

Juho Liljamo

**YHTEISTOIMINNALLISEN ROBOTIN INTEGRAATIOPROSESSI
VALMISTAVASSA TEOLLISUUDESSA**

YHTEISTOIMINNALLISEN ROBOTIN INTEGRAATIOPROSESSI VALMISTAVASSA TEOLLISUUDESSA

Juho Liljamo
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotantotekniikka

Tekijä: Juho Liljamo
Opinnäytetyön nimi: Yhteistoiminnallisen robotin integraatioprosessi valmistavassa teollisuudessa
Työn ohjaaja: Timo Broström
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2017
Sivumäärä: 63 + 7 liitettä

Opinnäytetyö tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hankkeeseen. Työssä määritettiin yhteistoiminnallisen robotin integraatioprosessin vaiheet valmistavassa teollisuudessa. Tavoitteena oli muodostaa monistettavissa oleva prosessikuvaus yksittäisen robottisolun suunnittelu- ja käyttöönottovaiheista. Lisäksi työn tavoitteena oli määrittää ohjeistavia dokumenttipohjia, joiden avulla voitaisiin pienentää projektin läpimenoaikaa ja selkeyttää projektikokonaisuutta.

Integraatioprosessin vaiheet määritettiin seuraamalla kymmentä hankkeessa suoritettua harjoitustyötä. Konetekniikan 3. vuosikurssin opiskelijoiden harjoitustyön aiheena oli suunnitella ja käyttöönottaa yhteistoiminnallinen robotti hankkeen yhteistyöyrityksien tuotantolaitoksissa. Harjoitustöitä tutkittiin seuraamalla ja ohjaamalla niiden etenemisen vaiheita ja dokumentointia. Harjoitustöiden seurannan lisäksi työn aikana kouluttauduttiin yhteistoiminnallisen robotin ohjelmoijaksi robotin maahantuojan avulla.

Tutkittujen harjoitustöiden avulla opinnäytetyössä muodostettu integraatioprosessi vaiheistettiin kohteen arviointi-, solun suunnittelu- sekä riskianalyysi ja käyttöönottovaiheeseen. Vaiheiden tunnistamisen jälkeen muodostettiin prosessikuvaus. Muodostetun prosessikuvauksen vaiheet jaettiin osaprosesseihin. Osaprosessit olivat kohteen arviointi kustannuksien ja kannattavuuden avulla, suunnittelun layout- ja mekaniikkasuunnittelu sekä toiminnan testaus. Suunnittelupainoisuuden seurauksena työssä muodostettiin suunnitteluvaiheen työnkulukukaavio. Lisäksi työssä esiteltiin riskianalyysin toteuttamisen prosessikuvaus.

Työn tuloksena saatiin integraation prosessikuvaus. Kuvauksen vaiheiden sisältö avattiin yksiselitteisesti siten, että robotisointiprojektin läpivieminen olisi sujuvaa. Ohjeistavia dokumenttipohjia muodostettiin helpottamaan kohteen vaativuustason ja kustannuksien arviointia sekä projektin resursointia ja kannattavuutta ajatellen. Lisäksi työssä esiteltiin käyttöönottovaiheen seurantalomake ja -taulukko, jonka avulla voidaan todeta robottisolun tuotannollinen toimivuus.

Asiasanat: robotiikka, yhteistoimintarobotti, prosessikuvaus, robotti-integraatio

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical Engineering, Production Technology

Author(s): Juho Liljamo

Title of thesis: Integration Process of Collaborative Robots in Manufacturing Industry

Supervisor(s): Timo Broström

Term and year when the thesis was submitted: spring 2017 pages: 63 + 7 appendices

The purpose of this Bachelor's thesis was to determine the integration process of a collaborative robot from designing and evaluation of the robot cell to implementation of the robot in the manufacturing production. The thesis was commissioned by Oulu University of Applied Sciences. The objective was to generate a process flowchart of the integration process and to create instructive documents for designing and implementation of the robot cell.

The steps for the integration process were determined by following ten project work tasks which were conducted by students of mechanical engineering at Oulu University of Applied Sciences. The subject of the project work tasks was to design and implement a collaborative robot in cooperation with industrial companies. Additionally, during the thesis a collaborative robot programming course was arranged by the importer of the robot.

The integration process phase was divided into four steps. The steps were evaluation of the robot cell, designing the robot cell, the risk assessment, and the implementation. With understanding of the integration steps, the process flowchart was generated. The process flowchart contained sub processes which were evaluation of the costs, layout and the mechanical design and the verification of the functionality.

The outcome of the thesis was an understandable process flowchart of the collaborative robot integration process. All of the process steps were defined precisely, so the understanding of the integration process is transparent and the project lead-time can be reduced. In addition to the process flowchart, the thesis introduces instructive documents for the integration process. The documents show how to evaluate the robot target area and the costs of the implementation. Also, the verification of the functionality document was generated.

Keywords: collaborative robot, cobot, integration, process flowchart

ALKULAUSE

Opinnäytetyö on tehty Oulun ammattikorkeakoulun Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hankkeeseen. Tahdon osoittaa suuret kiitokset Oulun ammattikorkeakoulun konetekniikan osaston asiantuntevalle henkilöstölle. Opinnäytetyön ja ensimmäisen insinöörityöpaikan mahdollisuudesta haluaisin kiittää koulutusta ja Tki-johtaja Jukka Säkistä. Aihe oli ajankohtaisuuden ansiosta erinomainen, haastava ja erittäin mielenkiintoinen.

Erityisesti tahdon kiittää työni ohjaajana toiminutta lehtori Timo Broströmiä. Väliön ohjaus ja suora palaute mahdollistivat itseni kehittämisen insinöörinä. Tekstinohjauksesta ja kieliopillisesta avustamisesta tahdon kiittää Oamkin lehtori Tuija Juntusta. Esitän myös suuret kiitokset perheelleni ja ystävilleni, jotka tukivat minua työlään kirjoittamisprosessin aikana.

Toivon, että opinnäytetyön tulokset ovat hyödyksi Oulun ammattikorkeakoululle ja yhteistoiminnallisen robotin käyttöönottamista suunnittelevalle toimijalle.

Oulussa 8.5.2017

Juho Liljamo

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn rajaus ja tavoitteet	9
1.2 Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanke	10
2 YHTEISTOIMINTAROBOTIIKKA	12
2.1 Perinteisen robotin ja yhteistoimintarobotin erot	12
2.2 Yhteistoimintarobotiikka teollisuuden standardeissa	13
2.2.1 Ihmisen ja robotin yhteistoiminnan määritelmä	13
2.2.2 Yhteistoimintarobotin määritelmä	14
2.2.3 Yhteistoiminta turvaluokitellun valvotun pysäytyksen aikana	15
2.2.4 Yhteistoiminta käsinohjaus tilanteessa	16
2.2.5 Yhteistoiminta nopeuden ja väljetäisyyden valvonnalla	17
2.2.6 Yhteistoiminta teho ja voima rajoitettujen robottien kanssa	17
3 YHTEISTOIMINTAROBOTTIJÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET	19
3.1 Ohjausjärjestelmän suorituskyky	19
3.2 Yhteistyötilan määritelmä	20
3.3 Yhteistoimintarobotin toiminnan vaatimukset	21
4 UNIVERSAL ROBOTS -NIVELVARSIROBOTTI	23
4.1 Robotin toimintaperiaate	24
4.2 Polyscope-käyttöjärjestelmä	24
5 TEOLLISUUSROBOTIN INTEGRAATIO	26
5.1 Robottijärjestelmän esisuunnittelu	26
5.2 Robottisolun menetelmätestaus	28
5.3 Robottijärjestelmän simulointi ja mallinnus	28
5.4 Suunnitelmien toteuttaminen	28

6 PROSESSIKUVAUS PROJEKTITOIMINNAN PERUSTANA	31
6.1 Prosessin kuvaaminen	31
6.2 Prosessien neljä kuvaustasoa	31
7 INTEGRAATION PROSESSIKUVAUS	37
7.1 Kohteen arviointi	38
7.1.1 Projektin organisaatio	39
7.1.2 Teknisen toteutuksen vaativuuden arviointi	40
7.1.3 Kustannukset	42
7.2 Yhteistoimintarobottisolun suunnittelu	46
7.2.1 Layout-suunnittelu	47
7.2.2 Komponenttien valinta	48
7.2.3 Työkalusuunnittelu	49
7.2.4 Yhteistoimintarobotin konepajatestaus	49
7.3 Riskianalyysiprosessi	50
8 KÄYTTÖÖNOTTOVAIHE	53
8.1 Mekaaninen asennus	53
8.2 Ohjelmointi	54
8.3 Todennusvaihe	54
9 POHDINTA	55
LÄHTEET	60
LIITTEET	63

SANASTO

integraatio	kahden erillisen järjestelmän tai toimilaitteen yhdistämistä yhdeksi toiminnalliseksi kokonaisuudeksi
implementaatio	laitteen tai toiminnan käyttöönotto tai käyttöönoton toteuttaminen
ohjelmapolku	robotin ohjelman yksittäisten toimintojen kokonaisuus
pk-yritys	pienet ja keskisuuret yritykset, joiden palveluksessa on vähemmän kuin 250 työntekijää sekä liikevaihto enintään 50 miljoonaa euroa
robotti	uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen, vähintään kolminivelinen mekaaninen laite
ROI	takaisinmaksuaika eli aika, jolloin investointi maksaa hintansa takaisin eli nettotuloja kertyy perushankintamenon verran.
standardi	sisältää suosituksia käyttökohteen vaatimuksista; tavoitteena on yhtenäistää menettelytapoja käyttökohteissa; kirjallinen julkaisu, joka on tunnustetun elimen hyväksymä asiakirja

1 JOHDANTO

1.1 Työn rajaus ja tavoitteet

Opinnäytetyössä määritetään yhteistoiminnallisen robotin integraatioprosessin vaiheet valmistavan teollisuuden yrityksessä. Tavoitteena on muodostaa monistettavissa oleva prosessikuvaus yhteistoiminnallisen robotin käyttöönoton suunnittelemisesta yhdessä työasemassa. Prosessikuvauksen tarkoituksena on tukea Oulun ammattikorkeakoulun (Oamk) Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanketta ja etenkin sen yhteydessä Oulun talousalueen yrityksiin suoritettavia opiskelijaprojekteja. Opinnäytetyön tilaajana toimi Oamkin kone- ja tuotantotekniikan osasto. Työn tulokset koostetaan siten, että ne ovat sovellettavissa myös normaalissa yritystoiminnassa.

Prosessikuvauksen tulee olla monistettavissa erilaisiin projektikohteisiin, joten yksityiskohtaiset suunnitteluvaiheet on rajattu pois opinnäytetyön sisällöstä. Integraatioprosessin ymmärrettävyyttä täydennetään työssä koostettavilla dokumenttipohjilla. Ohjeistavien dokumenttipohjien avulla prosessin läpimenoaikaa saadaan lyhennettyä.

Opinnäytetyön tuloksia on tulevaisuudessa mahdollista käyttää helpottamaan yhteistoimintarobottien käyttöönottamisen suunnittelua sekä integrointia pienissä ja keskisuurissa yrityksissä (pk-yritykset). Opinnäytetyön tulokset johtavat suoraviivaiseen projektitoimintaan yhteistoimintarobotiikan integraatiossa. Opinnäytetyön teoriaosio katsotaan erittäin hyödylliseksi, koska teollisuuden alalla nousevan yhteistoimintarobotiikan käyttö kasvaa nopeasti. Yhteistoimintarobotiikkaa esitellään useissa standardeissa, joten niissä esiteltyjen vaatimuksien ja suositusten kokoaminen ja esittely yhdessä kirjallisuuden tekstissä olisi runsaasti arvoa tuottavaa.

Opinnäytetyö liittyy hankkeeseen nimeltä Tehoja – tuottavuutta joustavalla automaatiolla. Oamkin konetekniikan osasto oli aloittanut hankkeen, jossa integroi-

daan yhteistoiminnallisia robotteja valmistavan teollisuuden yrityksiin. Opinnäytetyön tilaajalla ei ollut aikaisempaa kokemusta yhteistoiminnallisen robotiikan suunnitteluprosessista, joten opinnäytetyön merkitys on tilaajalle suuri.

Opinnäytetyön aihe määritettiin toimeksiantajan tavoitteiden perusteella. Opinnäytteessä esitellään yksittäisen yhteistoiminnallisen robottisolun integraatioprosessin vaiheet kohteen arvioinnista solun käyttöönottoon ja toiminnalliseen todennukseen. Robotin sijoituskohteiden etsiminen ja vaihtoehtojen vertailu on rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

1.2 Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanke

Teollisuuden tuotantotavat ovat robotiikan ansiosta muuttuneet vuosikymmenien aikana. Verrattuna suuriin yrityksiin, pk-yrityksien tuotannon automatisointi on tähän saakka ollut jälkeenjäänyttä teknologiateollisuuden alalla. Halu vuorovaikutuksellisen ja joustavan robotiikan käyttöön on johtanut yhteistoiminnallisen robotiikan kehittymiseen. Yhteistoiminnallisten robottien ydinajatus on, että ihminen voi työskennellä vuorovaikutuksessa robotin kanssa. Robottien hintojen aleneminen on tuonut investointimahdollisuudet myös pienille ja keskisuurille yrityksille. (1; 2.)

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja aloitti vuonna 2016 joustavan automaation kehittämishankkeen. Hankkeen tarve on seuraus valmistavan teollisuuden tuotannon siirtymisestä alhaisemman työvoimakustannusten maihin. Markkinoilla vallitsevan hintakilpailun seurauksena suomalaisilla yrityksillä on ollut suuri paine siirtää tuotanto maihin, joissa alhaisen työvoimakustannuksien avulla saadaan valmistuskustannusetua. Hankkeen tavoitteena on osoittaa suomalaisille yrityksille yhteistoiminnallisen automaation hyödyt ja siten parantaa valmistuksen kannattavuutta suomessa. Hanke toteutetaan aikavälillä 2016 - 2019. (3, s. 3; 18, s. 7.)

Kiinteän robotin avulla automatisoidut tuotantosolut ovat tyypillisesti olleet pitkän takaisinmaksuajan omaava tuotantojärjestelmä. Tavanomaisesti ne soveltuivat kapean tuotekirjon ja suuren valmistusmäärän yrityksiin. Ennen 2010-lukua

pien- ja keskisuudessa sarjavalmistuksessa käytettävien automaatiojärjestelmien käyttö on suurien kustannuksien vuoksi ollut vähäistä. (1.)

Valmistavan teollisuuden markkinoille saapuneet uuden teknologian yhteistyörobotit mahdollistavat pk-yrityksien tuotannon joustavan automatisoinnin robotiikan avulla. Yhteistoiminnalliset robotit on varustettu voimanhajauksen seuranta-järjestelmällä, ja sen ansiosta ne voivat toimia vuorovaikutuksessa ihmisten kanssa ilman aitauksia tai erillisiä turvajärjestelmiä. Samanaikaisesti robotiikan hintataso on merkittävästi laskenut eikä robottien ohjelmointi vaadi alan osaamista. (3, s. 3.)

Oulun ammattikorkeakoulun Tehoja-hankkeessa luodaan automaatiotekniikan koulutukseen ja demonstrointiin soveltuva pääosin siirrettävä testi- ja opetusympäristö. Hanke toteutetaan hankkimalla joustavia, ihmisen kanssa yhteistyöhön soveltuvia robotteja lisälaitteineen. Hankkeen toimintamalli on toteuttaa 5 - 20 yritysdemonstraatiota vuosittain. Hankkeen osatavoitteena on tutkia, miten uuden teknologian roboteista saadaan kustannustehokkaasti joustavia pien- ja keskisuureen sarjavalmistukseen soveltuvia automaatiotratkaisuja. (3, s. 4.)

Hanke toteutetaan yhteistyössä lähiseudun yritysten kanssa. Opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä Oamk hankki neljä Universal Robotsin valmistamaa yhteistoimintarobottia. Roboteille on rakennettu suunnittelu- ja testausympäristö. Robotit on sijoitettu Oamkin konetekniikan laboratorioon. Kevään 2017 aikana hankkeessa toteutetaan robottien käyttöönoton demonstraatio ja toiminnan todentamisjakso kymmeneen pohjoissuomalaiseen yritykseen. Ammattikorkeakoulun Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanke on pääosin rahoitettu Euroopan aluekehitysrahaston myöntämällä rahoituksella. Lisäksi hanketta rahoittavat alueen yritykset, Oulun ammattikorkeakoulu sekä Oulun kaupunki. (3, s. 7.)

