella. Asiakasyrityksiin tehtyjen asiakashaastattelujen lisäksi tutkimuskysymyksiin etsittiin vastauksia kirjallisuudesta ja vastaavista markkinoilla olevista laitteista.

Tehdyn tutkimuksen pohjalta voitiin edetä suunnittelemaan konseptia, joka täyttää asiakashaastatteluissa saadut kriteerit ja toiveet. Lopulta työssä päädyttiin käyttämään ABB:n valmistamaa IRB 5710-90/2.7 teollisuusrobottia ja tämän turvallistamiseen käytetään ABB:n SafeMove-toimintoa. Kyseinen teollisuusrobotti täyttää tutkimuksen perusteella löydetyt kriteerit, joiden perusteella robotti valittiin.

Tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset ja kattavasti tietoa. Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä pohdittiin, mitä asiakkaat halusivat konepalvelurobotilta. Robotin haluttiin olevan joustava, luotettava ja helposti ohjelmoitava. Helppo ohjelmoitavuus ja vaihtoehdot yksinkertaiseen ohjelmointiin olivatkin toisena tutkimuskysymyksenä. Vastausta tähän etsittiin kirjallisuudesta ja tutkimalla, miten markkinoilla jo olevia laitteita ohjelmoidaan. Konepalvelukäyttöön sopivimmaksi ohjelmointimenetelmäksi todettiin graafiset ohjelmointimenetelmät, kuten DFD (Data Flow Diagrams) ja IBP (Icon-Based Programming) -ohjelmointimenetelmät. Nämä myös osittain estävät ohjelmoijaa tekemästä virheitä. Kolmas tutkimuskysymys käsitteli konepalvelurobotin syöttömenetelmää. Syöttömenetelmässä päädyttiin makasiinipohjaiseen syöttömenetelmään asiakashaastatteluissa saatujen vastausten perusteella. Lisäksi asiakasyrityksissä nähtiin konenäköpohjaisten syöttömenetelmien kasvattavan järjestelmän monimutkaisuutta ja ohjelmoinnin vaikeutuvan.

Avainsanat: Automaatio, Konepalvelurobotti, Ohjelmointi, Robotiikka, Teollisuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Teemu Pehkonen: Concept design of machine tending robot.
Master’s Thesis
Tampere University
Master's Programme in Automation Engineering
October 2023

The purpose of this thesis was to develop machine tending robot concept for Savon Automaatio Ltd company. Machine tending robot is used in industry to automate product transfers in and out of machines. By automating these work tasks, better productivity is obtained, the amount of required labor decreases and at the same time occupational safety increases. The concept was developed to meet the needs and requirements of the potential customer companies.

At the beginning of the thesis, the research questions were set and the concept of the machine tending robot was designed based on them. The research questions included questions related to the key features of the machine tending robot. Answers to the research questions studied in the thesis were searched from customer interviews conducted in three companies of different sizes in Eastern Finland. In addition to customer interviews conducted at the customer companies, answers to the research questions were searched from literature and similar systems on the marked.

The research carried out allowed to proceed with the design of a concept that meets the criteria and wishes expressed in the customer interviews. It was decided to use an IRB 5710-90/2.7 industrial robot manufactured by ABB and to make it safe by using ABB's SafeMove function. This industrial robot in question meets the criteria identified in the research and was selected on this basis.

The research questions were answered and comprehensive information was provided. The first research question focused on what customers wanted from a machine tending robot. Customers wanted the robot to be flexible, reliable and easy to program. Ease of the programming and options for simple programming was the second research question. The answer to this was searched in the literature and by looking at how devices already on the market are programmed. Graphical programming methods such as DFD (Data Flow Diagrams) and IBP (Icon-Based Programming) programming methods, were found to be the most suitable programming method for the machine tending usage. These also partially prevent the programmer from making mistakes. The third research question was about the part feeding method used in the machine tending robot concept. The feeding method chosen for the concept was magazine-based feeding method, based on the responses to the customer interviews. In addition, customers saw machine vision-based feeding methods to increase complexity of the system and making the programming more difficult.

Keywords: Automation, Industry, Machine tending robot, Programming, Robotics

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Kiitos Savon Automaatiolle diplomityön aiheen tarjoamisesta. Kiitokset myös diplomityöhön osallistuneiden yritysten ja ABB:n edustajan Matti Pellikan antamista haastatteluista ja Savon Automaation tarjoamasta tuesta diplomityöhön. Diplomityöhön sisältyi siis tiedon etsintää kirjastopalveluiden, asiakashaastattelujen ja robottien valmistajan kautta. Diplomityö mahdollisti tutustumisen Savon alueen yrityksiin ja näiden toimitiloihin, samalla opettaen, miten robotteja käytetään teollisuudessa eri osa-alueilla, tukien tulevaisuuden työllistymistäni.

Kiitos Tampereen yliopistolle ja diplomityöni ohjaajille Niko Siltalalle ja Jyrki Latokartanolle sekä Jenni Immoselle diplomityön oikolukemisesta.

Pieksämäellä, 22.09.2023

Teemu Pehkonen

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Työn tausta 1
1.2 Tavoitteet 2
1.3 Tutkimuskysymykset 2
1.4 Rajaukset 3
1.5 Tutkimusmenetelmät 3
1.6 Työn rakenne 7
2. TEORIA 8
2.1 Automaatio 8
2.2 Konepalvelu 9
2.3 Robotiikka 10
2.4 Robottien ohjelmointitavat 18
2.5 Konenäkö 26
2.6 Yleiset syöttömenetelmät teollisuudessa 27
3. LÄHTÖTILANNE JA KONSEPTIN SUUNNITTELU 33
3.1 Tutkimuksen suunnittelu ja toteuttaminen 33
3.2 Asiakastarpeet konepalvelurobotilta 34
3.3 Parametrisointi ja ohjelmoinnin yksinkertaistaminen 37
3.4 Kappaleiden syöttömenetelmä 40
3.5 Asiakasvaatimukset ja tarpeet konseptille 42
3.6 Konseptin suunnittelu 42
4. TULOKSET 50
4.1 Tutkimuksen tulokset 50
5. POHDINTA JA KONSEPTIN JATKOKEHITTÄMINEN 53
5.1 Tutkimuksen ja konseptin kriittinen arviointi sekä pohdinta 53
5.2 Konseptin jatkokehittäminen 58
6. YHTEENVETO 61
7. LÄHDELUETTELO 63
8. LIITE A: KYSYMYSLISTA 69

KUVALUETTELO

Kuva 1. Diplomityön kulkukaavio. 4

Kuva 2. Yleiskuva konepalvelurobotista CNC-työstökeskuksella. Muokattu lähteestä (Park, et al., 2023, p. 5). 10

Kuva 3. Nivelvarsirobotti, liikuteltavat akselit ja sen laaja-alainen työalue. Muokattu lähteestä (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, p. 41)..... 12

Kuva 4. Suorakulmainen, sylinterimäinen ja Napakoordinaatistorobotti, sekä näiden robottityyppien ominaiset työalueet. Muokattu lähteestä (Singh & Banga, 2022, p. 1784). 13

Kuva 5. Robotin ja ihmisen välisiä yhteistyön tasoja (Välimäki & Niemelä, 2023)..... 16

Kuva 6.VR-paikoitukseen tarkoitettuja antureita voidaan myös hyödyntää robotille ohjelmoitavien ratojen osoittamiseen (Ji, et al., 2022, p. 24). 23

Kuva 7. Konepalvelurobotti, jossa on makasiinipohjainen syöttö. Kyseisessä syöttömenetelmässä haettavan kappaleen paikka vaihtelee, kappaleiden ollessa kiinteänä ryhmänä poimintamatriisissa. (FANUC America Corporation, 2018)..... 28

Kuva 8. Tärymaljasyötin, johon on kytketty konenäköratkaisu tarkistamaan osien orientaation ja eheyden (Loy & Reinhart, 2010, p. 358)..... 29

Kuva 9. Täysin joustava syöttölaite, jossa konenäkö tunnistaa osat tärypöydältä ja robotti poimii tarvittavat osat. Muokattu lähteestä (Finetto, et al., 2014, p. 799)..... 30

Kuva 10. Bin-picking tapaus, jossa robotti poimii osia konenäön avulla. (HowToRobot, 2020)..... 31

Kuva 11. Universal Robotsin Wizard-pohjainen ohjelmointi konepalvelurobottina. Robotin ohjelmointi tapahtuu käymällä järjestyksessä läpi sivussa näkyviä valikoita, joista neuvotaan samalla käyttäjää yksityiskohtaisesti ohjelmien tekemiseen. (Youngers, 2023) 38

Kuva 12. Liukuhihnalta tapahtuva konenäköä hyödyntävä kappaleiden syöttömenetelmä (JTA Connection, 2021). 41

Kuva 13. Esimerkki SafeMove käytöstä, jossa on rajoitettu tiettyjä alueita, mihin robotti ei saa mennä (ABB, 2023, p. 231)..... 47

Kuva 14. Robotiq valmistamia työstökoneen valomajakkaan kiinnittyviä antureita, jotka tarkkailevat valojen tilaa (Robotiq Inc, 2022)..... 49

Kuva 15. ABB robottien ohjelmoinnissa käytettävä graafinen käyttöliittymä (ABB Robotics, 2021.07.16). 51

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AR	Augmented Reality, Lisätty todellisuus.
Bin-picking	Syöttömenetelmä, jossa kappale haetaan yleensä satunnaisesti tai epäjärjestyksessä olevista laatikoista osien sijainnin vaihdellessa myös korkeussuunnassa. Syöttömenetelmä perustuu koneoppimiseen ja konenäköön, joiden avulla robotti voi tunnistaa ja poimia kohteet.
CAD	Computer Aided Design, Tietokoneavusteinen suunnittelu.
DFD-Programming	Data Flow Diagrams Programming, ohjelmointimenetelmä, jossa käyttäjä määrittelee robotin kulkua toiminnallisten lohkojen avulla.
HRC	Human Robot Collaboration, eli ihmisen ja robotin välinen yhteistyö.
IB-Programming	Icon-Based Programming, ohjelmointimenetelmä, jossa käyttäjä määrittelee robottiohjelman robotin käsiohjaimen käyttöliittymän graafisilla kuvakkeilla.
LTP	Lead Throught Programming, ohjelmointimenetelmä, jolla voidaan ohjelmoida robottia liikuttamalla sitä käsiohjaimesta Jog-toiminnolla.
VR	Virtuali Reality, Virtuaalitodellisuus.
WB-Programming	Wizards Based Programming”, jossa käyttäjää opastetaan käyttöliittymässä olevien ohjattujen toimintojen kautta robottiohjelman luomiseen.
WTP	Walk Throught Programming, ohjelmointimenetelmä, jolla voidaan ohjelmoida robottia tähän käsin tarttumalla ja siirtämällä se haluttuihin pisteisiin.

1. JOHDANTO

Nykyaikaisessa tehdastuotannossa pyritään automatisoimaan toistuvia toimintoja roboteilla ja muilla apulaitteilla paremman tuottavuuden saamiseksi. Tuotannon automatisointi roboteilla kappaleiden siirtotehtävissä ei ole varsinaisesti tuottavaa työtä yritykselle. Kuitenkin kappaleiden siirrot täytyy tehdä, jotta seuraavaa työkappaletta voidaan valmistaa. Isojen ja yksittäisten kappaleiden siirtoa ei välttämättä nähdä tuottavuuden kannalta ongelmalliseksi. Kuitenkin usein samanlaisia työkappaleita tehdään useita, jolloin myös näiden siirtelyyn kuluu enemmän aikaa. Useita samanlaisia työkappaleita tehdään sarjatuotantona varsinkin työstö- ja koneistuskeskuksissa, jotka toimivat usein itsenäisesti kappaleen vaihtoa lukuun ottamatta. Kyseisten kaltaisten koneiden tuottavuus laskee, jos koneet seisovat odottaen kappaleen vaihtoa ja samalla kappaleen vaihto kuluttaa ylimääräisiä henkilötyötunteja.

Tämä työ käsittelee yleistä konseptisuunnittelua konepalvelurobotista, joka kykenee vaihtamaan työkappaleita työstö- ja koneistuskeskuksille. Konepalvelurobotti automatisoi työstettävien kappaleiden vaihdot, kasvattaen tuottavuutta ja samalla vähentäen tarvittavan työvoiman määrää. Konepalveluroboteissa ja näiden käyttöönotossa on omat haasteensa, kuten erilaisten kappaleiden geometrioille tarvittavat erilaiset robotin ohjelmoinnit. Myös käytettävät laitteet, kuten CNC-sorvi ja robotti voivat muodostaa omat yhteensopivuushaasteensa. Konepalvelussa on useita haasteita ja nämä täytyy voida ylittää, jotta tästä voidaan luoda asiakkaille markkinoitava konsepti.

1.1 Työn tausta

Konepalvelurobottikonseptia suunnitellaan Sorsakoskella sijaitsevalle Savon Automaatio yritykselle, joka toimii laaja-alaisesti automaatioalalla koko Suomessa. Kohdeyritys on vielä nuori, mutta se on kasvanut vuosi vuodelta isommaksi toimijaksi.

Yrityksellä on ollut tarkoituksena lanseerata tässä työssä suunnitellun kaltainen robotti markkinoille myytäväksi tarvittaessa asiakkaan tarpeisiin räätälöitynä. Konepalvelurobotilla työstö- ja koneistuskeskus voitaisiin muuttaa automaattiseksi tuotantosoluksi. Eli kappaleiden siirto automatisoitaisiin robotilla, jolloin siihen ei tarvitse käyttää työntekijää. Robotti myös mahdollistaa raskaidenkin työstökappaleiden siirron nopeasti, ilman fyysistä kuormitusta ihmisille.

1.2 Tavoitteet

Pohjimmaisena tarkoituksena on saada luotua konepalvelurobottikonsepti, joka olisi kiinnostava potentiaalisille asiakkaille. Työn tavoitteena ei ole suunnitella robottisolua tiettyyn konepalvelutapaukseen, vaan pyritään suunnittelemaan yleistettävissä oleva konseptiratkaisu. Ideaalitilanteessa konepalvelurobotti mahdollistaisi työstökoneen ympärivuorokautisen käyttämisen.

1.3 Tutkimuskysymykset

Työn tavoitteena oli luoda yritykselle konepalvelurobottikonsepti, joten tämän takia tutkimuskysymykset käsittelevät konepalvelurobottikonseptin vaatimuksia ja ominaisuuksia. Tutkimuskysymyksiin saaduilla vastauksilla voidaan luoda konsepti, joka on asiakkaille mieleinen ja täyttää heidän tarpeensa. Diplomintyön päätutkimuskysymyksenä on, millainen konepalvelurobottikonsepti ratkaisee asiakkaan yleistetyn ongelman. Eli millainen konseptin tulisi olla, jotta se ratkaisisi asiakkailla olevat yhdistetyt ilmiöt, toiveet ja ongelmat. Diplomityössä on kolme tutkimuskysymystä, joiden pohjalta saadaan vastaus päätutkimuskysymykseen ja konsepti voidaan suunnitella.

Diplomityön päätutkimuskysymyksenä on:

1. Millainen konepalvelurobottikonsepti ratkaisee asiakkaan yleistetyn ongelman?

Diplomityön tutkimuskysymyksinä ovat:

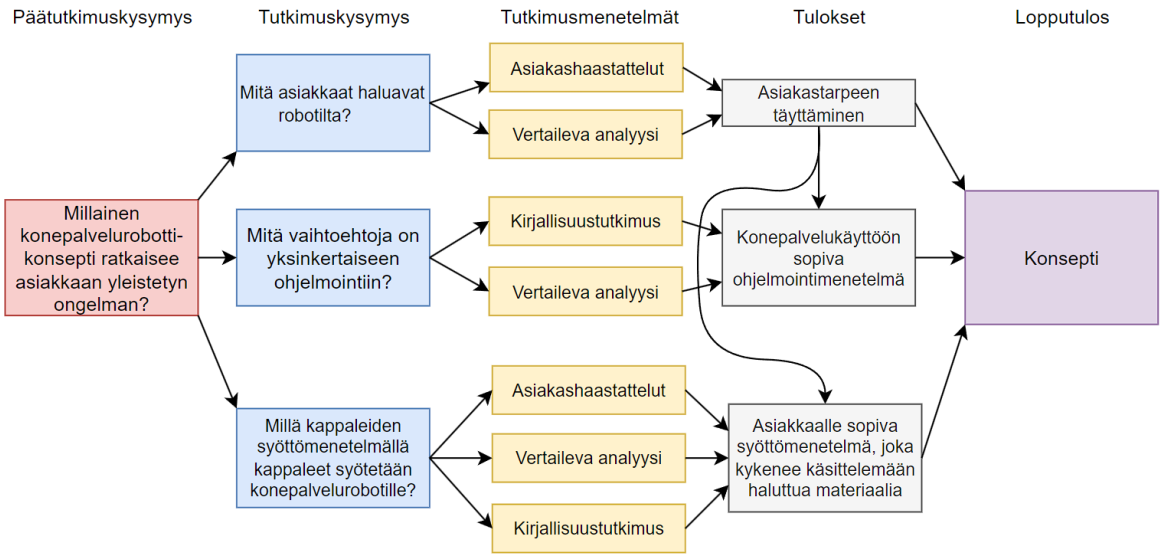
1. Mitä asiakkaat haluavat robotilta? Tämä määrittää, minkälaista konseptia lähdetään suunnittelemaan niin kooltaan kuin ominaisuuksiltaan.
2. Mitä vaihtoehtoja on yksinkertaiseen ohjelmointiin? Ohjelmointimenetelmä, jolla konepalvelurobotin ohjelmointi olisi helposti ja nopeasti tehtävissä.
3. Millä kappaleiden syöttömenetelmällä kappaleet syötetään konepalvelurobotille?

1.4 Rajaukset

Konepalvelurobottikonsepti rajataan koskemaan sorvaus- ja työstökoneita ja työn tilaajan puolesta keskitytään ABB:n valmistamiin robotteihin. Konseptin rajaus koskemaan vain sorvaus- ja työstökoneita johtuu alueen yritysten tämänhetkisistä tarpeista. Myös erilaiset konepalvelutehtävät vaativat robotilta erilaisia ominaisuuksia, kuten robotin ulottumaa ja tarkkuutta. Suunnittelemalla toimiva konseptiratkaisu vältytään ulkopuolisilta aikatauluhaasteilta, kuten asiakas- ja toimitusviiveiltä ja saadaan käyttöön vapaampi aikataulu. Todennäköisesti suunniteltavaan konseptiin lisättäisiin myös asiakkaan haluamia ominaisuuksia, kuten tarttujia, jotta se sopisi paremmin heidän käyttöönsä. Konseptia voidaan markkinoida tietyllä tarttujalla varustettuna, mutta kuitenkaan tarttujaa ei konseptiin sisällytetä mukaan, näiden ollessa yritys- ja tuotekohtaisia.

1.5 Tutkimusmenetelmät

Diplomityössä hyödynnetään pääasiassa kolmea eri tutkimusmenetelmää, asiakashaastattelua, kirjallisuustutkimusta ja vertailevaa analyysiä, jossa vertaillaan vastaavia laitteita. Jokainen näistä tutkimusmenetelmistä antaa tietoa eri tavoin tutkittavasta osa-alueesta. Asiakashaastattelut tarjoavat näkemyksiä yrityksien näkökulmasta ja kirjallisuudesta saadaan tietoa, jota voidaan soveltaa suunniteltavaan konseptiin. Markkinoilla on jo samankaltaisia robottisoluja niin yksittäiskappaleina kuin myös sarjatuotettuina malleina. Suunniteltavaa konepalvelurobottia voi verrata näihin ja tutkia, mitkä ovat toimivia ratkaisuja kyseisissä laitteissa ja mitkä eivät. Markkinoilla olevien järjestelmien toimivuutta voi mitoittaa kysymällä tätä yrityksiltä, joilla on jo konepalvelurobotti hankittuna. Käytetyistä tutkimusmenetelmistä on kerrottu luvussa 1.5. Kuvassa 1 on esitetty työn kulku.



Kuva 1. Diplomityön kulkukaavio.

1.5.1 Haastattelu tutkimusmenetelmänä

Haastatteluilla pyritään saamaan tietoa, ajatuksia, uskomuksia ja mielipiteitä ihmisiltä kysellen menneestä tilanteesta, nykytilanteesta tai tulevasta tilanteesta. Haastattelussa haastattelijan tulisi antaa haastateltavalle mahdollisuus vastata itsenäisesti ja vapaasti hänen omilla ehdoillaan. (Blessing & Chakrabarti, 2009, pp. 269-270)

Kirjassa Qualitative research & evaluation methods (Patton, 2002) on lueteltu kolme haastattelun lähestymistapaa, joilla voidaan saada laadukasta tietoa haastattelusta. Eri haastattelumenetelmät on tarkoitettu erilaisiin tilanteisiin ja niillä on omat hyvät ja heikot puolensa. Samalla nämä eri menetelmät vaativat erilaisia valmistautumisia, konsepteja ja mittausmenetelmiä. Kyseiset kolme haastattelumenetelmää ovat:

- Epävirallinen keskusteluhaastattelu
- Puolistrukturoitu haastattelu
- Standardisoitu avoin haastattelu

Näiden kolmen eri haastattelumenetelmän suunnittelut poikkeavat toisistaan siinä, miten haastattelukysymykset määritetään ja standardisoidaan ennen haastattelua. (Patton, 2002, pp. 340-342)

1.5.2 Epävirallinen keskusteluhaastattelu

Epävirallisessa keskusteluhaastattelussa haastattelu kulkee vapaasti ja haastattelukysymykset keksitään haastattelun ohessa. Menetelmän etuina ovat sen vapaamuotoisuus ja joustavuus, joiden vuoksi se voidaan tehdä myös haastateltavan työskennellessä, mikä voi nostaa esiin uusia haastattelukysymyksiä. Etuna keskusteluhaastattelussa on myös se, että se ei vaadi haastattelijalta niin paljoa aiheeseen perehtymistä, jolloin tutkittavaan aiheeseen ei ole muodostunut omia mielipiteitä. Samalla haastattelu on haastateltavalle miellyttävämpi keskustelumainen kokemus. Menetelmän ongelmana kuitenkin on se, että käytettävät kysymykset vaihtelevat ja näin ollen on hankala muodostaa johtopäätöksiä ilman suurta haastattelujen ja haastattelumateriaalien määrää. Keskustelumaisessa haastattelussa kokematon haastattelija saattaa myös keskeyttää haastateltavan puhumalla päälle. Tällöin haastattelija voi epähuomiossa johdattaa haastattelua väärään suuntaan, mikä on haastattelun kannalta epäedullinen tilanne. Samalla haas-

tattelun ohessa ongelmaksi voi muodostua se, että haastattelija huomaamattaan johdattelee haastateltavan mielipiteitä. Epävirallinen keskusteluhaastattelu vaatiikin haastattelijalta taitoa, että hän kykenee esittämään ja keksimään kysymyksiä nopeasti ja luontevasti haastattelun aiheeseen liittyen. (Patton, 2002, pp. 342-343)

1.5.3 Puolistrukturoitu haastattelu

Puolistrukturoidussa haastattelussa mukaan listataan kysymykset etukäteen ennen haastattelua, jotta jokaisen haastateltavan kohdalla noudatetaan samoja linjauksia. Kuitenkin kysymyksien sisällä sallitaan vapaata keskustelua ja tarkentavia kysymyksiä aiheesta. Tällä tavalla saadaan keskustelua aiheesta, mutta keskustelu säilyy kuitenkin alkuperäisessä kysymyksessä. Puolistrukturoitua haastattelua tehdessä etuna on se, että se on systemaattista ja siitä näin ollen saadaan tarkempaa tietoa käsiteltävästä aiheesta. Samalla myös ylimääräistä, epärelevanttia materiaalia ei ole niin paljoa ja aikaa säästyy niin haastattelussa kuin myös materiaalin käsittelyssä. Haastattelun aikana voi myös nousta esiin uusia tärkeitä kysymyksiä, joita ei ilman vapaata keskustelua käytäisi läpi. On kuitenkin olennaista pitää haastattelu asiassa, eikä kysyä asiaan liittymättömiä mieleen tulleita kysymyksiä. (Patton, 2002, pp. 343-344)

1.5.4 Standardisoitu avoin haastattelu

Standardisoidussa avoimessa haastattelussa jokainen kysymys on tarkkaan suunniteltu ja kirjoitettu jo ennen haastattelua. Standardisoitu haastattelu esittää ainoastaan yhden kysymyksen kerrallaan, eikä ole erillistä kysymyksestä käytävää keskustelua, jossa esitettäisiin vapaita kysymyksiä. Saadun vastauksen jälkeen jatketaan etukäteen suunnitellulla kysymyksellä. Tällöin saadaan varmistettua, että jokaiselta haastateltavalta kysytään samat kysymykset ja samassa järjestyksessä. (Patton, 2002, p. 344)

Standardisoidussa haastattelussa saadaan tarkkoja tuloksia, vaikka itse haastattelija vaihtuisi ja tiedetään, mitä haastateltavalta on kysytty. Samalla haastatteluun käytetty aika säilyy tehokkaana ja haastattelu voidaan käydä nopeasti läpi. Vaikka kysymykset ovat tarkasti kirjattuja ennen haastattelua, ovat kuitenkin saatavat tulokset avoimia johtuen vastaajan vapaudesta vastata omin sanoin kysymykseen. Myöskään haastattelijan haastattelutaidoilla ei ole niin suurta merkitystä kuin epävirallisessa keskusteluhaastattelussa tai puolistrukturoidussa haastattelussa. Etukäteen tarkasti suunnitellut kysymykset ja jatkokysymykset mahdollistavat haastattelun ulkoistamisen. (Patton, 2002, p. 346)

Haastattelumuodon ongelmaksi voi nähdä sen jäykkyyden ja jäykkyyden takia osa mahdollisesta tiedosta voi jäädä saamatta, kun erillistä keskustelua aiheesta ei tule. Samalla myös haastattelukysymyksien tekeminen on tarkempaa, että jokainen aihealue käydään läpi riittävällä tarkkuudella ja kysymykset kysytään oikein. (Patton, 2002, p. 347)

1.5.5 Haastatteluun valmistautuminen

Haastatteluun valmistautuminen ei ole hukkaan heitettyä aikaa ja haastatteluun huolellisesti valmistautumisella saadaan parempaa tietoa haastattelusta. Suunnittelemalla haastattelua etukäteen voidaan välttyä ongelmallisilta jälkipaikkailuilta tai uusintahaastatteluilta. Jälkipaikkailua ja uusintahaastatteluita ehkäisee myös haastatteluiden hyvä tallentaminen, jotta haastattelut ovat säilössä myöhempää analysointia varten. Haastattelua voi suunnitella etukäteen miettimällä, mitkä ovat haastattelusta haluttavat asiat eli tutkimusongelmat ja niiden ilmiöiden pääluokat. Riippuen valitusta haastattelumenetelmästä seuraavaksi voidaan luoda haastattelussa läpikäytävät aihealueet ja kysymykset. Lopuksi saadut tulokset luokitellaan ja analysoidaan. (Hirsjärvi & Hurme, 2022)

Haastattelun laadun kannalta haastattelijan tulisi kyetä poikkeamaan päivittäisestä, keskustelutyyppisestä ja pintapuolisesta kyselystä. Jos haastattelu jää pintapuoliseksi, eikä haastattelija itse esitä asiaa syventäviä kysymyksiä, voi haastattelussa tulla kommunikaatiohäiriöitä, selkeyden puutetta ja haastattelun syvyyden puutetta. Haastattelua voidaan myös tehdä kyselylomakkeilla, jotka haastateltava täyttää. Kyselylomakkeessa kuitenkin on mahdollisuus, ettei tähän keskitytä niin paljoa. Haastattelussa voidaan asioita kuvailla sanallisesti tarkemmin ja vapaammin samalla esittäen tarvittaessa tarkentavia kysymyksiä. On kuitenkin olemassa mahdollisuus, että haastateltava saattaa alkaa kertoa asioita, niin kuin hän olettaa haastattelijan haluavan ne kuulla, jolloin haastattelusta ei saadakaan oikeaa tietoa. Kyseinen ongelma on yleisempi tilanteissa, joissa haastateltava oleva henkilö on arvioinnin kohteena. (Blessing & Chakrabarti, 2009, pp. 271-273)

Diplomityössä oleviin haastatteluihin valmistaudutaan miettimällä konepalvelurobotin keskeisiä työtehtäviä ja ominaisuuksia ja tekemällä näistä haastattelukysymyksiä. Myös syventymällä aiheeseen, on helpompi esittää haastattelukysymystä tarkentavia kysymyksiä ja hakea lisätietoa haastattelusta. Diplomityössä käytetään pääasiassa puolistrukturoitua haastattelua, jossa käytettävät kysymykset ovat liitteessä A. Myös epävirallista keskusteluhaastattelua käytetään yrityksien toimitiloihin tutustuessa. Haastatteluiden tallentamiseen käytetään ylös kirjaamista vihkoon, koska äänityksiin ja näiden laa-

tuun yritysten toimitiloissa ei voida luottaa. Samalla myös vihkoon kirjoittaminen on nopeampaa ja helpommin tehtävissä, kuin jos tähän käytettäisiin kannettavaa tietokonetta. Ylöskirjattujen vastausten ja materiaalin analysointia tehdään vertailemalla saatua materiaalia eri yritysten välillä ja etsimällä yhteneväisyyksiä. Yhteneväisyyksistä voidaan tehdä suorempia johtopäätöksiä, kun taas epäyhteneväisyyksiin täytyy löytää kompromissiratkaisu, joka täyttäisi eri yritysten tarpeet

1.5.6 Kirjallisuustutkimus ja vertaileva analyysi

Työssä käytetään kirjallisuustutkimusta konepalvelurobotilta vaadittavien ominaisuuksien toteuttamiseen niin, että ne olisivat asiakashaastatteluissa ilmi käyneiden toiveiden mukaisia. Lähteenä kirjallisuustutkimuksessa käytetään pääasiassa alaan liittyviä tutkimuksia ja kirjallisuutta.