2 YHTEISTOIMINTAROBOTIIKKA

Robottiikka on ollut pitkään iso osa valmistavaa teollisuutta. Automatisoituja laitteita on käyttöön otettu erilaisiin tehtäviin, joiden avulla ihmisten tekemää staattisesti rasittavaa työtä on saatu vähennettyä, työskentelyn ergonomiaa parannettua ja työn laatua kehitettyä. Ihminen ja robotti ovat aina tehneet yhteistyötä tuotantolaitoksissa mutta toisistaan eristettyinä. Eristämisestä seuraa kustannuksia kuten suuren lattiapinta-alan vaatimus ja tuotannon joustamaton rakenne. Tuotantosarjojen pientyminen, tuoteperheiden kasvanut varioituminen ja niiden elinkaaren lyheneminen nykyaikana vaatii mahdollisimman joustavan tuotantotavan, jotta yritys pystyy kilpailemaan omalla markkina-alueellaan. Joustavan tuotannon vaatimukset ovat johtaneet robotin ja ihmisen välittömän yhteistyön kehittämiseen. (4, s. 2.)

2.1 Perinteisen robotin ja yhteistoimintarobotin erot

Teollisuudessa käytetyt automatisointiratkaisut ovat tähän mennessä vaatineet erittäin tarkat standardien mukaiset turvarajat, joiden avulla ihmisen ja robotin välinen toiminnallinen kontakti on estetty. Tyypillisesti robotit on sijoitettu aidatun alueen sisään, mikä vaatii paljon lattiapinta-alaa sekä suuret investoinnit robotisolun vaatimaan laitteistoon kuten tilan rajaukseen käytettyihin turva-aitoihin. Perinteiset teollisuusrobotisolut ovat usein myös pysyviä laiteratkaisuja eikä niitä ole tarkoitettu siirrettäviksi työtehtävästä toiseen lyhyen aikajänteen sisällä. (4, s. 67.)

Nykyaikaisen yhteistoiminnallisen robottiteknologian avulla robotin vaatimat turva-alueet saadaan poistettua ja robotti voidaan sijoittaa työskentelemään vuorovaikutuksessa ihmisen kanssa. Yhteistoiminnallinen teknologia mahdollistaa joustavan ja vuorovaikutuksellisen automaation, joka on nopeasti uudelleen sijoitettavissa. Joustavalla automaatiolla tarkoitetaan vaivattomasti siirrettävissä olevaa ja ihmisen kanssa vuorovaikutuksellisesti toimivaa automaatio-sovellusta. Ratkaisuna ovat olleet yhteistoiminnalliset robotit, jotka eivät kaikissa ta-

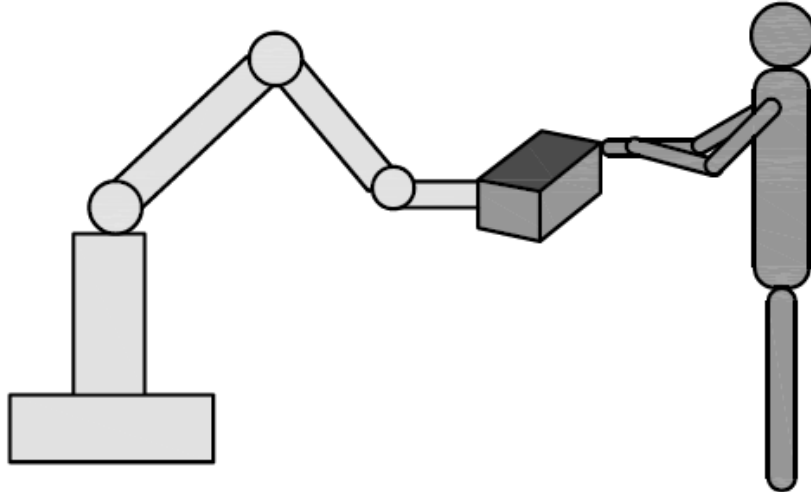
pauksissa vaadi turva-alueita sisään rakennetun voimanhjauksen ja -rajoituksen ansiosta. (5, linkit About Universal Robots -> News centre -> Sivut 2 -> Manufacturer of world's first collaborative robot illustrates the history of the "cobot".)

2.2 Yhteistoimintarobotiikka teollisuuden standardeissa

Vuonna 2011 päivitetty ja uudistettu robottistandardi ISO 10218 sisältää teollisuusrobottien lisäksi yhteistoiminnallisten robottien turvallisuusvaatimukset ja suositukset. ISO 10218 -standardien julkaisuhetkellä yhteistoiminnallinen robotiikka ei ollut kehittynyt nykyiseen muotoonsa, joten standardit ISO 10218-1:2011 ja ISO 10218-2:2011 on laadittu perinteisten teollisuusrobottien toiminnan mukaisesti. Standardeissa esitetyt yhteistoimintaa koskevat suositukset voidaan osittain olettaa vanhentuneiksi. Tämän seurauksena kansainvälinen standardisoimisliitto on laatinut uuden teknisiä vaatimuksia tarkentavan ohjeen, joka käsittelee yhteistoiminnallisia sovellutuksia. Tarkentava ohje on kansainvälisen standardisoimisliiton laatima ISO/TS 15066:2016 -tekninen spesifikaatio. (6, s. 4.)

2.2.1 Ihmisen ja robotin yhteistoiminnan määritelmä

Robotiikassa yhteistoiminta määritellään toimintatilaksi, jossa kyseiseen tarkoitukseen suunniteltu robotti työskentelee ihmisen kanssa välittömässä yhteistyössä ennalta määritetyssä työtilassa. Robotin ja ihmisen yhteinen työtila määritellään tilana, jossa ihminen ja robotti voivat suorittaa työtehtäviä samanaikaisesti tuotannon ollessa käynnissä. Yhteistoimintatila tulee olla selkeästi ilmoitettu lattiamaalauksin tai visuaalisin merkein. ISO 10218-2:2011 -standardi suosittelee käyttämään kuvan 1 kaltaista merkintää. (7, s. 12; 5, s. 33.)



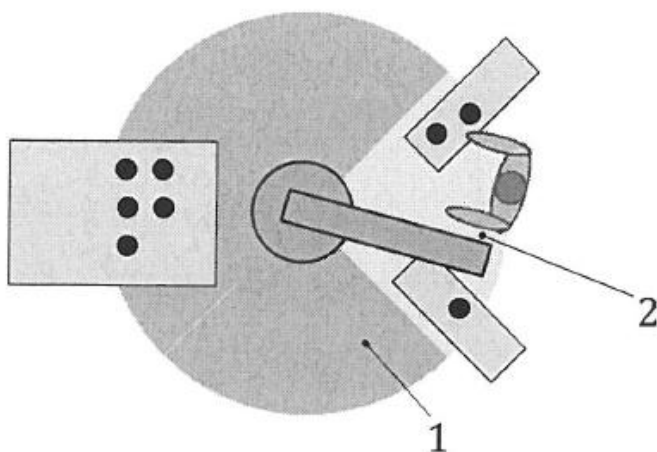
KUVA 1. Yhteistoiminnallisen robottijärjestelmän suositeltu merkintätapa (8, s. 33)

2.2.2 Yhteistoimintarobotin määritelmä

Yhteistoiminnallinen robotti voi työskennellä ihmisen välittömässä läheisyydessä ilman, että robotin energia täytyy katkaista yhteistoiminnan ajaksi.

ISO/TS 15066:2016 -teknisen spesifikaation mukaan kontaktitilanne voi syntyä robotin ja ihmisen välille ennalta määritetyssä yhteistoimintatilassa. (6, s. 2.)

(Kuva 2.)



KUVA 2. Yhteistoiminta ihmisen ja robotin välillä, missä 1 on toiminta-alue ja 2 on yhteistoimintatila (6, s. 3)

Jokaisen yhteistoimintarobottijärjestelmän suunnittelu vaatii suojauksellisia toimintoja, jotka suojaavat yhteistoimintatilassa työskentelevää ihmistä yhteistoiminnan aikana. Yhteistoiminnasta on suoritettava riskianalyysi, jossa määritellään toiminnassa esiintyvät vaarat ja arvioidaan riskit. Riskianalyysin perusteella määritellään toimenpiteet, joiden avulla riskit saadaan lievennettyä siedetylle tasolle. (6, s. 2.)

Suomen standardisoimisliiton mukaan yhteistoimintarobottien toimintatavat voidaan jakaa neljään kategoriaan niiden yhteistoimintamenetelmän mukaisesti.

Kategoriat ovat

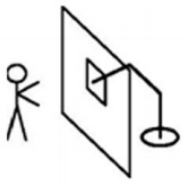
1. turvaluokiteltu valvottu pysäytys
2. käsin ohjaaminen
3. nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta
4. tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella. (7, s. 36.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääosin neljännen kategorian yhteistoimintarobotteihin ja niiden integraatioprosessin kuvaamiseen. Työssä tarkasteltavat robotit ovat Universal Robotsin valmistamia. Saksalainen teknillinen sertifiointiyhdistys TÜV on testannut ja todistanut työssä käsiteltävien robottimallien täyttävän ISO 10218 -standardin mukaiset turvallisuuden ja luokitustason vaatimukset. (9, s. 9.)

2.2.3 Yhteistoiminta turvaluokitellun valvotun pysäytyksen aikana

Mikäli robotin ennalta määritetyllä turva-alueella ei ole ihmistä, robotti voi työskennellä autonomisesti ilman toimintaa rajoittavia tekijöitä. Kun robottisoluun asennettu liikettä seuraava laite, esimerkiksi skanneri, havaitsee ihmisen tai muun liikkuvan esineen turva-alueen sisäpuolella, on robotin pysähdyttävä välittömästi ISO 10218-1 -standardissa määritellyn pysähtymismäärittelyn mukaisesti. ISO 10218-1:2011 -standardin osion 5.5.3 mukaan liikkeen pysäytyksen tulee tapahtua siten, että robotin kaikki liike pysäytetään välittömästi poistamalla

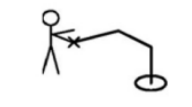
teho robotin toimilaitteilta. Tällainen tilanne voi syntyä, kun ihmisen täytyy esi-
merkiksi kiinnittää jalostettava tuote robotin työkaluun (kuva 3). Robotin akselei-
den jarrujen ovat oltava päälle kytkettyinä siihen saakka, kunnes ihminen tai
esine poistuu robotin ennalta määritetyltä turva-alueelta. (8, s. 34.)

Type of application	Description	Safeguards	Objectives
 Hand-over window	<ul style="list-style-type: none"> — autonomous automatic operation within safeguarded space — robot moves into window — no interruption of automatic operation during access 	<ul style="list-style-type: none"> — fixed or sensitive guards around the workspace — reduced speed and reduced workspace near the window — no robot workspace outside the window — when lower edge of the window less than 1 000 mm safeguards according to 5.10.3 	<ul style="list-style-type: none"> — loading, unloading — testing, benching, cleaning — service

KUVA 3. Turvaluokiteltu valvotun pysäytyksen yhteistoiminta (8, s. 53)

2.2.4 Yhteistoiminta käsinohjaus tilanteessa

Käsinohjatun tilanteen yhteistoiminta määrittyy, kun robotin ohjaaminen tapah-
tuu robotin ohjaamiseen tarkoitettusta työkalupäähän asetetusta ohjainlaitteesta
manuaalisesti kädellä ohjaamalla. Työkalupäähän asetettu ohjainlaite lähettää
liikekäskyt robotin ohjausjärjestelmälle ja siten robottia voidaan ohjata haluttuun
suuntaan (kuva 4). (8, s. 54.)

Type of application	Description	Safeguards	Objectives
 Hand-guided robot	<ul style="list-style-type: none"> — application-specific workspace — moving by hand guiding — moving hand guided along a path 	<ul style="list-style-type: none"> — reduced speed — hold-to-run control — collaborative workspace depending on hazards of the application 	<ul style="list-style-type: none"> — hand-guided assembling, painting, etc.

KUVA 4. Robotin käsin ohjaus yhteistoimintatilanteessa. (8, s. 54)

Robotin käsinohjaus on sallittu seuraavien määrittelyiden täytyessä:

- Robotti on saavuttanut turvaluokitellun valvotun pysäytyksen ISO 10218-1:2011 -standardin mukaisesti.

- Robotin työkalu on varustettu ISO 10218-1:2011 -standardin mukaisella lisälaitteella, jolla robotin liikuttaminen haluttuun positioon on mahdollista.
- Robotin ohjaajalla on selvä näkyvyys koko yhteistoimintatilan kattamalle alueelle.
- Robotin on suoritettava ISO 10218-1:2011 -standardin mukainen turvaluokiteltu valvottu pysäytys, kun robotin ohjaaja irrottaa otteen työkaluun asennetusta ohjaimesta. (8, s. 34.)

2.2.5 Yhteistoiminta nopeuden ja välietäisyyden valvonnalla

Nopeuden ja välietäisyyden valvonnan yhteistoimintatavassa robottijärjestelmä ja ihminen voivat liikkua samanaikaisesti ennalta määritetyssä yhteistoimintatilassa. Robotin toiminta on suunniteltava siten, että robotti ylläpitää määritettyä vähimmäisetäisyyttä ja nopeutta sen käyttäjään nähden tai alueella liikkuvaan ihmiseen nähden. Vaaditut toiminnot saadaan toteutettua tilaa tarkkailevilla robotista erillään olevilla monitoreilla.

Mikäli nopeuden tai vähimmäisetäisyyksien ylläpitämisessä havaitaan häiriö, on robotin aiheutettava turvaluokiteltu valvottu pysäytys ISO 10218-1:2011 -standardimäärittelyn mukaisesti. Robotin nopeuksia ja vähimmäisetäisyyttä valvovien toimintojen tai toimilaitteiden on noudatettava ISO 10218-1:2011 -standardin vaatimuksia. Määritellyt vähimmäisetäisyydet ovat esitelty standardissa ISO 13855:2010. (7, s. 36.)

2.2.6 Yhteistoiminta teho ja voima rajoitettujen robottien kanssa

Teho- ja voimarakoitetut robottijärjestelmät kategorioidaan yhteistoiminnallisiin robotteihin, joissa toiminnallinen kontakti ihmisen ja robotin välillä on sallittu. Robotin turvaluokiteltu ohjausjärjestelmä valvoo robottiin kohdistuvia ulkoisia voimia ja kontaktitilanteita. Teho- ja voimarakoitettujen robottien vaatimukset ovat määritetty ISO 10218-1:2011 -standardissa. Näiden robottien tehon ja voiman rajoitustoiminnon on täytettävä standardin ISO 10218-1:2011 luvussa 5.4 määritellyt vaatimukset. Jos jokin standardissa määritetty parametriraja ylittyy,

on robotin suoritettava suojauspysäytys ISO 10218-1:2011 -standardin mukaisesti. (7, s. 36.)

ISO 10218-1:2011 -standardin mukaan robotti määritellään yksittäiseksi komponentiksi lopullisessa robottijärjestelmän yhteistoiminnassa. Määrittelyn mukaan robotti ei yksinään ole riittävä turvalliseen yhteistoimintaan. Teho- ja voimarajoitetun robottijärjestelmän yhteistoimintaa suunniteltaessa on yhteistoimintatasovellus määritettävä riskien arviointia hyödyntäen. Riskien arviointi on esitelty ISO 10218-2:2011 -standardissa. Tekninen spesifikaatio ISO/TS 15066:2016 sisältää sovellettavia lisätietoja teho- ja voimarajoitetun yhteistoimintajärjestelmän suunnittelua varten. (7, s. 36.)

3 YHTEISTOIMINTAROBOTTIJÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET

ISO/TS 15066:2016 -tekninen spesifikaatio esittelee yhteistoiminnallisen robottijärjestelmän suunnitteluprosessiin ja käyttöönottoon vaikuttavat vaatimukset. Robottisolun vaatimuksia esitellään myös standardeissa ISO 10218-1:2011 ja ISO 10218-2:2011. ISO/TS 15066:2016 -tekninen spesifikaatio on laadittu kohdassa 2.2.4 esiteltyjen teho- ja voimarajoitettujen yhteistoimintarobottien ominaisuuksien mukaisesti. (6, s. 5.)