Vertailevaa analyysia tehdään kilpailijoiden vastaavia konepalvelurobotteja analysoimalla Internetistä löytyvän materiaalin perusteella. Myös asiakashaastatteluiden yhteydessä, yritysvierailuiden aikana tutustutaan kilpailijoiden valmistamiin konepalvelurobotteihin ja kaikkien yritysten edustajilta kysytään mielipiteitään näistä. Tällöin saadaan suoraan käyttäjiltä tietoa kilpailijoiden valmistamista erilaisista konepalveluroboteista, mikä näissä on hyvää ja missä osa-alueissa on kehittämistä. Mahdollisuuksien mukaan voidaan myös tutustua konepalvelurobottien käyttöliittymiin ja näiden käyttöön.

1.6 Työn rakenne

Diplomityö koostuu kuudesta eri luvusta. Luvussa kaksi esitellään diplomityössä käsiteltyjä aiheita ja niihin liittyvää teoriaa ja kirjallisuutta. Esiteltävät asiat kertovat lukijalle perustietoa siitä, mitä teoriaa suunniteltavassa konepalvelurobotissa on taustalla ja mitä laitteita konseptissa on mukana. Luvussa kolme syvennytään aiheeseen ja lähdetään suunnittelemaan konseptia konepalvelurobotille. Konseptia lähdettiin suunnittelemaan tutkimusmenetelmien pohjalta saatujen tulosten ja näiden johtopäätösten pohjalta. Luvussa neljä pohditaan diplomityössä saatuja tuloksia ja tutkimuskysymyksiä. Luvussa viisi pohditaan diplomityössä koostettua konseptia ja tutkimustuloksia. Pohdintaa tehtiin omasta yleisestä näkökulmasta aiheeseen, mutta pohdintaa tehtiin myös kriittisesti, mitä olisi voitu tehdä toisin. Lisäksi luvussa myös mietitään konseptin tulevaisuutta ja jatkokehittämistä. Luvussa kuusi tehtiin johtopäätökset ja yhteenveto tehdystä työstä, tutkimuksista ja saadusta konseptista. Luku seitsemän sisältää työssä käytetyt lähteet ja Liite A sisältää asiakkaille esitetyt asiakashaastattelukysymykset.

2. TEORIA

Teollisuuden kehittymisen ja eri innovaatioiden myötä valmistetaan tuotteita entistä nopeammalla tahdilla ja suuremmissa määrissä. Samalla tuotteiden valmistaminen pitäisi toteuttaa mahdollisimman halvalla. Valmistettavien tuotteiden tulee myös päivittyä kuluttajien vaatimusten mukaan, jotta säilytetään yrityksen markkina-asema. Samalla valmistettavat tuotteet kehittyvät ja muuttuvat entistä monimutkaisemmiksi, kun niihin yhdistetään mekaniikkaa, tietotekniikkaa ja ohjelmistoja. Teollisuusympäristö on jatkuvassa kehityksessä ja tässä yrityksien täytyy myös olla mukana, vaikka se tuokin haasteita. Yleensä nämä haasteet ratkaistaan käyttämällä automaatiota eri muodoissa nopeuttamaan tuotteiden valmistamista. (ElMaraghy, et al., 2011) Robottien tultua markkinoille ne mullistivat tuottavan teollisuuden. Roboteilla saatiin nopeutettua tuotantoa ja samaan aikaan robotit mahdollistivat suuremman tarkkuuden ja tuotteen paremman laadun. Robottien tuoma valmistuksen nopeus ja tarkkuus mahdollistivat suuremmat voitot ja liikevaihdon yrityksille. Robotteja käytetään yleensä kappaleiden nostoon ja siirtelyyn, minkä ympärille myös tämä tutkimustyö rakentuu. (Chandrasekaran, et al., 2012, p. 41)

2.1 Automaatio

Automaatio itsessään on jo vanha keksintö ja automaattisia laitteita on löydetty yli 2000 vuoden takaa. Tuolloin automaatiolla on haettu keinoja siihen, miten päästä helpommalla ja pienemmällä vaivalla. Vielä nykyäänkin automaation käyttö perustuu osittain samaan periaatteeseen eli yritetään päästä vähemmällä vaivalla, mutta myös muita syitä automaation käyttöön on. Kehittyneet automaattiset järjestelmät toimivat usein luotettavammin ja samalla ne kuitenkin pystyvät tekemään monimutkaisempia asioita kuin ihminen. Varsinainen automaatio alkoi yleistyä teollisen vallankumouksen myötä, kun koneet alkoivat yleistyä tuottavassa teollisuudessa. Koneille tarvittiin säätömahdollisuuksia siihen, miten niitä ohjataan, jotta saadaan toivottu lopputulos. (Aalto, et al., 2018, pp. 4-5)

Käsitteellä automaatio viitataan laajaan teknologiajoukkoon, joka tekee jotain älykästä automaattisesti. Käsitteellä automaatio voidaan siis viitata esimerkiksi automaattiseen lämpötilan tai ilmanvaihdon säätöön. Yleensä kuitenkin teollisuudessa automaatio on karkeasti jaoteltu tuotantoautomaatioon ja prosessiautomaatioon. Tuotantoautomaatiossa voi olla robotteja ja muita automaattisia laitteita, jotka käsittelevät ja valmistelevat yksittäisiä kappaleita. Prosessiautomaatio keskittyy materiaalien, kuten nesteiden ja jauheiden käsittelyyn ja säätöön. (Ventä, et al., 2018)

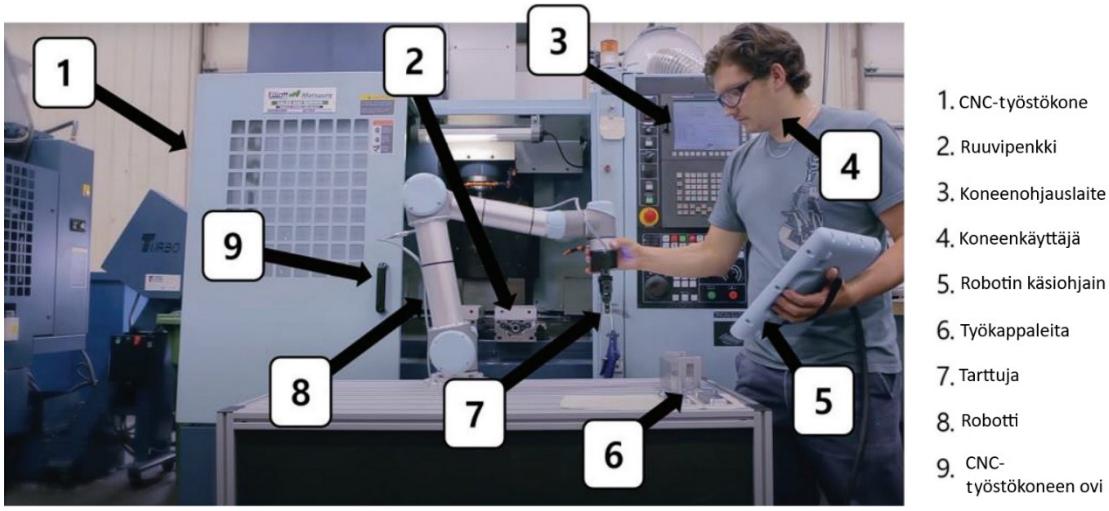
Automaatio ei ole kuitenkaan häviämässä vaan se on lisääntymässä nopeasti. Uudet teknologiset saavutukset ja kehitys mahdollistavat entistä useamman toiminnon automatisoinnin. Samalla myös tekoälyn ja koneoppimisen osalta on kehitytty suuresti eteenpäin, mikä mahdollistaa nyt ja tulevaisuudessa uusia ratkaisuja automatisointiin. McKinsey Global Institute tutki tutkimuksessaan (Ghui, et al., 2017) valmistavan sektorin alojen automatisointia. Tutkimus tehtiin 46 eri maassa ja se kattoi 80 % maailman laajuisesta työvoimasta, niin kehittyneissä kuin kehittämättömissä maissa. Kyseisessä tutkimuksessa havaittiin, että jopa 87 % työntekijöiden tehdyistä työtunneista voitaisiin automatisoida. Eniten mahdollisuuksia automatisointiin oli kehittyvissä maissa, kuten Kiinassa ja Intiassa. Kuitenkaan laajamittaista automatisointia ei tulla näkemään ennen kuin automaatioratkaisuiden hinta pienenee alle paikallisen palkkatason, vaikka automaatiolla saadaankin myös muita etuja. Muita automaatiota tukevia etuja ovat sen tarjoama tasaisempi ja parempi laatu, kun ihmisen tekemät virheet poistuvat työvaiheesta. On kuitenkin hyvä miettiä, missä määrin automaatio on hyväksyttävissä tietyissä ympäristöissä, kuten ympäristöissä, joissa ne ovat vuorovaikutuksissa ihmisten kanssa. (Ghui, et al., 2017)

2.2 Konepalvelu

Konepalvelu on järjestelmä, joka käyttää robottia automatisoidakseen teollisuuden töitä, joita työntekijä normaalisti tekee. Konepalvelurobottia käytetään esimerkiksi työkappaleiden vaihtoon muihin työstökoneisiin. Kun kappaleiden siirto on automatisoitu, niin CNC-työstökonetta voidaan käyttää suuremmalla käyttöasteella, jolloin saadaan enemmän tuottoa. Paremman tuoton saaminen työstökoneista onkin yksi syy konepalvelurobottien yleistymiseen teollisuudessa ja samalla voidaan vastata kasvaviin työvoimakustannuksiin. (Park, et al., 2023, pp. 1-2) On myös osoitettu, että joissakin yhtiöissä, jotka valmistavat korkean tarkkuuden mekaniikkaa ja elektroniikkaosia, suurin osa työajasta menee työkappaleiden asentamiseen ja poistamiseen työstökoneista. Käyttämällä konepalvelurobotteja tuotanto kasvoi huomattavasti. Tämän vuoksi varsinkin isoja 200–50 000 kappaleen sarjoja tehdessä kannattaa käyttää konepalvelurobottia tai muuta materiaalin syöttö- ja poistomenetelmää. (Steele, et al., 2008, pp. 2-3)

Kuitenkaan konepalvelun suunnittelu ei ole yksinkertaista ja useilla konepalveluun robotteja suunnittelevilla yhtiöillä on ollut tämän kanssa haasteita. Haasteita on ollut saada konepalvelun kommunikaatioprotokollat toimimaan eri tehtaisiin. Haastetta tuo myös se, että konepalvelun ohjelmat täytyy päivittää aina, kun tuote vaihtuu. CNC-työstökoneet ja robotit eivät myöskään ole samaa integroitua järjestelmää, vaan ne toimivat itsenäisesti. Näihin haasteisiin on kuitenkin tullut ratkaisu, kun German Machine Tool Association julkaisi konepalvelu standardin ISO 21919 maailman laajuisesti. Kyseisessä standardissa ensimmäinen osa ISO 21919-1:2019 käsittelee konepalvelun perusteita ja toinen

osa ISO 21919-2:2021 käsittelee turvallisuusasioita. (Park, et al., 2023, p. 4) Robotin ja työstökoneen välillä tulee kulkea tarvittavat signaalit, joilla halutut työtehtävät saadaan tehtyä. Signaalit mahdollistavat robotin ja työstökoneen oikean aikaiset toiminnot, kuten työstökoneen oven ja kappalekiinnittimen aukaisun ja sulkemisen. (Rethink robotics, 2022) Työstökoneen manuaalisia toimintoja, kuten oven aukaisu voidaan tehdä robotilla, mutta tämä kasvattaa riskiä törmäyksiin ja häiriöihin. Tämän vuoksi työstökoneisiin kannattaakin hankkia automaattisia toimintoja tukevia laitteita, joita voidaan ohjata robotin signaaleilla. (Flexxbotics, n.d.)



Kuva 2. Yleiskuva konepalvelurobotista CNC-työstökeskuksella. Muokattu lähteestä (Park, et al., 2023, p. 5).

2.3 Robotiikka

Robotiikalla on mahdollista ratkaista useita tuotannollisia ongelmia ja parantaa tuottavuutta. Yrityksen kilpailukyvyn ja laadukkaan tuotannon säilyttämiseksi on hyvä nähdä robottien tuomat edut. (Ventä, et al., 2018) Robotteja voidaan käyttää ympäristössä, joka ei ole ihmiselle turvallinen tai se on muuten vaarallinen. Ne myös voivat suorittaa ihmiselle haitallisia työvaiheita ja samalla robotit voivat käsitellä suurempia kuormia kuin ihminen. Robotit ovat myös viime vuosina tulleet entistä enemmän normaalien kuluttajien käyttöön ja saataville. Kuluttajien käytössä olevista roboteista esimerkkinä toimii yleistyvät robottiruohonleikkurit ja robottipölyimurit.

Robotiikka hyödyntää usein myös muita automaatioon liittyviä teemoja, kuten konenäköä ja mittaustekniikkaa. Tämä moniteknisyys onkin yksi robotiikan monimuotoisuuden mah-

dollistaja. Robotiikka kehittyy automaation ohella jatkuvasti ja nämä ovat entistä useammin kytkettynä kokonaisvaltaisemmin automaatiojärjestelmään digitalisaation myötä. (Ventä, et al., 2018, p. 10)

Kansainvälisen robotiikkaliiton mukaan uusien robottien määrä maailmalla kasvaa joka vuosi enemmän, eikä käytöstä poistu yhtä nopeasti robotteja kuin uusia tulee tilalle. Tämän vuoksi toiminnassa olevien robottien määrä kasvaa vuosittain. Vuonna 2021 asennettiin noin 517 000 uutta robottia, mikä oli 31 % enemmän kuin vuonna 2020. (Bill, et al., 2022.)

Suurin osa uusista roboteista käyttöönotetaan Aasian ja Australian alueelle. Vuonna 2021 Aasian ja Australian markkinoilla käyttöönotettiin noin 4.5 kertaa enemmän robotteja kuin Euroopan markkina-alueelle. Ylivoimaisesti suurin osa uusista roboteista menee Kiinaan. Vuonna 2021 Kiinassa käyttöönotettiin 268.2 tuhatta uutta robottia ja seuraavaksi eniten robotteja käyttöönotettiin Japanissa 47.2 tuhatta. Euroopasta eniten robotteja käyttöönotettiin Saksassa 23.8 tuhatta ja Italiaan 14.1 tuhatta. Myös yhteistyörobottien määrä robottien käyttöönotoista on kasvanut. Kuitenkin suurin osa käyttöönotettavista roboteista on teollisuusrobotteja. Eniten uusia robotteja asennettiin auto-, metalli- ja koneteollisuuteen. Samalla yleisimmät uusien robottien työtehtävät olivat materiaalinkäsittely ja hitsaus. (Bill, et al., 2022., pp. 9-32)

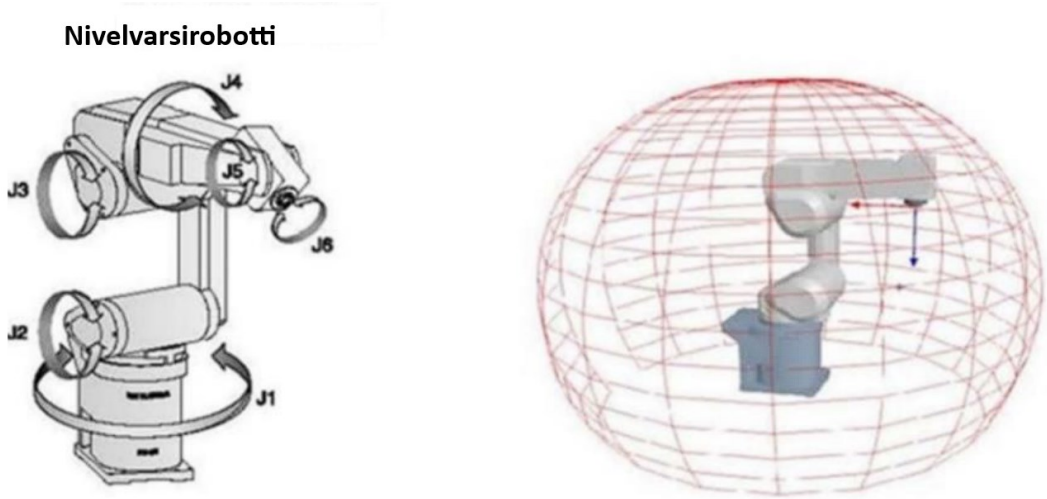
Suomessa robottien määrä ei ole juurikaan kasvanut 2010-luvun jälkeen, vaan uusien robottien määrä on pääasiassa ollut samalla tasolla, kuin niitä on poistunut käytöstä. Kuitenkin vuonna 2021 Suomeen investoitiin uusia robotteja 532 kappaletta ja robottikantaa saatiin kasvatettua. Suomen robottitiheys on ollut vuonna 2021 161 robottia 10 000 työntekijää kohden ja Suomi on jäljessä robottien määrässä useista länsimaista. (Latokartano & Lempiäinen, 2022, pp. 23-27)

2.3.1 Robottityypit

Pohjimmiltaan robotit ovat mekaanisia käsivarsia ja jotta robottikokonaisuus on toimiva, on tämä varustettu käännettävillä nivelillä ja työkalulaipalla. Työkalulaippa mahdollistaa erilaisten laitteiden kytkemisen robottiin muodostaen käsivarren kanssa robotin käden. Robotin työkalulaippa saadaan ohjattua haluttuun paikkaan synkronisoimalla eri nivelten liikkeet. Yleensä paikoitukseen tarvitaan kolmea niveltä ja muilla nivelillä voidaan tarvittaessa vaikuttaa työkalulaipan orientaatioon. Eli erilaisiin työtehtäviin tarvitaan erilaisia robotteja, joissa on erilaiset liikeradat. Yleisimmät robottien perusrakenteet ovat suorakulmainen robotti ja nivelvarsirobotti, mutta myös sylinterirobottia hyödynnetään tietyissä

ratkaisuissa. Näiden lisäksi löytyy myös SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm) ja rinnakkaisrakenteisia robotteja. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, pp. 45-46,38)

Nivelvarsirobotissa on yleensä kuusi pyörivää niveltä, jotka mahdollistavat laajan työtilan ja kattavat työkalulaipan asennot. Nivelvarsirobotti on nykyään yleisin teollisuudessa käytetty robottimalli ja niitä käytetäänkin useissa työtehtävissä, kuten hitsauksessa ja kokoonpanossa. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, pp. 41-43) Myös tässä työssä keskitytään nivelvarsirobottiin, koska suunniteltava konsepti on tarkoitettu teollisuuteen työstökoneille. Työstökoneisiin kappaletta asettaessa kappaleen oikeanlainen paikoitus on tärkeää, kuten myös työkalulaipan saaminen oikeaan asentoon.

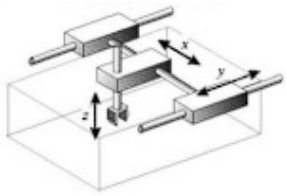
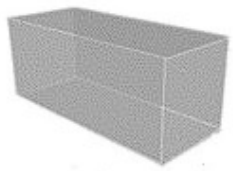
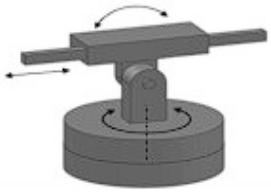
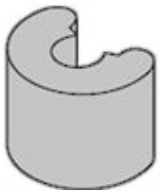


Kuva 3. Nivelvarsirobotti, liikuteltavat akselit ja sen laaja-alainen työalue. Muokattu lähteestä (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, p. 41).

Nivelvarsirobotin lisäksi teollisuudessa käytetään usein suorakulmaista, sylinterimäistä ja napakoordinaatistorobottia. Suorakulmaisessa robotissa on kolme lineaarisesti liikutettavaa niveltä, jotka muodostavat suorakulmaisen rakenteen ja työtilan. Eli nämä kolme niveltä mahdollistavat X-, Y- ja Z-koordinaatistossa liikkumisen. Suorakulmaisen robotin etuna on sen jäykkä rakenne, joka mahdollistaa hyvän liiketarkkuuden, samalla myös robottien ohjaus on yksinkertainen. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, p. 39)

Sylinterirobotti eroaa suorakulmaisesta robotista siinä, että se kykenee pyörimään Z-akselinsa ympäri, yhden nivelen ollessa pyörivä. Tällöin robotille saadaan sylinterimäinen työtila. Sylinterimäisten robottien hyvänä puolena nähdään niiden suuri vaakasuuntainen liikkumavara ja samalla ne ovat kuitenkin jäykkärakenteisia. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, p. 40)

Napakoordinaatistorobotissa on kaksi pyörivää niveltä ja kolmas nivel on lineaarisesti liikkuva. Näin ollen napakoordinaatistorobotilla saavutetaan puolipallomainen työtila. Jotta robotin työkalulaippa saadaan liikutettua haluttuun pisteeseen, tulee jokaista niveltä liikuttaa koordinoidusti. Robotilla on yleisesti samat hyvät puolet kuin sylinterityyppisellä robotilla, mutta kolmas pyörivä nivel mahdollistaa vapaamman työkalulaipan asennon. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, pp. 39-41)

Robotti tyyppi	Rakenne	Nivel tyyppi	Työalueen muoto
Suorakulmainen robotti		L-L-L	
Sylinterirobotti		P-L-L	
Napakoordinaati-storobotti		P-P-L	

Kuva 4. Suorakulmainen, sylinterimäinen ja Napakoordinaatistorobotti, sekä näiden robottityyppien ominaiset työalueet. Muokattu lähteestä (Singh & Banga, 2022, p. 1784).

2.3.2 Teollisuusrobotit

Standardissa ISO 8373:2012 on määritelty teollisuusrobotti. Standardin mukaan teollisuusrobotti on automaattisesti ohjattu, uudelleenohjelmoitava monikäyttöinen manipulaattori, jonka kolmea tai useampaa akselia voidaan ohjelmoida. Teollisuusrobotti voi olla paikalleen kiinnitetty tai se voi kiinnitetty liikuteltavalle mobiilialustalle automaatiokäyttöön teollisuusympäristössä. Teollisuusrobotti sisältää manipulaattorin ja robotin toimilaitteet, jota ohjataan robotin ohjaimella. Sisältöön kuuluu myös robotin ohjain, viestintäliittymä ja keinot, joilla robottia ohjataan ja opetetaan. Teollisuusrobottiin kuuluu myös siihen integroidut lisäakselit. (ISO 8373:2021, 2021, p. 2)

Teollisuusrobotteja käytetään usein massatuotannossa, jossa samaa tuotetta tai osaa valmistetaan suuria määriä. Teollisuusrobotteja käytetäänkin usein kokoonpano-, maalaus-, hitsaus-, koneistus ja yleisiin käsittelytehtäviin. Samalla teollisuusrobottien useat työtehtävät muodostavat laitevalmistajille haasteita, kun erilaiset työtehtävät vaativat erilaisia ominaisuuksia robotilta. Näitä erilaisia teollisuusrobotilta vaadittuja ominaisuuksia ovat maksimikuorma, akseleiden määrä ja robotin ulottuvuus ja se, miten nämä saadaan yhdistettyä robotissa. Massatuotantoa on eniten auto-, elektroniikka- ja sähkötuoteteollisuudessa. Nämä neljä teollisuudenalaa muodostavat 80 % kaikista teollisuusrobotti asennuksista. Tulevaisuuden kehittyneempien teollisuusrobottien suunnittelussa pyritään siihen, että ne olisivat enemmän yleiskäyttöisiä ja kykenisivät laajempaan sovellus- ja toimialakäyttöön (Hägele, et al., 2016, p. 1386).

2.3.3 Yhteistyörobotit sekä ihmisen ja robotin välinen yhteistyö

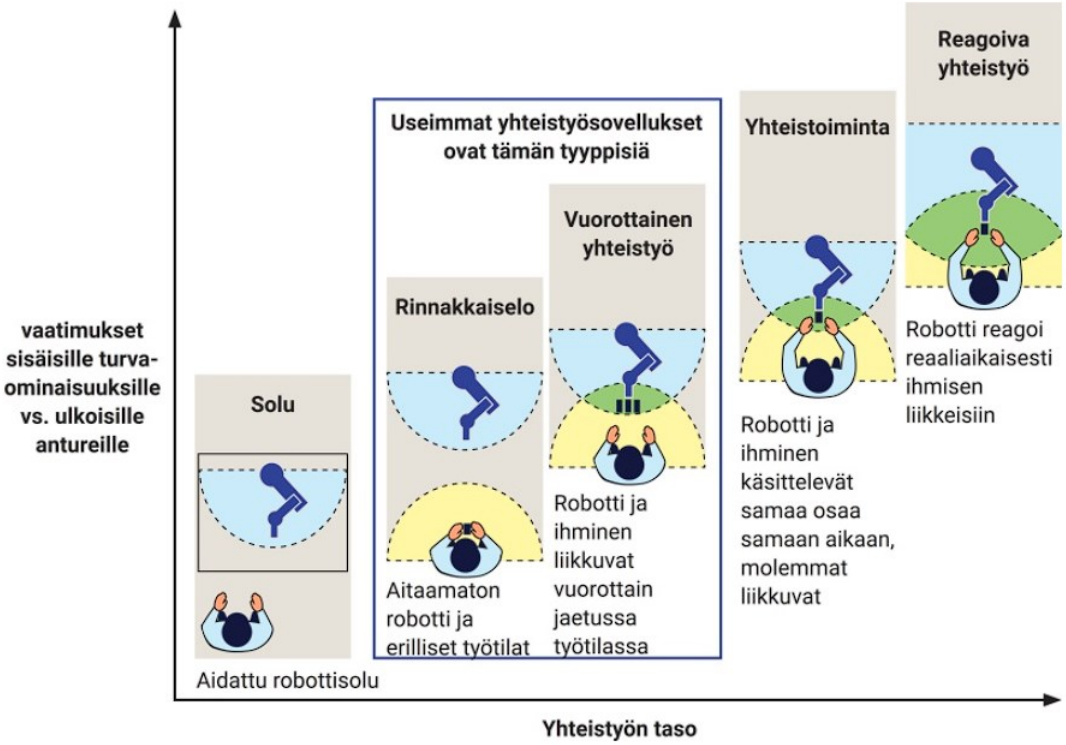
Yhteistyörobotit ovat robotteja, jotka on suunniteltu työskentelemään ihmisen ollessa samassa yhteistyötilassa robotin ollessa turvallinen ihmiselle. Kyseisistä roboteista käytetään myös nimitystä kollaboratiivinen robotti ja yhteistoiminnallinen robotti. Yhteistyörobotin toiminnalliset ominaisuuden poikkeavat huomattavasti teollisuusroboteista ja muista roboteista ja koneista. Ihmisen työskennellessä yhteistyörobotin läheisyydessä tai kanssa, voi robotti osua ihmiseen. Kuitenkin yhteistyörobotin kanssa työskennellessä tulee huolehtia koneen käyttäjän turvallisuudesta. Tämän vuoksi myös yhteistyörobotille tulee tehdä riskiarviointi ja mahdollisten riskien vähentäminen. (ISO/TS 15066:2016, 2016, pp. 2-3)

Yhteistyörobottien suunnittelun ja turvallistamisen vuoksi niitä voidaan käyttää samassa työtilassa ihmisen kanssa. Työtilan jakaminen yhteistyörobotin kanssa onkin yksi eroavaisuus verrattuna normaaliin teollisuusrobottiin, joka yleensä on aidattu tapaturmien välttämiseksi. Yhteistyörobotit voivat olla standardien ISO 10218-1 ja ISO 10218-2 mukaisesti suunniteltuja, jolloin ne mahdollisessa törmäyksessä ihmiseen tunnistavat voiman ja osaavat pysähtyä ennen vakavaa tapaturmaa. Yhteistyöllisiä toimintoja voidaan myös seurata käyttämällä nopeuden ja etäisyyksien seurantaa mahdollisten törmäyskohteiden varalta. Tällöin robotti pyrkii säilyttämään turvaetäisyyden ihmisen kanssa törmäyksen välttämiseksi. Aina ei voida kuitenkaan välttyä törmäyksiltä, joten yhteistyörobottien teräviä kulmia on pyöristetty, jolloin näihin törmääminen ei aiheuta niin suuria turvallisuusriskejä. (Lazarte, 2016)

Yhteistyörobottien käyttöönotto on myös yleisesti helpompaa ja yksinkertaisempaa kuin teollisuusrobottien. Teollisuusrobotit vaativat yleensä ohjelmointiin erikoistuneen henkilön, jotta tarvittavat ohjelmat saadaan tehtyä. Kun taas yhteistyörobotit voidaan opettaa nopeasti työtehtäväänsä ohjaamalla robottia käsin ja opettamalla näille oikeat pisteet ja halutut toiminnot. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, pp. 173-174,188) Käsin tapahtuvaa robotin siirtelyä ja ohjelmointia on kutsuttu myös Walk Trought Programming (WTP) nimellä (Villagrossi, et al., 2023, p. 1). Helpon työhön opettamisen myötä robotin paikkaa ja työtehtävää voidaan vaihtaa nopeasti, mikä kasvattaa robotin käytön monipuolisuutta. Vaikka yhteistyörobotit osoittavatkin useita suuria parannuksia perinteisiin teollisuusrobotteihin verrattuna, on niissä kuitenkin vielä useita puutteita teollisuusrobotteihin verrattuna. Teollisuusrobotit ovat usein nopeampia ja tarkempia työtehtävissään kuin yhteistyörobotit ja samalla niiden suurimmat hyötykuormat ovat usein huomattavasti isompia. Kyseiset ominaisuudet ovat tärkeässä roolissa massatuotannossa. Kuitenkaan räätälöidyssä tuotannossa näistä ei ole niin paljoa hyötyä ja yhteistyörobotin joustavuudesta on hyötyä. (Karabegović & Banjanović-Mehmedović, 2020, pp. 173-174)

Robotit ovat väsymättömiä ja niiden toistotarkkuus on erittäin suuri. Kuitenkin tietyt toimenpiteet ovat hyvin hankalia automatisoida tehtäväksi robotilla. Tällöin voi olla tarpeen yhdistää ihmisen ja robotin parhaita puolia päästäkseen parhaaseen tulokseen. Tämä vaatii sitä, että ihmisen ja robotin on kyettävä työskentelemään läheisessä yhteistyössä turvallisesti. Ihminen on robottiin verrattaessa erittäin joustava, luova ja älykäs ja on täten kykeneväinen ratkaisemaan ongelmia. (Salmi, et al., 2014, p. 12)

Ihmisen ja robotin välinen vuorovaikutus ja yhteistyö on jaettu neljään eri ryhmään (Kuva 5). Vähinten yhteistyöllisestä ryhmästä aloittaen ensimmäisenä on robotin ja ihmisen rinnakkaiselo. Kyseisessä yhteistyöryhmässä ihminen työskentelee robotin kanssa lähekkäin ilman, että robottia on erikseen aidattu, mutta ihminen ei jaa työtilaansa robotin kanssa. Toisessa ryhmässä ihminen tekee vuorottaista yhteistyötä robotin kanssa jakaen yhteistä työtilaa, mutta vain toinen on yhteisessä työtilassa kerrallaan. Kolmannessa yhteistyöryhmässä ihminen tekee yhteistyötä robotin kanssa samassa työtilassa saman kappaleen tai tuotteen kanssa. Neljännessä reagoivassa yhteistyöryhmässä ihminen tekee robotin kanssa työtä saman tuotteen parissa samanaikaisesti. Tästä ihmisen ja robotin välisestä yhteistyöstä on käytetty nimitystä *Human Robot Collaboration* (HRC). (Bauer, et al., 2016, pp. 3,8-9)



Kuva 5. Robotin ja ihmisen välisiä yhteistyön tasoja (Välimäki & Niemelä, 2023).

Kuitenkin nykyiseltään täysin responsiiviset yhteistyöt ihmisen ja robotin välillä ovat harvassa. Pääasiassa nykyinen ihmisen ja robotin välinen yhteistyö on rinnakkaiseloa, jossa työtilaa ei jaeta keskenään. (Bauer, et al., 2016, pp. 9-10)

2.3.4 Robottien tarttujat ja työkalut

Robotit on varustettu erilaisin tarttujin, joilla voidaan tarrata erilaisista kappaleista kiinni. Erilaisia tarttujia robotteihin on huomattava määrä ja samalla näiden hinnat vaihtelevat lähes mitättömästä robottia kalliimpiin hintoihin. Kuitenkin usein joudutaan muokkaamaan hankittua tarttujaa, jotta se soveltuu paremmin tehtävään työtehtävään. Robotteihin voidaan myös kiinnittää useampi tarttuja, mikä mahdollistaa esimerkiksi koneesta kappaleen poistamisen ja lisäämisen samanaikaisesti. (Bajd, et al., 2010, pp. 97-98)

Tyypillisimmät robottien tarttujat ovat sormitarttujia, joissa on kaksi tai useampi sormea, varsinkin teollisuudessa käytetään tämänkaltaisia sormitarttujia. Kahden sormen tarttujia voidaan ohjata yksinkertaisimmillaan auki ja kiinni tilojen välillä, mutta joissakin tarttujissa on myös mahdollista ohjata voimaa ja aukeamispituutta. Kaksisormiset tarttujat toimivat yleensä paineilmalla, sähköisesti tai hydraulisesti. Hydraulisten tarttujien etuna on niiden suuri puristusvoima. Useamman sormen omaavat tarttujat ovat huomattavasti kalliimpia kuin kaksisormiset tarttujat. (Bajd, et al., 2010, pp. 97-98)

Sormitarttujien jälkeen yleisimpiä tarttujia ovat alipaineella toimivat imukuppitarttujat. Kyseiset tarttujat hyödyntävät alipaineella toimivaa imukuppia. Nämä tarttujat ovat kevyitä, halpoja ja niitä on saatavissa useita erilaisia eri muodoille. Myös useita imukuppeja voidaan käyttää samanaikaisesti paremman tartunnan saamiseksi. Kuitenkin alipainetarttujilla on omat rajoitteensa, kuten se, että niillä ei voida tarttua epätasaisiin tai likaisiin pintoihin. Nämä myös tarvitsevat oman alipaineensa. Imukuppitarttujilla voi olla haasteita pienten ja kevyiden kappaleiden irrotuksessa, mutta tätä voidaan ehkäistä ohjaamalla imukupin taakse hieman paineistettua ilmaa. (Bajd, et al., 2010, p. 100)

Magneettisten kappaleiden käsittelyyn voidaan myös käyttää roboteissa magneettisia tarttujia. Kyseisissä tarttujissa voidaan hyödyntää kestomagneetteja tai vaihtoehtoisesti sähköllä toimivia magneetteja. Näistä sähköllä toimivat magneetit ovat yleisempiä, koska ne ovat tarkemmin käytettävissä. Kestomagneettien kanssa voi esiintyä kappaleen irrotuksen ongelmia. Tämä on kuitenkin ratkaistu magneetin rakenteella, jossa magneettinen vaikutus kappaleeseen lakkaa, kun tarttujan sisällä oleva magneetti muuttaa asentoaan erillisellä toimilaitteella. Myös magneettisilla tarttujilla tartuntapinnan tulee olla puhdas ja tasainen. Jos magneettitarttujan ja kappaleen väliin jää tyhjää tilaa roskien tai kappaleen pinnanmuodon vuoksi, magneetin tartuntavoima pienenee huomattavasti. (Bajd, et al., 2010, pp. 100-101)

Käyttöön sopiva tarttuja riippuu paljon robotin suoritettavasta työtehtävästä ja työtehtävässä siirreltävistä kappaleista ja niiden muodoista. Tasaisille kappaleille, kuten levyille, sopivat hyvin imukuppitarttujat ja magneettiset tarttujat. Tasakylkisille kappaleille sopivat sormitarttujat ja myös putkia voidaan nostaa putken sisäpuolen pinnoilta sormitarttujilla. Joidenkin nostettavien kappaleiden kohdalla on tarpeellista, että tarttuja keskittää nostettavan kappaleen tarttujan keskelle. Tämänkaltaisia kappaleita ovat esimerkiksi usein teollisuudessa hyödynnettävät, lieriönmuotoiset kappaleet. Lieriönmuotoiseen kappaleeseen voidaan tarttua keskitetysti hyödyntämällä kolmi-sormitarttujaa tai magneettitarttujaa, jossa on keskellä erillinen keskittävä lovi. Sopivan tarttujan pohdintaa voikin lähteä käsittelemään ajatuksilla, miten itse nostaisin kappaleen, mitä tarvitsen siihen ja tarvitaanko paljon puristusvoimaa. Varsinkin sormitarttujissa tulee miettiä sopivaa voimanlähdettä käyttötarkoitukseen. Joidenkin kappaleiden kohdalla voi olla myös tarpeen miettiä keskittämistä ja sitä, miten kappaleeseen tartutaan keskitetysti kiinni.

Kun mietitään työtehtävään sopivaa tarttujaa robotille, on hyvä pitää mielessä turvallisuus. Turvallisuuskysymys on huomioitava varsinkin tarttujissa, jotka käyttävät ulkoista voimanlähdettä, kuten sähköä. Mitä tapahtuu, kun tulee sähkökatko tai hätäseis-painiketta painetaan, irtoaako kappale tarttujasta? Vaikka tarttujasta ei suoraan häviä sen voimanlähde, niin on myös mahdollista, että kappale irtoaa, kun robotti hidastuu yllättäen nopeasti. (Robert, 2016)

Robottiin on myös mahdollista kytkeä kiinni muita työkaluja kuin tarttujia. Robottiin voidaan kytkeä prosessityökaluja, hiomakoneita, hitsaus-, maalaus-, liimauslaitteita ja muita työkaluja, jotka mahdollistavat robotin käytön useassa eri työtehtävässä. Robotti voidaan myös varustaa työkalujen vaihtojärjestelmällä, joka lisää robotin joustavuutta. Tällöin robotin työkalulaippaan asennetaan tarraimenvaihtojärjestelmän perusosa, joka mahdollistaa tarvittavan työkalun vaihdon makasiinista. Työkalujen vaihtojärjestelmiä on automaattisia ja manuaalisia. Automaattisessa työkalun vaihtojärjestelmässä saadaan työkalu vaihdettua ohjelmallisesti. Robotilla käytettäville työkaluille voidaan myös tarvittaessa tallentaa muistiin eri työkaluille tarvittavat mittatiedot, josta nämä saadaan käyttöön, kun robotin käyttämä työkalu vaihtuu. Myös robotin työkalulle tulevat pneumatiikka, hydrauliikka, ohjaussignaalit ja sähköjohdot voidaan kytkeä automaattisesti tarraimenvaihtojärjestelmällä. Työtehtävissä, jossa robotilta vaaditaan useaa eri työkalua tai robotilla tehdään useita eri tuotteita, on automaattinen työkalun vaihtojärjestelmä hyödyllinen hankinta. (Lehtimäki, 2020, pp. 16-18)

2.4 Robottien ohjelmointitavat

Robottien ohjelmoinnilla tarkoitetaan robotin työskennellessään suorittaman tehtävän luomista. Eri valmistajien valmistamat robotit ovat usein samankaltaisia mekaanisilta ja sähköisiltä osiltaan, mutta niiden ohjelmointi kuitenkin eroaa usein toisistaan. Ohjelmointia voidaan tehdä menetelmästä riippuen Offline- tai Online-tilassa. Kun ohjelmointia tehdään Offline-tilassa, se tehdään etänä toisella laitteella, kuten tietokoneella. Kun ohjelmointi on tehty, valmis ohjelma ladataan robotille. Online-tilassa ohjelmointi tehdään suoraan robotin ohjaimella, jolloin robottia ei voi ajaa samanaikaisesti. Robottien ohjelmointi on luokiteltu kolmeen pääryhmään: (Legnani, et al., 2012, pp. 18-19)

- Ohjelmointi ohjelmointikielellä (Offline- tai Online-tilassa).
- Ohjelmointi robotin ohjaimella opettamalla (Online-tilassa).
- Ohjelmointi erillisellä ohjelmalla (Offline- tilassa). (Legnani, et al., 2012, pp. 18-19)

2.4.1 Ohjelmointi ohjelmointikielellä

Robottia ohjelmoidessa ohjelmointikielellä kirjoitetaan listaus siitä, mitä robotin halutaan tekevän. Kirjoitettava listaus sisältää komentoja, kuten pisteiden muodostaman reitin, mitä pitkin kuljetaan ja muuta tehtävän kannalta olennaista, kuten liikkumisnopeuden. Erilaiset ohjelmoidut komennot voivat ohjata robotin ulkoisia laitteita, kuten antureita ja toimilaitteita, mahdollistaen näiden hyödyntämisen robotin kanssa sulavasti. (Legnani, et al., 2012, pp. 18-19)

Jokaisella laitevalmistajalla on omat ohjelmointikielensä ja ne eroavat toisistaan. Osalla valmistajista on ohjelmointikielessä otettu mallia yleisistä ohjelmointikielistä, kuten Pascal ja C++. Kuitenkin osalla valmistajista on omat ohjelmointikielet, kuten ABB:n valmistamilla roboteilla RAPID-ohjelmointikieli. Nämä valmistajien omat ohjelmointikielet voivat osoittaa kuitenkin yhteneväisyyksiä muihin ohjelmointikieliin, kuten C/C++ tai Pascal. Kuitenkin jokaisessa ohjelmointikielessä on samat yhteneväisyydet, kuten liikeohjeet, funktiot sekä tietotyypit. (Legnani, et al., 2012, pp. 19-20)

Kun robottia ohjelmoidaan ohjelmointikielellä, se voidaan tehdä suoraan robotilla käyttämällä sen omaa käsiohjainta (engl. teach pendant), joka on robotissa kiinni oleva ohjain. Käsiohjaimella robottia voidaan liikuttaa ja ohjelmoida käyttämällä siinä olevaa näppäimistöä. Vaihtoehtoisesti ohjelmointi voidaan tehdä Offline-tilassa ulkoista tietokonetta käyttäen ja lataamalla ohjelma erikseen robotille. (Legnani, et al., 2012, pp. 20-21)

2.4.2 Ohjelmointi robotin ohjaimella opettamalla

Ohjelmointi robotin ohjaimella opettaen tapahtuu siirtämällä robotti haluttuun pisteeseen. Robottia voidaan siirtää ohjaimella käyttämällä Jog-toimintoa. Joissakin roboteissa on myös mahdollista siirtää kädellä robotin käsivartta ja robotin käsivarren siirtely voi olla näin intuitiivisempi käyttäjälle. Kun robotti on saatu ohjattua haluttuun pisteeseen ja tarkastettu tämä silmämääräisesti, voidaan paikkatieto tallentaa ohjaimeen. Paikkatiedon tallennuttua toistetaan sama paikoitus ja paikkatiedon tallennus seuraaville pisteille, missä robotin halutaan käyvän. Tallennettaviin paikkatietoihin tulee myös asettaa tapa ja nopeus, miten kyseinen paikka saavutetaan. Paikkatietoja voidaan saavuttaa ympyränkaari-, lineaari- tai nivelliikeliikeradoilla. Myös muita parametrejä kuten kiihtyvyyksiä voidaan tallentaa. Tallennetut pisteet ja näihin asetetut parametrit voidaan katsoa robotin ohjaimesta. Kun pisteet on saatu tallennettua, voidaan niitä ajaa robotilla niiden tallennusjärjestyksessä. (Legnani, et al., 2012, pp. 21-22) Ohjelmointi robotin ohjaimella opettamalla on yksi ensimmäisistä robottien ohjelmointimenetelmistä. Menetelmää kutsutaan

Lead Throught Programming -nimellä, lyhennettynä LTP. (Villagrossi, et al., 2023, p. 1) (Villani, et al., 2018, p. 67) LTP-menetelmien haittapuolena on se, että robottia ohjataan käsiohjaimella pisteiden opettamiseen. Tällöin robottia ei voida käyttää muuhun tuottavaan työhön. (Zhang, et al., 2020, pp. 1221-1222)

Nykyään LTP-menetelmä on usein käytössä yhteistyöroboteissa. Kuitenkin yhteistyöroboteissa kyseistä ohjelmointimenetelmää on viety pidemmälle. Yhteistyöroboteissa siirtely haluttuihin pisteisiin on mahdollista tehdä tarttumalla käsin robottiin ja siirtämällä tämä haluttuun pisteeseen. Käsin tapahtuvaa robotin siirtelyä ja ohjelmointia on kutsuttu myös *Walk Throught Programming (WTP)* -nimellä. Jotta robotin siirtely on mahdollista tehdä käsin, on robotin oltava varustettu voiman tunnistavalla anturilla tai muulla tekniikalla, joka tunnistaa käyttäjän pyrkimykset robotin asennon muuttamiseen. Kyseisissä yhteistyöroboteissa se toimii hyvin, koska ne ovat rakenteeltaan kevyitä ja niissä on tarkka anturointi ja ohjaus. Yhteistyöroboteissa on myös sisäänrakennettuna voimantunnistus, joka tunnistaa robottiin kohdistuvat voimat ja törmäykset törmäystarkasteluja varten. Nämä mahdollistavat helpon robotinvarren siirtelyn pisteisiin käsin ja samalla kyseinen menetelmä on intuitiivinen käyttäjälle. Yhteistyörobotit ovat myös käyttäjälle turvallisia käsitellä ISO/TS 15066:2016 standardin mukaisesti. (Villagrossi, et al., 2023, p. 1) Nämä menetelmät ovat auttaneet pienentämään robotin ohjelmointiaikoja. Samalla WTP-menetelmä poistaa monimutkaisuutta ohjelmoinnista, koska robottia on mahdollista siirtää käsin haluttuihin pisteisiin. Kuitenkin robotin siirtely käsin on myös WTP-menetelmän heikkous. Kun robotin vartta siirretään käsin, ei päästä samaan paikoitustarkkuuteen, kuin jos robotti paikoitettaisiin käyttämällä robotin omaa käsiohjainta. WTP-menetelmä on myös käyttäjälleen turvattomampi, koska robottia täytyy manuaalisesti ohjata käsin ja käyttäjän täytyy oleskella lähempänä robottia. Menetelmä on myös hankalasti toteutettavissa teollisuusrobotteihin, koska se vaatisi robotteihin voiman ja väännön tunnistavat anturit. Kuitenkin ongelmaan on etsitty ratkaisuja, kuten tarkkailemalla robotin varren nivelien moottoreiden vääntöä tai jännitettä. (Ragaglia, et al., 2016)

2.4.3 Ohjelmointi erillisellä ohjelmalla

Useimpien valmistajien robotteja voidaan simuloida erillisellä graafisella ohjelmalla, jolla voidaan myös ohjelmoida ja simuloida robotteja niiden oletetussa työympäristössä. Ohjelmointi kuitenkin tehdään Offline-tilassa robotin ulkopuolisella tietokoneella. Tämä mahdollistaa sen, että robotti voi työskennellä myös ohjelmoinnin aikana toista ohjelmaa käyttäen. Ohjelmissa on esillä robottivalmistajien eri mallit ja myös käsiohjaimet ovat mukana. Ohjelmilla voidaan siis myös harjoitella robotin käyttöä turvallisesti ja etänä. Myös

ulkopuoliset yritykset tarjoavat robottien ohjelmointiin tarkoitettuja ohjelmistoja. Kun ohjelmistolla on saatu tarkoituksenmukainen ohjelma tehtyä, se siirretään robotille. (Legnani, et al., 2012, p. 22)

Ohjelmoinnissa erillisellä ohjelmalla etuna on se, että ohjelmisto mahdollistaa 3D-komponenttien ja työkalujen näkemisen robottisolussa. Kun 3D-komponentit ja työkalut nähdään, voidaan suunnitella tehtävää ohjelmaa, sekä robottisolua. Ohjelmointiohjelmalla voidaan myös tehdä ohjelmaan törmäyksien tarkastelua ja nähdä, kuinka pitkään robotilla menee ohjelman suorittamiseen ja samalla optimoida sen työratoja. (Legnani, et al., 2012, pp. 22-24) Kuitenkin menetelmän heikkoutena on se, että Offline-ohjelmoinnit erillisellä ohjelmalla vaativat 3D-mallit robotista, ympäristöstä ja käsiteltävistä kappaleista. Riippuen käytettävästä ohjelmasta nämä täytyy itse mallintaa, mikä vaatii aikaa ja samalla yleensä maksullisia ohjelmistoja tietokoneelle. (Zhang, et al., 2020, pp. 1221-1222)

Kun robotin ohjelmointi tehdään erillisessä ohjelmassa käyttäen 3D-malleja, aiheutuu mittaeroja todelliseen robotin toimintaympäristöön. Tämän vuoksi tehtyä ohjelmaa ei voi yleensä suoraan ladata robotille ajettavaksi, vaan robottisolu täytyy kalibroida. (Pan, et al., 2012, p. 91) Ideaalitapauksessa kalibrointi olisi automaattista, nopeasti paikan päällä tehtävää ja tehokasta. Kuitenkin kalibroinnista haluttaisiin samalla hyvä mittatarkkuus yhdistettynä kalibroinnin helppouteen ja halpaan hintaan. Kalibrointimenetelmät on yleisesti luokiteltu kahteen ryhmään *Open-loop* ja *Closed-loop*. Open-loop -menetelmässä käytetään ulkoisia antureita mittaamaan robotin osittaista tai täysmääräistä asentoa, kun etsitään robotin mittaparametrejä. Open-loop -menetelmällä kalibroimiseen on käytetty useita eri menetelmiä, kuten akustisia antureita ja laseriseurantalaitteita. Näillä menetelmillä on saatu hyvä mittatarkkuus, mutta samalla ne ovat aikaa vieviä, vaativat koulutusta ja ovat kalliimpia kuin Closed-loop -kalibrointi. Closed-loop -kalibrointi on automaattista ja kalibroinnissa robotti hakee robotin mittaparametrit käyttämällä sen sisäisiä antureita. (Gaudreault, et al., 2018, pp. 1-2)

2.4.4 Muita robottien ohjelmointimenetelmiä

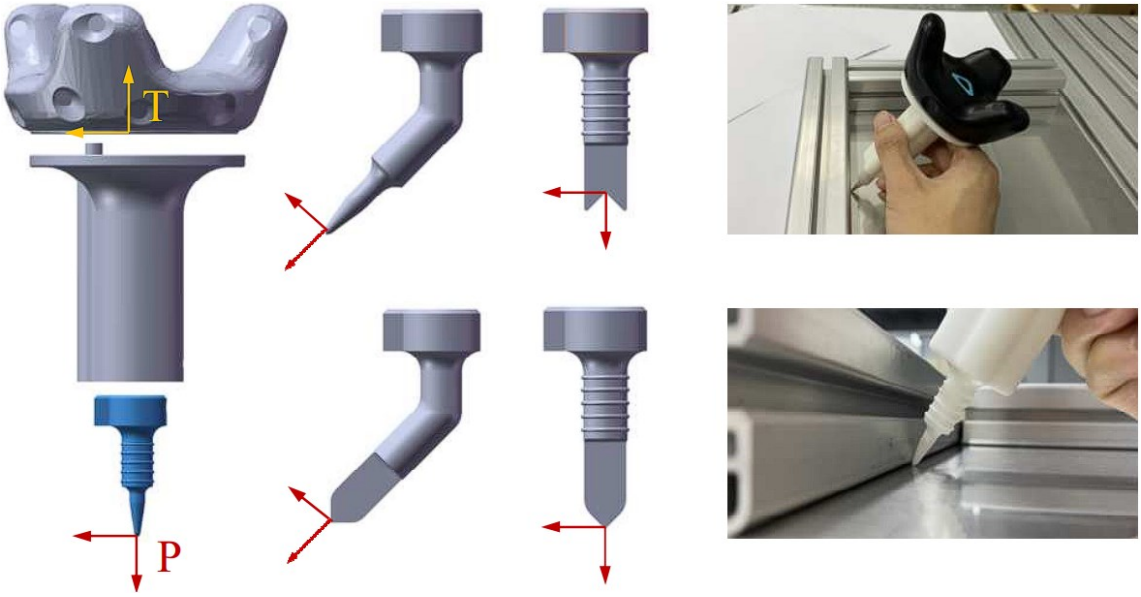
Teollisuusrobotteja on yleensä ohjelmoitu LTP-menetelmillä. Kuitenkin Offline-tilassa tehtävät ohjelmoinnit ovat yleistyneet viime vuosina. Näitä kahta menetelmää käytetään pääasiassa robottien ohjelmointiin teollisuudessa, vaikka niillä onkin joitakin haittapuolia. Näitä ongelmia voidaan lieventää käyttämällä muita robottien ohjelmointimenetelmiä, kuten AR-ohjelmointia (suom. Lisätty todellisuus, engl Augmented Reality). AR-ohjelmoinnissa varsinainen kohde ja virtuaalinen robottimalli voivat olla rinnakkain AR-ympäristössä. Tällöin virtuaalista robottia voidaan ohjata haluttuihin pisteisiin oikeassa työkappaleessa ja samalla nähdään, ettei törmäyksiä tai muita ongelmia esiinny. Kun haluttu toiminto on saatu ohjelmoitua, voidaan se siirtää oikealle robotille ajettavaksi. AR-ohjelmoinnin etuna on se, että se ei vaadi suurta osaamista käyttäjältä ja robotin ohjelmoinnista kokematon oppii sen nopeasti. Näin ollen kokemattomat ohjelmoijat voivat ohjelmoida nopeasti myös monimutkaisia robotin työtehtäviä ja ohjelmia. AR-ohjelmointi ja sen käyttö ei ole vielä yleistynyt robottien ohjelmoinnissa, vaikka se tarjoaakin useita etuja perinteisiin robottien ohjelmointimenetelmiin nähden. (Zhang, et al., 2020, pp. 1221-1222)

AR-ohjelmoinnin yleistymistä on osittain rajoittanut käytettävien laitteiden rajoittuvuus. Näiden ollessa vielä uutta kehittyvää teknologiaa ja AR-teknologian ollessa vielä osittain kehittymässä, voi käytössä esiintyä ongelmia, kuten epätarkkuutta ja toimintojen käytön hankaluutta. Epätarkkuutta robotin ratoja ohjelmoidessa ei tietenkään haluta ja epätarkoilla ohjelmointilaitteilla voi olla hankala saada tarkkaa robotin rataa ohjelmoitua. Ongelmaksi nähdään usein myös AR-ratkaisujen syvyysnäön puute, mikä hankaloittaa etäisyyksien hahmottamista. Syvyysnäön puutetta ja sen tuomaa ongelmaa voi kuitenkin torjua vaihtamalla omaa asemointiaan robottiin nähden. Lisäksi osa AR-ohjelmointilaitteista hyödyntää 3D-näkymää, joka voi aiheuttaa käyttäjälle epämukavuutta tai jopa pahoinvointia. Kuitenkin AR-ohjelmointia voidaan tehdä myös 2D-ympäristössä hyödyntämällä älypuhelinta tai tablettia ja nämä ovat myös paremmin käyttäjien saatavilla kuin erilliset 3D-virtuaalilasit. (Thoo, et al., 2021, pp. 1-2, 8-9)

AR-ohjelmoinnin lisäksi ohjelmointia voidaan tehdä VR-ympäristössä (suom. virtuaalitodellisuus, engl Virtual Reality). VR-ympäristö on luotu tietokoneella ja VR-ympäristössä käyttäjä voi kokea, tarkkailla ja olla vuorovaikutuksissa virtuaalisten kappaleiden kanssa. Erona AR-ympäristöön on se, että AR-ympäristössä käytetään oikeaa ympäristöä, johon lisätään haluttua tietoa mukaan. (Dianatfar, et al., 2021, p. 1) VR-ympäristöä voidaankin hyödyntää tuotantotilojen simulointiin, jolloin voidaan hahmottaa robottisolujen ja kappaleiden mittasuhteita. Samalla myös virtuaalitodellisuus antaa todellisempaa näkökulmaa

mittasuhteisiin ja nopeuksiin, joita on hankala hahmottaa tietokoneella simulaatio-ohjelmassa. (Välimäki & Niemelä, 2023)

VR-ympäristön ja ohjelmoimisen etuna on sen tuomat laajat ominaisuudet. VR-ympäristössä voidaan simuloida robottia ja samalla ohjelmoida sitä. VR-ohjaimilla ohjelmointi tapahtuu ohjaimen nappeja painamalla ja liikuttelemalla virtuaalista robottia haluttuihin pisteisiin, jotka opetetaan sille. Samalla kuitenkin VR-käyttäjälle ilmoitetaan ohjaimien tärinällä, että robotin nivelien äärirajat on saavutettu. (Dianatfar, et al., 2021, pp. 1-3) VR-laitteiden tarkkuus on hyvä, sen ollessa jopa 1–2 mm luokassa ja sen hinta ei ole korkea. Samalla VR-laitteisiin voidaan tehdä omia työkaluja, kuten kynämallinen osoitin, jolla voidaan opettaa tarvittavia työratoja robotille. Työkaluja onkin kehitetty jo maalaukseen, kiillotukseen ja hitsaukseen ja muille työkohtaisille tilanteille ja näiden ohjelmoimiselle. VR-ohjelmointi onkin hyvä ja turvallinen tapa opetella robotin ohjelmoimista eri työtilanteisiin. Samalla se on käyttäjälle intuitiivinen käyttää. Tulevaisuudessa VR-laitteiden kehittyessä on odotettavissa vielä parempaa tarkkuutta, kun VR-laitteet kehittyvät. Laitteiden kehittyessä myös tehtyjen työratojen tiedon suodatus- ja arviointialgoritmit kehittyvät. (Ji, et al., 2022, pp. 1-7)



Kuva 6.VR-paikoitukseen tarkoitettuja antureita voidaan myös hyödyntää robotille ohjelmoitavien ratojen osoittamiseen (Ji, et al., 2022, p. 24).