Yhteistoiminnallisia toimintoja sisältävän robottijärjestelmän on täytettävä standardien ISO 10218-1:2011 ja ISO 10218-2:2011 vaatimukset. ISO/TS 15066:2016 -tekninen spesifikaatio täydentää ISO 10218-1:2011 -standardin osiossa 5.10 sekä ISO 10218-2:2011 -standardin osiossa 5.11 annettuja tietoja. (6, s. 6.)

3.1 Ohjausjärjestelmän suorituskyky

Yhteistoimintarobotin toiminta perustuu turvalliseksi suunniteltuun ohjausjärjestelmään, joka seuraa robotin toimintaa sekä siihen kohdistuvia ulkoisia voimia. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suorituskyvyn vaatimukset esitellään ISO 10218-1:2011 -standardin osiossa 5.4 ja ISO 10218-2:2011 -standardin osiossa 5.2. Ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvät komponentit ja osat on suunniteltava siten, että ne ovat PL=d:n rakenneluokan 3 koneiden turvallisuusstandardin ISO 13849-1:2006 mukaiset, tai siten, että osat ja komponentit vastaavat turvallisuuden eheystasoa SIL 2 laitteiden vikaantumistoleranssin ollessa 1. Tarkistuskokeiden väliaika on oltava vähintään 20 vuotta standardin IEC 62061:2005 mukaisesti. (7, s. 24.)

Suorituskyvyn vaaditun tason saavuttamiseksi on täytettävä erityisesti seuraavat ehdot:

- Missä tahansa turvallisuuteen liittyvässä osassa oleva yksittäinen vika ei johda kyseisen osan turvatoiminnon menettämiseen.

- Yksittäinen vika on havaittava turvatoimintoa seuraavan kerran tarvittaessa tai käytettäessä, mikäli se on kohtuudella mahdollista.
- Havaittaessa yksittäinen viallinen komponentti komponenttiin liittyvä turvatoiminto suoritetaan aina. Turvallinen tila on säilyttävä siihen saakka, kunnes kyseinen vika on korjattu.
- Kohtuudella ennakoitavissa olevat viat on havaittava. (7, s. 24.)

Mikäli robotille ja siihen liittyvälle sovellutukselle on suoritettu kattava riskien arviointi, voidaan sen seurauksena käyttää muuta kuin ISO 10218-1:2011 -standardin osion 5.4.2 määrittelemää suorituskykyä. Standardien vaatimuksista poikkeavaa suorituskykyä käytettäessä on erikseen ilmoitettava laitteiston rajoitukset ja varoitukset. Poikkeavan suorituskyvyn valinta on perusteltava riskien arvioinnin yhteydessä. (7, s. 24.)

3.2 Yhteistyötilan määritelmä

Robottijärjestelmässä käytettävä ennalta määritetty yhteistyötila on suunniteltava siten, että robottijärjestelmää käyttävä henkilö voi turvallisesti suorittaa sille määritetyt tehtävät. Yhteistyötilassa sijaitsevien koneiden ja laitteiden riskit on esiteltävä ja arvioitava erikseen suoritettavassa riskianalyyseissa. Havaitut vaarat ja riskit ovat lievennettävä siedetylle tasolle. Lieventämisessä käytetyt toimenpiteet tulee esitellä riskianalyyseissa ja ne on dokumentoitava asianmukaisesti. Koneiden ja laitteiston sijoittelu yhteistoimintatilassa ei saa aiheuttaa ylimääräisiä vaaroja kuten litistymisen tai puristumisen mahdollisuutta. (6, s. 6.)

Yhteistoimintarobottien ohjausjärjestelmän sisältämiä ohjelmallisia turvatasoja on käytettävä aina kun se on käytännöllisesti mahdollista. Ohjelmallisilla turvatasoilla tarkoitetaan robotin ohjausjärjestelmään asetettua rajaa, jota robotti ei saa ylittää toiminnan aikana. Ohjelmallisilla turvatasoilla robotin toiminta-alue saadaan rajattua mahdollisimman pieneksi, jolloin toiminta on suhteellisesti mahdollisimman turvallista. (6, s. 6.)

3.3 Yhteistoimintarobotin toiminnan vaatimukset

Yhteistoimintarobotin suorittamien operaatioiden suunnittelun vaatimukset ovat esitelty ISO 10218-2:2011 -standardin osiossa 5.11. Standardin mukaan fyysinen kontakti robotin ja ihmisen välillä on sallittu mikäli 5.11 osion yleiset vaatimukset sovellutuksessa täyttyvät. (6, s. 6.)

Robotin integraattorin eli solun suunnittelijan tulee suorittaa riskianalyysi sovellutuksen käyttökohteesta ja toiminnasta. Riskianalyysissä määritetään toiminnassa esiintyvät riskit ja havaitut riskit lievennetään siedetylle tasolle ISO 10218-2:2011 -standardin osion 4.3 mukaisesti. Riskianalyysissä on käsiteltävä kaikki yhteistoiminnalliset tehtävät sekä yhteistoimintatila. (8, s. 32.)

Suoritettavassa riskianalyysissä on esiteltävä ja dokumentoitava robotin ominaisuudet kuten nopeudet, voima, teho ja kuorma. Riskianalyysin suorittavan tahon on määriteltävä robotin työkalun aiheuttamat vaarat sisältäen työstökappaleen muodot. Mikäli työstettävässä kappaleessa on teräviä reunoja, kulmia tai muotoja, on ne otettava huomioon riskejä arvioitaessa. (8, s. 32.)

Riskejä määriteltäessä yhteistoimintatilan layout on määritettävä tarkasti ja sen aiheuttamat vaarat tulee poistaa turvallisella suunnittelulla tai siinä esiintyvät riskit täytyy lieventää siedetylle tasolle. Pohjapiirustusta arvioitaessa riskianalyysin suorittajan tulee huomioida yhteistoimintatilassa työskentelevän ihmisen sijainti suhteessa robottiin. Myös työntekijän liikkuminen yhteistoimintatilassa on määritettävä, analysoitava ja dokumentoitava riskianalyysiraporttiin. Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien suorituskykyvaatimukset ovat täytettävä. (8, s. 32.)

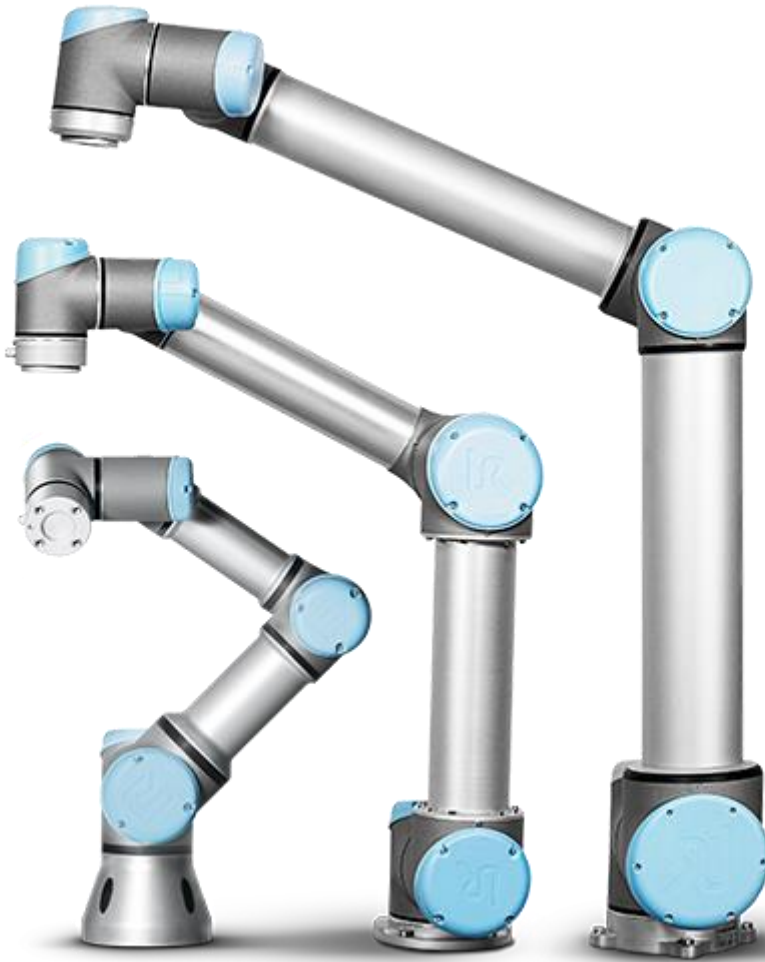
Riskianalyysia tehtäessä robotin ohjaus- tai ohjelmointilaitteen sijainti on määritettävä ja suunniteltava siten, että työntekijällä on esteetön ja ergonomisen pääsy ohjaus- tai ohjelmointilaitteen luokse. Integraattorin on myös määritettävä kiinteisiin esineisiin, kiinnittimiin ja niihin liittyviin toimintoihin liittyvät riskit ja vaaran mahdollisuudet. Mikäli sovellutuksessa esiintyy sovellutuskohtaisia vaaroja, kuten lämpötila, hitsausroiskeet ja kaasut, ovat ne otettava huomioon riskitar-

kastelussa. Työntekijällä vaadittavat henkilökohtaiset suojarusteet on määritettävä ja niihin liittyvät riskit on analysoitava. Ympäristön aiheuttamat vaarat, kuten kemikaalit ja radiotaajuudet, on otettava huomioon. (8, s. 33.)

Yhteistoimintarobottisovelluksessa käytettävien lisäturvallitteiden tulee täyttää ISO 10218-2:2011 -standardin osiossa 5.2 esitellyt vaatimukset. Mikäli yhteistoiminnalliseen robottijärjestelmään on liitetty tai yhdistetty yhteistoiminta-alueen sisällä olevia muita koneita tai toimilaitteita ja niissä esiintyy riskianalyyseissä määritetty potentiaalinen vaaran mahdollisuus, on niiden turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien toimintojen täytettävä vähintään ISO 10218-2:2011 -standardin osion 5.2 vaatimukset. ISO 10218-1:2011 -standardin osion 5.2 mukaan robottijärjestelmään liitetyn koneen turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmien on täytettävä joko ISO 13849-1:2015 -standardin osa 4.5.1 tai kansainvälisen standardin IEC 62061:2005 osan 5.2.4 vaatimukset. Robottijärjestelmän suunnittelijalle annetaan oikeus valita toinen kyseisistä standardeista, koska standardit sisältävät toisiaan vastaavat turvallisuusvaatimukset mutta eri metodein esiteltynä. (8, s. 33; 8, s. 9.)

4 UNIVERSAL ROBOTS -NIVELVARSIROBOTTI

Työssä seurattavat projektit toteutetaan Universal Robotsin yhteistoiminnallisilla roboteilla. Universal Robots valmistaa kolmea erilaista robottia teollisuuteen: UR3, UR5 ja UR10. Mallinimet kertovat robotin maksimi hyötykuorman määrän kiloina (kg). (Kuva 5.) (10, linkit Tuotteet -> Help me choose.)



KUVA 5. Universal Robotsin UR3-, UR5- ja UR10 -robottimallit (10, linkit Tuotteet -> Help me choose)

4.1 Robotin toimintaperiaate

Universal Robotsin nivelvarsirobotit ovat yhteistoimintarobotteja. Tuotteiden ohjausjärjestelmiin on asennettu sisäinen voimanhjausjärjestelmä ja -valvontajärjestelmä, joka kykenee mittaamaan robotin varsiin, niveliin ja työkaluun kohdistuvia ulkoisten voimien suuruutta. Ohjausjärjestelmään on asetettu ISO 10218 -standardin mukaiset vaaditut sallitun ulkoisen voiman raja-arvot. Raja-arvojen ylittyessä robotti pysähtyy välittömästi ja lopettaa toimintansa sekä ilmoittaa robotin ohjauspaneelissa raja-arvojen ylittymisestä. Robotin ohjausjärjestelmän sallima suurin ulkoinen voima on 250 newtonia (N). (11, s. 160.)

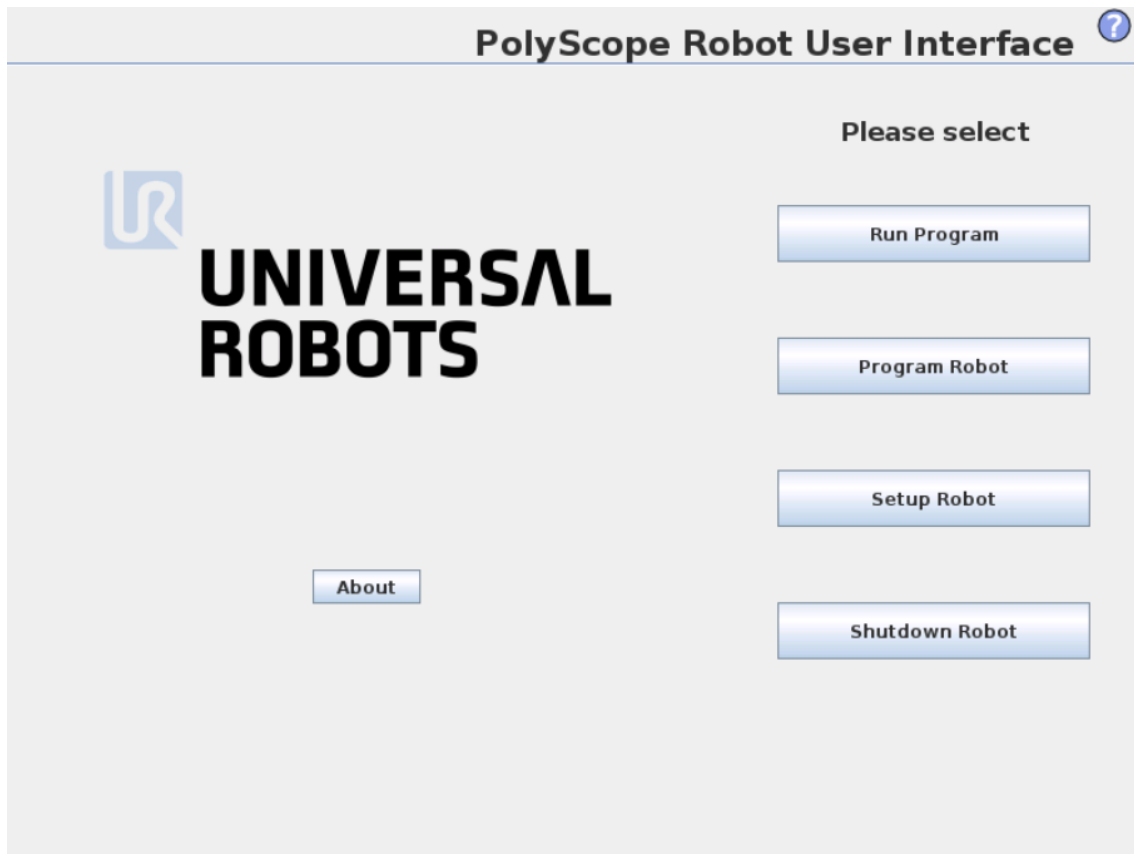
Universal Robotsin valmistamat robotit ovat alumiinisia, kuusiakselisia nivelvarsirobotteja. Jokaiseen niveleen on sijoitettu kitkajarruilla varustettu kolmivaiheinen servomoottori. Servomoottoreita pyörittämällä robotin työkalu saadaan liikkumaan avaruuskoordinaatistossa. Robottien ulottuvuus riippuu valitusta robotimallista. UR3-robotin ulottuvuus on 500 millimetriä ja suurimman mallin, tuotenimeltään UR10, ulottuvuus on 1 300 millimetriä. Nivelvarsirobotin ulottuvuudella tarkoitetaan suurinta etäisyyttä robotin kiinnityskeskuksesta, jolla robotti voi työskennellä. (11, s. 77; 12, s. 75.)

Universal Robotsin nivelvarsirobotit ovat kohdennettu erityisesti pk-yritysten tarpeisiin. Pk-yritysten päävaatimukset ovat usein joustava automaatio ja nopea investoinnin takaisinmaksuaika (eng. Return of investment) (ROI). Näillä roboteilla ohjelmointi on käyttäjäystävällisen kosketusnäytön ansiosta nopeaa, joustavaa ja helppoa eikä ohjelmointi ja robotin käyttö vaadi monimutkaista koulutusta tai syvällistä teknologian tietämystä. (13, linkit Tuotteet -> Universal Robots.)