2.4.5 Ohjelmoinnin yksinkertaistaminen

Yksi teollisuusrobottien käyttöönoton haaste on niiden ohjelmointi ja sen haastavuus. Yleensä ohjelmoimiseen tarvitaan ohjelmoimiseen erikoistunut henkilö, jotta tehdystä ohjelmasta saadaan luotettava. Kun ohjelmointiin tarvitaan siihen erikoistunut henkilö ja ohjelmointi on hidasta, nousevat automatisoinnin kustannukset ei-toivotusti. Teknologisen kehittymisen myötä robottien ohjelmointia on kuitenkin saatu yksinkertaistettua monin eri keinoin. Yksinkertaistamisen avainasemassa on ollut viisi eri ohjelmointimenetelmää. (Rossano, et al., 2013, pp. 1,3)

- CAD-pohjainen (Computer Aided Design) ohjelmointi.
- ”Data Flow Diagrams”, jossa käyttäjä määrittelee robotin kulkua toiminnallisten lohkojen avulla.
- ” Wizards Based Programming”, jossa käyttäjää opastetaan käyttöliittymässä olevien ohjattujen toimintojen kautta robottiohjelman luomiseen.
- ”Icon-Based Programming”, jossa käyttäjä määrittelee robottiohjelman robotin käsiohjaimen käyttöliittymän graafisilla kuvakkeilla.
- ”Walk-Through Programming”, eli WTP-menetelmässä käyttäjä käsin liikuttaa robottia niiden liikkeiden läpi, jotka halutaan ohjelmoida. (Rossano, et al., 2013, pp. 1,3).

Kyseiset viisi eri ohjelmointimenetelmää eivät ole ainoita menetelmiä, joilla on pyritty yksinkertaistamaan robottien ohjelmointia viime vuosina. Kuitenkin näillä viidellä eri menetelmällä on yhteinen tarkoitus yksinkertaistaa ja helpottaa robottien ohjelmoimista. Menetelmillä on jokaisella omat etunsa ja heikkoutensa, minkä vuoksi jokin menetelmä voi olla parempi eri työtehtäviin kuin toinen. (Rossano, et al., 2013, p. 6)

CAD-pohjaisia ohjelmointimenetelmiä voidaan käyttää pieniin ja myös monimutkaisiin ohjelmointeihin. Samalla tämä menetelmä sopii ohjelmoinnista tietävälle ja tietämättömälle. Kuitenkin CAD-pohjainen ohjelmointi vaatii tietämystä CAD-ohjelmista. Vaikka CAD-pohjaisilla menetelmillä voidaan nopeasti ohjelmoida useita satoja pisteitä, vaatii CAD-pohjainen ohjelmointi työtilan kalibroinnin. Kalibrointi vaatii käyttäjältä tietämystä ja se voi olla hankalaa myös jo ohjelmoinnista tietävälle henkilölle. (Rossano, et al., 2013, pp. 4-6)

DFD (Data flow diagrams) ja IBP (Icon-Based Programming) -menetelmillä saadaan robotin ohjelmointia muunnettua perinteisestä tekstipohjaisesta ohjelmoinnista kohti graafista ohjelmointia. Tämä on usein käyttäjälle intuitiivisempi käyttää siinä olevien graafisten symbolien ja toimilohkojen (Function Block) vuoksi. Samalla kuitenkin käytettävät symbolit ja toimilohkot ovat menetelmän rajoite, koska jos ohjelmoitavia ominaisuuksia on käytettävissä paljon, kasvaa samalla tarvittavien symbolien ja toimilohkojen määrä. Kun symbolien ja toimilohkojen määrä kasvaa, alkaa ohjelmoiminen vaatia enemmän tietoa toiminnoista ja samalla ohjelmointi monimutkaistuu. Parhaiten DFD- ja IBP-ohjelmointimenetelmät toimivatkin yksinkertaisten ohjelmien luontiin. Ohjelmointimenetelmät ovat samankaltaisia. Menetelmien eroina ovat toimilohkojen asettelu ja yhdistely. IBP-ohjelmointimenetelmässä käytettävät ja siirreltävät toimilohkot ovat valmiita, kun taas DFD-menetelmässä nämä toimilohkot täytyy määrittää itsenäisesti. Lisäksi asetettavat toimilohkot sijoitetaan eri tavoin. IBP-menetelmässä lohkot ovat peräkkäin ja DFD-menetelmässä ne sijoitetaan enemmänkin tietovuokaaviomaisesti, eikä järjestys ole niin selvä. (Rossano, et al., 2013, pp. 3-7) Konepalvelurobotin ohjelmoimiseen DFD- ja IBP-ohjelmointimenetelmät olisivat sopivia, koska liikkeet ovat pääasiassa pisteestä pisteeseen tapahtuvia, eikä ohjelmoitavia pisteitä ole yleensä paljon. Kuitenkin on huomioitava, että ohjelmointiin täytyy tuoda mukaan tarvittavat symbolit ja toimilohkot muille tarpeellisille toiminnoille, joita konepalvelurobottiin kytketyt toimilaitteet tekevät. Näitä muita toimilaitteita, joita konepalvelurobottiin on yleensä kytketty, ovat robotin tarttujat, paineilman suihkutus ja erilaiset työstökoneen puristimet ja toimilaitteet.

WBP (Wizards Based Programming) -ohjelmointimenetelmä ja muut sen kaltaiset menetelmät ovat robottien ohjelmoimisesta tietämättömälle usein yksinkertaisia ohjelmointimenetelmiä. Nämä ohjelmointimenetelmät ohjaavat ohjelmoijaa ohjelmointiprosessin aikana ja tarjoavat pohjan ohjelmoinnille. Kuitenkin ohjelmointimenetelmän heikkoutena on se, että tehtyyn ohjelmaan on hankala tehdä enää muutoksia, kun ohjelma on tehty. WBP-ohjelmointimenetelmän erona IBP-menetelmään on se, että WBP-menetelmässä neuvotaan askel askeleelta ohjelmoinnissa. Samalla se tarjoaa ohjelmoijalle tietoa robotin nykyisestä ja seuraavasta pisteestä, mihin robotti liikkuu antaen kokemattomalle ohjelmoijalle paremman tilannekuvan. Molemmat menetelmät ovat kokemattomalle ohjelmoijalle helppoja käyttää. IBP-menetelmä tarjoaa visuaaliset toimilohkot, joita ohjelmoija siirtää haluamiensa toimintojen mukaan, kun taas WBP-menetelmä opastaa käyttäjää ohjelmoinnissa askelittain. (Rossano, et al., 2013, pp. 5, 7) Kokemattomalle käyttäjälle Wizard-pohjainen ohjelmointimenetelmä voi aluksi näyttää monimutkaisemmalle siinä olevien useiden eri vaiheiden vuoksi. IBP-menetelmässä käytetyt toimilohkot ja niiden siirtely voikin näyttää ja olla mielenkiintoisempaa kokemattomalle ohjelmoijalle.

Konepalvelurobotin konseptille valittavassa ohjelmointimenetelmässä tulisi painottaa ohjelmoinnin helppoutta ja nopeutta. Ohjelmointia tullaan tekemään mahdollisesti useita kertoja päivässä, useiden eri henkilöiden toimesta, joten ohjelmointi tulee voida oppia ja osata ilman suuria vaatimuksia. Tämä poissulkee jo useita ohjelmointimenetelmiä, kuten tekstipohjaisen ja CAD-ohjelmoinnin, niiden suuren oppimiskynnyksen ja osittain myös hitauden vuoksi. ABB-yhtiön tekemässä tutkimuksessa mainitaan, että yksinkertaiseen materiaalinkäsittelyyn WTP-menetelmä yhdistettynä yksinkertaiseen robotin käsiohjaimen käyttöliittymään on erittäin tehokas käyttää (Rossano, et al., 2013, p. 7).

2.5 Konenäkö

Kirjassa Machine Vision Handbook emeritus professori Bruce Batchelor (Batchelor, 2012) aloittaa kertomalla konenäöstä ja näkökyvyn tärkeydestä ihmisille ja eri lajeille. Ihmisen silmä pystyy huomaamaan erittäin pieniä värieroja. Tämän ihmisen värierojen huomioimisen kyvyn vuoksi on vaikea esimerkiksi maalata autosta tiettyä osaa uudelleen, koska jää yleensä pieni sävyero, jonka ihminen huomaa. Kuitenkin ihmisen näkökyvyllä on rajoitteensa, kuten väsymys ja häiriötekijät. Ihmissilmä ei myöskään ole kykeneväinen tekemään tarkkaa kappaleiden mittailua. Rajoittavien tekijöiden vuoksi ihminen ei pysty tekemään tarkkaa, silmämääräistä laaduntarkkailua pitkään, eikä ihminen tämän vuoksi sovellu massatuotettujen tuotteiden tarkasteluun. Konenäkö ei väsy, eikä sillä ole ihmisen rajoitteita sen toiminnassa ja se kykenee olemaan olosuhteissa, jotka ovat ihmiselle vaarallisia. (Batchelor, 2012, pp. 3-6)

Konenäkö on noussut tärkeään rooliin teollisuudessa, kun halutaan tarkkailla laatua ja saada jäljitettävyyttä tuotteille. Konenäköä voidaan myös hyödyntää kappaleiden laaduntarkkailuun ja tuotantolinjoilla ohjaamaan laitteita, jolloin ne poistavat tuotantolinjalta tuotteet, jotka eivät täytä laatukriteereitä. Konenäköä voidaan myös hyödyntää robotiikassa robotin paikoittamiseen ja kohteiden osoittamiseen. Konenäkö on luonnostaan monitieteellinen ja se vaatii konenäköjärjestelmänsuunnittelijalta tietoa useasta eri alasta, jotka ovat konenäön taustalla. Kyseisiä aloja ovat mekaaninen, optinen, sähkö- ja ohjelmistosuunnittelu. (Steger, et al., 2018, pp. 1-3)

2.6 Yleiset syöttömenetelmät teollisuudessa

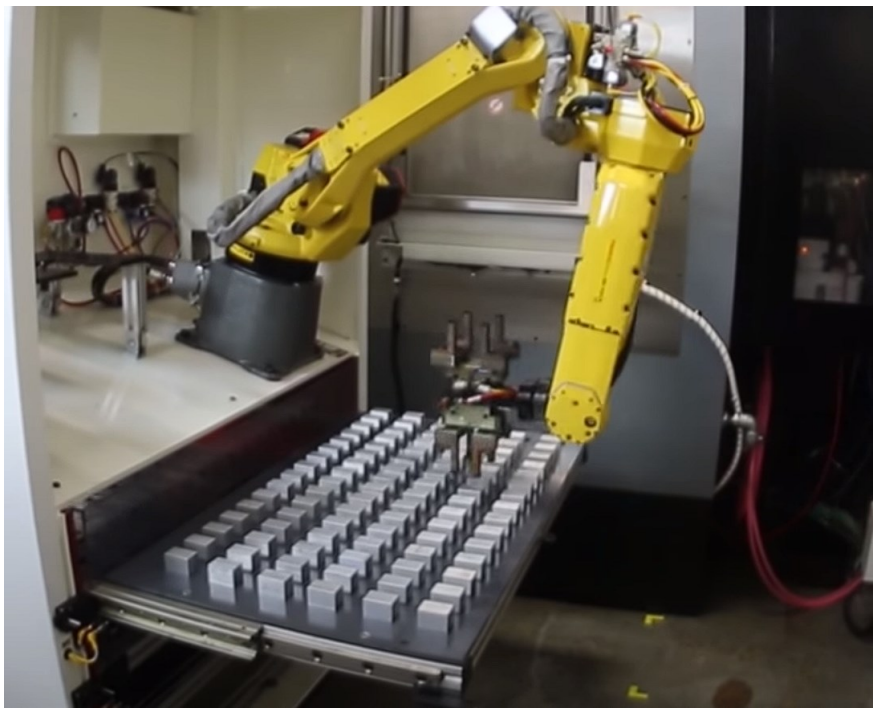
Teollisuudessa on olennaista, että saatavilla on tuotantoprosessissa tarvittavia materiaaleja ja osia, kun niitä tarvitaan. Tämän lisäksi materiaaleja täytyy olla sopiva määrä, oikeaan aikaan ja oikeassa paikassa, kuitenkin niin, ettei materiaaliin tule vaurioita, jotka voisivat vaikuttaa tuotteeseen. Jotta nämä asiat ovat kunnossa, tulee materiaalin syötön olla oikein järjestetty. Materiaalinsyöttö ei ole yritykselle arvoa lisäävää työtä, vaan se pikemminkin on kustannuksia lisäävä tekijä. Se kuitenkin vaikuttaa vakavasti automaatiojärjestelmän suorituskykyyn. Tämän vuoksi materiaalin syötön tulisi olla mahdollisimman kustannustehokasta, mutta materiaalin syöttö ei saa kuitenkaan muodostua pullonkaulaksi. Materiaalin syöttö muodostuu pullonkaulaksi, kun se ei kykene syöttämään tai poistamaan kappaleita tarpeeksi nopeasti. (Wilson, 2015, pp. 40-41) Tarvittavien osien syöttöön on olemassa useita menetelmiä, mutta ne kuitenkin voidaan pääasiassa jakaa neljään ryhmään: mekaaniset syöttölaitteet, joustavat syöttölaitteet, makasiinityyppiset syöttölaitteet ja bin-picking. Kyseiset menetelmät eroavat toisistaan ja ne sopivat erilaisten kappaleiden syöttöön. Näistä täytyy siis validoida tapauskohtaisesti sopivin syöttömenetelmä. (Hansson, et al., 2017, p. 1) Kuitenkin syöttömenetelmää miettiessä tulee huolehtia siitä, että syöttölaitteen hinta säilyy pienenä, kun vertaillaan syöttölaitteen hintaa sen mahdollistamien kappaleiden syöttämiseen (Boothroyd, 2005, p. 175).

2.6.1 Makasiinityyppiset syöttölaitteet

Makasiinityyppinen syöttölaite tarjoaa monipuoliset ominaisuudet osien varastoimiseen ja syöttämiseen. Makasiinityyppisen syöttölaitteen etuna on se, että sen syöttämät osat ovat aina samansuuntaisesti robottiin nähden. Samalla sitä voidaan myös käyttää osien väliaikaiseen varastointiin, tuotannon puskurina ja siirtämiseen. Osat ovat lisäksi turvassa ulkopuolisilta vahingoilta niiden ollessa makasiinissa. (Boothroyd, 2005, pp. 174-178)

Makasiinityyppisiä syöttölaitteita on pääasiassa kahdenlaisia: makasiineja, joissa osa haetaan aina samasta kohti, ja makasiineja, joissa osan paikka vaihtuu niiden ollessa kiinteänä ryhmänä. Makasiineissa, joissa osat ovat kiinteänä ryhmänä, täytyy huomioida robotin ohjelmoinnissa, että poiminta ja irrotus tapahtuu oikeassa kohdassa makasiinin päätetyn kuvion mukaisesti. Tämänkaltaisia syöttölaiteita ovat tarjotinsyöttölaitteet ja poimintamatriisit. Samasta paikasta syöttävät makasiinityyppiset syöttölaitteet käyttävät gravitaatiota tai ulkoista voimaa, jotta syötettävä kappale siirtyy oikeaan kohtaan. Kun

taas makasiinissa, jossa syötettävän kappaleen paikka vaihtelee, on jokaiselle kappaleelle oma tarkka paikka (Kuva 7). (Boothroyd, 2005, pp. 175-178)



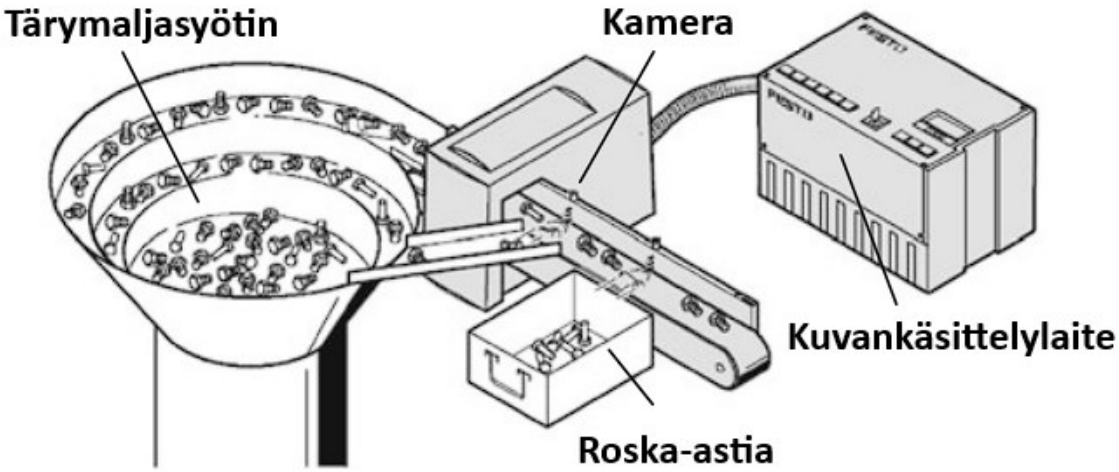
Kuva 7. Konepalvelurobotti, jossa on makasiinipohjainen syöttö. Kyseisessä syöttömenetelmässä haettavan kappaleen paikka vaihtelee, kappaleiden ollessa kiinteänä ryhmänä poimintamatriisissa. (FANUC America Corporation, 2018)

2.6.2 Mekaaniset syöttölaitteet

Mekaaniset syöttölaitteet eroavat makasiinipohjaisista syöttölaitteista siinä, että ne käyttävät ulkoista voimanlähdettä, kuten sähköä toimintaansa. Näissä on usein myös enemmän tilaa syötettäville osille ja osien lisääminen syöttölaitteeseen ei ole niin tarkkaa, koska syöttölaite muuttaa osien suuntauksen halutuksi. Mekaaniset syöttölaitteet kykenevät syöttämään prosessissa tarvittavia osia nopeasti ja varmasti. Tämän vuoksi niitä käytetään usein automaatioratkaisuissa ja varsinkin erinäiset tärysyöttimet ovat yleisiä. Itsessään jo tärymaljalla syötetään jopa 80 % automaatioratkaisujen osien syötöstä. Tärymaljasyöttimet kykenevät syöttämään osia niin, että ne ovat aina tietyssä orientaatiossa ja samalla kuitenkin tärysyöttimiä voidaan täyttää kaatamalla sinne osia satunnaisessa järjestyksessä. Tärymaljaa voidaan myös täyttää käyttämällä lineaarista tärysyötintä, josta osat tippuvat tärymaljaan. Kyseinen lineaarinen tärysyötin ei itsessään kykene muuttamaan osien suuntausta, vaan osat ovat satunnaisessa järjestyksessä ja suuntauksessa. (Wilson, 2015, pp. 43-45) Vaikka tärymalja onkin erittäin yleinen syöttömenetelmä automaatiossa, se ei kuitenkaan ole joustava syöttömenetelmä. Tärymalja

täytyy säätää erikseen käsin ja asentaa tiettyä osaa varten, eikä sillä voi syöttää toista osaa ilman sen geometrian muuttamista. Tämän vuoksi syötettävän osan vaihtuessa on usein tarpeen vaihtaa koko syöttöjärjestelmä, jos tärymaljaa käytetään syöttämiseen. Kuitenkin käyttämällä konenäköä tärymaljan yhteydessä osien orientaation tarkistamiseen, voidaan tärymaljan joustavuutta kasvattaa. Tällöin syöttöjärjestelmän konenäkö tunnistaa väärässä asennossa olevat osat ja palauttaa ne takaisin kiertoon. Näin ollen tärymaljan ei tarvitse olla niin tarkasti osakohtaisesti säädetty, mutta samalla menetetään tärymaljan syöttönopeutta. (Loy & Reinhart, 2010, pp. 358-359) Konenäköä voidaan soveltaa poimintasyöttimien käytössä, missä osia poimitaan kuvattavalta pinnalta, kuten lineaariselta tärysyöttimeltä. Tällöin robotti poimii oikeassa orientaatiossa olevat osat konenäön perusteella. Kyseisen kaltainen syöttömenetelmä on hyvin joustava, mutta se ei välttämättä toimi kappaleille, joista robotin on hankala tarrata kiinni. (Kolditz & Raatz, 2022, pp. 45-46)

Muita mekaanisia syöttölaitteita ovat askelsyöttimet ja keskipakovoimasyöttimet sekä näiden useat erilaiset muunnokset. Mekaanisissa syöttölaitteissa tulee kiinnittää huomioita enemmän syötettävien osien geometriaan, etteivät nämä tartu toisiinsa. Osien toisiinsa tarttumista edesauttavat osissa olevat avonaiset reiät ja osat sekä osien ulokkeet. Mekaanisissa syöttölaitteissa osat myös altistuvat mekaanisille voimille, kuten tärinälle, mikä voi vahingoittaa syötettäviä osia. (Boothroyd, 2005, pp. 96-130, 276-280)



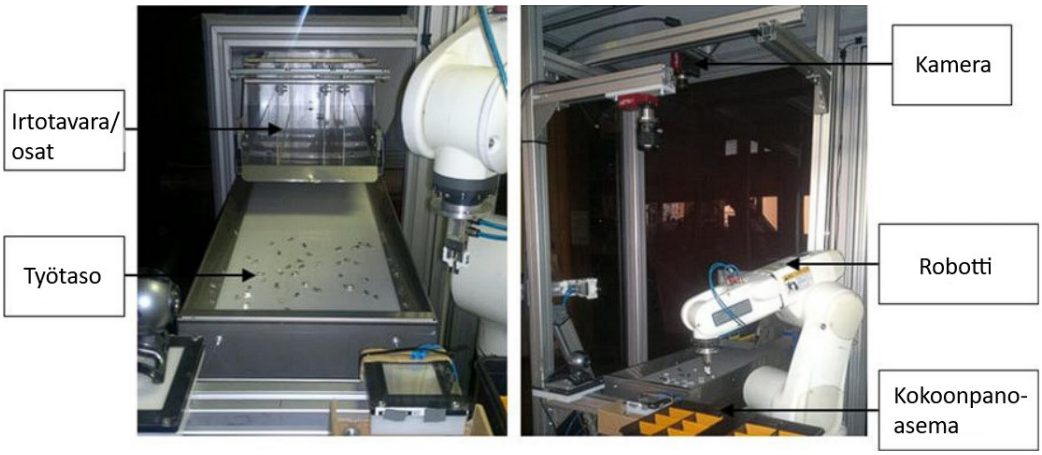
Kuva 8. Tärymaljasyötin, johon on kytketty konenäköratkaisu tarkistamaan osien orientaation ja eheyden (Loy & Reinhart, 2010, p. 358).

2.6.3 Joustavat syöttölaitteet

Joustavat syöttölaitteet pyrkivät olemaan paremmin hyödynnettävissä useampien osien syöttöön niin, ettei laitteeseen tarvitsee tehdä suuria muutoksia uuden osan syöttämistä varten. Eli se on syöttöjärjestelmä, mikä kykenee sopeutumaan eri osien syöttämiseen. Kyseessä on yleinen ongelma teollisuudessa, kun valmistettava tuote vaihtuu ja sille täytyy saada uudelleen konfiguroitua osien syöttö. Joustavilla syöttölaitteilla saadaan samalla uudelleenkonfigurointiaikaa vähennettyä. (Edmondson & Redford, 2001, p. 2279)

Kuitenkin usein joustavat syöttölaitteet, kuten tärymaljasyötin konenäköratkaisulla, syöttävät vain yhtä osaa kerrallaan robotille. Jos syöttölaite on kykeneväinen syöttämään vain yhtä osaa kerrallaan, tarvitaan robottisoluun niin monta syöttölaitetta kuin erilaisia osia on käytössä. Useat syöttölaitteet kasvattavat hankintakustannuksia ja laitteiston käyttöönoton aikaa, kun syötettävää osaa vaihdetaan. Tällöin voi olla järkevää hankkia täysin joustava syöttölaite. Täysin joustava syöttölaite kykenee syöttämään useita erilaisia osatyyppejä. Täysin joustavassa syöttölaitteessa osat levitetään irtonaisina sekaisin tärypöydälle, jossa ne tärähtelyn voimasta eroavat toisistaan ja uudelleen orientoituvat poimintaa varten. Myös liukuhihnaa voidaan käyttää. Tärypöydällä olevat osat tunnistetaan konenäöllä ja robotti poimii näistä tarvitsemansa. (Finetto, et al., 2014, pp. 797-799)

Täysin joustavan syöttölaitteen etuna on sen hinta ja pieni tilantarve, varsinkin jos syötettäviä osia on useita. Samalla se on myös nopeasti käyttöönotettavissa. Kuitenkin täysin joustavan syöttöjärjestelmän haittapuolena on sen syöttönopeuden hitaus, koska osien tunnistus ja poiminta vähentävät osien läpimenoa. Samalla myös tietyt osien muodot voivat olla hankalia tarttua tietyissä orientaatioissa. (Finetto, et al., 2014, pp. 797-799)



Kuva 9. Täysin joustava syöttölaite, jossa konenäkö tunnistaa osat tärypöydältä ja robotti poimii tarvittavat osat. Muokattu lähteestä (Finetto, et al., 2014, p. 799).

2.6.4 Bin-picking

Bin-picking syöttömenetelmässä poimitaan sekaisin laatikossa olevia osia konenäön ja robotin avulla. Vaikka sekaisin olevien osien poiminta kuulostaa yksinkertaiselta tehtävältä ihmiselle, se ei kuitenkaan ole yksinkertaista robotille. Kyseisessä menetelmässä ei voida tehdä oletuksia esineen asennosta ja esine saattaa olla osittain toisen alla. Kun robotilla poimitaan osia, tulee tietää niiden orientaatio, kallistus ja asema. Lisäksi osan hakemiseen täytyy löytää reitti, jossa vältytään ei-toivoituilta törmäyksiltä. Kyseistä ongelmaa on yritetty ratkoa siitä lähtien, kun robotit ja konenäkö ovat olleet käytössä teollisuudessa. (Buchholz, 2016, pp. 1-3) Bin-picking syöttömenetelmää onkin tutkittu jo pitkään yrittäen parantaa sen rajoitteita ja haasteita. Kuitenkin viime vuosina markkinoille on tullut useita 3D-konenäköjärjestelmiä, jotka kykenevät suorittamaan bin-picking syöttömenetelmää. Kuitenkin yleistymistä haittaa nykyisten bin-picking syöttömenetelmien hinta, joka estää syöttömenetelmän yleistymistä pienemmissä yrityksissä. Tähän on lähdetty etsimään ratkaisua hyödyntämällä halvempaa 3D-konenäkökameraa yhdistettynä tekoälyyn. (Torres, et al., 2022, pp. 1-3) Varsinkin viime vuosina tekoäly on kehittynyt nopeasti ja sen kehittämiseen käytetään entistä enemmän resursseja. Tekoälyn hyödyntäminen tuleekin entistä helpommaksi ja tehokkaammaksi tulevaisuudessa.

Kuva 10. Bin-picking tapaus, jossa robotti poimii osia konenäön avulla. (HowToRobot, 2020)

Konenäkö on tärkeässä osassa, kun käytetään bin-picking syöttömenetelmää. Konenäköä hyödyntämällä saadaan ympäristöstä tietoa ilman kosketusta kappaleisiin. Yleisesti työskentely-ympäristöä kuvataan 3D-kameralla. 3D-kameraa hyödyntämällä saadaan syvyystietoa kappaleesta, toisin kuin 2D-kameralla tätä tietoa ei saada. Kuitenkin konenäöllä voi olla ongelmia kappaleiden tunnistamisessa. Kappaleiden pinnan materiaali voi olla heijastavaa ja antaa väärää tietoa kappaleista tai vaihtoehtoisesti kuvaan voi jäädä varjoja. (Buchholz, 2016, pp. 20-21) Kappaleiden tunnistamiseen vaikuttaa huomattavasti myös konenäköjärjestelmän kappaleiden tunnistuksen opetus. Tämän vuoksi kappaleiden tunnistamisen opettamiseen ja käytettyihin algoritmeihin tulee kiinnittää huomiota. Kuitenkin kappaleiden tunnistamisen kannalta tekoäly on päätekijä bin-picking syöttömenetelmän onnistumisen takana, joten käytettävien tekoälyn algoritmien täytyy olla oikeat. (Torres, et al., 2022, pp. 5,13)

Bin-picking syöttömuodon ongelmia, kuten törmäyksen estämistä, on tutkittu eri näkökulmista katsoen, mutta mitään yleistä ratkaisua ei ole löydetty. Jotkut menetelmät rajoittuvat tiettyihin kappaleen geometrian piirteisiin ja osa luottaa koneoppimiseen, mutta tämä vaatii huomattavasti opetusdataa ja aikaa. Kyseiset menetelmät eivät myöskään ole täysin varmoja syöttömenetelmiä, kun tarkoituksena on poimia yksittäinen osa isosta kasasta. Osa haasteista muodostuu myös siitä, että vaikka kappale saataisiin turvallisesti poimittua, se voi olla takertunut muihin osiin. Marius Moosmannin tekemässä tutkimuksessa (Moosmann, et al., 2020), joka käsitteli kahta bin-picking toimintaa tekevää robottia, huomattiin, että 8,5 % poiminnoista epäonnistui osien toisiinsa takertumisen takia. Eniten osien toisiinsa takertumista voidaan välttää osien geometrialla ja sen suunnittelulla, mikä vähentää osien toisiinsa takertumista. Moosmann ehdottaa tutkimuksensa perusteella itse 3D-kuvan tietojen perusteella tehtävää algoritmista laskentaa ja kappaleen pisteytystä. Kyseisellä menetelmällä saatiin hyviä tuloksia, mutta siinä on vielä jatkokehitettävää toisiinsa takertuneiden osien toisistaan irrottamisen osalta. (Moosmann, et al., 2020)

3. LÄHTÖTILANNE JA KONSEPTIN SUUNNITTELU

Konepalvelurobotin suunnittelua lähdettiin selvittämään hyödyntämällä haastatteluja Savon alueen kolmessa eri yrityksessä. Myös kirjallisuudesta etsittiin aiheeseen liittyvää tietoa ja tutkimalla jo markkinoilla olevia vastaavia konepalvelurobotteja.

3.1 Tutkimuksen suunnittelu ja toteuttaminen

Tutkimuksia lähdettiin toteuttamaan asiakashaastatteluin, kirjallisuustutkimuksin ja vastaavien jo markkinoilla olevien laitteiden vertailevalla analyysillä.

3.1.1 Asiakashaastattelut

Haastattelut tehtiin puolistrukturoidusti, luvussa *1.5.3 Puolistrukturoitu haastattelu* esitellyn haastattelumenetelmän mukaan. Asiakashaastatteluja varten tehtiin kysymyslista (Liite A), jonka pohjalta esitettiin jokaisessa yrityksessä samat kysymykset. Kysymyslistauksen oli tärkeä olla samanlainen jokaisessa haastattelussa, jotta saadut vastaukset olisivat toisiinsa vertailtavissa. Tällöin voitiin myös käydä kysymysten ohessa keskustelua aiheeseen liittyvistä asioista ja keskustella vapaammin aiheesta. Haastattelujen vastaukset kirjattiin järjestyksessä ylös.

Haastateltavilta yrityksiltä kysyttiin kysymyksiä liittyen konepalvelurobottiin ja heidän tuotannossaan tarvittaviin ominaisuuksiin. Asiakashaastattelujen ohessa tutustuttiin yrityksen toimintaan ja käytiin tutustumiskierroksella tuotantotiloissa, jossa myös esitettiin kysymyksiä nykyisistä laitteista. Saatujen tietojen perusteella voitiin lähteä suunnittelemaan konepalvelurobotille sopivaa konseptia, jota voitaisiin markkinoida asiakkaille.

Yritykset toimivat metalliteollisuuden alalla, pääasiassa koneistuksiin liittyen. Yhdessä Savon Automaation edustajan kanssa nähtiin, että kolmesta yrityksestä saataisiin jo tarpeeksi materiaalia ja suuntausta, minkälaisesta konepalvelurobotista olisi kysyntää. Valitut yritykset ovat myös tarkoituksella erikokoisia, jotta saataisiin tietoa erikokoisten yritysten tarpeista. Haastateltavat yritykset sijaitsivat Savon alueella ja näitä kutsutaan jatkossa yritys A-, B- ja C-nimityksillä. Haastateltavien yrityksien liikevaihto oli yrityksen A noin 55 miljoonasta eurosta yrityksen C 2,5 miljoonan euron liikevaihtoon. Haastateltavista yrityksistä kaksi oli keskittynyt erilaisiin sopimusvalmistuksiin koneistettavissa tuotteissa ja osissa. Kolmannessa yrityksessä valmistettavat tuotteet myös vaativat koneistusta, mutta koneistettavat tuotteet olivat omia tuotteita ja osia. Kyseiset kolme yritystä

valikoituivat haastatteluihin näiden ollessa Savon Automaation tuntemia isompia toimijoita, joilla on jo kokemuksia konepalveluroboteista. Yritykset sijaitsivat Savon alueella Savon Automaation läheisyydessä ja yrityksiin saatiin sovittua haastatteluajat, vaikka haastattelut tapahtuivatkin kesällä. Yritysten mahdollinen tarve uusille konepalveluroboteille ja mahdollinen konepalvelurobotin markkinointi yrityksille oli myös osasyynä kyseisten yrityksien valintaan.

3.1.2 Vertaileva analyysi

Kilpailijoiden vastaavia laitteita analysoitiin jo asiakashaastattelujen aikana, kun vierailtiin yrityksissä. Tällöin voitiin tutkia kilpailijoiden valmistamia laitteita ja kysyä yrityksiltä suoraan heidän mielipiteitään laitteista ja kyseisten laitteiden heikkouksista sekä näiden hyvistä puolista. Tämä antaa tärkeää tietoa laitteista, koska kyseistä tietoa laitteiden heikkouksista ei ole juurikaan Internetistä saatavissa. Saadut kommentit ovat myös suoraan käyttäjiltä saatuja, eikä näitä kaunisteltu laitteen valmistajan puolesta. Samalla voitiin kysyä yrityksistä, mitä erilaista ja samankaltaista he haluaisivat konepalvelurobotilta, kuin mitä heidän nykyisissä konepalveluroboteissaan on.

3.1.3 Tuloksien kokoaminen ja yhdistäminen konseptiin

Tutkimuksista saaduilla tuloksilla saadaan ratkaisu pääkysymykseen, millainen konepalvelurobottikonsepti ratkaisee asiakkaan yleistetyn ongelman ja edetään kohti konseptinsuunnittelua. Suunniteltava konsepti pyritään suunnittelemaan niin, että se noudattaisi tutkimuksissa saatuja tuloksia ja täten olisi myös potentiaalisia asiakkaita kiinnostava. Kuitenkin kompromisseja voidaan joutua tekemään mahdollisesti risteävien haastattelutuloksien vuoksi. Lopputuloksena tulisi olla konsepti, jota voidaan markkinoida yrityksille.

3.2 Asiakastarpeet konepalvelurobotilta

Asiakkaiden tarpeita ja mielenkiinnon kohteita lähdettiin tutkimaan käymällä yrityksien kanssa haastatteluja aiheesta. Jokaisessa yrityksessä oli jo käytössä konepalvelurobotteja, joten aiheena konepalvelurobotti oli tuttu yrityksille.

3.2.1 Asiakashaastattelut

Ennen puolistrukturoituja haastatteluja jokaisessa yrityksessä tehtiin tutustumiskierros itse koneistushallissa ja myös kierroksen aikana esitettiin kysymyksiä. Kierroksen aikana esitetyt kysymykset olivat kuitenkin epävirallista keskusteluhaastattelua, kuten luvussa *1.5.2 Epävirallinen keskusteluhaastattelu* asia on selitetty. Kyseisen haastattelumenetelmän etuna oli se, että se mahdollisti kysymysten esittämisen reaaliajassa tutustumiskierroksen ohessa. Samalla voitiin laittaa ylös asioita, jotka jäivät mietityttämään ja näistä asioista voitiin keskustella tarkemmin virallisemman puolistrukturoidun haastattelun yhteydessä ilman tuotantotilojen häiriötekijöitä. Yritysten tekemiin koneistuksiin ja koneistusmenetelmiin liittyen heräsikin useita kysymyksiä itse tutustumiskierroksen aikana. Tutustumiskierroksen aikana ylös kirjatuissa vastauksissa on kattavasti tietoa siitä, miten kyseisissä yrityksissä tehdään eri asioita roboteilla ja millaisia haasteita on noussut esiin. Kuitenkaan keskusteluhaastattelussa esitetyt kysymykset eivät ole samoja jokaisessa yrityksessä, koska kysymyksiä keksittiin tutustumiskierroksen ohessa. Näiden osalta saadut vastaukset eivät välttämättä ole täysin vertailtavissa. Tutustumiskierroksella huomio kiinnittyi myös yrityksien erilaisiin työstökoneisiin, joista osa oli vanhempia osa uudempia. Vanhemmissa työstökoneissa ei välttämättä ole suoraan tarvittavia paikkoja konepalvelurobotin signaaleille, eikä tämä myöskään ole varmaa edes uusien koneiden kohdalla. Kuitenkin yrityksissä oli konepalvelurobotteja toiminnassa eri-ikäisillä työstökoneilla ja tarvittavat signaalit konepalvelurobotin toimintaan oli saatu eri menetelmiä hyödyntäen.

Puolistrukturoidussa haastattelussa saatiin selville, mitä ominaisuuksia ja asioita konepalvelurobotilta halutaan. Konepalvelurobotilta toivottiin joustavuutta, helppoa ja nopeaa ohjelmointia ja luotettavuutta. Nämä siis muodostuivat konepalvelurobottia suunnitellessa tärkeimmiksi tekijöiksi, joita miettiä. Kuitenkin robotille toivottiin myös hyvää huoltoverkostoa, jossa varaosia on saatavissa pitkäksi aikaa ja nopeasti. Myös kompaktia kokoa toivottiin, jotta robotti olisi siirreltävissä.

Tehdyissä asiakashaastatteluissa kävi myös ilmi, että asiakkaiden mielipiteet erosivat toisistaan robottityyppien osalta. Jokaisessa yrityksessä käytetään 6-akselisia nivelvarsirobotteja. Kuitenkin yritys C hyödyntää ainoastaan yhteistyörobotteja ja aikoi myös tulevaisuudessa hankkia näitä. Yritys A vastaavasti hyödyntää ainoastaan teollisuusrobotteja, jotka sopivatkin paremmin nopeaan massatuotantoon. Yritys B hyödyntää pääasiassa teollisuusrobotteja, mutta yksi konepalvelutyötehtävä on toteutettu yhteistyörobotilla hyvin tuloksin.

Yhteistyörobotin etuna konepalveluroolissa on sen turvallisuus ja pisteiden opettamismahdollisuus siirtämällä robottia käsin. Tämän vuoksi yhteistyörobotti voikin olla roboteista tietämättömälle helpompi lähestyä. Yhteistyörobotilla voitaisiin myös hyödyntää voimantunnistusta poimittavien osien etsinnässä. Kuitenkin yhteistyörobottien maksimikuormat ovat pienehköjä. Yritys B kaipasi nykyisen, 35 kg maksimikuorman nostokyvyn omaavan teollisuusrobotin tilalle isompaa robottia. Robottien valmistaja Fanuc mainostaa omaa CR-35iB yhteistyörobottiaan maailman vahvimmaksi 35 kg nostokyvyllään (Fanuc, 2022). Näin ollen yhteistyörobotilla ei päästä yritys B:n haluamaan yli 35 kg kuormaan. Yritys C hyödynsi Universal Robotsin valmistamia yhteistyörobotteja ja näissä oli 16 kg maksimikuorman nostokyky, joka juuri riitti heidän tarpeisiinsa ja isompaa oli jo mietitty. Yritys A luotti teollisuusrobotteihin, eikä erityisesti osoittanut mielenkiintoa yhteistyörobotteihin ja mainitsi näiden mahdollisia ongelmia konepalvelukäytössä. Ongelmaksi mainittiin yhteistyörobottien 6-akselin tiivisteiden leikkuunesteen kesto, mikä ajan kuluessa tunkeutuu tiivisteistä läpi aiheuttaen ongelmia ja osien rikkoontumista. Tämä ongelma tuli yritys B:n ja C:n luona myös esille heidän yhteistyöroboteissansa, joissa oli ollut ongelmia robotin viimeisen 6-akselin tiiviydessä.

3.2.2 Nykyiset markkinoilla olevat laitteet

Markkinoilla on jo useita erilaisia konepalvelurobotteja ja myös haastatelluilla yrityksillä, oli useita erilaisia konepalvelurobotteja. Markkinoilla olevia valmiita konepalvelurobottisoluja myyviä valmistajia ovat esimerkiksi Fastems ja Cellro. Kuitenkin monet robotiikkaalan yritykset tarjoavat mahdollisuuksia konepalvelurobottisolun valmistamiseen erilaisiin tarkoituksiin. Erilaiset käyttötarkoitukset vaativat myös hieman erilaisia ominaisuuksia konepalvelurobottijärjestelmältä. Yrityshaastatteluissa yksi esiin tullut eroava ominaisuus konepalvelussa oli erilaiset koneistettavat osat ja näiden yrityskohtaisesti vaihteleva paino. Koneistettavien osien paino luo vaatimuksen valittavan konepalvelurobotin maksimikuorman nostokykyyn.

Myös työstökoneiden valmistajat, kuten Haas, markkinoivat omia koneitaan niihin liitettävien robottien kytkemisen helppoudella. Samalla valmistajat voivat tarjota suoraan kytkentäohjeita, miten konepalvelurobotti tulisi kytkeä heidän valmistamaansa työstökoneeseensa (Haas, n.d.). Työstökoneen hankintaa suunnittelevalle yritykselle kyseisenkaltainen markkinointi voikin olla tärkeää ja yrityshaastatteluissa esiin nousikin, että uusia työstökoneita hankittaessa niihin tulee voida kytkeä robotti. Edes uusiin työstökoneisiin ei ole välttämättä tehty konepalvelurobottia varten tarvittavia kytkentäpaikkoja, vaan ne

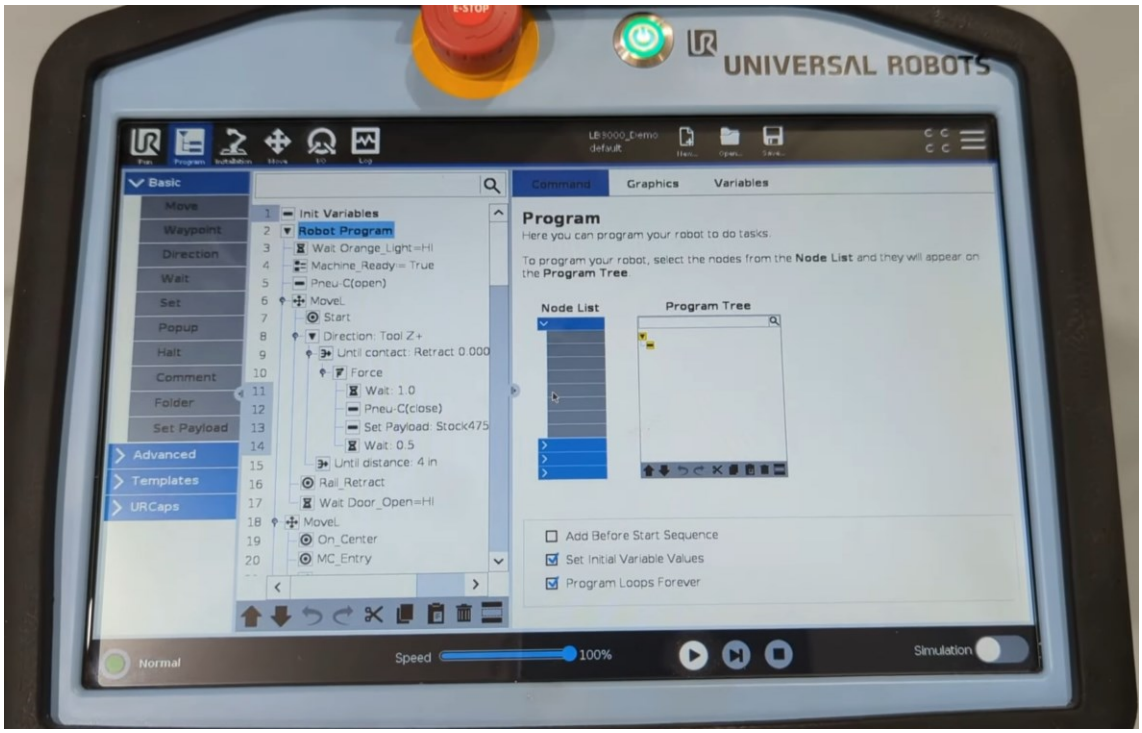
myydään lisävarusteina. Yrityksissä olikin käytössä työstökoneita, joita ei oltu alun perin tarkoitettu konepalvelulla automatisoivaksi. Tällöin työstökoneesta täytyi itse tehdä konepalvelurobotille sopiva ja automatisoida tiettyjä toimintoja, kuten koneen käynnistys muilla tavoin.

Yrityksissä olleissa konepalveluroboteissa oli toisiinsa nähden erilaisia ohjelmointimenetelmiä. Osan konepalveluroboteista ohjelmointi oli yrityksen edustajien mukaan helppoa ja nopeaa vieden noin 15–30 minuuttia. Ohjelmoinnin helppous yhdistettynä sen nopeaan toteuttamiseen mahdollistaakin myös pienien, 15–20 kappaleen sarjojen tuotannon automatisoinnin. Kuitenkin joissakin koneissa ohjelmointi vei jopa useamman tunnin, minkä takia konepalvelurobotin käyttöä ei nähty hyödylliseksi pienissä valmistussarjoissa.

3.3 Parametrisointi ja ohjelmoinnin yksinkertaistaminen

Asiakashaastatteluissa yksinkertainen ohjelmointi nousi esiin kaikissa yrityksissä. Yksinkertainen ohjelmointi mahdollistaisi yleisesti nopeamman ohjelmoinnin, mikä puolestaan mahdollistaisi myös pienempien sarjojen valmistuksen automatisoinnin. Yrityksessä A valmistettavat tuotteet ovat samoja tuotteita ja näille löytyikin jo nykyisistä laitteista valmiit ohjelmat, jotka voitiin ottaa käyttöön nopeasti. Yrityksissä B ja C tehdään sopimusvalmistusta ja valmistettavat kappaleet vaihtelevat päivittäin, joten yksinkertainen ohjelmointi on heille suuri etu. Nykyisten konepalvelurobottien ohjelmointi koettiin yrityksissä pääasiassa helpoksi ja koneiden käyttäjät oli jo koulutettu tähän.

Markkinoilla jo olevissa konepalveluroboteissa hyödynnetään usein erilaisia valmistajien kehittämiä käyttöliittymiä. Käyttöliittymät ovat graafisia ja ne neuvovat käyttäjää samalla ohjelmoimisessa, joten ne ovat helppoja ja intuitiivisia käyttää. Yritys C omistaa useita Universal Robotsin valmistamia yhteistyörobotteja, jotka suorittavat konepalvelutyötä. Näissä roboteissa on graafinen käyttöliittymä. Käyttöliittymä hyödyntää Universal Robotsin Wizard-pohjaista ohjelmointia (Kuva 11). Tämä Wizard-pohjainen ohjelmointi on selkeä ja neuvoo käyttäjää, mitä mistäkin valikosta tapahtuu. Ohjelmaa tehdessä edetään sivussa näkyvän ohjelmapuun mukaan eteenpäin kohta kerrallaan. Samalla siitä pystyy ohjelmoimaan makasiinin mitat ja sen mistä kappaleet haetaan. Samalla käyttöliittymä neuvoo, miten tämä tehdään. Yritys B omistaa Cellron valmistamia konepalvelurobotteja. Myös näissä on oma graafinen käyttöliittymä, jossa on Wizard-pohjainen ohjelmointi. Cellron valmistamat konepalvelurobotit ovat teollisuusrobotteihin perustuvia, mutta silti niiden ohjelmointi on saatu yksinkertaiseksi ja helpoksi hyvällä käyttöliittymäsuunnittelulla.



Kuva 11. Universal Robotsin Wizard-pohjainen ohjelmointi konepalvelurobottina. Robotin ohjelmointi tapahtuu käymällä järjestyksessä läpi sivussa näkyviä valikoita, joista neuvotaan samalla käyttäjää yksityiskohtaisesti ohjelmien tekemiseen. (Youngers, 2023)

Erinäiset robottien valmistajat, kuten ABB, tarjoavat suoraan integroituja ohjelmistoja roboteille, jotka on tarkoitettu konepalveluun. Näillä ohjelmistoilla saadaan ohjelmointia yksinkertaistettua, joustavuutta ja parempaa tuottavuutta (ABB, n.d.). Kuitenkaan ABB:n OmniCore FlexPendant -käsiohjaimille ei ole vielä konepalveluohjelmistoa. Kyseisille käsiohjaimille ei ole tällä hetkellä myöskään tulossa kyseistä ohjelmistoa, vaan ABB luottaa siihen, että käyttäjät voivat itse tarvittaessa tehdä omanlaisensa käyttöliittymän FlexPendant-käsiohjaimeen. (Pellikka & Jämsä, 2023)

ABB yhtiön tekemässä tutkimuksessa mainitaan, että yksinkertaiseen materiaalinkäsittelyyn LTP-menetelmä yhdistettynä yksinkertaiseen robotin käsiohjaimen käyttöliittymään on erittäin tehokas käyttää. LTP-pohjaiset menetelmät ovatkin tutkimuksen mukaan parhaimmillaan, kun ohjelmoitavia pisteitä on alle 50. Kuitenkin LTP-pohjaisten menetelmien hyödyntäminen voi muodostua hankalaksi, jos robotti täytyy ohjata kulkemaan monimutkaisten useista pisteistä muodostuvien reittien läpi. Tällöin CAD-pohjaiset ohjelmointimenetelmät voivat olla nopeampia käyttää. Kuitenkin kokemattomalle robottien ohjelmoijalle voivat LTP-pohjaiset menetelmät olla yksinkertaisempia käyttää. Käyttäjän ei samalla tarvitse myöskään osata käyttää erillisiä CAD-ohjelmia. (Rossano, et al., 2013, p. 6)

Käyttämällä robotin käsiohjaimessa graafista käyttöliittymää, käyttäjän ei tarvitse välttämättä osata enää robotin omaa tekstipohjaista ohjelmointikoodia. Graafinen käyttöliittymä voidaan ohjelmoida estämään käyttäjiä tekemästä ohjelmointivirheitä, estäen ohjelmoijaa yhdistämästä toimilohkoja, jotka ovat syntaktisesti vääriä. Graafisessa käyttöliittymässä näin ollen on osaamattomalla ohjelmoijalla pienempi todennäköisyys virheisiin. Tämän kaltaiset graafiset käyttöliittymät ovatkin ohjelmoinnista tietämättömälle käyttäjälle yksinkertaisia käyttää yksinkertaisten ohjelmien tekoon. Kuitenkin tämä on samalla näiden käyttöliittymien rajoite. Kehittyneempi robotin ohjelmoija ei välttämättä löydä haluamiaan ominaisuuksia. Ominaisuudet voidaan ohjelmoida mukaan, mutta se kasvattaa ominaisuuksien määrää, jolloin käyttäminen vaatii enemmän opettelua ohjelmoinnista tietämättömälle. Myös virheenkorjausominaisuudet voivat olla rajoittuneita graafisessa käyttöliittymässä, jos sen tekemää tekstipohjaista ohjelmointikoodia ei päästä tarkastelemaan. Vaikka ohjelmakoodia päästäisiinkin tarkastelemaan, siihen voi olla hankala tehdä korjauksia ja tällöin graafinen ohjelmointi voi olla este osaaville robotin ohjelmoijille. (Rossano, et al., 2013, p. 7)

Robotin ohjelmoinnissa robotin käsiohjain voi myös antaa ohjelmoijalle tietoa siitä, miten ohjelmointia tehdään ja mistä aloitetaan. Tämä on varsinkin kokemattomille ohjelmoijille suuri apu. Tämänkaltaisia aputoimintoja voidaan tarjota valmiiden konfiguraatioiden sekä sapluunoiden, Wizard-pohjaisilla ja kirjastopohjaisilla ohjelmointimenetelmillä. Näistä menetelmistä eivät kuitenkaan kehittyneemmät robottien ohjelmoijat yleensä saa suurta apua robotin ohjelmointiin, vaan tämänkaltaiset menetelmät voivat ollakin hidaste, jos haluttua erikoisominaisuutta ei suoraan löydy. (Rossano, et al., 2013, p. 7)

Konepalvelurobottikäytössä robotilla ei ole suurta määrää ohjelmointipisteitä, joiden kautta sen tulee kulkea. Työtehtävät ovat yksinkertaisia kappaleen kuljettamisia pisteestä toiseen, kuitenkin mahdollisten apupisteiden kautta, jotta törmäysriskiä vähennetään. Tämän vuoksi konepalvelussa toimivat hyvin LTP-pohjaiset ohjelmointimenetelmät yhdistettynä graafiseen käyttöliittymään. Tällöin robotin käyttäjä liikuttaa itse robotin käsin tai robotin ohjauslaitteella haluttuun pisteeseen, joka tallennetaan. Konepalvelussa käytettävät ohjelmat ovat myös yleensä samankaltaisia. Tämän vuoksi kannattaakin tehdä konepalvelurobotille perusohjelma, jota voidaan muokata eri kappaleille käytettäväksi. Tämä helpottaa ja nopeuttaa seuraavien ohjelmien ohjelmointia eri kappaleille. Kuitenkin tärkeintä on rohkaista robotin ohjelmoinnista tietämätöntä kokeilemaan ohjelmointia toisen neuvoessa ja pienentää kynnystä ohjelmoinnin opettelemiseen.

3.4 Kappaleiden syöttömenetelmä

Konepalvelurobotin kappaleiden syöttömenetelmiksi voidaan kehittää useita erilaisia menetelmiä. Syöttömenetelmän tulee olla helposti muokattavissa myös erilaisille kappaleille ja materiaaleille, mikä asettaa rajoitteita syöttömenetelmälle. Sopivaa kappaleiden syöttömenetelmää tutkittiin niin asiakashaastattelulla yrityksissä kuin myös tutkimalla jo markkinoilla olevia laitteita ja näiden syöttömenetelmiä.

3.4.1 Asiakashaastattelu syöttömenetelmistä

Asiakkaita haastateltiin tutustumiskierroksella yrityksen toimitiloissa vieraillessa ja samalla kysyttiin ja katsottiin, mitä syöttömenetelmiä heillä on nyt käytössä. Samalla kysyttiin myös heidän näkemyksiään nykyisistä syöttömenetelmistä ja niiden toimivuudesta. Ovatko nämä syöttömenetelmät heidän mielestään positiivisia ratkaisuja tai muuttaisivatko he jotain nykyisistä syöttömenetelmistä?

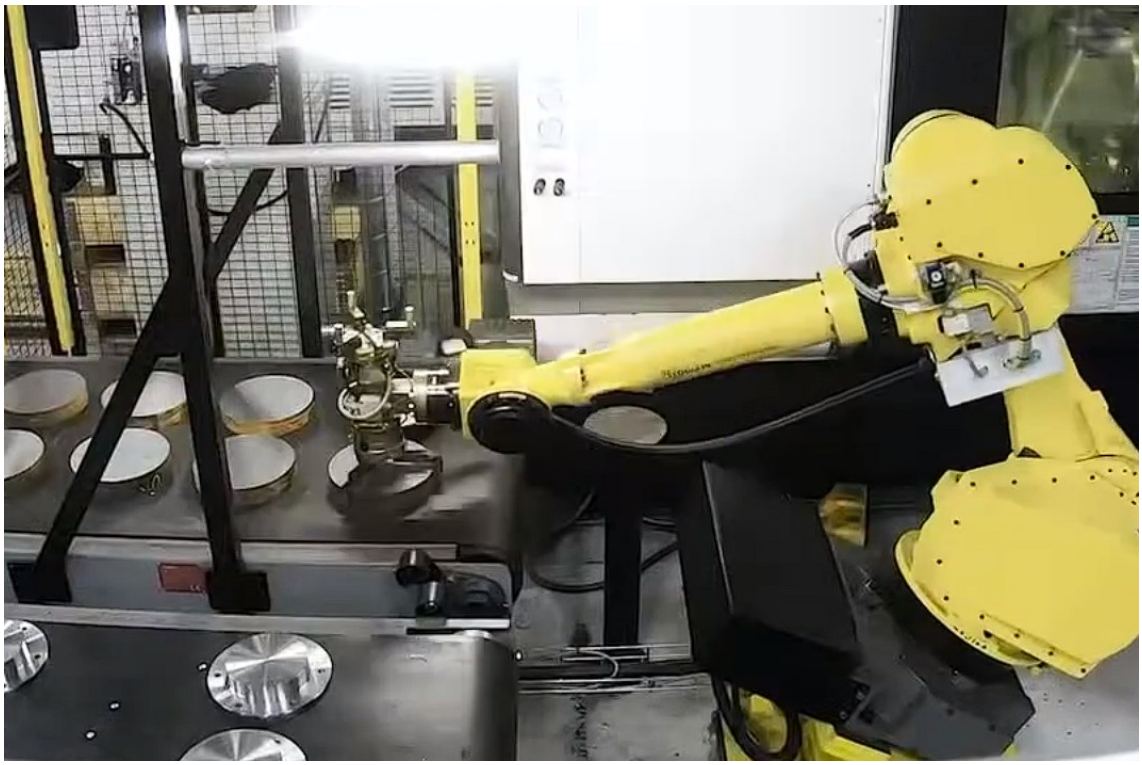
Tutustumiskäynneillä käydyissä yrityksissä on pääasiassa makasiinipohjaisia syöttömenetelmiä. Näistä makasiinipohjaisista syöttömenetelmistä osa on myös gravitaatioavusteisia samasta paikasta syöttäviä laitteita, mikä helpotti robottien ohjelmointia. Yrityksessä C on CNC-jyrsimillä käytössä myös konenäköä, jolla poimittavien osien sijaintia haettiin yhdessä yhteistyörobotin voimantunnistuksen kanssa. Yhteistyörobotin voimantunnistuksella voitiin hakea poimittavien kappaleiden Z-suuntaista korkeutta. Z-suuntaista korkeutta ei saatu käytettävällä konenäköjärjestelmällä, joka hyödynsi 2D-kameraa.

Yrityksien mielipiteitä erilaisista syöttömenetelmistä kysyttäessä nousi esiin halu mahdollisimman yksinkertaiseen kokonaisuuteen. Yksinkertaisuutta perusteltiin sillä, että siinä on vähemmän vioittuvia osia ja mahdollisuuksia häiriöihin. Yksinkertaisen järjestelmän ohjelmointi voi olla myös yksinkertaisempaa, jos järjestelmä ei hyödynnä monia eri teknologioita poimittavan kappaleen etsinnässä. Samalla yksinkertainen järjestelmä voi mahdollistaa halvemman hinnan. Haastatteluissa nousi esiin myös se, että pyrittäisiin varmistamaan mittoja mahdollisimman paljon manuaalisesti, jolloin voitaisiin välttyä konenäön käyttämiseltä. Yritys A hyödyntää konenäköä laajasti pitkälti automatisoidussa tuotannossaan. Kuitenkin haastateltu yrityksen edustaja välttäisi tekniikan tuomista konepalvelurobottiin, jos se on mahdollista. Yrityksen C edustaja kuitenkin näki konenäön positiivisena, vaikkei heillä tästä ollut juurikaan kokemusta ja nykyisten järjestelmien kanssa oli ollut ongelmia. Yritys B:n edustaja otti konenäön tuonnin konepalvelurobottiin neutraalisti ja tunnisti konenäön tuomat edut, mutta samalla näki sen hankaloittavan ohjelmointia ja nostavan hintaa.