4.2 Polyscope-käyttöjärjestelmä

Polyscope-käyttöjärjestelmä on Universal Robotsin suunnittelema ja käyttämä visuaalinen käyttöjärjestelmä. Käyttöjärjestelmän avulla robotin käyttäjä voi ohjata robottia ja ohjausyksikköä sekä suorittaa ja kehittää uusia ohjelmia. Po-

Polyscope-käyttöjärjestelmän avulla käyttäjä voi määrittää robottiin vaaditut turvallisuusasetukset kuten nopeuden ja voiman raja-arvot. Käyttöjärjestelmä voidaan suojata salasanalla. Polyscope-järjestelmää käytetään kosketuksella toimivan näyttöpaneelin kautta (kuva 6). (11, s. 81.)



KUVA 6. Polyscope-käyttöjärjestelmän aloitusikkuna (11, s. 81)

5 TEOLLISUUSROBOTIN INTEGRAATIO

Robotiikassa sanalla integraatio tarkoitetaan teollisuusrobotin ohjelmoimista, käyttökohteen suunnittelun ja käyttöönoton prosessia, jolla teollisuusrobotti saatetaan tuotannolliseen käyttöön. Robotti-integraattorit ovat yrityksiä, yhdistyksiä tai yksittäisiä toimijoita, jotka suorittavat integraatioprosessin yleensä toimeksiantajan toimesta. Integraattorit analysoivat tarpeen, suunnittelevat robottisolun ja käyttöönottavat automaation tuotannollisessa ympäristössä. (14, linkit Robotiq FAQ -> What are robotic system integrators.)

Teollisuusrobottijärjestelmän hankinta- ja käyttöönottoprosessi voidaan jakaa pääprosesseihin. Prosessit ovat

- robottijärjestelmän esisuunnittelu
- oheislaitteiden ja robotin käytön suunnittelu
- kannattavuuslaskemien suorittaminen
- menetelmätestaukset
- järjestelmän simulointi
- suunnitelmien toteuttaminen
- riskianalyysi
- järjestelmän asennus ja käyttöönotto
- toiminnallisuuden todentaminen. (15, s. 92 - 110.)

5.1 Robottijärjestelmän esisuunnittelu

Robottijärjestelmän toteuttamista suunniteltaessa tarpeen tulee perustua todelliseen tuotannon automatisointitarpeeseen. Robotisoinnin ensimmäinen vaihe on lähtötilanteen analysointi. Lähtötilanteen analysoinnissa on määritettävä robotilla liikuteltavien kappaleiden tuotantoprosessin vaiheet, tekniset mitat ja vaatimukset sekä työvaiheissa tarvittavat oheislaitteet. On tärkeää tunnistaa ympäristöolosuhteet, jotta työhön osataan valita oikea robotti. Kannattavuuslaskelmien tekemistä varten teknisten määrittelyiden lisäksi täytyy määrittää nykytilan miehitys. Esisuunnitteluvaiheen tavoitteena on määrittää hankittavan laitteiston yleiset suuntaviivat. (15, s. 92 - 93.)

Lähtötilanteen analysoinnin jälkeen määritetään tarkemmat tiedot robottisolussa vaadittavista oheislaitteista sekä tarkennetaan robottisolun layout-piirustusta suunnitelmien edetessä. Oheislaitteiksi katsotaan muun muassa tarttujat ja kiinnittimet sekä mahdolliset kuljetin ja paikoitusjärjestelmät. Oheislaitteiden yleisinä valintakriteereinä pidetään niiden käyttöluotettavuutta, laatua sekä soveltuvuutta robottijärjestelmään. Laitteiden valinta suoritetaan kartoittamalla käyttöolosuhteet kunkin oheislaitteen näkökulmasta. Robottisolun suunnittelussa on selvitettävä vaadittu suorituskyky, kuten oheislaitteen kuormitus ja vaadittu tahtiaika. Esisuunnittelussa määritellään myös robottisolun turvajärjestelmät, esimerkiksi robotin eristäminen ihmisestä. Myös robottisoluun sijoitettavien oheislaitteiden on täytettävä viranomaisten määrittämät turvallisuusvaatimukset. (15, s. 92; 17, s. 94.)

Esisuunnittelun valmistuttua vaihtoehtoiset toteutussuunnitelmat järjestetään paremmuusjärjestykseen kustannuslaskennan avulla. Kustannuslaskenta tehdään esisuunnittelussa muodostetun järjestelmäspesifikaation avulla. Kustannuslaskennassa määritetään robottisolun takaisinmaksuaika, jonka avulla voidaan määrittää, mikä vaihtoehtoisista järjestelmistä olisi paras vaihtoehto. Vaihtoehtoisia järjestelmiä valittaessa robottisolun joustavuutta voidaan pitää merkittävänä valintaperusteena. Joustavuudella tarkoitetaan järjestelmän sopeuttamisen helppoutta uusiin tuotevariantteihin, joita tulevaisuudessa saatetaan valmistaa. (15, s. 93.)

Robottijärjestelmän vaatimat investoinnit täytyy määrittää tarkasti, jotta investointi olisi kannattava. Teollisuusrobotin käyttöönoton kustannukset voidaan jakaa kustannustekijöihin. Järjestelmän kustannuksista keskimäärin 50 % muodostuu mekaniikasta ja laitteistosta sekä 30 % suunnittelusta, ohjelmoinnista ja asennuksesta. Robotin käytön kouluttaminen tuotannon henkilökunnalle kattaa 5 % koko järjestelmän kustannuksista sekä 5 % kokonaiskustannuksista syntyy projektinhoidosta. Robottisolun käyttöönotto on määritelty olevan 10 % projektin kustannuksista. (15, s. 109 - 110.)

5.2 Robottisolun menetelmätestaus

Mikäli robottisolun joudutaan suunnittelemaan uusia tuotantomenetelmiä, täytyy niille tehdä vaadittavat menetelmätestaukset. Testauksien tavoitteena on nopeuttaa järjestelmän käyttöönottovaihetta ja vähentää siinä esiintyviä virheitä. Menetelmäkoekokeiden avulla selvitetään tarvittavat parametrit robotin ohjaukseen ja niiden avulla selvitetään valittujen oheislaitteiden toimintavarmuus. Luotettavien parametrien selvittämiseksi kokeet tulisi tehdä vastaavissa olosuhteissa missä robotti tulee toimimaan. (15, s. 93 - 95.)

5.3 Robottijärjestelmän simulointi ja mallinnus

Robottijärjestelmän suunnittelua voidaan helpottaa 3D-mallinnuksen avulla. Mallinnuksen avulla voidaan suunnitteluvaiheessa kokeilla erilaisia layout vaihtoehtoja, arvioida robotin tekemän prosessin työaika sekä testata suunniteltujen oheislaitteiden toimivuutta järjestelmässä. Robottijärjestelmän mallinnus antaa varmuuden hankintapäätöksiä tekemiselle, koska hankittavaksi suunniteltujen komponenttien käyttäytyminen voidaan testata ennen varsinaista hankintaa.

Robottisolun mallinnus suoritetaan 3D-simulointiohjelmien avulla. Robottijärjestelmän mallinnuksen ja suunnitelmien pohjalta voidaan toteuttaa järjestelmän riskianalyysi. Riskianalyysissä arvioidaan robottisolussa esiintyvät vaarat ja riskit. Vaarojen tunnistamisen jälkeen ne tulee poistaa ja esiintyvät riskit tulee lieventää siedetylle tasolle. Kun riskianalyysi on suoritettu ja dokumentoitu, voidaan siirtyä suunnitelmien toteutusvaiheeseen. (15, s. 96 - 99.)

5.4 Suunnitelmien toteuttaminen

Suunnitelmien toteuttamisesta tehdään projektisuunnitelma. Toteutusvaihe voidaan jakaa osavaiheisiin, joiden perusteella lopullinen käyttöönotto voidaan toteuttaa. Osavaiheet ovat

- toteutuksen aikataulun laatiminen
- komponenttien ja järjestelmien ostopäätökset sekä hankinta

- mekaaninen asennus ja käyttöönotto
- robotin kalibrointi ja ohjelmointi
- koeajovaihe ja kehitystoimenpiteet
- työntekijöiden koulutus ja käyttöopastus. (15, s. 102.)

Järjestelmän hankinta

Suunniteltu robottijärjestelmä voidaan hankkia avaimet käteen -periaatteella tai hankkimalla järjestelmä itse, mutta toteuttamalla asennus robottitoimittajalla. Vastaavasti robottijärjestelmä voidaan toteuttaa hankkimalla laitteet ja asentamalla ne itse. Avaimet käteen -periaate on nopea ja tehokas prosessi. Ongelmana kokonaistoimituksissa on, että toimittajalla voi olla usein puutteellinen ymmärrys tilaajan prosessista, joka on välttämätöntä onnistuneen prosessin loppuun saattamiseksi. Avaimet käteen -periaate vaatii välitöntä yhteistyötä robottijärjestelmän ja tilaajan välillä, jotta lopputulos olisi onnistunut. (15, s. 101.)

Robottijärjestelmä voidaan hankkia itse ja antaa asennustyö sekä käyttöönotto ulkopuolisen toimittajan tehtäväksi. Tällä menetelmällä päästään usein kustannustehokkaaseen lopputulokseen, koska yritys voi muun muassa hankkia robotin käytettynä. Asennus ja käyttöönotto on siihen erikoistuneen ammattilaisen tehtävä, joten se voidaan olettaa sujuvan tehokkaasti. (15, s. 101.)

Mikäli robottijärjestelmä päätetään hankkia ja käyttöönottaa itsenäisesti, vaatii se runsaasti automaatio-osaamista. Järjestelmähankinta ja robotisoinnin toteutus oman yrityksen henkilöstön toimesta on riskialtis, mutta se myös kehittää henkilöstön osaamista automaatiosta. Onnistunut robottijärjestelmän itsenäinen käyttöönotto vaatii realistista aikataulua, riittäviä taloudellisia resursseja sekä tasokasta henkilöstön koulutustasoa. (15, s. 101.)

Hyvin suunniteltu ja käyttöönotettu robotisointi on vartenotettava vaihtoehto tuottavuuden kasvattamiseen. Robottisoluprojektin läpiviemisessä on otettava huomioon useampia asioita kuin tavanomaisessa laitehankinnassa, koska robotisointi on lähes poikkeuksetta räätälöity kokonaisuus. Projektikokonaisuuden

tarkka hallinta on tärkeää, jotta investointi olisi kannattava. Onnistunut lopputulos saavutetaan yhdistämällä yrityksen oman henkilöstön tietotaito ja robotti-integraattoreiden asiantuntemus robotisoinnista. (15, s. 110.)

6 PROSESSIKUVAUS PROJEKTITOIMINNAN PERUSTANA

Prosessi käsitetään joukkona toisiinsa liittyviä toimintoja ja toimintojen toteuttamiseen vaadittavia resursseja. Kaikki toiminta ja kehitystoiminnot voidaan kuvata prosesseina. Toimintojen ja resurssien avulla syötteet muutetaan tuotteiksi. Prosesseihin liittyvät toiminnot ovat toistuvia ja luonteeltaan erilaisia toimintoja, jotka yhdessä koostavat kokonaisvaltaisen prosessin. (16, s. 121.)

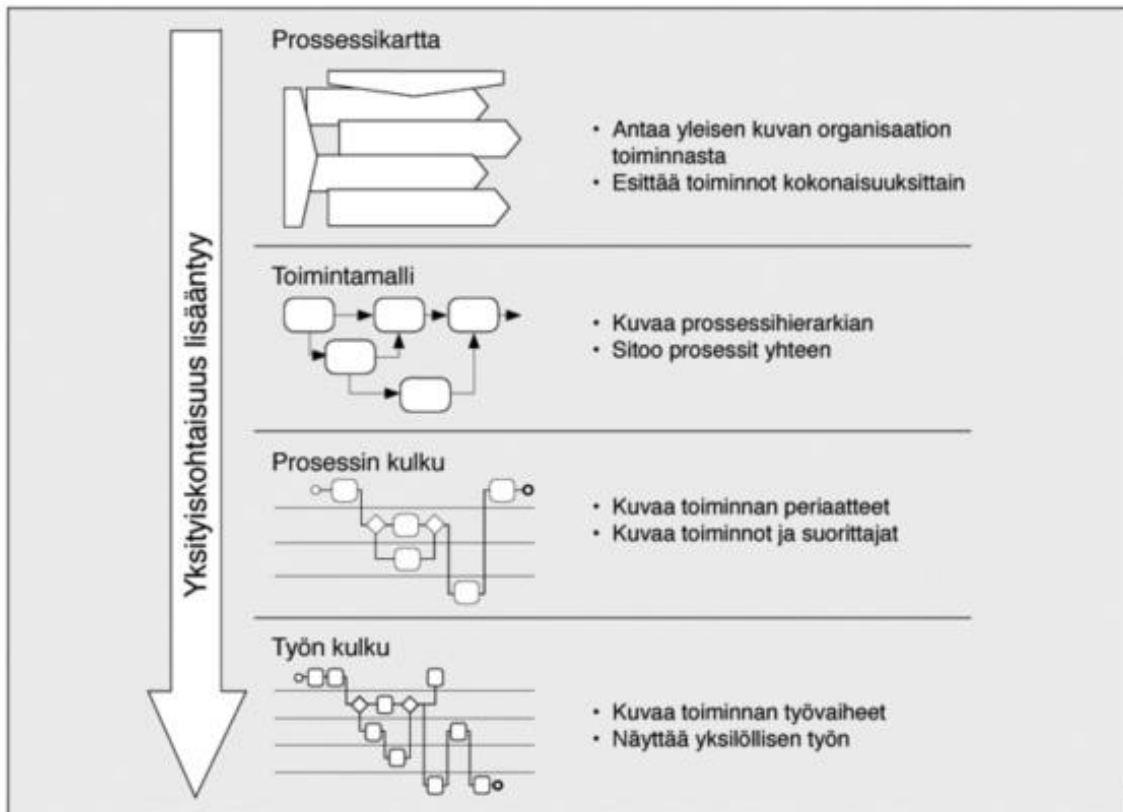
Prosessit voidaan jakaa ydinprosesseihin ja tukiprosesseihin. Ydinprosessit ovat organisaation toiminnassa keskeisin prosessi ja ne liittyvät suoraan ulkoisille asiakkaille tuotettuihin palveluihin. Tukiprosessit luovat edellytykset ydinprosessien toiminnalle. Tukiprosesseiksi käsitetään ne prosessit, jotka eivät tuota arvoa ulkoisille asiakkaille vaan ne tuottavat arvoa organisaation sisäisissä toiminnoissa. (17, s. 2.)

6.1 Prosessin kuvaaminen

Erilaiset prosessit voidaan kuvata graafisesti niiden ymmärtämisen helpottamiseksi. Prosessin kuvauksessa esitetään ne toiminnot ja niiden keskinäiset suhteet, jotka ovat kriittisiä prosessin ymmärtämisen kannalta. Kuvaus usein sisältää tiedon prosessin oleellisista tekijöistä kuten resursseista, menetelmistä ja työkaluista. Prosessin kuvaamisessa voidaan käyttää erilaisia prosessikaavioita. (16, s. 123 - 125.)

6.2 Prosessien neljä kuvaustasoa

Prosessien kuvaamisen tarkoitus on kasvattaa organisaation tehokkuutta esimerkiksi projektitoiminnassa. Kuvauksien avulla on mahdollista lyhentää kuvattun prosessin läpimenoaikaa. Prosessien mallintaminen johtaa tuottavuuden parantumiseen lyhentyneen läpimenoajan ja kasvaneen tehokkuuden seurauksena. Prosessikuvauksen tarkoituksena on välittää prosessin suorittajille kaikki tarpeellinen ja olennainen informaatio. (Kuva 7.) (16, s. 101 - 103; 17, s. 6.)

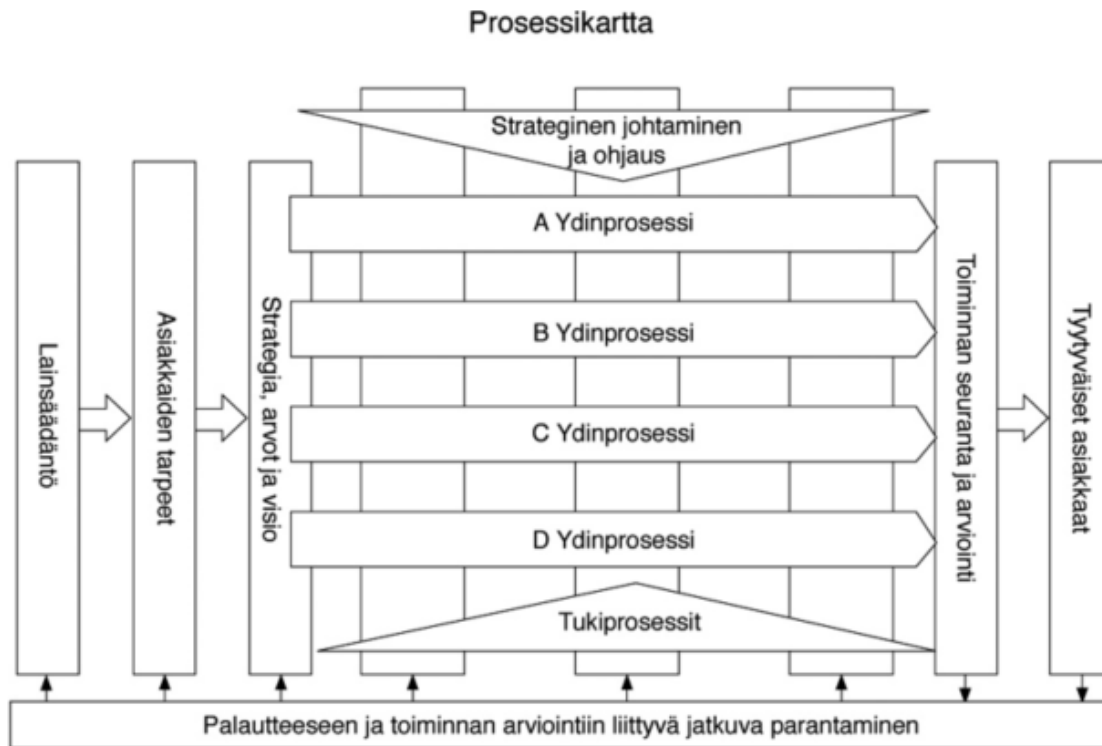


KUVA 7. Prosessien kuvaamisen tasot (17, s. 6)

Prosessikartta

Prosessikartan avulla esitetään graafinen kuvaus toimintokohteen ydin- ja tukiprosesseista. Prosessikartta esittelee toimintojen väliset yhteydet ja sitä käytetään usein kuvattaessa organisaation toimintaa. (16, s. 126.)

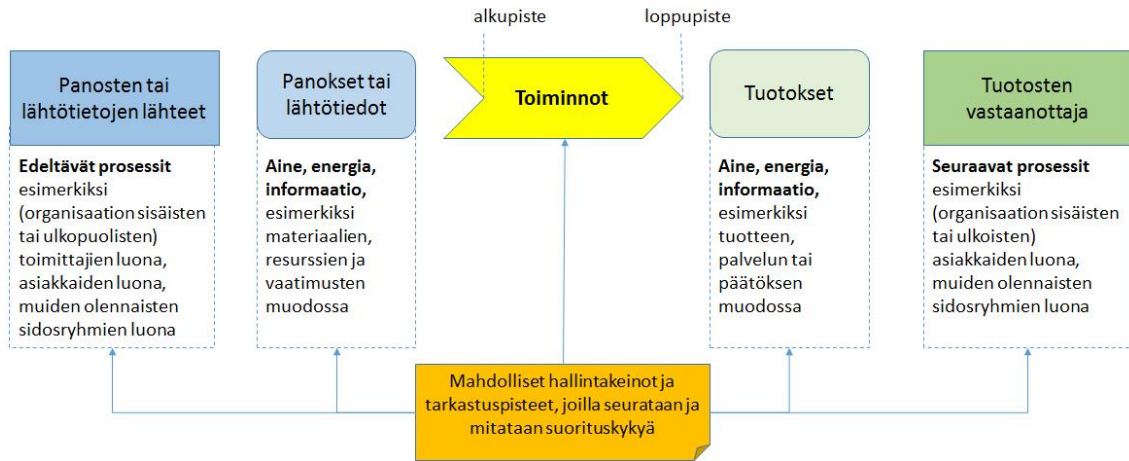
Prosessikartan tehtävänä on esittää informatiivisesti kokonaiskuva kuvatusta prosessista. Jotta prosessikartta pysyy informatiivisena, prosessikartassa ei esitetä prosessien välisiä riippuvuuksia, eikä yksityiskohtaisia tietoja. (Kuva 8.) (17, s. 7.)



KUVA 8. Esimerkki prosessikartasta (17, s. 7)

Toimintamallikuvaus

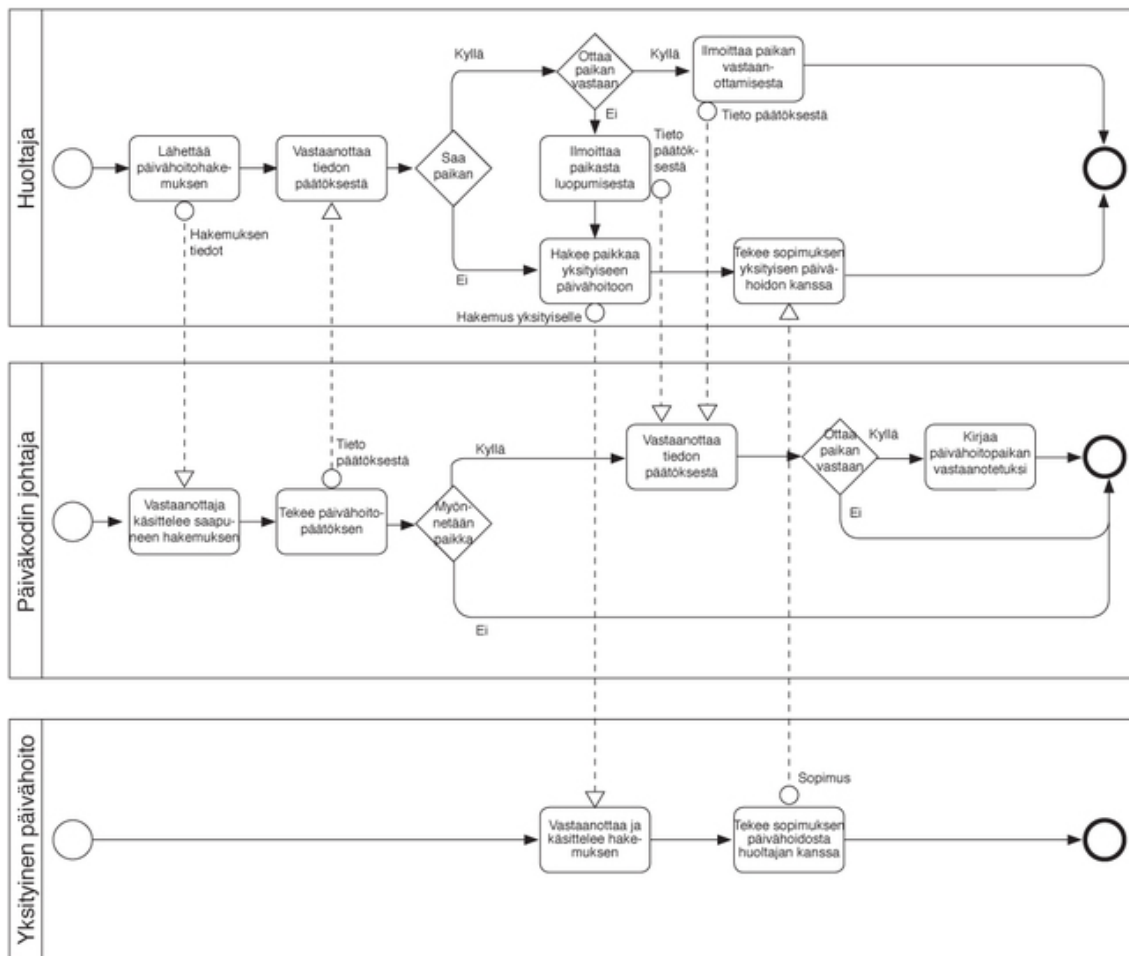
Toimintamallikuvaus on kehitetty kuvailemaan organisaation toimintaa prosessikarttatason tarkemmin. Toimintamallikaaviossa esitetään ydin- ja tukiprosessien lisäksi prosessihierarkia. Prosessihierarkialla tarkoitetaan prosessien jakamista osaprosesseiksi. Kyseisessä prosessikuvaustavassa päätavoitteena on kuvata prosessien väliset riippuvuudet, rajapinnat muuhun ympäristöön sekä keskinäiset vuorovaikutussuhteet. Toimintamallikuvaus koostuu toimintamallikaaviosta sekä sitä täydentävästä tekstiosiesta. (17, s. 7.) (Kuva 9.)



KUVA 9. Esimerkki yksinkertaisesta toimintamallikaaviosta (18)

Prosessin kulku

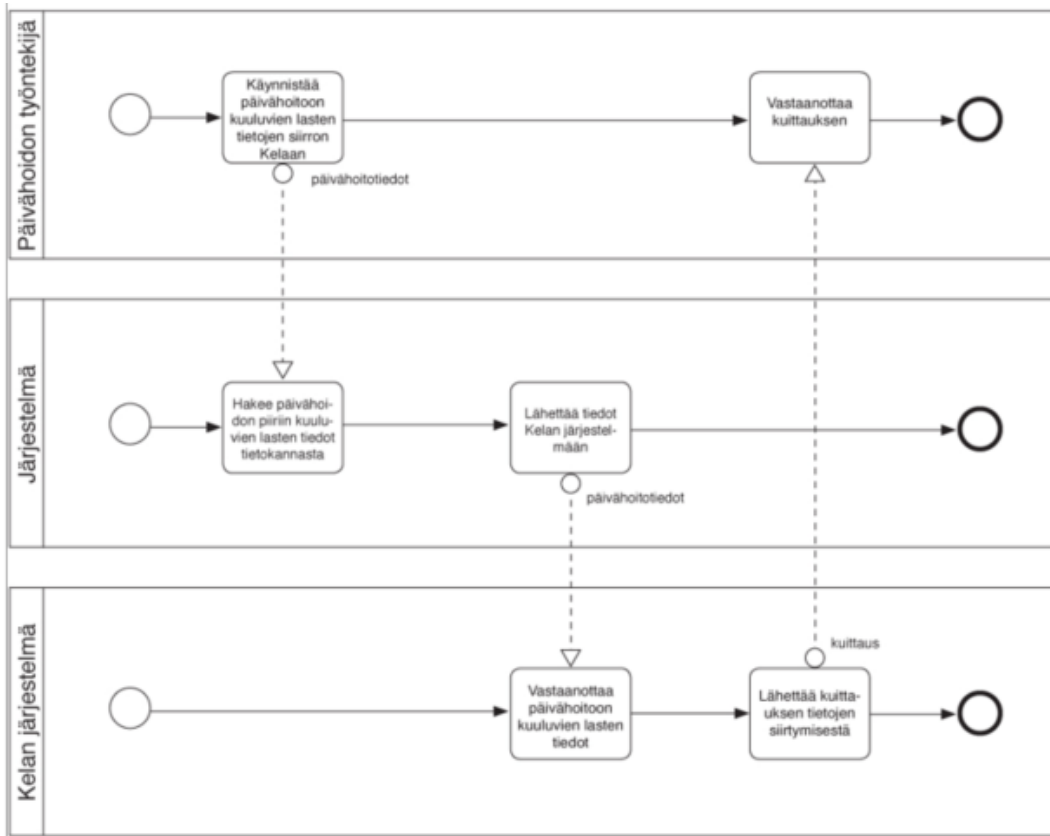
Prosessin kulku -tasolla toiminta kuvataan yksityiskohtaisemmin kuin toimintamallitasolla. Prosessin kulku -kuvauksessa kuvataan tietyn toiminnan työvaiheet, niiden toiminnot sekä niistä vastaavat toimijat. Kuvauksen tarkkuudesta riippuen, kuvauksessa voidaan tarkastella prosessin ja osaprosessien jakautumista erillisiksi toiminnoiksi, tehtäviksi, toimenpiteiksi ja osatehtäviksi. Yksityiskohtaisessa prosessin kulku -kuvauksessa kuvauksiin voidaan liittää erilaisia resursseja. Prosessin kulkukaaviota voidaan käyttää esimerkiksi tarjoustoiminnan prosessia kuvattaessa. (Kuva 10.) (17, s. 8; 16, s. 125.)



KUVA 10. Prosessin kulkukaavio (17, s. 9)

Työnkulkukaavio

Työnkulkukaavio on erinomainen keino kuvata prosessien sisäiset ja ulkoiset toimintojen riippuvuudet tietotyyppinä. Työnkulkukaaviosta saadaan selville, missä muodossa tieto liikkuu eri toimintojen välillä. Prosessia kuvattaessa työnkulkutasolla kuvaajan tulee esittää liittymät asiakkaan toimintoihin, sidosryhmiin ja taustajärjestelmiin. Työnkulkukaavion tavoitteena on esittää toimenpiteiden saamat syötteet ja tiedot sekä niistä saatavat lopputulokset ja tuotokset. Työnkulkukaaviota voidaan käyttää esimerkiksi prosessin läpimenoaikaa lyhennettäessä ja prosessia kehitettäessä. (Kuva 11.) (17, s. 10.)



KUVA 11. Työnkulkukaavio (17, s. 10)

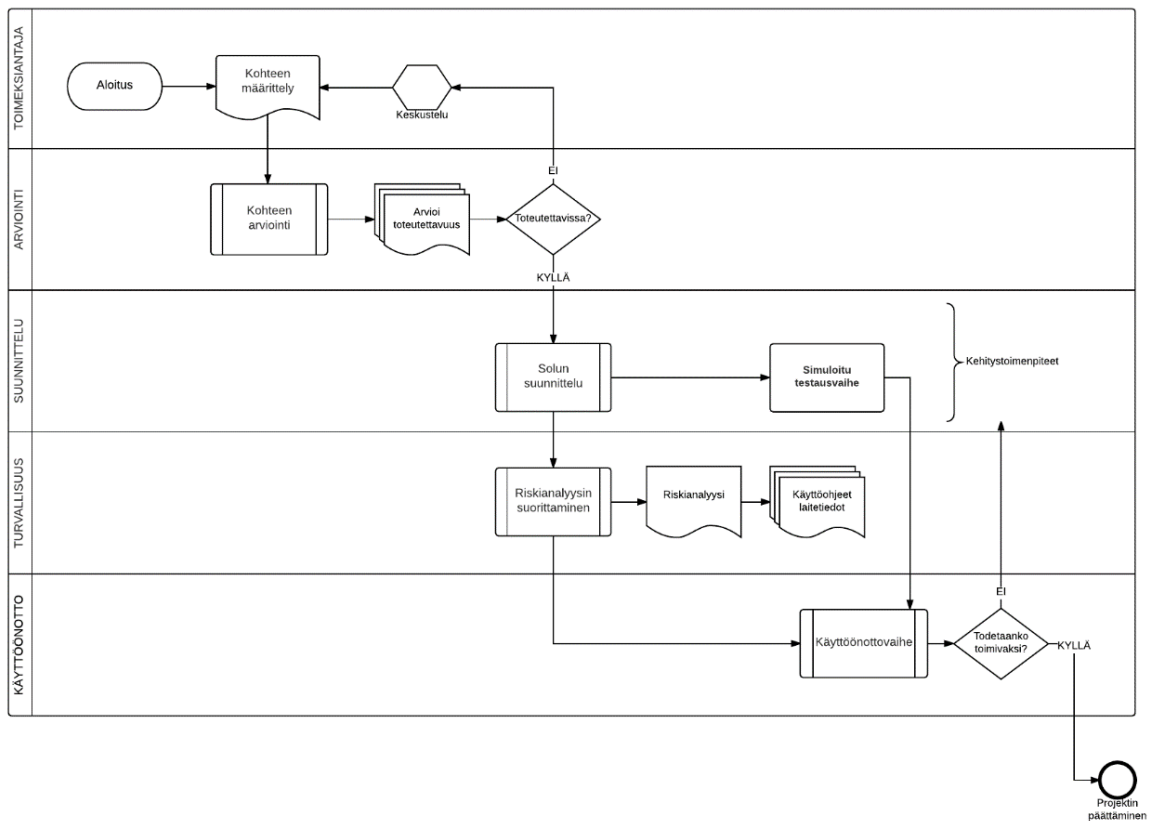
7 INTEGRAATION PROSESSIKUVAUS

Perinteisen teollisuusrobotin integraatio vaatii useimmiten ulkopuolista osaamista, mikäli yrityksellä ei ole sisäistä automaatiohenkilökuntaa. Automaatio-osaamisen ostaminen yrityksen ulkopuolelta on iso ja kallis investointi yritykselle. Teollisuusrobotin käyttöönotto on hyvin monimutkainen vaihe, ja prosessi vaatii automatisointiin sitoutuneita työntekijöitä. Lisäksi teollisuusrobotin käyttöönotto on pysyvä ratkaisu, jonka seurauksena yrityksen henkilöstössä on oltava robotiikan asiantuntijoita. Näiden tekijöiden seurauksena teollisuusrobotin integroiminen vaatii runsaasti resursseja pk-yrityksissä.