3.4.2 Vertaileva analyysi vastaavien konepalvelurobottien syöttömenetelmistä

Markkinoilla olevat laitteet käyttävät pääasiassa makasiinipohjaisia syöttömenetelmiä. Joissakin markkinoilla olevissa laitteissa on myös pyritty lisäämään makasiinin kapasiteettia ja joustavuutta käyttämällä useampi kerroksisia avautuvia hyllyjä, joihin osat laitetaan. Tämänkaltaisen syöttömenetelmän etuna on sen helppo täytettävyys, kun hylly voidaan avata myös robottisolun ulkopuolelle. Kun makasiinina toimiva hylly voidaan avata robottisolun ulkopuolelle, voi robotti tehdä työtään turvallisesti samalla, kun makasiinia täytetään. Kuitenkin kyseisen menetelmän rajoituksena on hyllylle mahtuvien kappaleiden koko.

Osa markkinoilla olevista konepalvelurobottisoluista on automatisoitu pidemmälle ja käyttää monimutkaisempia syöttömenetelmiä. Robottisolut voivat olla varustettuja liukuhihnoilla, jotka tuovat osia robotille ja toinen liukuhihna kuljettaa valmiit osat pois. Liukuhihnoilla toimivat syöttölaitteet mahdollistavat osien poimimisen aina samasta kohdasta, jos liukuhihna osaa keskittää osan tiettyyn pisteeseen. Tämä helpottaa ohjelmointia. Myös konenäköä voidaan hyödyntää osien poiminnassa liukuhihnalta, jolloin keskittämistä ei tarvita.



Kuva 12. Liukuhihnalta tapahtuva konenäköä hyödyntävä kappaleiden syöttömenetelmä (JTA Connection, 2021).

Yrityksissä A ja B on käytössä myös suoraan lastauslavoilta syöttö. Näissä lastauslavoissa on merkitty väljästi paikat, joihin syötettävä kappale asetetaan. Kuitenkaan useampaan kerrokseen aihioiden asettamista ei hyödynnetty. Itse lastauslavalle on tehty lattiaan lastauslavan keskittävät metalliohjurit, jotka keskittivät lastauslavan noin 1–2 cm tarkkuudella. Jotta tämänkaltainen syöttömenetelmä on saatu tarkaksi ilman konenäköä, poimitaan kappale lavalta erilliseen keskittävään jigiin. Keskittävässä jigissä kappale asetettiin robotin avustamana telineeseen, jossa kappale oli X-, Y- ja Z-suunnissa tuettuna, jolloin kappaleen tarkka sijainti oli tiedossa.

3.5 Asiakasvaatimukset ja tarpeet konseptille

Asiakkaille tehtyjen haastattelujen ja vastaavien laitteiden analysoinnin pohjalta voitiin määrittää konseptille sopivat asiakasvaatimukset. Suunniteltavan konepalvelurobottikonseptin tulisi olla helposti ja nopeasti ohjelmoitavissa. Tällöin konepalvelurobottia voitaisiin myös hyödyntää pienien kappalesarjojen valmistamiseen. Samalla konepalvelurobotin käyttö ja käytön oppiminen nähtäisiin hyödyllisemmäksi ja nopeammaksi yrityksessä. Konepalvelurobotin tulisi olla myös yksinkertainen ja luotettava.

Yritykset näkivät konepalveluun parhaimmaksi syöttömenetelmäksi makasiinipohjaisen syöttömenetelmän. Makasiinipohjainen syöttömenetelmä nähtiin yksinkertaisena, halpana ja ennen kaikkea varmatoimisena. Samalla myös mahdolliset kappaleiden keskittämiset ja paikoitukset toivottiin tehtävän manuaalisesti, ilman konenäköä.

Konepalvelurobotilta toivottavaan kuormannostokykyyn ei saatu yksittäistä vastausta. Yrityksissä on käytössä erikokoisia robotteja. Pienimmät käytetyt robotit ovat 16 kg kuormannostokyvyllä olevia Universal Robotsin valmistamia yhteistyörobotteja, nostokyvyn ollessa käytön aikana rajoilla. Samalla myös yrityksessä B käytössä oleva, 35 kg kuormannostokyvyllä oleva teollisuusrobotti on käymässä pieneksi nostokyvyn osalta. Yritys A valmisti myös painavia tuotteita, joten sekin tarvitsi teollisuusrobottia nostettavien kuormien vuoksi.

3.6 Konseptin suunnittelu

Konepalvelurobotin konseptia lähdettiin suunnittelemaan asiakashaastatteluissa saatujen toivomusten, keskustelujen ja markkinoilla olevien laitteiden pohjalta.

3.6.1 Robottityyppi

Robottityypin valinnassa painotettiin sitä, että se on toimiva sen roolissaan konepalvelurobottina, eikä roiskuva leikkuuneste aiheuta ongelmia nivelissä. Tämän vuoksi robotin valinta suunnattiin teollisuusrobotteihin, koska asiakkailla oli jo ollut ongelmia yhteistyörobottien kanssa. Myös yrityksissä käytettävät kappaleet ja näiden paino voivat olla ja ovat ongelma yhteistyöroboteille, joita ei markkinoilla ole suurella kuormannostokyvyllä. Kuitenkaan johtuen yrityksissä käytettävistä eripainoisista kuormista, ei yksittäinen robotti ole välttämättä kaikille yrityksille paras vaihtoehto. Tämän vuoksi konseptiin valittavan robotin tulisi olla skaalautuva tai ainakin helposti skaalattavissa, jotta samaa konseptia voitaisiin hyödyntää laajemmin.

Mitään robottivalmistajaa ei suoraan suljettu ulos, mutta kuitenkin valinnan taustalla vaikuttavat myös konseptiin kuulumattomat asiat, kuten eri robottivalmistajien robottien saatavuudet. Tässä tapauksessa työn tilaajan puolesta keskitytään ABB:n valmistamiin robotteihin. Konepalvelurobottikonseptiin päätettiin valita ABB:n valmistama IRB 5710-90/2.7 teollisuusrobotti. Kuitenkaan konseptia ei tähän täysin sidottu, jolloin konseptia voidaan markkinoida erikokoisilla ABB:n valmistamilla roboteilla. Robotissa täytyy olla vastaava ohjausjärjestelmä, jotta sen turvallistamiseen ja ohjelmoimiseen voidaan käyttää samoja menetelmiä. Kyseisellä robotilla on 90 kg maksimikuorman nostokyky ja 2.7 m ulottuma. Valittuun robottiin saa SafeMove-toiminnon, jolla robottisolun turvallistaminen voidaan tehdä helposti ja samalla robotti on helposti ohjelmoitavissa. Savon Automaatiolle myös ABB:n oma RAPID-koodi on tunnetuin ja RobotStudio mahdollistaa robotin simuloinnin. Myös asiakkaan toiveeseen hyvästä huoltoverkosta ja varaosien saatavuudesta voidaan vastata käyttämällä ABB:n robottia. (ABB, n.d.)

Kyseisellä robotilla siis saavutetaan yrityksen B toivoma yli 35 kg kuormannostokyky. Kyseinen robotti myös hyödyntää ABB:n OmniCore FlexPendant-käsiohjainta, jossa on kattavat ominaisuudet tuottavaan työhön. Kyseisen ohjaimen kanssa on mahdollista käyttää ABB:n SafeMove-toimintoa robotin turvallistamiseen. Tarvittaessa konepalvelurobottia voidaan suojata robotin päälle asetettavalla suojapuvulla, jos tämä ei häiritse tarvittavien toimintojen suorittamista. ABB:n edustajia haastateltaessa Teams-palaverissa, he esittelivät, miten hyödyllinen ABB:n uusi OmniCore-ohjausyksikkö on ja miten sillä saadaan myös ympäristöä ja rahaa säästettyä. Kyseinen ohjausyksikkö kykenee muuttamaan robotin jarrutukseen käytettävän energian takaisin energiaksi sähköverkkoon. Aikaisemmin tämä jarrutukseen käytettävä energia on mennyt hukkaan ja se on johdettu erilliselle lämmitysvastukselle, jota täytyi jäähdyttää tuulettimella. (Pellikka & Jämsä, 2023)

3.6.2 Ohjelmointimenetelmä

Konepalvelurobotin ohjelmointiin käytetään valitun robotin FlexPendant-käsiohjaimen omaa graafista käyttöliittymää ja DFD-ohjelmointimenetelmää. Kyseinen menetelmä on helposti lähestyttävä, vaikkei omaisi juurikaan aikaisempaa kokemusta robottien ohjelmoinnista. Tämä myös tarjoaa kattavat ominaisuudet jo valmiina olevissa toimilohkoissa, joita voidaan tehdä omanlaisia. (ABB, n.d.)

3.6.3 Konepalvelurobotin tarttujat

Asiakkaiden yrityksissä vieraillessa ja heidän käytössään olevien konepalvelurobottien tarttujia tarkastellessa, tutkiessa ja kysellessä, voitiin todeta, että jokaisella yrityksellä on käytössä useita erilaisia tarttujia. Yrityksissä on käytössä isoissa roboteissa paljon eri muotoisia magneettitarttujia kuin myös 2- ja 3-sormitarttujia.

Magneettitarttujat olivat pneumaattisesti operoituja eli ne saatiin kytkettyä päälle ja pois paineilmaa hyödyntämällä. Magneettitarttujien tartuntapintoina oli tasaisella pinnalla olevia magneetteja, sekä lovella olevia tartuntapintoja. Lovella oleva tartuntapinta kykeni tarttumaan myös pyöreisiin pintoihin keskittäen samalla kappaleen loven suuntaisesti. Asiakashaastatteluissa oli mukana kysymys, mitä materiaaleja yrityksissä koneistetaan, juuri sopivan tarttujan ja magneettitarttujan soveltuvuuden vuoksi. Kaikissa yrityksissä koneistettiin pääasiassa ferriittisiä materiaaleja, kuten S355 terästä. Kuitenkin koneistettiin myös ei-ferriittisiä materiaaleja, jotka eivät tartu magneettiin, esimerkiksi ruostumaton teräs ja muovi. Tämän vuoksi magneettitarttujalla ei täysin voida hoitaa kaikkien yrityksissä koneistettavien materiaalien tartuntaa, mutta kuitenkin suurin osa.

Käytetyt sormitarttujat olivat myös pneumaattisesti operoituja. Yrityksissä B ja C sormitarttujien sormet olivat pääasiassa itse tehtyjä 3D-tulostimella tai koneistettuna. 3D-tulostetut tarttujat oli tehty muovista, mutta kuitenkin ne olivat kestäneet hyvin yrityksissä käyttöä. Yritysten edustajien mukaan niitä oli myös erittäin helppo tehdä uusia, eri käyttötarkoituksiin ja hinnan jäädessä pieneksi. Leukojen helppo muovattavuus ja valmistaminen olikin yrityksissä erittäin tärkeässä roolissa, johtuen sormitarttujien lyhyestä työliikkeestä. Isommissa roboteissa sormitarttujia käytettiin yhdessä magneettitarttujan kanssa, kun konepalvelurobotissa oli useamman työkalun mahdollistava työkalulaippa kiinni. Tuolloin magneettitarttujalla haettiin kappale makasiinista ja keskitettiin tämä erillisessä jigissä, josta sormitarttujat poimivat kappaleen työstökoneelle. Tämän kaltainen

kahta työkalua hyödyntävä tarttujakokonaisuus ja sen paino täytyy huomioida, kun mietitään robotilta vaadittavaa maksimikuorman nostokykyä. Lähtökohtaisesti tarttujat ovat kuitenkin asiakaskohtaisia ja asiakkaat tarvitsevat heidän tarpeensa täyttävät tarttujat.

Konseptia lähdettäisiin markkinoimaan sormi- ja magneettitarttujilla. Kuitenkin tarvittavat tarttujat ovat usein yritys- ja kappalekohtaisia. Tämän vuoksi ei ole olemassa yhtä ja oikeaa tarttujaa, mikä konseptiin valittaisiin, eikä tätä toimiteta tarttujilla varustettuna, ellei toisin vaadita. Yrityksissä, joihin asiakashaastatteluja tehtiin, olikin käytössä konepalveluroboteilla useita erilaisia vaihdettavia tarttujia ja näihin tulostettuja erilaisia tartuntasormia. Tämän vuoksi konseptia ei kannata lukita tiettyihin tarttujiin, vaan räätälöidä konepalvelurobottiin asiakkaan käyttöön sopivat tarttujat. Asiakasta voidaan kuitenkin neuvoa sopivien tarttujien valinnassa ja tarjota heille sopivia tarttujia. Sopivien tarttujien valinnassa voi käyttää asiakkaan kanssa esimerkiksi listausta sylinterimäisille kappaleille:

- Mikä on kappaleen muoto?
    - Sylinterimäinen
        - Voiko kappaleen nostaa päästä?
            - Kyllä
                - Onko kappale ferriittinen, kuten musta rauta vai ei?
                - Ferriittinen, mustaa rautaa
                - Magneettitarttuja
                - Ei ferriittinen, ruostumaton teräs
                - Kolmisormitarttuja
            - Ei
                - Onko kappale ferriittinen, kuten musta rauta vai ei?
                - Ferriittinen, mustaa rautaa
                - Magneettitarttujalla
                - Ei ferriittinen, ruostumaton teräs
                - Kaksisormitarttuja

Vastaava listaus voidaan myös tehdä erimuotoisille kappaleilla. Tässä listauksessa olisi kuitenkin eroavaisuuksia sylinterimäisille kappaleille suunnitellusta listauksesta.

Tutustumiskierroksella yrityksiin voitiin havaita, että yrityksissä ei ollut konepalveluroboteilla käytössä työkalun vaihtojärjestelmiä. Kuitenkin yrityksessä A kyseinen työkalujen vaihtojärjestelmä oli ollut yhdellä konepalvelurobotilla, mutta tämä ei ollut enää käytössä. Myöskään asiakashaastatteluissa ei noussut esiin tarvetta työkalujen vaihtojärjestelmälle, joten tämän haastatteluotannan perusteella ei konseptiin tarvita työkalujen vaihtojärjestelmää.

3.6.4 Konepalvelurobotin syöttömenetelmä

Asiakashaastatteluissa ja heidän toimitiloihinsa tutustuessa nähtiin parhaaksi syöttömenetelmäksi makasiinipohjainen syöttömenetelmä, jossa kappaleet ovat vierekkäin poimintamatriisissa. Yrityksissä oli käytössä nyt ainoastaan makasiinipohjaisia syöttömenetelmiä ja niiden eduksi he näkivät joustavuuden ja erilaisten kappaleiden geometrioiden soveltuvuuden. Esitettäessä mahdollisuutta Bin picking -syöttömenetelmään, ei yrityksissä nähty tälle erikseen tarvetta. Kyseinen syöttömenetelmä nähtiin hintaa nostavana menetelmänä, jolla ei saada suuria hyötyjä. Samalla kuitenkin joustavuutta hävitään ja ohjelmointi muuttuu hankalammaksi.

Konepalvelurobottikonseptiin valittiin siis käytettäväksi makasiinipohjainen syöttömenetelmä, koska tästä yritykset olivat eniten kiinnostuneita. Kyseinen menetelmä on helposti kytkettävissä konepalvelun syöttöön ja yrityksissä voidaan usein myös tehdä omanlaisia makasiineja erilaisille kappaleille. Konenäköä tähän ei yhdistetty, koska haastateltavista yrityksistä ainoastaan yritys C näki konenäön positiivisena, vaikka se nostaisi kustannuksia. Kuitenkin heillä oli ollut ongelmia jo heillä olevissa konenäkösovelluksissa ja näin ollen konenäöllä voitaisiin menettää konepalvelurobotin luotettavuutta.

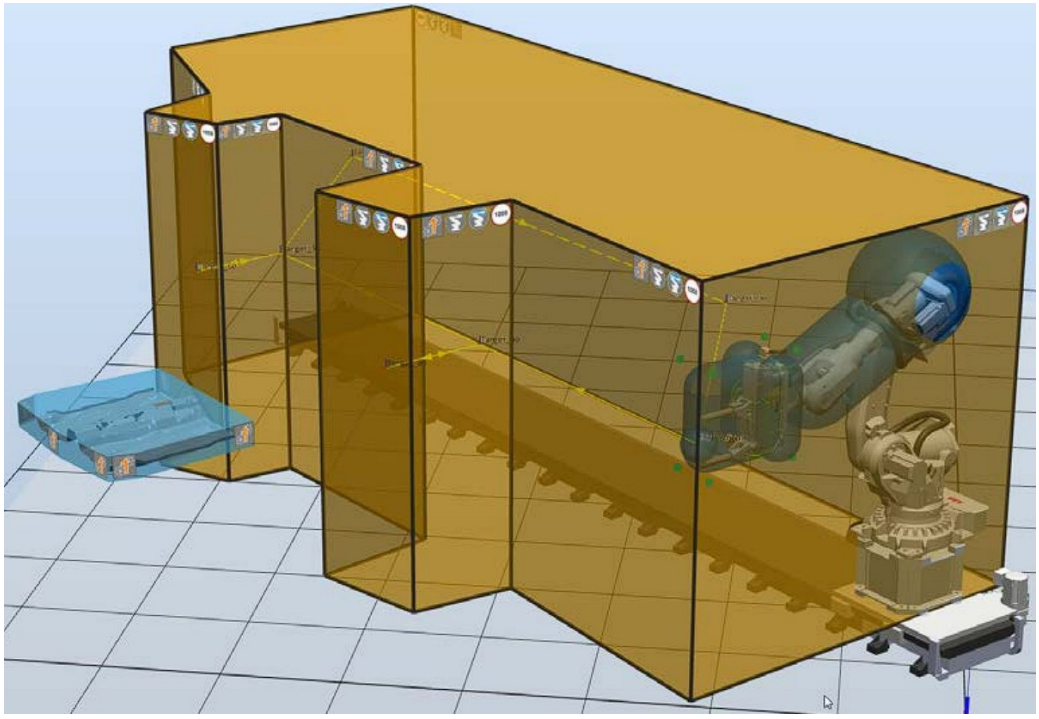
3.6.5 Konepalvelurobotin turvallistaminen

Konepalvelurobotin tulee täyttää tarvittavat standardit ja turvallisuussäädökset. Standardissa ISO 10218 on määritetty vaatimukset, tiedot ja ohjeistukset robotin turvalliselle suunnittelulle ja suojausmenetelmille. Samalla standardi kertoo yleisimmät robottien vaarat sekä miten poistaa tai vähentää näitä vaaroja. (SFS, 2011)

Konseptiin valittiin ABB:n IRB 5710-90/2.7 teollisuusrobotti ja näin ollen robotin ja konseptin turvallistamiseen tulee kiinnittää enemmän huomiota, kuin jos käytössä olisi yhteistyörobotti. Valittu teollisuusrobotti on kykeneväinen suuriin voimiin, jotka ovat ihmiselle hengenvaarallisia, joten robotin tulee pysähtyä, jos ihminen lähestyy sen työtilaa. Usein teollisuusrobottien työtilaa ympäröivät aidat, jotka estävät ihmisen pääsyn robotin työalueelle. Kuitenkin konepalvelurobotin tapauksessa aidat voivat olla edessä, kun robotin läheisyyteen tarvitsee päästä lisäämään kappaleita makasiiniin. Cellron valmistamassa konepalvelurobotissa tämä makasiinin täyttö oli ratkaistu käyttämällä makasiinia, joka aukeaa robottisolun ulko- ja sisäpuolelle. Tämän kaltainen ratkaisu voi kuitenkin aiheuttaa rajoitteita makasiiniin asetettavien kappaleiden korkeuden suhteen. Usein robottisolu voidaan turvallistaa aitaamalla alue muuten, mutta jättämällä siihen kulkuväylä, johon kytketään valoverho tarkkailemaan mahdollista alueelle tunkeutumista. Konseptiin

valittu robotti on varustettu OmniCore-ohjausyksiköllä, joka mahdollistaa robottisolun turvallistamisen käyttämällä SafeMove -toimintoa.

Turvallistaminen käyttämällä ABB SafeMove -toimintoa tapahtuu hyödyntämällä erillistä anturia tai antureita. Nämä anturit tarkkailevat robotin ympäristöä ja siinä tapahtuvia muutoksia. ABB SafeMove eroaa perinteisistä päällä / pois-turvallistamismenetelmistä siten, että sitä käytettäessä voidaan ohjelmoida robotti hidastamaan, jos ihminen lähestyy sitä. Ihmisen tullessa lähelle robottia, se pysähtyy. Näin ollen robotti toimii joustavammin ja mukaan voidaan myös tuoda ihmisen ja robotin välistä yhteistyötä. Samalla robotille voidaan ohjelmoida tiettyjä paikkoja ja akselien asentoja, joihin se ei saa mennä (Kuva 13). Tällä voidaan estää robotin törmäyksiä solussa mahdollisesti oleviin tolppiin tai ilmastointiputkiin. Myös itse työstökoneeseen törmäyksiä voidaan estää, mutta tässä täytyy huomioida se, että robotti kykenee tekemään tehtävänsä, eikä toimitilaa rajoiteta liikaa.



Kuva 13. Esimerkki SafeMove käytöstä, jossa on rajoitettu tiettyjä alueita, mihin robotti ei saa mennä (ABB, 2023, p. 231).

ABB SafeMove ja sen käyttöön tarkoitettu PLC-moduuli täyttää tarvittavat standardit, kuten EN ISO 10218-1 ja EN ISO 12100:2010 ja näiden asettamat vaatimukset. Näin ollen ABB SafeMove täyttää tämänhetkiset turvallisuusstandardit globaalisti. Kuitenkaan SafeMove-toiminnon käyttäminen turvallistamiseen ei poista robotille tehtävää pakollista riskien arviointia. Robottijärjestelmän turvallinen suunnittelu ja oikeaoppinen asennus standardien mukaisesti ovat järjestelmän käyttöönottajan vastuulla. (ABB, 2023, pp. 20-25)

Turvallistamiseen tarvittava anturien määrä ja niiden toimintamenetelmä ovat osittain yrityskohtaisia. Konepalvelurobotin ympäristö, kuten aidat, vaikuttavat tehtävän turvallistamistoteutukseen ja sen monimutkaisuuteen. Kuitenkin robotille on saatava signaali joltakin turvalaitteelta, jotta robotti saadaan pysähtymään ihmisen tultua alueelle. Konepalvelurobotille on myös tehtävä riskien hallinta, jäännösriskien tunnistaminen ja vähentäminen. Samalla SafeMove verifioidaan laitteiston käyttöönotossa ja tähän ei voi tehdä muutoksia kuin pääkäyttäjä. (Pellikka & Jämsä, 2023)

Teams-palaverissa ABB:n edustajien kanssa nähtiin konseptissa käytettäväksi SafeMove Pro -pohjainen turvallistaminen. SafeMove Pro eroaa Basic-versiosta siinä, että Pro -versiossa on 16-ohjelmoitavaa turva-aluetta, kun Basic-versiossa näitä on ainoastaan yksi. Samalla se tuo tuen työkalujen vaihdolle, robotin akseleiden ja työkalun nopeuden ja asennon seurannalle. Näillä saadaan mahdollistettua ja turvallistettua robotin ja ihmisen yhteistyötä ja yleensä aina myydäänkin SafeMove Pro -versiota asiakkaille. (Pellikka & Jämsä, 2023)

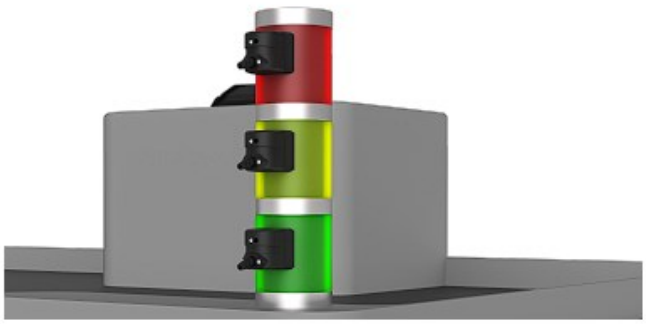
3.6.6 Konepalvelurobotin signaalit

Jotta konepalvelurobotti osaa toimia oikea-aikaisesti, tulee sen saada tarvittavat signaalit työstökoneelta. Robotin tulee myös kyetä antamaan työstökoneelle tarvittavat signaalit, jotta kone käynnistyy. Konepalvelussa olevan robotin ja työstökoneen välillä täytyy kulkea signaali, joka ilmoittaa konepalvelurobotille, että kappale on koneistettu ja valmiina poimittavaksi. Toinen tärkeä signaali on signaali, jonka konepalvelurobotti antaa työstökoneelle, että kappale on kiinnitetty ja koneistus voidaan aloittaa. Käytettävät signaalit ovat kuitenkin osittain työstökonekohtaisia riippuen näiden varustelun tasosta. Osa työstökoneista on jo tehtaalta tullessaan varustettu tarvittavilla Ethernet-signaaliporteilla, jotta konepalvelurobotti voidaan helposti kytkeä kiinni. Osassa, varsinkaan vanhemmissa, työstökoneissa näin ei ole ja usein konepalvelun mahdollistavat ominaisuudet myydään lisävarusteina uusiin koneisiin. Kuitenkin usein työstökoneet on varustettu koneen tilaa ilmaisevalla valomajakalla, jossa on koneen eri tiloille valot. Näitä valoja ja niiden signaaleita voidaan hyödyntää tarvittaessa konepalvelurobotin tarvitsemiin IO-signaaleihin. Kuitenkaan valomajakasta ei saada kaikkia tarvittavia signaaleita luotettavaan ratkaisuun, joten myös muita signaaleita tarvitaan ja näitä usein saadaan rinnakkaiskytkennöillä ja releillä. 2019 ja 2021 julkaistut standardit ISO 21919 ja ISO 21919-2 määrittävät robotin ja työstökoneen käyttöliittymää ja sitä, miten käyttöliittymän rajapinnat asetetaan. Standardit myös määrittävät robotin ja työstökoneen välisiä signaaleita, turvalli-

suutta ja ohjausrajapintaa. (ISO 21919-1:2019, 2019) (ISO 21919-2:2021, 2021) Kyseiset standardit ovat vielä uusia, joten ne eivät välttämättä päde aiemmin julkaistuihin ja myytyihin työstökoneisiin.

Konepalvelurobotiksi valitun robotin sopivuudesta ja laajennettavuudesta kysyttiin ABB:n edustajilta Teams-haastattelussa. Edustajilta kysyttiin haastattelussa, onko kyseisen robotin ohjausyksikössä tarvittavia portteja konepalvelussa tarpeellisille signaaleille. ABB:n edustajien mukaan tarpeelliset portit ja porttien määrä löytyy suoraan ohjausyksiköstä. Kuitenkin, jos rakennetaan monimutkaisempi järjestelmä ja vakiona olevat portit eivät riitä, voidaan porttien määrää kasvattaa ostamalla näitä lisää. (Pellikka & Jämsä, 2023) Monimutkaisemman järjestelmän muodostaminen voikin tulla kyseeseen, jos työstökoneessa, johon konepalvelurobottia ollaan asentamassa, ei ole tarvittavaa tukea konepalvelulle. Yrityksessä C osa työstökoneista oli muokattu konepalvelulle sopivaksi hyödyntämällä pneumaattisia sylintereitä. Näin työstökoneen ominaisuuksia, kuten oven avaamista, on automatisoitu käyttämällä pneumaattista sylinteriä. Myös koneen käynnistäminen voi tuottaa ongelmia ja tähän tarvitaan pienitehoinen pneumaattinen sylinteri, joka painaa käynnistysnappia. Käynnistysnappia voitaisiin myös painaa robotilla, mutta tällöin riskinä voi olla käynnistysnapin rikkoutuminen.

Robotiq valmistaa osia, joilla työstökoneista voidaan tehdä sopiva konepalveluun, jos ne eivät sitä muuten tue. Yritys valmistaakin osia, joilla voidaan esimerkiksi tarkastella työstökoneen tilaa sen valomajasta käyttämällä erillistä fotodiodia (Kuva 14), joka huomaa valomajakan valojen muutokset. Myös käynnistysnapin ja muiden toimintojen, kuten jalkapolkimien käyttöön, myydään pneumaattisesti toimivia laitteita, jotka kytkevät halutun toiminnon päälle. (Robotiq Inc, 2022, pp. 7,10,12)



Kuva 14. Robotiq valmistamia työstökoneen valomajakkaan kiinnittyviä antureita, jotka tarkkailevat valojen tilaa (Robotiq Inc, 2022).

4. TULOKSET

Diplomityössä saatiin kehitettyä konepalvelurobotille konsepti Savon Automaatio -yritykselle. Diplomityössä käsiteltyihin tutkimuskysymyksiin saatiin vastauksia kattavasti ja nämä vastaukset ovat hyödyllisiä Savon Automaatio -yritykselle tulevaisuudessa.

4.1 Tutkimuksen tulokset

Tutkimuskysymyksiin saatiin diplomityötä tehdessä kattavasti tietoa ja vastauksia. Myös tutkimusmenetelmät olivat oikeanlaisia ja näillä menetelmillä saatiin tarvittavat tiedot tutkimuskysymyksistä.