Yhteistoiminnallisen robotiikan kehittyminen johtaa tilanteeseen, että yritys voi kouluttaa tuotannon työntekijöitä ohjelmoimaan ja käyttämään yhteistoimintarobotteja tuotantovälineenä. Yhteistoiminnallinen robotti on joustava ja helppokäyttöinen ratkaisu nostaa tuottavuutta ja työntekijöiden tehokkuutta sekä parantaa työolosuhteita kuten työskentelyergonomiaa.

Yhteistoiminnallisen robotin integroiminen tuotantokäyttöön on selkeä ja suoraviivainen prosessi. Prosessi aloitetaan arvioimalla tarve ja suunnittelemalla kohde robotisoinnille. Teknisten raja-arvojen määrittämisen jälkeen robottisolu voidaan suunnitella ja valmistaa sekä myöhemmässä vaiheessa käyttöönottaa tuotannossa.

Tässä opinnäytetyössä määritettiin yhteistoiminnallisen robotin integraatioprosessi ja siitä koostettiin prosessikuvaus pää- ja osaprosessien tasolla (kuva 12). Prosessikuvausta on tarkoitus tulevaisuudessa hyödyntää Oulun ammattikorkeakoulun opiskelijaprojekteissa, mutta sitä voidaan käyttää myös yritystoiminnassa. Prosessikuvauksen avulla opiskelijat saavat käsityksen suunnitteluprosessin sisältämistä vaiheista ja täten projektin suunnittelu on suoraviivaisempaa. Seuraavassa esitellään prosessikartan tekijät ja osaprosessit sekä prosessissa hyödynnettävissä olevat dokumenttipohjat.



KUVA 12. Yhteistoiminnallisen robotin integraation pääprosessit

7.1 Kohteen arviointi

Tässä työssä aloitettiin ensimmäisenä pohtimaan, mitkä asiat vaikuttavat robotisolun toteutuksen teknisen vaativuuden ja kustannuksien arviointiin. Oulun ammattikorkeakoulussa meneillään olevassa robottihankkeessa suoritettavien projektikohteiden seurannan perusteella havaittiin, että automatisoinnin kohde on tärkeää arvioida tarkasti, ennen kuin varsinaisia kehitystoimenpiteitä aloitetaan tekemään. Tarkasti tehty arviointi antaa pohjan suunnittelulle, jonka seurauksena saadaan lähtökohdat kapasiteetin, toteutettavuuden, kustannusten ja kannattavuuden arvioimiseen.

Projektien seurannassa huomattiin, että jotkin kohteet ovat teknisesti vaativia automatisoinnin suhteen, joten teknisen vaativuuden arviointi on suunnitteluprosessin kannalta tärkeä vaihe. Kehitysprojektin kannattavuus on tärkeää arvioida

etukäteen, jotta siihen laitettut resurssit vastaavat projektista saatua tuotosta. Suuri työmäärä ja suuret investoinnit ovat perusteltavissa takaisinmaksuajan avulla. Näin ollen suuret investoinnit eivät ole peruste projektin toteuttamatta jättämiselle vaan toteutuksen tuotokset on arvioitava ennen päätöksien tekoja. Ulkoapäin katsottuna automatisoinnin kohde saattaa näyttää erittäin yksinkertaiselta ja hyödylliseltä, mutta laskelmat ja tarpeen arviointi on syytä suorittaa tarkasti, jolloin vältetään odottamattomilta kustannuksilta ja projektin pitkittymiseltä.

Kehitysprojekti on järkevää toteuttaa vain niissä tapauksissa, joissa voidaan sen todeta tuovan hyötyä yritykselle taloudellisesti tai muun määritellyn funktion perusteella. Teknisen toteutuksen vaativuuden ja tarpeen arvioinnin perusteella voidaan arvioida, onko kehitysprojekti kannattava. Lisäksi ennen investointipäätöksen tekemistä on syytä määrittää kaikki potentiaaliset yhteistoiminnallisen robotin käyttökohteet, jotta joustavuuden ja siirrettävyyden hyödyt saadaan käyttöön.

Opinnäytetyössä määriteltiin kolme askelta, joiden avulla kohde arvioidaan. Ensimmäiseksi määritetään projektin organisaatio. Toisessa vaiheessa on arvioitava projektikohteen monimutkaisuus ja toteutuksen vaativuusaste. Monimutkaisuuden arvioinnin jälkeen arvioidaan kohteen investoinnit ja takaisinmaksuaika. Kohteen arvioinnissa syntyy dokumentteja, joita voidaan käyttää hyödyksi prosessikuvauksen seuraavassa pääprosessissa, suunnitteluvaiheessa.

7.1.1 Projektin organisaatio

Robottisolun suunnittelu on normaalin tuote- ja tuotannonkehitysprojektin yhdistelmä. Opinnäytetyön yhteydessä seurattiin kymmentä suunnitteluprojektia, joissa tavoitteena oli suunnitella yhteistoiminnallisen robotin käyttöönotto toimeksiantajan tuotantolaitoksessa. Projekteja seurattaessa huomattiin, että robottisolun suunnitteleminen sisältää aina jonkinasteista menetelmäkehitystä prosessin kehittämisen lisäksi. Useissa tapauksissa esimerkiksi robotin jalusta jouduttiin suunnittelemaan itse, koska valmiit ratkaisut eivät tuottaneet tyydyttävää lopputulosta. Toisekseen myös robotin työkalulaipan kiinnitys ja työkalut

vaativat tuotekehitystä ja suunnittelua. Näiden havaintojen perusteella huomattiin, että robotisointiprojektia aloitettaessa olisi hyvä määritellä projektiryhmän kokoonpano ja vastualueet tarkasti. Organisaation määrittelemisellä varmistetaan, että projektiryhmällä on vaadittava tietotaito projektin läpiviemiseen.

Projektin hallinnan ja etenemisen varmistamiseksi projektiryhmän jäsenien roolit on jaettava heti projektin alussa ennen varsinaista suunnittelun aloittamista. Tämän seurauksena projektikokoonpanon määrääminen asetettiin prosessikuvausten alkupuolelle. Kehitysprojektin alussa projektiryhmä koostetaan siten, että projektiryhmässä on tasaisesti erilaisia ominaisuuksia sisältäviä työntekijöitä. Projektiryhmästä tulisi löytyä seuraavaa osaamista:

- robotin tuottaman prosessin suunnittelu ja toiminta
- tuotekehitys ja dokumentointi
- ohjausjärjestelmät ja ohjelmointi vaaditulta tasolta
- projektin hallinta ja päätöksenteko
- innovaatio- ja ideointikyky.

Projektiryhmä perustetaan projektin aloittamisen yhteydessä. Roolit on hyvä jakaa projektiryhmässä toimivien työntekijöiden taitojen mukaan, jotta projektiryhmästä saadaan maksimaalinen hyöty. Työssä tehdyn seurannan perusteella huomattiin, että mitä vähemmän toteutuskohteessa vaaditaan erillisiä oheisautomaatiolaitteita, sitä pienemmällä projektiorganisaation tietotaitotasolla voidaan toimia. Toisin sanoen, mitä lähempänä yhteistoiminnallisuutta esitetty toteutuskohte on, sitä vähäisemmällä projektiorganisaation resursseilla voidaan toteuttaa kyseinen kehitysprojekti. Projektiorganisaation perustamisen jälkeen voidaan aloittaa toimeksiantajan määrittelemän kohteen arviointi ja esisuunnittelu.

7.1.2 Teknisen toteutuksen vaativuuden arviointi

Robotin sijoituskohte tulee määritellä tarkasti ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista. Kun kohde on selvillä, on tärkeää listata kohteen työtehtävät ja työstettävän kappaleen mitat ja vaatimukset.

Tehokkain tapa määrittää sovellutuksen tekninen vaativuustaso, ja sen seurauksena toteutettavuus, on listata vaihe vaiheelta tehtävät, jotka robotin tulisi suorittaa. Tehtävien listaus toteutetaan seuraamalla nykytilan mukaista toimintaa. Integraatiota suunnitteleva projektiryhmä seuraa tuotannontyöntekijää, joka sillä hetkellä työskentelee automatisoinnin kohteena olevassa tuotantosolussa. Tavoitteena on listata jokainen työvaihe, niihin liittyvät erityisvaatimukset ja työvaiheiden suhteet keskenään.

Tässä opinnäytetyössä koostettiin yksinkertainen Powerpoint-tiedosto, joka toimii työvaiheiden listauksen ja työkohteen toteutettavuuden vaativuustason määrittämisen pohjana. Powerpoint-tiedosto on toteutettu siten, että se olisi mahdollisimman kuvaava sekä helposti täytettävissä. Dokumentin ajatuksena on helpottaa työaseman automatisoinnin toteutettavuuden ja toteutuksen monimutkaisuuden arviointia. Liitteessä 1 on esitelty koostettu dokumentti. Dokumentti koostettiin siten, että dokumenttipohja ohjeistaa dokumentin käyttäjää.

Automatisoinnin suunnittelun kohteena olevan työaseman vaiheiden määrittämisen jälkeen työvaiheiden monimutkaisuus arvioidaan vaihe vaiheelta. Arvioinnissa otetaan huomioon aistit, joita työntekijä joutuu kappalletta käsitellessään käyttämään. Opinnäytteen aikana huomattiin, että aistien käyttäminen on erittäin tärkeää määrittää, koska robotilla ei ole luontaisia havainnointiaisteja. Työtä tehdessään ihminen käyttää hyväkseen näkö- ja tuntoaistin yhdistelmää kappalletta käsitellessään. Tehtävät, joissa tarvitaan tuntoaistia, ovat robotille vaikeita. Ne vaativat usein erillisiä toimilaitteita, kuten konenäköjärjestelmää tai erillistä voimantunnistusanturointia. Arvioinnissa tulee ottaa huomioon myös robotin ja mahdollisen tuotantolaitteen keskinäinen kommunikointi. Kommunikoinnilla tarkoitetaan esimerkiksi käskyn lähettämistä robotilta toimilaitteelle.

7.1.3 Kustannukset

Kehitysprojektien yhteydessä syntyy tarpeita investoinneille. Investoinnit on perusteltava kannattavaksi. Robotin integraatioprosessissa investoinnit ovat tärkeä osa projektin kannattavuutta. Useimmiten tärkeimpänä investoinnin kannattavuusmittarina pidetään takaisinmaksuaikalaskelmaa.

Joustavan robotiikan hankintaa suunniteltaessa on muistettava joustavuuden ja siirrettävyyden tärkeys. Suurien tuotantoerien valmistuksessa perinteisten robotien aiheuttamat investoinnit pystyttiin perustelemaan kannattavaksi yhden käyttökohteen avulla. Työssä huomattiin, etteivät piensarjatuotannossa yhteistoimintarobottien vaatimat investoinnit aina ole kannattavia, mikäli kannattavuutta perustellaan vain yhden käyttökohteen periaatteella.

Joustavuuden ja nopean siirrettävyyden johdosta yhteistoiminnallisen robotin investoinnit ovat mahdollista perustella useampien käyttökohteiden avulla. Työn aikana huomattiin, että mitä useampaan käyttökohteeseen yhteistoiminnallinen robotti soveltuu, sitä kannattavamiksi investoinnit muodostuvat. Tämän seurauksena yhteistoiminnallisen robotin negatiivista investointipäätöstä ei kannata tehdä yhden käyttökohteen analysoinnin perusteella.

Tässä opinnäytetyössä esitellään yhden käyttökohteen kannattavuuden arvioinnin perusteet. Työssä esiteltä kannattavuuden ja teknisen toteutettavuuden arviointi suoritetaan potentiaalisimmille käyttökohteille, minkä jälkeen voidaan tehdä luotettava investointipäätös.

Opinnäytetyössä seurattiin kehitysprojekteja, joiden taustalla oli yrityksen toimeksianto. Toimeksiannon seurauksena jokaisessa projektissa tuli perustella projektista aiheutuneiden investointien taloudellinen kannattavuus.

Projektikohteen monimutkaisuuden ja toteutettavuuden arvioinnin jälkeen on hyvä arvioida investointien suuruutta ja tarvetta. Huomattiin, että automatisointi hyvin usein vaatii robotin hankkimisen lisäksi muita hankintoja. Robotin hankki-

minen on yritykselle suurin hankintaerä, mutta myös pienistä yksittäisistä komponenteista saattaa kertyä kohtuullisen suuri hinta. Investoinnit määrittelevät projektin kannattavuuden. Taloudellisen kannattavuuden arvioinnin jälkeen tehdään päätös projektin eteenpäin viemisestä.

Laitteiston kustannukset

Tarvittavien investointien määrittämiseen valmisteltiin Excel-taulukko. Taulukoon listataan kaikki vaadittavat investoinnit, jotka voidaan kohtuullisella varmuudella arvioida etukäteen. Excel-taulukkoa täytettäessä käytetään hyväksi jo aikaisemmin tehtyä vaativuustason arviointidokumenttia (liite 1). Excel-dokumentin perusteella voidaan arvioida yleisimmät investoinnin kohteet, kuten esimerkiksi tarttujan koko ja malli, konenäköjärjestelmän tarve ja lisäturvajärjestelmien vaadittavuus. Taulukossa 1 esitellään opinnäytetyön pohjalta laadittu investointien arviointilomake.

TAULUKKO 1. Vaadittavien investointien suunnittelupohja

Investoinnit	Kustannukset	Kuvaus
Robotti [€]	- €	[robottimalli]
Tarttuja [€]	- €	[tarttujamalli]
Kappaleen tarjontatapa [€]	- €	[laatikko/tarjotin/lava]
Konenäköjärjestelmä [€]	- €	[kameramalli]
Toiminnan seurantajärjestelmä [€]	- €	[kuvaile järjestelmä]
Muut oheislaitteet [€]	- €	[kuvaile toimilaitteet]
Puhdistusjärjestelmä [€]	- €	[kuvaile puhdistustapa]
Fyysiset aidat/esteet/suojat [€]	- €	[kuvaile tarvittava suoja]
Robottiin liitettävien laitteiden ro- bottivalmius [€]	- €	
Integraation kustannukset [€]	- €	
Muut kulut [€]	- €	[kuvaile muut kulut]
Alkuinvestoinnit yhteensä	- €	

Tulevaisuudessa robotisointiprojektin työryhmä täyttää taulukon ja arvioi kustannuksien tason. Oulun ammattikorkeakoulun hankehenkilökunta kerää jatkuvasti tietoa laitteistojen hinnoista, joten hankkeen edetessä hintatietous kasvaa jatkuvasti ja investointien arviointi on entistä nopeampaa ja tarkempaa. Taulukon

ideana on toimia vain karkean investointiarvion pohjana, jonka avulla integraation kannattavuutta voidaan etukäteen arvioida.

Taloudellinen kannattavuus

Taloudellisen kannattavuuden määrittämiseen valmisteltiin taulukkopohja takaisinmaksuajan määrittämiseen. Taulukkopohjan perusteella voidaan arvioida käyttökohteen automatisoinnista saatavia vuosittaisia kustannushyötyjä. Taulukkoon 2 on eritelty kaksi osiosta, joissa määritellään nykytilan tuotantotekijäkustannukset ja tavoitetilan kustannukset vuosittaisella tasolla. Taulukkoon täytetään nykytuotannon kustannukset kyseisessä työasemassa, joka olisi kehitysprojektissa automatisoitavana. Nykytilan kustannuksien jälkeen arvioidaan tavoitetilan kustannukset. Tavoitetilan arvot perustuvat integraatioprosessin seurauksena saataviin kustannushyötyihin, joita ovat muun muassa vähentynyt työntekijän tarve työasemassa. On tärkeää muistaa tehdä kyseinen kannattavuuden arviointi jokaiselle työasemalle, jossa yhteistoimintarobottia voitaisiin hyödyntää. Kaikkien käyttökohteiden arvioinnin jälkeen voidaan suorittaa lopullinen investoinnin kannattavuusarviointi.