4.1.1 Mitä asiakkaat halusivat robotilta?

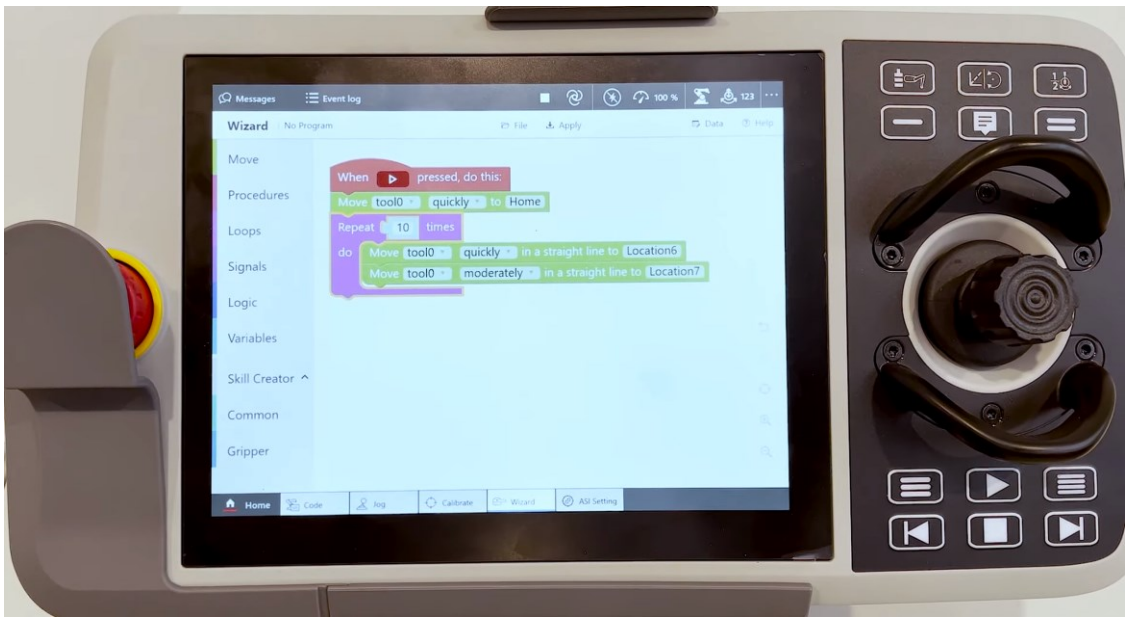
Asiakkaiden mielenkiintoa erilaisiin robotteihin tutkittiin diplomityössä pääasiassa asiakashaastatteluilla, mutta myös tutkimalla vastaavia, jo markkinoilla olevia laitteita. Asiakashaastatteluissa konepalvelurobotin tärkeimmiksi ominaisuuksiksi nähtiin joustavuus, luotettavuus ja sekä helppo että nopea ohjelmoitavuus. Haastatteluissa myös korostuivat toivomukset konepalvelurobotin kompaktista koosta ja robotin hyvästä huoltoverkostosta, jossa varaosien saatavuus on turvattu pitkäksi aikaa.

4.1.2 Vaihtoehtoja yksinkertaiseen ohjelmointiin

Vaihtoehtoja yksinkertaisempaan ohjelmointiin etsittiin kirjallisuudesta ja tutkimalla, miten kilpailijoiden laitteita ohjelmoidaan. Kirjallisuudesta yksinkertaista ohjelmointimenetelmää etsiessä ei varsinaista yksittäistä vastausta löytynyt. Useissa ohjelmointimenetelmissä on useita etuja, mutta samalla niissä on myös heikkouksia. Tämän vuoksi robottien erilaiset ohjelmointimenetelmät sopivat erilaisiin tilanteisiin eri tavoin. Osa ohjelmointimenetelmistä vaatii robotilta tiettyjä ominaisuuksia, kuten voiman mittaamiseen käytettäviä antureita. Kirjallisuudesta eri ohjelmointimenetelmien käytön helppoutta etsiessä kuitenkin löytyi tietoa siitä, mitä menetelmää kannattaa käyttää eri työtehtäviin. DFD ja IBP-menetelmät hyödyntävät graafista käyttöliittymää ja nämä voivat olla kokemattomalle ohjelmoijalle selvempiä ja helposti lähestyttäviä kuin tekstipohjaiset ohjelmointimenetelmät. Myös WBP-ohjelmointimenetelmät ovat kokemattomalle ohjelmoijalle helposti lähestyttäviä näiden neuvoessa ohjelmoijaa ohjelman tekemisessä. Kyseiset menetelmät ovat konepalvelurobotin ohjelmointiin sopivia, koska konepalvelukäytössä

ohjelmoitavia pisteitä ei ole paljoa, eikä tässä työtehtävässä tarvita monimutkaisia työkiertoja. Robotin ohjelmoijan tulee osata ajaa robottia haluttuihin pisteisiin, jotta nämä voidaan tallentaa muistiin ja lisätä tehtävään ohjelmaan. Ohjelmointimenetelmästä riippumatta, on käyttäjän tiedettävä robotin ominaisuudet ja rajoitteet, jotta robottia on turvallista käyttää niin itse ohjelmoijan kuin robotin kannalta.

Konseptissa oleva robotti ja sen käsiohjain on varustettu ABB:n Wizard-pohjaisella ohjelmointimenetelmällä. Tässä tapauksessa ohjelmoinnin aikana ohjelmoijaa avustetaan ja samalla graafisessa käyttöliittymässä estetään ohjelmoijaa yhdistämästä vääriä toimilohkoja toisiinsa. Näin ollen ohjelmointi on robotin ohjelmoinnista kokemattomalle käyttäjälle helppoa. Käsiohjaimesta löytyykin suoraan yleisimmät tarvittavat toimilohkot. Kuitenkin Wizard-pohjainen ohjelma on käännettävissä suoraan ABB:n RAPID-ohjelmointikielelle, jos ohjelmointikieltä ymmärtävä haluaa tehdä muutoksia. (Pellikka & Jämsä, 2023) Vaikka ABB markkinoi ohjelmointimenetelmää Wizard-mallisena, se kuitenkin on pohjimmiltaan lohkopohjainen ohjelmointimenetelmä. ABB:n ohjelmisto perustuukin Blockly-konseptiin, joka on avoimen lähdekoodin visuaalinen ohjelmointimenetelmä. (ABB, 2020) Ohjelmointi siis tapahtuu DFD-menetelmällä, jossa käyttäjä määrittelee robotin kulkua toiminnallisten lohkojen avulla.



Kuva 15. ABB robottien ohjelmoinnissa käytettävä graafinen käyttöliittymä (ABB Robotics, 2021.07.16).

Konseptiin valitun robotin OmniCore FlexPendant -käsiohjaimeen on myös mahdollista tehdä omia käyttöliittymiä. Tehdyt käyttöliittymät tuodaan HTML 5 protokollalla web-pohjaisesti käsiohjaimeen. FlexPendat -käsiohjaimessa on kuitenkin jo valmiina helppokäyttöinen (Kuva 15), näkyvä Wizard-ohjelmointi. Tämän avulla robotin ohjelmointi on help-

poa ja käyttäjää myös osittain neuvotaan ohjelmoinnissa, eikä käyttäjän tarvitse ymmärtää RAPID-ohjelmointikieltä. Tähän voidaan myös tehdä omanlaisia Wizard-pohjaisessa ohjelmoinnissa käytettäviä ”palkkeja” hyödyntämällä käsiohjaimen Skill Creator -ominaisuutta. Kyseinen ominaisuus on kuitenkin suunnattu robottien ohjelmoimisesta enemmän ymmärtäville. Ominaisuutta käytettäessä täytyykin ymmärtää ABB:n robottien käyttämää RAPID-ohjelmointikieltä. (Pellikka & Jämsä, 2023)

4.1.3 Kappaleiden syöttömenetelmä

Konepalvelurobotille sopivaa syöttömenetelmää tutkittiin asiakashaastattelulla, jossa kysyttiin heille mielekkäitä kappaleen syöttömenetelmiä. Myös yrityksissä jo olleiden konepalvelurobottien syöttömenetelmiä tarkasteltiin. Asiakashaastatteluiden perusteella asiakkaat näkivät toimivimmaksi syöttömenetelmäksi makasiinipohjaisen kappaleiden syöttömenetelmän. Kyseistä menetelmää yrityksissä käyttivät myös kaikki käytössä olleet konepalvelurobotit. Kyseinen syöttömenetelmä on toimintavarma ja yleisimmät siihen liittyvät riskit liittyvät syöttömakasiinissa olevien kappaleiden kaatumiseen. Kuitenkin hyvä syöttömakasiinin suunnittelu ja kappaleiden huolellinen asettaminen makasiiniin estää kappaleiden kaatumisia. Bin picking -syöttömenetelmää ei nähty yrityksissä tarpeelliseksi sen nostaessa hintaa, vähentäen joustavuutta ja samalla vaikeuttaen huomattavasti ohjelmointia. Myöskään mekaaniset tärymaljasyöttimet eivät toimi syöttömenetelmänä, koska syötettävät kappaleet ovat erikokoisia sekä vaihtuvat usein sopimusvalmistuksessa.

4.1.4 Millainen konepalvelurobottikonsepti ratkaisee asiakkaan yleistetyn ongelman?

Diplomityössä saatujen tutkimuksien pohjalta asiakkaiden yleistetty ongelma ratkaistaan nopeasti ohjelmoitavalla robotilla, joka hyödyntää poimintamatriisimaista makasiinipohjaista syöttömenetelmää. Konseptissa hyödynnettävän robotin tulisi olla kestävä, koska yrityksissä oli ollut ongelmia yhteistyörobottien ja näiden leikkuunesteen kestämisen kanssa. Robotille haluttiin myös hyvä varaosien saatavuus ja huoltoverkosto. Asiakashaastattelujen perusteella eri yritykset vaativat erikokoisia robotteja. Tämän vuoksi yksi tietty robotti ei sovi jokaiselle yritykselle ja konseptissa käytettävä robotti tulee olla saatavissa eri koossa.

5. POHDINTA JA KONSEPTIN JATKOKEHITTÄMINEN

Diplomityössä kehitettyä konseptia ja käytettyjä tutkimusmenetelmiä sekä näiden epävarmuuksia pohdittiin kriittiseltä kannalta. Konseptin jatkokehittämistä pohdittiin ja miten konseptiin voitaisiin tuoda mukaan uusia ominaisuuksia, joita asiakashaastatteluissa mainittiin.

5.1 Tutkimuksen ja konseptin kriittinen arviointi sekä pohdinta

Diplomityön tutkimuksissa asiakashaastatteluista saatiin erilaisia vastauksia eri yrityksistä. Kuitenkin näiden tutkimuskysymysten ja yritysten edustajien mielipiteiden pohjalta täytyi muodostaa sopiva konsepti. Konseptin tuli siis olla jokaiselle yritykselle järkevä. Konseptia voidaan jatkokehittää ja muokata vastaamaan paremmin asiakaskohtaisia vaatimuksia.

5.1.1 Tutkimustuloksiin ja menetelmiin liittyvät epävarmuudet

Tutkimustuloksiin ja tutkimusmenetelmiin liittyy tiettyjä epävarmuuksia. Saatuihin tuloksiin ja niiden epävarmuuksiin vaikuttavat asiakashaastatteluiden osalta asiakashaastatteluotannan laajuus, joka nyt oli kolme yritystä. Olisiko haastateltavia yrityksiä pitänyt olla enemmän, jotta varmempia tuloksia olisi saatu? Ennen asiakashaastatteluja käytiin tutustumassa yrityksien tuotantotiloihin ja jo tutustumiskierroksella tehtiin vapaampaa epävirallista haastattelua. Voiko tämä epävirallinen haastattelu muuttaa tutustumiskierrosten jälkeistä virallisempaa puolistrukturoitua haastattelua? Tässä tapauksessa jää mahdollisuus, että haastateltava ei välttämättä kerro kaikkea, koska olettaa asian jo selvinneen tutustumiskierroksella ja tänä aikana käydyssä keskustelussa. Kuitenkin jo tutustumiskierroksen aikana kirjattiin ylös vihkoon keskustelun aiheita ja vastauksia. Tarvittaessa keskustelun aihetta toistettiin ja pyydettiin vastausta uudelleen, jotta se on oikein kirjattuna ylös. Vastauksien tallentamiseen olisi voinut käyttää äänitallenninta, jolloin kaikki käsitellyt asiat olisivat jääneet varmasti muistiin siinä muodossa kuin ne esitettiin. Kuitenkin äänitallentimen toimivuus tuotantotilojen taustametelissä voisi olla epävarmaa, mutta äänitallenninta olisi voitu käyttää puolistrukturoituja haastatteluja tehdessä toimistolla. Puolistrukturoiduissa haastatteluissa ei kuitenkaan ollut ongelmia ylös kirjauksen nopeuden kanssa, eikä haastateltavaa tarvinnut pyytää toistamaan. Tämän vuoksi äänitallentimella ei välttämättä olisi saatu enempää materiaalia talteen puolistrukturoiduista

haastatteluista. Samalla tarkisteltavan materiaalin määrä olisi kasvanut jos molempia ylös kirjausmenetelmiä olisi käytetty, näistä löytyvän materiaalin ollessa pääsääntöisesti samaa. Tutustumiskierroksen pitäminen ennen virallisempaa haastattelua mahdollisti vielä tarkentavimpien kysymyksien esittämisen virallisemmassa haastattelussa ja haastattelun jälkeen. Samalla myös tutustumiskierros toimi omalta osaltaan jännityksen rikkojana, verrattuna siihen, että heti yritykseen mennessä olisi menty viralliseen haastatteluun. Tämä olisi voitu ehkä jopa nähdä töykeänä. Haastattelussa ja tutustumiskierroksella mukana oli kahdessa yrityksessä ylempää johtoa oleva henkilö ja tuotannosta vastaava henkilö. Kolmannessa yrityksessä haastateltavana oli yrityksen omistaja. Ylemmän johdon henkilö ei välttämättä konepalvelurobotti aiheesta syvällisesti tiedä, mutta tuotannosta vastaava on oletettavasti aiheesta tietoinen ja tietää mitkä ominaisuudet ovat tärkeitä. Kolmannessa yrityksessä haastattelussa ja tutustumiskierroksella mukana ollut omistaja oli myös itse konepalvelurobotteja käyttänyt, joten hänellä oli syvällistä tietämystä laitteista. Kuitenkin suorempia mielipiteitä konepalveluroboteista ja niiden käytöstä olisi voitu saada yrityksien työntekijöiltä, jotka pääsääntöisesti operoivat konepalvelurobotteja.

Kirjallisuustutkimuksessa esiintyy myös joitakin epävarmuuksia. Tukeutuen kirjallisuuteen voi kirjoittaja suosia luonnostaan enemmän tiettyjä asioita tai kirjoittajalla voi olla omia tavoitteita kirjoitelman takana. Kuitenkaan mitään selviä viitteitä kirjallisuudessa olevista, kirjoittajan omaa etua ajavista tavoitteista ei esiintynyt. Tämänkaltaista edun ajamista voi esiintyä enemmän esimerkiksi yritysten omissa materiaaleissa ja esitteissä, joissa pyritäänkin edistämään laitteen tai muun vastaavan myyntiä. Kirjallisuudessa voi olla myös virheitä ja käytetyissä lähteissä tulisi huomioida näiden kirjoitusvuosi ja se, onko kirjoitus vertaisarvioitu.

Kilpailijoiden valmistamien vastaavien konepalvelurobottien tutkimuksessa on hankala löytää laitteiden tarkkoja tietoa, ohjelmointimenetelmiä ja toteutusratkaisuja. Tietoja voidaan kilpailuedun takia osittain pitää piilossa, ettei vastaavia laitteita voitaisi suoraan kopioida kilpailijoiden toimesta. Kuitenkin yritysvierailuissa päästiin tutustumaan lähempää kilpailijoiden valmistamiin konepalvelurobotteihin ja näiden toteutuksiin. Samalla voitiin myös kysyä mielipiteitä yritykseltä suoraan. Tällöin saatuihin mielipiteisiin voidaankin luottaa enemmän kuin jos kyseisiä mielipiteitä olisi kysytty laitteen valmistajalta, jonka tavoitteena on kuitenkin edistää tuotteen myyntiä.

Tutkimuksissa olisi myös voitu käyttää enemmän eri menetelmiä ja yksi lisäarvoa tuova tutkimus olisi ollut konseptin testaaminen. Nyt kuitenkin muodostettiin vain konsepti, joten laitteita ei erikseen testattu, miten ne toimivat oikeasti tuotannossa.

5.1.2 Yritysten erilaiset tarpeet

Yritykset, joihin asiakashaastatteluja tehtiin, olivat erikokoisia niin tuotannoltaan kuin myös liikevaihdoltaan. Osittain tämän vuoksi yrityksillä oli toisiinsa nähden erilaisia toivomuksia, minkäkokoinen valittavan robotin tulisi olla. Asiakkaalle liian iso robotti on kalliimpi hankinta ja se vie enemmän tilaa. Kuitenkin liian isolla kuormannostokyvyllä varustettu robotti voi olla käytössä pidempi-ikäisempi kuin täydellä kuormituksella oleva robotti. Tuleeko kuitenkaan konepalvelukäytössä olevalle robotille niin paljon työtä, että tämän vuoksi väljistyvät nivelet haittaisivat robotin tehtävää?

Olisiko asiakashaastattelututkimukseen valittavien yrityksien pitänyt olla yhtä isoja toisiinsa nähden ja olisiko haastateltavia yrityksiä pitänyt olla enemmän? Tällöin saadut vastaukset olisivat kertoneet tarkemmin, mitä ominaisuuksia konepalvelurobotilta vaaditaan tietyn kokoisissa yrityksissä. Nyt haastateltavat yritykset valittiin niin, että saataisiin tietoa niin isoista kuin myös pienemmistä yrityksistä. Kuitenkin erilaisten tuotteiden koneistus ja kappaleiden koko vaihtelee yrityksittäin ja tämän vuoksi yksi tietynkokoinen konepalvelurobotti ei välttämättä ole jokaiselle yritykselle sopiva. Tämä herättää kysymyksen, ovatko ABB:n robotit helposti skaalattavissa eri kokoluokkiin. Henkilökohtaisesti näen, että useamman yrityksen mukaan ottaminen ei olisi tuonut paljoa lisäarvoa. Tehdyissä asiakashaastatteluissa korostuivat samat ominaisuudet, mitä konepalvelurobotilta toivottiin ja isoin eroavaisuus syntyi toivotussa robotin kuormannostokyvyssä. Työssä myös keskityttiin koneistettaviin työkappaleisiin, joka myös osittain selittää samankaltaisia haastatteluvastauksia ja toivottuja ominaisuuksia. Kuitenkin joku toinen yritys olisi voinut asettaa erilaisia ominaisuuksia, kuten konenäköä isommalle painotukselle, johtuen heidän erilaisesta tuotannostaan.

Haastateltavat yritykset toimivat metalliteollisuudessa pääasiassa erinäisiin koneistuksiin liittyen. Tämän vuoksi saadut tulokset pätevätkin pääasiassa vastaaviin teollisuuden yrityksiin, eikä näitä voi suoraan yhdistää muihin teollisuuden aloihin, kuten elektroniikkateollisuuteen. Saatu tulos edustaa haastateltujen yritysten mielipiteitä ja on mahdollisesti yleisestipätevä tulos tämän kaltaisten yritysten osalta. Kuitenkin joissakin muissa yrityksissä tai konepalvelurobotin rooleissa voidaan tarvita robotiin kytkettyä konenäköä tai jotain muuta syöttömenetelmää.

5.1.3 Konseptiin valitut laitteet

Konseptiin valittiin käytettäväksi ABB IRB 5710-90/2.7 teollisuusrobotti. Kuitenkaan tätä ei ole täysin sidottu konseptiin ja konseptia voidaan myös markkinoida muulla vastaavalla ABB:n robotilla. Kyseisen robotin kokoista robottia on esitetty hankittavaksi erääseen yritykseen. Tämä osaltaan oli avainasemassa konseptiin valittavasta robotista, jotta diplomityön aiheen antanut Savon Automaatio hyötyisi mahdollisimman paljon tehtävästä diplomityöstä. Lisäksi teollisuusrobotin kestävyys likaisessa työympäristössä on oletettavasti parempi kuin yhteistyörobotilla. Kuitenkin se, että konepalvelurobottikonseptia suunnitellessa taustalla on pyrkimys täyttää yhden yrityksen vaatimukset, joilla voidaan myydä robotti yritykseen, voi ohjata konseptin suunnittelua väärään suuntaan.

Osalle diplomityössä mukana olleista asiakasyrityksistä kyseinen ABB:n teollisuusrobotti voi olla isohko. ABB kuitenkin valmistaa robotteja useisiin eri kokoluokkiin ja pienempiä vastaavanlaisia robotteja on ABB:n 4600-sarjassa. Kyseisissä roboteissa on 20–60 kg maksimikuorman nostokyky ja vastaavasti isompia robotteja on 6700-sarjassa. Kyseisiin robotteihin on tulossa vastaava OmniCore -ohjausjärjestelmä, joka on jo valitussa 5700-sarjan robotissa. 4600- ja 6700-sarjan robotteja voidaan jo tilata kyseisellä järjestelmällä varustettuna. Kuitenkaan näihin ei voida jälkiasentaa OmniCore-ohjausjärjestelmää, vaan tämä täytyy asentaa robottiin tehtaalta tilatessa. OmniCore-ohjausjärjestelmä on myös yleistymässä ABB:n roboteissa tulevaisuudessa sen tarjoamien etujen, kuten jarrutusenergian talteenoton vuoksi. Robottien hankinta yhdeltä valmistajalta selkeyttää näiden tarvitsemaa huoltoa, ohjelmointia, ongelmatilanteita ja samalla pienentää toimenpiteiden tuomia kustannuksia. (Pellikka & Jämsä, 2023) Hyödyntämällä erikokoisia ABB:n valmistamia robotteja saadaan konseptista osittain skaalautuva. Robotin tulee kuitenkin olla varustettuna samanlaisella OmniCore -ohjausjärjestelmällä, jotta turvallistamiseen voidaan käyttää ABB:n SafeMove -toimintoa

5.1.4 Konseptin edut kilpaileviin valmistajiin verrattuna

Vastaavia konepalvelurobotteja on markkinoilla joitakin eri valmistajilla. Myös pelkkiä robotteja markkinoidaan konepalvelurobottirooliin helposti integroitavina, kuten Universal Robotin valmistamat yhteistyörobotit. Valmiita ratkaisuja myyvillä yrityksillä, kuten Cellro, on tuoteportfoliossaan useita erilaisia konepalvelurobotteja erilaisiin tarpeisiin. Kilpailijoihin verrattuna konseptin ja konseptiin valitun robotin suurimmat edut jäävät pääasiassa Savon automaatio -yrityksen tarjoamiin etuihin. Näitä etuja ovat paikallisuus, joka mah-

dollistaa avun ja ohjeistuksen saannin nopeasti. Koska työssä ei varsinaisesti luotu yksittäiselle asiakkaalle konepalvelurobottia, ei voida suoranaisesti vertailla sen ominaisuuksia kilpailijoihin. Myöskään asiakaskohtaista räätälöintiä ei konseptissa ole mukana, mikä toisi luotua konseptia lähemmäksi asiakkaan tarpeita. Kuitenkin isot konepalvelurobotteja myyvät yritykset voivat kilpailla paremmin hinnoilla, joihin pienten yritysten voi olla hankala vastata.

5.1.5 Ohjelmointimenetelmä

Tarjoaako valittu ABB:n oma ohjelmointimenetelmä tarpeeksi ominaisuuksia yrityksien käyttöön? Kyseinen ohjelmointimenetelmä hyödyntää DFD-menetelmää, jossa käyttäjä määrittelee robotin kulkua toiminnallisten lohkojen avulla. Kuitenkin enemmän roboteista ja niiden ohjelmoinnista ymmärtävät voivat haluta enemmän ominaisuuksia kuin ABB:n oma ohjelmointiohjelma alun perin tarjoaa. He voivat käyttää Skill Creator-ominaisuutta ja tehdä tällä tarvitsemiaan toimilohkoja tai tehdä muutoksia suoraan RAPID-ohjelmointikielellä. Robotin käsiohjaimelle voitaisiin tehdä oma käyttöliittymä, mutta saadaanko tällä ohjelmointia yksinkertaistettua verrattuna DFD-ohjelmointiin? Samalla erillinen, konepalvelulle tehty käyttöliittymä voi hankaloittaa robotin käyttöä muissa työtehtävissä ja olla osittain työstökonekohtainen.

Konepalveluun tehdyssä omassa käyttöliittymässä on kuitenkin etunsa ja sen myötä robotin ohjelmoinnista on mahdollista tehdä yksinkertaisempaa. Käyttöliittymä voisi hyödyntää parametristä ohjelmointia. Parametrisellä ohjelmoinnilla on mahdollista muodostaa robotin työradat nopeasti, jos siirreltävät kappaleet ovat samankaltaisia ja muotoisia. Tällöin riittää ainoastaan siirreltävien kappaleiden ja siirron mitta-arvojen antaminen ja halutun poiminta- ja lastauskuvion antaminen. (YASKAWA, 2020) Vaikka ohjelmointi olisikin yksinkertaista, niin yrityksestä tulisi kuitenkin löytyä henkilö, jolla on syvällisempää tietämystä robotiikasta ja robottien ohjelmoinnista.

Konseptissa robotin ohjelmointi tehdään ABB:n Flexpendant -käsiohjaimella, mutta miten hyvin se soveltuu pölyiseen teollisuus ympäristöön? Flexpendant -käsiohjain hyödyntää kosketusnäyttöä, jonka käytettävyys ja kestävyys teollisuusympäristössä voi olla koetuksella. Haasteeksi voi muodostua varsinkin käsiohjaimen käytettävyys suojakäsineiden kanssa. Kuitenkin viime vuosina kosketusnäytöt ovat yleistyneet huomattavasti teollisuuskäytössä, joten voidaan olettaa, että kosketusnäyttöjen tarjoamat hyödyt ovat suuremmat kuin niissä olevat käytön haasteet. Flexpendant -käsiohjain ei kuitenkaan ole vielä ollut useaa vuotta markkinoilla, joten sen todellisesta soveltuvuudesta teollisuusympäristöön ei voida vielä olla varmoja.

Jos konepalvelurobotin tilaava yritys haluaa käyttää konepalvelussa jo heillä ennestään olevaa ABB:n robottia, ei tässä välttämättä ole OmniCore -ohjausjärjestelmää. Tällöin tässä ei myöskään ole robotin ohjelmoimiseen käytettävää FlexPendant-käsiohjainta, jolloin valittu ohjelmointimenetelmä ei ole käytettävissä. Riippuen käytettävästä robotista, voi tähän olla saatavissa kuitenkin erillinen konepalveluun tarkoitettu ohjelmisto. ABB tarjoaakin IRC5 -ohjausjärjestelmällä oleville roboteille omaa konepalveluun tarkoitettua ohjelmistoa. Myös muilla robottivalmistajilla on vastaavia konepalveluun tarkoitettuja ohjelmistoja. OmniCore FlexPendant -käsiohjaimille ei kuitenkaan ole vielä saatavissa konepalveluun räätälöityä ohjelmistoa. ABB:n luottaa siihen, että käsiohjaimeen voi tarvittaessa tehdä oman käyttöliittymän konepalveluun. ABB:n edustajat eivät osanneet Teams-haastattelussa kertoa onko kyseistä konepalveluun tarkoitettua ohjelmistoa tulossa tulevaisuudessa. (Pellikka & Jämsä, 2023) Muiden valmistajien robotteja hyödyntäessä tulee myös huomioida näiden turvallistamiseen liittyvät kysymykset ja näiden ratkaiseminen.

CAD-pohjaisella ohjelmoinnilla vaatimuksia robotin ohjelmoinnin yksinkertaisuudesta ja nopeudesta ei täysin saataisi täytettyä. CAD-pohjainen ohjelmointi olisi konepalvelurobotin ohjelmoinnissa liiallista, kun ohjelmoitavia pisteitä ei ole kuitenkaan yleensä useaa kymmentä. CAD-pohjainen ohjelmointi vähentäisi ohjelmoinnin yksinkertaisuutta, kun mukaan tuotaisiin erillinen CAD-ohjelma 3D-malleineen. Lisäksi muuttuvien poimintamatriisien ja kappaleiden geometrioiden myötä kalibrointia tulisi tehdä usein, mikä hidastaisi ohjelmointia ja konepalvelurobotin käyttöönottoa huomattavasti. Tämän vuoksi konseptiin ei harkittu CAD-pohjaista ohjelmointimenetelmää hyödynnettäväksi.

5.2 Konseptin jatkokehittäminen

Konepalvelurobotin konseptia voidaan jatkokehittää erinäisin ominaisuuksin, joilla voitaisiin parantaa luotettavuutta ja tuoda mukaan uusia ominaisuuksia. Nyt mukaan ei otettu konenäköä, koska tästä ei nähty olevan tarpeeksi hyötyä asiakkaille, eikä myöskään jo markkinoilla olevat laitteet sitä hyödyntäneet. Konenäkö voisi tuoda mukaan omat ongelmansa ja näistä yleisimmät olisivat luultavasti muuttuva valomäärä ja konenäkökameran linssien likaantuminen. Nämä molemmat aiheuttaisivat luotettavuuden laskemista. Kuitenkin tämä herättää kysymyksen, voitaisiinko kappaleiden etsintään käyttää muita keinoja, kuten kapasitiivista anturia? Riittäisikö sen tuoma tarkkuus kappaleen poiminnalle sormitarttujilla, mikä mahdollistaisi myös ei magneettisten kappaleiden helpon poimin-

nan? Kapasitiivisen anturin tarkkuus riittäisi oletettavasti ainakin magneettisille materiaaleille, mutta näille voitaisiin käyttää myös Hall-anturia. Kuitenkin tämänkaltainen kappaleen etsintä olisi toiminnallisesti yksinkertaista, mutta ohjelmointi voi olla hankalaa.