TAULUKKO 2. Tuotannontekijöiden kustannukset nykytilassa ja tavoitetilassa

Lähtökohdat	Nykytila	Automatisoinnilla saatavat hyödyt [vuodessa]	Tavoite-tila
Työntekijöiden tarve	-	Työntekijöiden tarve	-
Työtunnit per päivä [h]	-	Työvuorojärjestelmä	-
Työvuorojärjestelmä	-	Palkkakustannukset vuodessa [€]	- €
Palkkakustannukset vuodessa [€]	- €	Käyttökatkoksen kustannukset [€]	- €
Käyttökatkoksen kustannukset [€]	- €	Viallisen tuotteen kustannukset [€]	- €
Viallisen tuotteen kustannukset [€]	- €	Jigien ja prosessin tehostaminen [€]	- €
Jigien ja prosessin tehostaminen [€]	- €	Työviikkojen määrä [Vuodessa]	- €
Vuosittaiset kustannukset [€]	- €	Tavoitetilan kustannukset	- €
		Vuosittainen säästö	- €

Takaisinmaksuaika

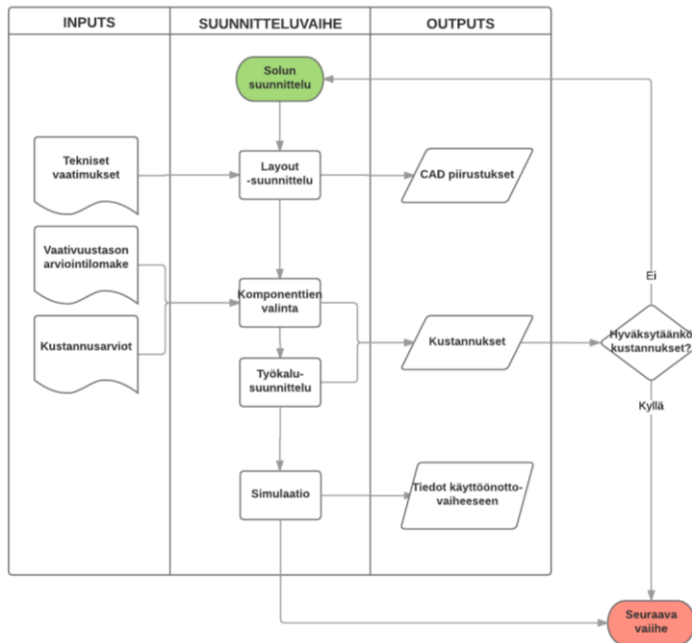
Opinnäytetyössä määritettiin laskentataulukko robottijärjestelmän takaisinmaksuajan (ROI) määrittämiseen. Kyseinen laskenta perustuu taulukossa 1 sekä taulukossa 2 mainittuihin kustannuseriin ja kustannussäästöihin. Robottisolun takaisinmaksuaika määritettiin jakamalla kokonaisinvestoinnit nykytilan kustannuksien ja tavoitetilan kustannuksien erotuksella. Taulukossa 3 esitellään takaisinmaksuajan laskentataulukko. Liitteessä 2 on esitetty kustannuslaskennan Excel-pohja kokonaisuudessaan.

TAULUKKO 3. Takaisinmaksuajan laskentataulukko

	ROI
Takaisinmaksuaika [vuosissa]:	-
Takaisinmaksuaika [Kuukausissa]:	-
Takaisinmaksuaika [päivissä]:	-
Robottijärjestelmän tuntihinta [€/h]:	- €

7.2 Yhteistoimintarobottisolun suunnittelu

Robottisolun suunnittelu on yksi oppinäytetyössä koostetun prosessikuvauksen pääprosesseista. Suunnitteluvaiheen eteneminen esitellään osaprosessikartassa. (Kuva 13.)



KUVA 13. Suunnitteluvaiheen osaprosessikuvaus

Robottisolun suunnittelu jaetaan pienempiin kategorioihin. Suunnittelun kategoriat ovat layout-, komponentti ja työkalusuunnittelu sekä robotin toiminnan simulointi. Työn edetessä huomattiin, että suunnitteluvaiheessa tehtävät valinnat vaikuttavat olennaisesti lopullisen solun toimivuuteen ja kannattavuuteen. Robotin valinta vaikuttaa olennaisesti layout-suunnitteluun, työkaluvaatimukset vaikuttavat robottimallin valintaan ja tuotantokohde sekä käsiteltävä kappale vaikuttavat työkaluvaatimukseen ja robotin suorituskykyyn.

7.2.1 Layout-suunnittelu

Layout-suunnitteluosiossa suunnitellaan robottisolun ja yhteistoiminta-alueen pohjapiirustus. Opinnäytetyön aikana seuratuissa projektiryhmissä alustava layout-suunnittelu suoritettiin projektin ensimmäisten viikkojen aikana. Projektien edetessä huomattiin, että layout-suunnittelu täytyy toteuttaa projektin alkupuolella. Syy johtopäätökseen on, että kaikki muu suunnittelu perustuu robottisolun pohjapiirustukseen. Tämän seurauksena layout-suunnittelu päätettiin sijoittaa suunnitteluosion ensimmäiseksi vaiheeksi osaprosessikuvauksessa.

Layout-piirustus on jatkuvasti päivittyvä dokumentti. Projektin alkuvaiheessa tehdään ensimmäinen versio robottisolun layoutista. Ensimmäisessä versiossa on syytä pohtia robotin sijoittumista tuotantosolussa, mutta vakiintunutta paikkaa robotille ei vielä tässä vaiheessa voida määrittää. Projektin edetessä layout-piirustusta päivitetään jatkuvasti, koska useat suunnittelutekijät, kuten turvallisuuskomponentit, aiheuttavat muutoksia layout-piirustukseen. Pohjapiirustus päivitetään viimeiseen versioon vasta lopullisen robottisolun käyttöönoton jälkeen.

Kevään 2017 hankkeessa käytettiin Universal Robotsin yhteistoiminnallisia robotteja. Oulun ammattikorkeakoulu oli hankkinut kolme UR10- ja yhden UR5-robotin. Tämän seurauksena projektiryhmillä oli tiedossa robotin ulottuvuusalueet, jotka ovat layout-suunnittelun vallitseva tekijä. Robottisolun pohjapiirustuksen esisuunnittelu pystyttiin suunnittelemaan nopeasti, koska muiden robottivalmistajien ulottuvuusalueita ei tarvinnut arvioida. Tulevaisuudessa projektiryhmät arvioivat sovellutuskohteen ulottuvuusvaatimukset ja sen perusteella tekevät valinnan käytettävästä robotista. Valinnan tekemisen jälkeen layout-suunnittelu voidaan projektin edetessä jatkaa loppuun ja siitä voidaan tehdä pohjapiirustus tietokoneavusteisesti. Tästä syntyy dokumentti, jota käytetään hyödyksi projektin suunnittelu-, käyttöönotto- ja jatkokehitysvaiheissa.

7.2.2 Komponenttien valinta

Opinnäytetyössä huomattiin, että yhteystoiminnallisen robotiikan komponenttien valinta on suoritettava tarkasti. Komponenttien valinta tulee suunnitella ja tehdä huolellisesti, jotta välttäisiin projektin kannattavuutta laskevilta virheellisiltä investoinneilta.

Projektiseurannan aikana kävi ilmi, ettei komponenttien valintojen tekeminen ole vain sillä hetkellä suoritettavan projektikohteen arvioimista. Valintoja tehdessä on pyrittävä ajattelemaan myös muita tuotantolaitoksen sovellutuskohteita. Useissa projektikohteissa oli tavoitteena ajaa ylös ensimmäinen yhteystoiminnallinen robottisolun, mutta toimeksiantajien toiveena oli pohtia myös muita robotin käyttömahdollisuuksia. Komponentteja valittaessa on hyvä määritellä, mikä komponentti olisi mahdollisimman monikäyttöinen ja käytettävissä myös tulevaisuuden projekteissa. Yhteystoiminnallisuuden ja joustavuuden kannalta komponenttien tulisi olla sellaisia, että niitä voidaan käyttää mahdollisimman monessa tuotantosolussa.

Komponenttien valinta kehitysprojekteissa on hyvin tapauskohtaista. Tämän seurauksena opinnäytetyössä ei esitellä keinoja komponenttien valitsemiseen eikä niiden määrittelemiseen. Komponenttien valitsemisen aikana on hyvä palata aiemmin tässä työssä esiteltyyn vaatavuustason arviointi dokumenttiin. Hyvin täytetty dokumentti helpottaa komponenttivaatimusten listaamista. Dokumentista on nähtävissä kappaleen käsittelyn, tuotantosolun ja laadunvarmistuksen vaatimukset. Näiden tekijöiden perusteella voidaan määritellä tarvittavat komponentit. Komponenttien valinnassa on tärkeää ottaa huomioon sovellutuskohteen fyysiset vaatimukset, kuten esimerkiksi ulottuma, kuormitus, nopeus ja tarkkuus.

Työssä koostettuun prosessikuvaukseen komponenttien valintaosio sijoitettiin solun suunnitteluvaiheen sisään layout-suunnitteluvaiheen jälkeiseksi osioksi.

Komponenttivalintojen jälkeen on tärkeää päivittää kustannuksien arviointi lomake, jonka avulla voidaan arvioida lopullisien sovellutuksen takaisinmaksukyky.

7.2.3 Työkalusuunnittelu

Robottisolun suunnittelu vaatii usein mekaniikkasuunnittelua. Opinnäytetyössä seuratuista projekteista kymmenessä projektissa projektiryhmän täytyi suunnitella robottiin työkalu, kiinnitysadapteri tai tuotteen asemointijigi. Näiden perusteella huomattiin, että mekaniikkasuunnittelu on tärkeä osaprosessi integraatioprojektissa.

Työkalusuunnittelu sijoitettiin prosessikarttaan komponenttien ja layout-suunnittelun jälkeiseksi vaiheeksi. Komponenttivalinnat ja layout-piirustus vaikuttavat työkalun suunnitteluun sekä vastaavasti komponenttivalinnat ja työkalusuunnittelu vaikuttavat layout-piirustukseen. Tämän seurauksena mekaniikkasuunnittelu tehdään komponenttien valinnan jälkeen ja samalla layout-piirustus päivitetään vastaamaan todellisuutta. Useimmissa tapauksissa työkalu- ja layout-suunnittelu sekä komponenttivalinnat kulkevat rinnakkain. Työkalusuunnittelusta syntyy suunnittelu- ja valmistuspiirustukset, jotka dokumentoidaan projektin edessä.

7.2.4 Yhteistoimintarobotin konepajatestaus

Robottisolun suunnittelutehtävien jälkeen aloitetaan työstämään robotin ohjausta. Robotin ajo-ohjelman rakennus ja ohjelmointi sijoitettiin prosessikuvauksen työkalusuunnitteluvaiheen jälkeiseksi vaiheeksi, koska kyseisessä vaiheessa osataan jo tarkemmin määritellä työkalujen vaadittavia liikkeitä, layouttiin liittyviä toimintoja sekä ohjausjärjestelmien keskinäisiä vuorovaikutussuhteita.

Robottia ohjelmoitaessa voidaan käyttää hyväksi opinnäytetyön yhteydessä koostettua vaativuustason arviointilomaketta. Kyseinen dokumenttipohja on ai-

kaisemmassa vaiheessa täytetty ja tässä vaiheessa sitä voidaan käyttää hyödyksi. Dokumenttipohjasta löytyvä työvaiheistus auttaa projektiryhmää määrittelemään robotin liikkeitä. Dokumentin tarkoitus on esitellä työvaiheessa tapahtuvat työvaiheet, joiden perusteella yhteistoiminnallinen robotti on ohjelmoitavissa kohtuullisella vaivalla.

Robotin ohjelmointi voidaan toteuttaa ilman, että robottisolun olisi täysin valmis tai robotti olisi toimeksiantajan määräämässä lopullisessa sovellutuskohteessa. Robotin ohjelmointi ja ohjelman testaaminen ovat tärkeä vaihe, koska kyseissä vaiheissa voidaan hienosäätää ohjausjärjestelmien toiminta ja tehdä muutoksia suunnitelmiin. Integroitavien järjestelmien ja robotin ajo-ohjelman testaamista ei suositella jätettäväksi käyttöönottovaiheeseen, koska tuotantosolun alasajoaika täytyy pitää mahdollisimman lyhyenä.

Suunniteltu robottisolun on pyrittävä tekemään mahdollisimman valmiiksi ennen solun siirtämistä lopulliseen sijoituspaikkaan. Opinnäytetyön aikana opittiin, että useimmiten robotin toimintavaatimukset ja siihen liittyvien ohjausjärjestelmien integrointi aiheuttavat runsaasti työtä, eikä ohjelmointi aina ole niin helppoa kuin se on suunniteltu. Tämän seurauksena robottisolun testaus on syytä suorittaa mahdollisimman todenmukaisesti ennen varsinaista käyttöönottovaihetta tuotantolaitoksessa.

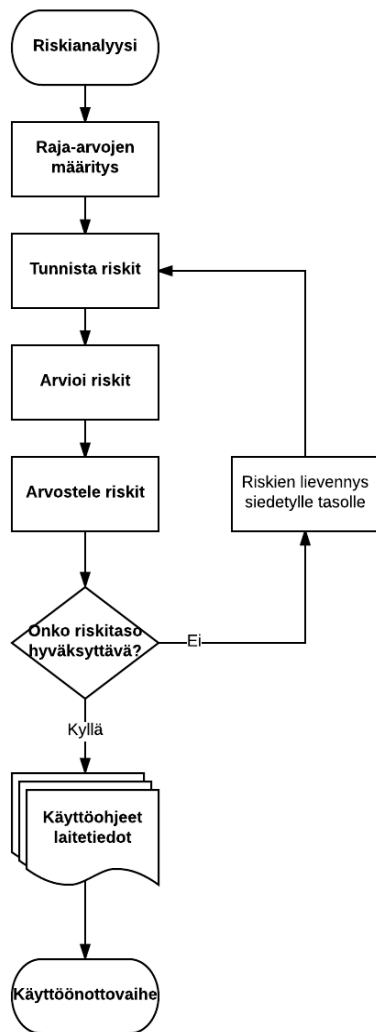
Mikäli ohjausjärjestelmät tai robotin ohjaus aiheuttaa muutoksia komponenttivalinnoissa, täytyy muutokset tehdä niihin liittyviin dokumentteihin. Muutokset vaikuttavat kustannuksiin ja takaisinmaksu-aikaan, joten kyseiset dokumentit on päivitettävä ja arvioitava uudelleen.

7.3 Riskianalyysiprosessi

Kun yhteistoimintarobotin solu on suunniteltu ja toiminta testattu, on mahdollista suorittaa tuotannollisessa toiminnassa vaadittava riskianalyysi. Opinnäytetyössä selvitettiin standardien vaatimukset yhteistoiminnallisessa robotiikassa. Työn edetessä huomattiin, että standardien vaatimukset vaikuttavat suuresti solun suunnittelemiseen. Riskianalyysin varsinaisen suorittaminen sijoitettiin työssä

koostetussa prosessikuvauksessa robottisolun arvioinnin ja suunnittelun jälkeiseksi vaiheeksi. Solun suunnitteluprosessin aikana on kuitenkin hyvä pohtia mahdollisia esiintyviä riskejä, ettei solun suunnitelmia jouduta täysin kumoamaan riskianalyysivaiheessa.

Riskianalyysin suorittaminen on monivaiheinen prosessi. Työssä esitellyssä prosessikuvauksessa riskianalyysin suorittamisesta valmisteltiin erillinen aliprosessikuvaus, jotta pääprosessikuvaus pysyisi selkeänä. Riskianalyysiprosessi on erittäin tärkeä vaihe solun suunnittelemisessa, koska standardeissa vaaditaan riskien arvioiminen suoritettavaksi ennen tuotannollista käyttöönottoa. Kuvassa 13 on esitelty riskianalyysin prosessikuvaus. Kyseisessä prosessissa tulee ottaa huomioon standardien vaatimukset, joten sen suorittaminen vaatii runsaasti resursseja. Aliprosessikuvauksessa esitettyjen työvaiheiden tarkoituksena on esitellä riskianalyysiprosessin vaiheet eikä niiden yksityiskohtaista sisältöä esitellä tarkemmin.