Kappaleita voitaisiin myös syöttää suoraan sahalta, jos kyseinen kone löytyy työstökoneen läheltä. Tällöin robotilla voitaisiin tarttua katkaistavaan kappaleeseen ennen kuin se tippuu lastualtaaseen ja tällöin myös kappaleen sijainti olisi tiedossa. Tällöin kappale voitaisiin nostaa makasiiniin, välipuskuriin tai suoraan työstökoneeseen. Tämä menetelmä toimii kuitenkin ainoastaan, jos kappale voidaan ottaa kiinni ennen kuin se putoaa lastualtaaseen. Jos kappale putoaa lastualtaaseen, niin sen etsintään tarvittaisiin konenäköä. Kuitenkin kyseinen kappaleen poiminta lastualtaasta olisi myös haastavaa toteuttaa konenäöllä. Jos kappale tippuu lastualtaaseen, siihen tarttuu kiinni metallijauhoa ja samalla kappale voi olla lastualtaassa monessa eri asennossa mahdollisesti heijastaen kameran valossa.

Konenäön avulla saataisiin haettua kappaleiden X- ja Y-suunta, mutta kuitenkaan Z-suuntaa ei normaalilla 2D-konenäkökameralla saada. 3D-kamerat tuovat mukaan Z-suuntatiedon, mutta niiden kameroiden hinnat ovat yleisesti korkeita. Myös robottiin kytketyllä voima-anturilla voitaisiin ”haistella” kappaleen Z-suuntaista korkeutta, mutta myös voima-anturit ovat kalliita. Kuitenkin yksinkertaisin ja halvin menetelmä Z-suuntatiedon etsintään voi olla käyttämällä robottiin kiinnitettyä anturia. Anturin toimintatapa voi olla induktiivinen tai jopa jousianturi ja tällä etsittäisiin Z-suuntainen korkeus, jossa anturin tila muuttuu.

Asiakashaastattelujen aikana yritys B:n edustajan kanssa nousi esiin myös mahdollisuus konepalvelurobotin työskentelemisestä samanaikaisesti kahdella työstökoneella. Kuitenkin tällöin ongelmaksi muodostuvat sykliajat ja näiden mahdollinen päällekkäisyys. Myös vaihtuvien kappaleiden ohjelmoiminen estäisi toisen työstökoneen käyttämisen ohjelmoimisen ajaksi. Samalla työstökoneille pääsy viikoittaisiin huoltotoimenpiteisiin, kuten teräpalojen vaihtoon, voi hankaloitua. Yritys A:n edustaja esitti haastattelussa idean pienestä, siirrettävästä konepalvelurobotista. Kyseisen kaltainen konepalvelurobotti onkin mahdollista tehdä hyödyntämällä ABB:n valmistamia pienempiä robotteja, kuten 2600-sarjaa. Näillä on 12–20 kg maksimi kuormannostokyky ja ne ovat saatavissa samanlaisella OmniCore FlexPendat -ohjauksella kuin konseptiin valittu robotti. Näin ollen myös robotin ohjelmointi olisi samanlainen. Pienillä kuormilla voitaisiin käyttää ABB:n valmistamia yhteistyörobotteja ja näillä myös turvallistaminen olisi helpompaa.

Markkinoilla on jo myynnissä siirreltäviä robotteja ja esimerkiksi OpiFlex myy ABB:n teollisuusroboteilla varustettuja, haarukkavaunulla siirreltäviä robotteja. Näissä maksimikuormannostokyky vaihtelee 8,5–60 kg välillä. Kuitenkin robotin maksimiulottumalla nostokykyä on rajoitettu. (OpiFlex, n.d.) Tämänkaltaisissa siirreltävissä teollisuusroboteissa turvallistamiseen tulee kiinnittää huomiota. OpiFlex ei ilmoittanut tai näyttänyt, miten heidän laitteensa on turvallistettu. Jos työympäristö vaihtelee, niin miten varmasti huomataan, kun ihminen tulee lähelle robottia ja vältetään tapaturmariskit?

Lähitulevaisuudessa tuleva teollinen vallankumous Industry 4.0, eli teollisuus 4.0, voi myös asettaa vaatimuksia laitteistolle ja vaadittavien signaaliporttien määrään. Kyseisessä teollisessa vallankumouksessa vaaditaan koneilta, ihmisiltä ja resursseilta parempaa keskinäistä kommunikaatiota. Samalla myös tuotteissa säilyy mukana näiden tuotantohistoria ja tämänhetkinen tilanne. Tämän oletetaan mullistavan teollisen tuotannon suunnittelusta lähtien. (Hermann, et al., 2016, p. 2)

6. YHTEENVETO

Tämän diplomityön tarkoituksena oli luoda Savon Automaatio -yritykselle konepalvelurobotin konsepti. Yrityksen tarve asiakkaille markkinoitavasta konepalvelurobottikonseptista syntyi asiakastarpeesta, johon ei pystytty tuolloin suoraan vastaamaan.

Diplomityö aloitettiin tutustumalla konepalvelurobotin työtehtäviin. Kun tiedettiin aiheesta, voitiin aiheeseen syventyä tutkimalla konepalvelussa mukana olevien laitteiden teoriaan tekemällä aiheesta kirjallisuustutkimusta. Kirjallisuustutkimuksen avulla voitiin edetä kohti ensimmäistä tutkimuskysymystä siitä, mitä asiakkaat haluavat konepalvelurobotilta. Tutkimuskysymykseen haettiin vastausta tekemällä asiakashaastatteluja Savon alueella sijaitseviin kolmeen eri kokoiseen yritykseen. Näitä haastatteluja varten tehtiin kysymyslistaus, joka esitettiin jokaisessa haastattelussa, mutta myös vapaampaa, keskustelumuotoista haastattelua tehtiin tuotantotiloihin tutustuessa.

Tutkimuskysymykseen, mitä asiakkaat haluavat robotilta, saatiin vastaus. Asiakkaat halusivat konepalvelurobotin olevan joustava, luotettava ja helposti sekä nopeasti ohjelmoitava. Asiakashaastattelujen vastauksissa korostui toivomukset kompaktista koosta ja konepalvelurobotin hyvästä huoltoverkosta tulevaisuudessa.

Toisena tutkimuskysymyksenä oli parametrisointi, eli miten ohjelmointia voitaisiin yksinkertaistaa. Tätä tutkittiin sekä kirjallisuudesta että tutkimalla, miten jo markkinoilla olevia laitteita ohjelmoidaan. Myös asiakashaastattelujen aikana katsottiin, miten heillä jo olevia konepalvelurobotteja ohjelmoidaan. Tutkimuksessa päädyttiin tulokseen, että konepalvelurobotin yksinkertaisin ohjelmointi tapahtuu käyttämällä robotin Wizard-pohjaista ohjelmointia, jossa on myös graafinen käyttöliittymä. Vastaavia ratkaisuja oli käytössä jo markkinoilla olevissa laitteissa.

Kolmas tutkimuskysymys käsitteli asiakkaita kiinnostavia kappaleiden syöttömenetelmiä. Tätä tutkittiin asiakashaastattelussa esitetyin kysymyksin, sekä tutkimalla jo markkinoilla olevia laitteita. Asiakashaastattelujen perusteella asiakkaille mieleisin kappaleiden syöttömenetelmä oli makasiinipohjainen syöttömenetelmä. He näkivät tämän yksinkertaisena ja luotettavana ratkaisuna. Lisäksi heillä jo olevat konepalvelurobotit hyödynsivät makasiinipohjaisia syöttömenetelmiä. Konenäöllä ei nähty olevan riittävän suuria hyötyjä, jotta se olisi tuotu konseptiin mukaan. Asiakkailla ei ollut myöskään eritystä mielenkiintoa Bin picking -syöttömenetelmää kohtaan ja he näkivät tämän nostavan hintaa ja vähentävän konepalvelurobotin joustavuutta.

Tutkimuskysymyksistä johdettu päätutkimuskysymys käsitteli sitä, millainen konepalvelurobottikonsepti ratkaisee asiakkaan yleistetyn ongelman. Eli millainen konseptin tulisi olla, jotta se ratkaisisi asiakkailla olevat yhdistetyt ilmiöt, toiveet ja ongelmat. Asiakkaat halusivat konepalvelurobotin, joka on nopeasti ohjelmoitavissa, hyödyntää poimintamatriisi makasiinisyöttöä ja robotilla on heille sopiva kuormannostokyky. Robotille toivottiin myös hyvää varaosien saatavuutta sekä kattavaa huoltoverkostoa.

Tutkimuskysymyksiin saatujen tulosten perusteella voitiin luoda konsepti, joka on asiakkaiden tarpeiden mukainen. Konseptiin valittiin käytettäväksi ABB:n valmistama IRB 5710-90/2.7 teollisuusrobotti. Kuitenkaan konseptia ei sidottu tähän, jolloin konseptia voidaan markkinoida erikokoisilla ABB:n valmistamilla roboteilla. Robotissa täytyy kuitenkin olla vastaava OmniCore -ohjausjärjestelmä, jotta sen turvallistamiseen voidaan käyttää samoja menetelmiä. Konseptiin valittua robottia ohjataan ja ohjelmoidaan robotin omalla FlexPendant -käsiohjaimella, jossa on kattavat ominaisuudet robotin yksinkertaiseen ohjelmointiin. Tarvittaessa tähän voidaan myös tehdä omanlainen käyttöliittymä. Käytettäväksi ohjelmointimenetelmäksi valittiinkin robotin ohjaukseen tarkoitetun FlexPendant -käsiohjaimen oma DFD-ohjelmointimenetelmä, jota ABB kutsuu Wizard-nimityksellä.

Konepalvelurobotin turvallistamiseen hyödynnetään ABB:n SafeMove-toimintoa, joka täyttää tarvittavat turvallisuusstandardit mahdollistaen sen käytön turvallistamiseen. Kyseinen ominaisuus voidaan myös ohjelmoida hidastamaan ja vähentämään robotin voimaa ihmisen lähestyessä robottia ja lopulta pysäyttämään robotti, kun ihminen tulee alueelle. Tämä mahdollistaa robotin joustavamman toiminnan ja mukaan voidaan myös tuoda ihmisen ja robotin välistä yhteistyötä.

Jatkokehitettävää konseptissa on koskien mahdollista konenäön lisäämistä, jos tälle nähdään riittävästi tarvetta. Konenäön lisäämisellä konseptin hinta nousee, varsinkin jos konenäkökameralle täytyy saada X- ja Y-suuntatietojen lisäksi Z-suuntatieto. Z-suuntatiedon etsintää voikin lähteä selvittämään mahdollisilla muilla menetelmillä kuin erillisen, kalliin 3D-kameran hankinnalla. Muita menetelmiä, joilla Z-suuntatietoa voidaan etsiä, ovat erilaiset robottiin kytkettävät anturit, joilla etsitään kappaleen korkeutta tarkkailemalla anturin tilaa.

Diplomityössä saadut tulokset kuvastavat asiakastarpeen täyttämisen osalta haastateltujen yritysten tarpeita. Täten konseptin tulokset asiakastarpeen täyttämisen osalta ovat luotettavia haastateltujen yritysten osalta. Kuitenkin haastateltuja yrityksiä oli diplomityössä vain kolme ja täten haastatteluotanta oli pieni. Näin ollen ei voida suoranaisesti sanoa, että laadittu konsepti olisi täysin sopiva jokaiselle haastattelujen ulkopuoliselle yritykselle.

7. LÄHDELUETTELO

Aalto, O., Harju, T. & Koskinen, K., 2018. *Automaatio ennen, nyt ja tulevaisuudessa.* s.l., s.n., pp. 4-5. https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1380/automaatio_ennen_nyt_ja_tulevaisuudessa_av_artikkelisarja_2018.pdf [Haettu 16 05 2023].

ABB , ei pvm *ABB Machine Tending Software.* [Online] Available at: https://new.abb.com/products/robotics/application-software/machine-tending [Haettu 05 07 2023].

ABB Robotics, 2021.07.16. *How to program collaborative robot GoFa with Wizard Easy Programming - Tutorial for beginners.* [Online] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=zPnEOQX4jUA [Haettu 19 07 2023].

ABB, 2020. *ABB makes robot programming more intuitive with Wizard Easy Programming software.* [Online] Available at: https://new.abb.com/news/detail/59950/abb-makes-robot-programming-more-intuitive-with-wizard-easy-programming-software [Haettu 21 09 2023].

ABB, 2023. *Application manual: Functional safety and SafeMove2.* [Online] Available at: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC052610-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch [Haettu 17 07 2023].

ABB, ei pvm *ABB Machine Tending Software.* [Online] Available at: https://new.abb.com/products/robotics/application-software/machine-tending [Haettu 05 07 2023].

ABB, ei pvm *An easy and intuitive way to program cobots and Industrial robots.* [Online] Available at: https://new.abb.com/products/robotics/software-and-digital/application-software/wizard [Haettu 23 10 2023].

ABB, ei pvm *New robots bring higher uptime, increased productivity, and better performance.* [Online] Available at: https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108466A6442&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch [Haettu 20 09 2023].

Toimittanut: Välimäki, K., Niemelä, M., 2023. *Teollisuuden robotiikka.* Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry. ISBN : 978-951-973298-7-8.

Bajd, T. M. M., Lenarčič, J., Stanovnik, A. & Munih, M., 2010. *Robotics.* New York: Springer Science+Business Media B.V. ISBN : 9786612926914.

Batchelor, B. G., 2012. *Machine Vision Handbook.* Wales: Springer London.ISBN : 1-84996-169-7.

Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P., Scholtz, O., 2016. *Lightweight robots in manual assembly - best to start simply!: Examining companies' initial experiences with lightweight robots,* s.l.: Fraunhofer IOA, Stuttgart.https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/961b5036-c442-47db-84a6-b5334b4c1221/content [haettu 02 06 2023].

Bill, M., Müller, C., Kraus, W. & Bieller, S., 2022.. *World Robotics 2022,* Frankfurt: IFR International Federation of Robotics.https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf [Haettu 21 05 2023].

Blessing, L. T. & Chakrabarti, A., 2009. *DRM, a Design Research Methodology.* London: Springer London..ISBN : 1-282-28853-9..DOI: 10.1007/978-1-84882-587-1.

Boothroyd, G., 2005. *Assembly automation and product design.* Wakefield, Rhode Island: Taylor & Francis..ISBN : 0-429-12125-3.

Buchholz, D., 2016. *Bin-Picking New Approaches for a Classical Problem.* Warsaw: Springer..ISBN : 3-319-26500-8.

Chandrasekaran, K., Djuric, A. & ElMaraghy, W. H., 2012. Selection Catalogue of Kinematic Configuration for Pick and Place Application. Teoksessa: *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability.* Windsor: Springer Berlin Heidelberg, pp. 41..ISBN: 9783642238598..DOI: 10.1007/978-3-642-23860-4_6.

Dianatfar, M., Latokartano, J. & Lanz, M., 2021. Review on existing VR/AR solutions in human–robot collaboration. Teoksessa: *Procedia CIRP.* Tampere: Elsevier, pp. 1-5..ISSN 2212-8271..https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.259..

Edmondson, N. F. & Redford, A. H., 2001. Flexible parts feeding for flexible assembly. Teoksessa: *International journal of production research.* s.l.:Taylor & Francis Group, pp. 2279..ISSN: 0020-7543..https://doi.org/10.1080/00207540110038487.

ElMaraghy, H., AlGeddawy, T., Azab, A. & ElMaraghy, W., 2011. Change in Manufacturing – Research and Industrial Challenges. Teoksessa: *Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability.* 1st ed. 2012 toim. Windsor: Springer Berlin Heidelberg, pp. 2..ISBN : 1-283-45118-2.

FANUC America Corporation, 2018. *"The Lean Machine Generation 2" Robotic Machine Tending System - Acieta & Wagner Machine Company.* [Online] Available at: https://www.youtube.com/watch?v=wmatetORaMM [Haettu 19 09 2023].

Fanuc, 2022. *New FANUC 35 kg payload cobot offers faster installation and more flexibility.* [Online] Available at: https://www.fanuc.eu/fi/en/who-we-are/news/eu-cr-35ia-05-2022 [Haettu 22 09 2023].

Finetto, C., Faccio, M., Rosati, G. & Rossi, A., 2014. Mixed-model sequencing optimization for an automated single-station fully flexible assembly system (F-FAS). Teoksessa: *International journal of advanced manufacturing technology, 2014, Vol.70 (5-8),.* s.l.:Springer London, pp. 797-799..ISSN: 0268-3768..DOI: 10.1007/s00170-013-5308-z.

Flexxbotics, ei pvm *CNC Machine Tending.* [Online] Available at: https://flexxbotics.com/cnc-machine-tending/ [Haettu 22 10 2023].

Gaudreault, M., Joubair, A. & Bonev, I., 2018. Self-Calibration of an Industrial Robot Using a Novel Affordable 3D Measuring Device. Teoksessa: *Sensors.* Menlo Park, CA 94025, USA: MDPI, pp. 1-2..ISSN: 1424-8220..10.3390/s18103380.

Ghui, M., Manyika, J., George, K. & Miremadi, M., 2017. *Human + machine: A new era of automation in manufacturing.* [Online] Available at: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/human-plus-machine-a-new-era-of-automation-in-manufacturing#/ [Haettu 06 06 2023].

Haas, ei pvm [Online] Available at: https://www.haascnc.com/fi/service/troubleshooting-and-how-to/reference-documents/robot-integration-aid---ngc.html
[Haettu 01 07 2023].

Hägele, M., Nilsson, K., Norberto Pires, J. & Bischoff, R., 2016. Industrial Robotics. Teoksessa: *Springer Handbook of Robotics.* Stanford: Springer, pp. 1386..ISSN: 2522-8692..DOI:10.1007/978-3-319-32552-1.

Hansson, M. N., Järvenpää, E., Siltala, N. & Madsen, O., 2017. Modelling Capabilities for Functional Configuration of Part Feeding Equipment. Teoksessa: *Procedia manufacturing, Vol.11.* s.l.:Elsevier..ISSN: 2351-9789..DOI:10.1016/j.promfg.2017.07.357, p. 1.

Hermann, M., Pentek, T. & Otto, B., 2016. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. Teoksessa: *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS).* s.l.:IEEE..ISSN: 1530-1605..DOI:10.1109/HICSS.2016.488, p. 2.

Hirsjärvi, S. & Hurme, H., 2022. *Tutkimushaastattelu : teemahaastattelun teoria ja käytäntö.* 2. painos toim. Helsinki: Gaudeamus..ISBN : 978-952-345-812-3.

HowToRobot, 2020. *HowToRobot.* [Online] Available at: https://howtorobot.com/expert-insight/automating-your-processes-through-bin-picking-heres-what-look
[Haettu 20 09 2023].

ISO 21919-1:2019, 2019. *Automation systems and integration — Interfaces for automated machine tending — Part 1: Overview and fundamental principles,* s.l.: International Organization for Standardization (ISO).

ISO 21919-2:2021, 2021. *Physical device control — Interfaces for automated machine tending — Part 2: Safety and control interface,* s.l.: International Organization for Standardization (ISO).

ISO 8373:2021, 2021. *Robotics — Vocabulary,* s.l.: ISO.

ISO/TS 15066:2016, 2016. *Robots and robotic devices — Collaborative robots.,* s.l.: s.n.

Ji, Y., Kong, M., Bian, C. & Wang, J., 2022. A Novel System for Robot Trajectory Programming based on VR Tracking System. Teoksessa: *Control and Robotics Engineering (CACRE).* Harbin, China: IEEE, pp. 20-26..ISBN: 9781665403870..DOI:10.1109/CACRE54574.2022.9834209.

JTA Connection, 2021. *JTA Connection's robot cell solution for hydraulic component manufacturer ST-Koneistus.* [Online] Available at: https://youtu.be/mGMIdmgecBg?t=56
[Haettu 20 09 2023].

Karabegović, I. e. & Banjanović-Mehmedović, 2020. *Industrial robots : design, applications and technology.* New York: Nova Science Publishers..ISBN : 1-5361-7780-6.

Kolditz, T. & Raatz, A., 2022. Aerodynamic Feeding 4.0: A New Concept for Flexible Part Feeding. Teoksessa: *9th CIRP Conference on Assembly Technology and Systems.* Garbsen: Elsevier, pp. 45-46..ISSN: 2212-8271..DOI:10.1016/j.procir.2022.02.153.

Latokartano, J. & Lempiäinen, J., 2022. *Robotiikkatilastot.* [Online] Available at: https://automaatiovayla-fi.sites.avoine.com/site/assets/files/1616/robotiikkatilastot_2022_netti.pdf
[Haettu 21 05 2023].

Lazarte, M., 2016. *Robots and humans can work together with new ISO guidance.* [Online] Available at: https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html
[Haettu 18 05 2023].

Legnani, G., Fassi, I. & Tirloni, L., 2012. Robotics: State of the Art and Future Trends : State of the Art and Future Trends. Teoksessa: *Robotics state of the art and future trends.* New York: Nova Science Publishers, pp. 18-24..ISBN : 1-62100-478-3.

Lehtimäki, A., 2020. *Robotin työkalut : Tartunta järjestelmät.* [Online] Available at: https://tuotantovaline-kirjasarja.vmv-palvelut.com/05-robotin-tyokalut-tartuntajarjestelmat.html
[Haettu 20 06 2023].

Loy, M. & Reinhart, G., 2010. A new modular feeding system and its economic scope of application. Teoksessa: *Production engineering.* Mu¨nchen: Springer, pp. 358-359..ISSN: 0944-6524..DOI:10.1007/s11740-010-0248-z.

Moosmann, M., Spenrath, F., Kleeberger, K., Khalid, M.U., Mönnig, M., Rosport, J., Bormann, R., 2020. Increasing the Robustness of Random Bin Picking by Avoiding Grasps of Entangled Workpieces. Teoksessa: *Procedia CIRP.* Stuttgart, Germany: Elsevier, pp. 1-6..ISSN: 2212-8271..DOI:10.1016/j.procir.2020.03.082.

OpiFlex, ei pvm *OpiFlex.* [Online] Available at: https://www.opiflex.se/en/mobile-robot-platform/
[Haettu 21 09 2023].

Pan, Z., Polden, J., Larkin, N., Van Duin, S., Norrish, J ., 2012. Recent progress on programming methods for industrial robots. Teoksessa: *Robotics and computer-integrated manufacturing.* Wollongong, Australia: Elsevier, pp. 91..ISSN: 0736-5845..DOI:10.1016/j.rcim.2011.08.004.

Park, Y.-K., Park, J., Kim, S., Lee, D., Lee, S., Um, J., 2023. Development of Digital twin for Plug-and-Produce of a Machine tending system through ISO 21919 interface. Teoksessa: *International journal of computer integrated manufacturing.* s.l.:s.n., pp. 1-2,4-5..ISSN: 0951-192X..DOI:10.1080/0951192X.2023.2189306.

Patton, M. Q., 2002. *Qualitative Research & Evaluatio Methods.* s.l.:Thousand Oaks California. : Sage..ISBN : 0-7619-1971-6.

Pellikka, M. & Jämsä, M., 2023. *Haastattelu ABB:n roboteista ja näiden turvallistamisesta.* [Haastattelu] (17 07 2023).

Ragaglia, M., Zanchettin, A. M., Bascetta, L. & Rocco, P., 2016. Accurate sensorless lead-through programming for lightweight robots in structured environments. Teoksessa: *Robotics and computer-integrated manufacturing.* Milano: s.n., pp. 9-10..ISSN: 0736-5845..DOI:10.1016/j.rcim.2015.11.002.

Rethink robotics, 2022. *CNC Machining - Tending 2.* [Online] Available at: https://support.rethinkrobotics.com/support/solutions/articles/80000979551-cnc-machining-tending-2
[Haettu 22 10 2023].

Robert, G., 2016. *How to Choose the Right End Effector for your Application.* [Online] Available at: https://blog.robotiq.com/bid/67331/New-Ebook-How-to-Choose-the-Right-End-Effector-for-your-Application
[Haettu 20 06 2023].

Robotiq Inc, 2022. *Robotiq Machine Tending Solution.* [Online] Available at: https://assets.robotiq.com/website-assets/support_archives/document_en/MachineTending_Solution_PDF_2022-07-25_20221215.pdf
[Haettu 20 09 2023].

Rossano, G. F., Martinez, C., Hedelind, M., Murphy, S., Fuhlbrigge, T. A., 2013. Easy robot programming concepts: An industrial perspective. Teoksessa: *International Conference on Automation Science and Engineering (CASE).* Windsor, USA: IEEE..ISSN: 2161-8070..DOI:10.1109/CoASE.2013.6654035, p. 1.

Salmi, T., Väätäinen, O., Malm, T. & Marstio, I., 2014. *Ihmisen ja robotin yhteistyö haasteita ja mahdollisuuksia.* [Online] Available at: https://docplayer.fi/19640030-Ihmisen-ja-robotin-yhteistyo-haasteita-ja-mahdollisuuksia.html [Haettu 02 06 2023].

SFS, 2011. *SFS-EN ISO 10218-1, Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset . OSA 1: Teollisuusrobotit,* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 12100, 2011. *Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen,* s.l.: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Singh, G. & Banga, V., 2022. Robots and its types for industrial applications. Teoksessa: *Materials Today: Proceedings.* Amritsar, India: Elsevier Ltd, pp. 1784..ISSN: 2214-7853..DOI:10.1016/j.matpr.2021.12.426.

Steele, J. W., Wysk, R. A. & Ferreira, J. C. E., 2008. A resource-oriented tolerance representation scheme for the planning of robotic machine tending operations in automated manufacturing systems. *International journal of advanced manufacturing technology, 2008, Vol.38 (7-8),* pp. 2-3..ISSN: 0268-3768..DOI:10.1007/s00170-007-1118-5.

Steger, C., Ulrich, M. & Wiedemann, C., 2018. *Machine vision algorithms and applications.* Weinheim: Wiley-VCH..ISBN : 978-3-527-81290-5.

Thoo, Y. J., Maceiras, J., Abbet, P., Racca, M., Girgin, H., Calinon, S., 2021. Online and Offline Robot Programming via Augmented Reality Workspaces. Teoksessa: *arXiv.org.* Ithaca, New York, USA: Ithaca: Cornell University Library,1-2, 8-9..EISSN: 2331-8422.https://arxiv.org/pdf/2107.01884.pdf, pp. 1-2, 8-9..EISSN: 2331-8422.

Torres, P., Arents, J., Marques, H. & Marques, P., 2022. Bin-Picking Solution for Randomly Placed Automotive Connectors Based on Machine Learning Techniques. Teoksessa: *Electronics (Basel).* s.l.:Basel: MDPI AG, pp. 1-3...ISSN: 2079-9292..DOI:10.3390/electronics11030476.

Ventä, O., Honkatukia, J., Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Airaksinen, M., Vainio, T., 2018. *Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030.* [Online] Available at: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161102 [Haettu 15 05 2023].

Villagrossi, E., Delledonne, M., Faroni, M., Beschi, M., Pedrocchi, N., 2023. Hiding task-oriented programming complexity: an industrial case study. Teoksessa: *International journal of computer integrated manufacturing.* Milan, Italy: Taylor & Francis, pp. 1..ISSN: 0951-192X..DOI:10.1080/0951192X.2023.2203676.

Villani, V., Pini, F., Leali, F., Secchi, C., Fantuzzi, C., 2018. Survey on Human-Robot Interaction for Robot Programming in Industrial Applications. Teoksessa: *IFAC PapersOnLine.* Modena: Elsevier Ltd, pp. 66-71..ISSN: 2405-8963..DOI:10.1016/j.ifacol.2018.08.236.

Wilson, M., 2015. *Implementation of robot systems : an introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing.* London, England: Elsevier..ISBN : 0-12-404749-1.

YASKAWA, 2020. *YASKAWA.* [Online] Available at: https://www.yaskawa.fi/header-meta/uutiset-tapahtumat/artikkeli/motoeasy-joustava-kayttoliittyma-yaskawan-robottijarjestelmiin_n11001 [Haettu 21 09 2023].

Youngers, J., 2023. *Efficient Programming for UR Robots.* [Online] Available at: https://youtu.be/ClAjLjFxtWk?t=52 [Haettu 05 07 2023].

Zhang, F., Lai, C. Y., Simic, M. & Ding, S., 2020. Augmented reality in robot programming. Teoksessa: *Procedia computer science.* Melbourne: Elsevier, pp. 1221-1222..ISSN: 1877-0509..DOI:10.1016/j.procs.2020.09.119.

8. LIITE A: KYSYMYSLISTA

1. Mitä yrityksessä koneistetaan ja sisältävätkö nämä koneistettavat tuotteet eri materiaaleja?
2. Miten paljon koneistetaan, ovatko sarja kappalemäärät miten isoja?
3. Koneistettavien kappaleiden yleiset koneistusajat?
4. Vaihtuuko koneistettava tuote usein?
5. Koneistettavien kappaleiden koko?
6. Onko jotain mitä erityisesti konepalvelurobotilta halutaan?
7. Minkälainen kappaleiden syöttömenetelmä on teidän yrityksellenne paras vaihtoehto? Voiko robotti poimia kappaleen suoraan sahalta ennen kuin kappale sahautuu poikki ja putoaa lastualtaaseen?