KUVA 13. Riskianalyysin prosessikuvaus aliprosessina

Kun riskianalyysi on suoritettu ja dokumentoitu, voidaan siirtyä tekemään sovel-
 lutuskohteen käyttöohjeita sekä laitedokumentaatiota. Kyseisien dokumenttien
 vaatimukset ovat esitelty ISO 10218-2:2011 -standardissa sekä yhteistoiminnan
 osalta suositeltavia ohjeita on esitelty ISO/TS 15066:2016 -teknisessä spesifi-
 kaatiossa. Ohjeistuksen ja teknisten tietojen määrittelemisen jälkeen proses-
 sissa voidaan siirtyä lopulliseen käyttöönottovaiheeseen, jonka jälkeen robotti-
 solu on valmis tuotannolliseen käyttöön.

8 KÄYTTÖÖNOTTOVAIHE

Opinnäytetyössä esiteltyjen dokumenttien ja prosessivaiheiden lopputuloksen tavoitteena on onnistunut käyttöönotto. Yhteistoiminnallisen robottisolun suunnitteluvaiheen ja riskianalyysin valmistuttua on mahdollista siirtyä varsinaiseen käyttöönottovaiheeseen. Kuten kaikessa suunnittelutyössä, hyvin suunniteltu ja dokumentoitu projekti johtaa todennäköisimmin ongelmattomaan käyttöönottoon ja laitteen ylös ajoin. Integraation suunnittelussa syntyneitä dokumentteja käytetään hyväksi käyttöönottovaiheessa. Muun muassa suunnitteluvaiheen simulaatiotestauksessa valmisteltu robotin ajo-ohjelma ja solun layout-dokumentit helpottavat robotin asentamista ja käyttöönottoa.

8.1 Mekaaninen asennus

Käyttöönottovaiheeseen siirryttäessä ensimmäisenä vaiheena on mekaaninen asennus. Tässä prosessivaiheessa aloitetaan toiminta toimeksiantajan tuotantotilassa ja robotti asennetaan sovellutuskohteessa määritettyyn tuotantosoluun.

Mekaanisen asennuksen yhteydessä käytetään hyväksi aikaisemmin suunniteltuja dokumentteja. Layout-piirustus näyttää tarkasti, miten robotti tulee asentaa, jotta suunniteltu toiminta olisi mahdollista saavuttaa.

Mekaanisen asennuksen yhteydessä todettiin, että se olisi hyvä tehdä tulevan loppukäyttäjän kanssa yhteistyössä. Syy toimintatapaan on, että loppukäyttäjä oppii asennuksen yhteydessä tuntemaan robotin ja solun osat. Tämän seurauksena robotin käyttäminen, ongelmatilanteiden ratkaisu ja vikatilanteet ovat helpommin ratkaistavissa robottia käyttävän työntekijän avulla, ilman että robottisolun on poissa toiminnasta pitkän aikaa. Mekaanisen asennuksen yhteydessä myös työntekijän kynnys robotin käyttämiseen pienenee toiminnan ymmärtämisen seurauksena.

8.2 Ohjelmointi

Kun yhteistoimintarobotti ja tuotantosolu on rakennettu, voidaan siirtyä robotin ajo-ohjelman viimeistelyyn ja hienosäätöön. Tässä vaiheessa ajo-ohjelmaan ohjelmoidut simulaatioliikkeet ja suoritteet muutetaan vastaamaan todellista käyttöä.

Työssä todettiin, että suunnitteluvaiheessa valmisteltu ajo-ohjelma on yksinkertaista säätää lopullisessa tuotantotilassa. Mikäli ohjelmaan on jo aikaisemmin ohjelmoitu vaadittavat liikekäskyt, toiminnot ja vuorovaikutukset, on tässä vaiheessa suoritettava vain liikepisteiden ja komentojen hienosäätö. Nopean ylösajon seurauksena tuotantosolua ei tarvitse pitää alasajettuna pitkää aikaa. Täten tuotannon keskeytymisestä aiheutuneet kustannukset saadaan pidettyä kohtuullisena.

8.3 Todennusvaihe

Tuotannollinen todennusvaihe on koostetun prosessikuvauksen viimeinen vaihe. Kyseisessä vaiheessa seurataan robotin toimintaa tuotannollisessa käytössä. Seurantajakson jälkeen katselmoidaan, täyttääkö robottisolun asetetut vaatimukset.

Koska tuotannollisessa testaamisessa lähes aina ilmenee korjattavia asioita, päätettiin opinnäytetyössä koostaa virheiden seurantalomake (liite 3). Seurantalomakkeeseen merkitään robotin tekemät virheet, jotka voidaan niiden havaitsemisen jälkeen korjata. Kun havaitut virheet on korjattu, lomakkeeseen kirjataan tehdyt kehitystoimenpiteet dokumentointia varten.

Virheiden seurannan lisäksi on tärkeää seurata tuotantosolun saantoa. Työssä valmisteltiin Excel-taulukko, joka on hyödynnettävissä käyttöönottovaiheen todennusjaksolla. Taulukon avulla voidaan pitää kirjaa sekä viallisten että valmistuneiden hyväksytyjen tuotteiden määrästä seurantajaksoilla. Taulukon kuvajien perusteella voidaan määritellä, milloin solu on todettavissa toimivaksi. Taulukko esitellään liiteosiossa (liite 4).

9 POHDINTA

Työn aiheena oli yhteistoiminnallisen robotin integraatioprosessi valmistavassa teollisuudessa. Yhteistoiminnalliset robotit ovat yleistyneet tuotantoteollisuudessa niiden joustavuuden, käyttäjäystävällisyyden ja nopean takaisinmaksuajan seurauksena. Yhteistoiminnallisen robotiikan teknologia on kehittynyt vastaamaan pk-yrityksien muodostamia vaatimuksia nopeasti uudelleen konfiguroitavasta automaatiosta.

Valmistavan teollisuuden markkinat ovat muuttuneet siten, että valmistettavien tuotteiden tuotevarianttien määrä on lisääntynyt huomattavasti. Lisääntyvät ja muuttuvat asiakastarpeet vaativat tuottavilta yrityksiltä joustavuutta ja tehokkuutta, joissa onnistuttaessa saadaan luotua valmistavan teollisuuden yritykselle kilpailuetu. Työn aihe oli erittäin tärkeä, koska halu yhteistoiminnallisen robotiikan kehittämiseen valmistavissa yrityksissä on suurta eikä aihepiiristä toistaiseksi ole koottu merkittäviä kokoelmateoksia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa tehokas, monistettavissa oleva prosessikuvaus yhteistoiminnallisen robotin käyttöönoton suunnittelusta ja käyttöönotosta. Integraatioprosessin ymmärtäminen luo edellytykset tehokkaaseen robotin käyttöönottoon ja luotettaviin investointeihin.

Prosessikuvauksen tavoitteena oli tukea Oulun ammattikorkeakoulun Tuottavuutta joustavalla automaatiolla -hanketta ja etenkin sen yhteydessä Oulun taalousalueen yrityksiin suoritettavia opiskelijaprojekteja. Toisaalta työn tuloksien tavoitteena oli muodostaa prosessikuvaus ja siinä esiteltyt dokumentit siten, että ne olisivat hyödynnettävissä missä tahansa yhteistoiminnallisen robotiikan käyttöönottamista suunnittelevassa yrityksessä. Prosessin ymmärtämisen helpottamiseksi työn tavoitteena oli muodostaa suunnittelu- ja käyttöönottovaiheen dokumentteja tukemaan näiden prosessien etenemistä.

Määritettyjen tavoitteiden saavuttamiseen löydettiin useita ratkaisuja. Työn aihe rajattiin tutkimaan yhteistoiminnallisen robotin integraatioprosessia siten, että

prosessikuvaus olisi monistettavissa erilaisiin projektikohteisiin. Aiheen laajuuden ja työn rajauksen vuoksi työssä määriteltiin vain tärkeimmät integraatioprosessin suunnittelu- ja käyttöönotto vaiheet. Prosessikuvauksen selkeyden varmistamiseksi fokuksena oli esittää prosessin tärkeimmät vaiheet tarkasti ja yksiselitteisesti.

Opinnäytetyö tehtiin seuraamalla työn aikana meneillään olleita hankkeen harjoitustöitä, joissa aiheena oli suunnitella ja käyttöönottaa yhteistoiminnallinen robotti toimeksiantajan tuotantolaitoksessa. Robotin toimintaperiaatteen ymmärtämiseksi työn yhteydessä koulutauduttiin yhteistoiminnallisen robotin ohjelmoijaksi valtuutetun maahantuojaan kautta. Työssä tutkittiin kymmenen suunnittelu projektia, joiden avulla muodostettiin käsitys monistettavan prosessikuvauksen valmistamisesta.

Työssä seurattujen suunnitteluprojektien monimuotoisuuden seurauksena työssä saatiin tietoa erilaisista integraatioprojekteista. Projektien erilaisuuden perusteella tuloksien ja tavoitteiden saavuttamisen luotettavuutta voidaan pitää luotettavana. Työn aikana keskusteltiin myös aihealueen ammattilaisten kanssa ja keskusteluissa ilmenneitä asioita käytettiin hyödyksi prosessikuvausta laadittaessa. Työssä seurattujen projektien dokumentointia seurattiin ja niiden perusteella oli mahdollista laatia luotettavia dokumenttipohjia prosessikuvausta selvittämään.

Robotin käyttöönotto vaatii paljon resursseja. Työssä huomattiin, että suurimmat resurssivaatimukset kohdistuvat integraatioprosessin suunnitteluvaiheeseen. Robottisolun onnistunut käyttöönotto vaatii, että suunnittelutyö on suoritettu tarkasti. Onnistunut suunnittelutyö johtaa onnistuneeseen käyttöönottoon ja sen seurauksena käyttöönotossa esiintyviin mahdollisiin ongelmiin voidaan reagoida ajoissa.

Työn aikana huomattiin, että mitä tarkemmin robotisoinnin kohde analysoidaan, sitä tehokkaammin käyttöönottoprosessi voidaan toteuttaa. Työssä muodostetussa prosessikuvauksessa korostetaan robottisolun suunnittelun vaiheita ja

kohteen arviointia, koska huolellisella arvioinnilla ja suunnittelulla voidaan vähentää myöhemmin esiintyviä ongelmia ja vaadittuja resursseja.

Työn tuloksena saatiin muodostettua selkeä, monistettavissa oleva prosessikuvaus yhteistoiminnallisen robotin suunnittelu- ja käyttöönottoprosessista. Yhteistoiminnallisen robotin integraatioprosessi on perinteistä teollisuusrobotin integraatioprosessia huomattavasti suoraviivaisempi ja selkeämpi. Suurimmat hyödyt huomattiin olevan yhteistoiminnallisen robotin käytön helppoudessa. Robotin helpon käyttöliittymän ansiosta se on mahdollista käyttöönottaa itsenäisesti yrityksen oman henkilöstön tekemänä.

Perinteisten teollisuusrobottien ongelmat ovat olleet niiden integroinnista syntyvät kustannukset ja niiden joustamattomuus lyhyellä aikajänteellä. Työssä huomattiin yhteistoiminnallisten robottien käyttöjärjestelmien kehittyneen siihen pisteeseen, ettei niiden käyttö vaadi erillistä automaatio-osaamista. Tämän seurauksena yrityksiä on mahdollista tulevaisuudessa hankkia robotti ja käyttöönottaa se itsenäisesti ilman merkittäviä investointeja integraatioprosessiin.

Näissä tapauksissa opinnäytetyön tulokset nopeuttavat itsenäisesti suoritetun integraatioprosessin läpimenoaikaa ja laskevat integraatiosta syntyviä kustannuksia. Kustannuksien madaltumisesta seuraa kasvanut kannattavuus. Robottisolun käyttöönoton seurauksena tuottavuus kasvaa ja siten yritykselle muodostuu selkeä kilpailuetu.

Työn aikana huomattiin, että yhteistoiminnallisen robotin investoinnin kannattavuus piensarjatuotannossa on perusteltavissa sen siirrettävyyden ja joustavuuden ansiosta. Robotin käytön helppouden ja nopean siirrettävyyden vuoksi robottia voidaan käyttää eri työasemissa niiden kuormitusasteen mukaan.

Työssä muodostettu prosessikuvaus esittelee yksittäisen robotisointikohteen suunnitteluvaiheiden riippuvuudet ja siten projektin hallinta on helpompaa. Teknisen toteutettavuuden arviointidokumentti auttaa projektin vetäjää ymmärtämään projektikohteen arviointia, ja sen seurauksena projektin resursointi on

merkittävästi luotettavampaa. Muodostetun dokumentin ansiosta projektikohdetta voidaan arvioida kriittisesti, ennen kuin siihen kohdistetaan resursseja. Työssä huomattiin arvioinnin olevan tärkeää projektin aikataulutusta määrittäessä. Arvioinnilla luodaan edellytys onnistuneelle robotisoinnille.

Vastaavasti työssä valmisteltu kustannuksien arviointidokumentti antaa mahdollisuuden arvioida robotisointiprojektien kannattavuutta. Muodostettua kustannuksien arviointidokumenttia ei voida pitää itsestään selvyytenä, koska yhteistoiminnallisen robotin käyttö teollisuudessa etsii vielä muotoaan. Toistaiseksi on hyvin vaikea arvioida ja ennustaa kaikkea niitä kustannuksia, joita yhteistoiminnallisen robotin käyttöönotto aiheuttaa.

Yhteistoiminnallisen robotiikan alan jatkuvan kehittymisen seurauksena työssä muodostettuja dokumentteja päivitetään jatkuvasti, kun tietoa robottikohteista saadaan kerättyä lisää. Työn aikana huomattiin, että kannattavuuden arvioinnin avulla voidaan arvioida myös ensimmäisen robotisoinnin kohdetta kustannuksien suuruuden perusteella. Tarvittaessa työssä muodostetun kustannuksien arviointidokumentin avulla voidaan vertailla eri robotisointikohteita ja valita kohteista kannattavimmat vaihtoehdot. Tämän seurauksena virheelliset investoinnit vähenevät ja projektien kannattavuustaso kasvaa.

Työssä muodostetun prosessikuvauksen viimeiseksi vaiheeksi määritettiin tuotannollinen todentaminen. Projektin onnistuminen ja lopullinen kannattavuus arvioidaan vasta robotin tuotannollisen käyttöönoton seurantajakson jälkeen. Työssä muodostetun seurantalomakkeen avulla voidaan todentaa robotisoinnin onnistuminen ja tavoitteiden saavuttaminen. Työssä seuratut robotisointiprojektit eivät ehtineet edetä tuotannolliseen käyttöönottoon saakka, joten dokumenttia tulee arvioida kriittisesti. Tulevaisuudessa seurantalomaketta on tarkoitus täydentää ja tarkentaa todellisten kokemusten saamisen jälkeen.

Työssä saatujen tulosten perusteella yhteistoiminnallisen robotin suunnittelu- ja käyttöönottoprosessi voidaan suorittaa aiempaa tehokkaammin. Prosessin ymmärtäminen luo edellytykset onnistuneeseen robotin käyttöönottoon. Tämä

työ antaa tietoa yhteistoiminnallisen robotiikan käyttöönoton vaatimuksista tuotantolaitoksissa. Robottien tuotannollisen käyttöönoton seuranta jäi lopulta aikataulujen pettämisen seurauksena tekemättä, mutta se vaihe on hyvä tulevaisuuden kehityskohde. Projekti oli erittäin antoisa ja uskon, että tämä työ madaltaa ensikertalaisten kynnyistä yhteistoiminnallisten robottien käyttöönottoon tuotantolaitoksessa. Myös työssä muodostettu teoriaosio muodostui merkittäväksi, koska yhteistoiminnallisesta robotiikasta on toistaiseksi hyvin puutteellisesti kirjallisuutta.

LÄHTEET

1. Rose, Justin – Sirkin, Harold L. – Zinser, Michael 2015. How robots will re-define competitiveness. The Boston Consulting Group. Saatavissa: <https://www.bcgperspectives.com/content/articles/lean-manufacturing-innovation-robots-redefine-competitiveness/>. Hakupäivä 9.2.2017.
2. Banker, Steve 2014. The next Generation of robots: Working with and for people. Forbes. Saatavissa: <http://www.forbes.com/sites/stevebanker/2014/05/29/the-next-generation-of-robots-working-with-and-for-people/#7b6a991d2f35>. Hakupäivä 9.2.2017.
3. Tuottavuutta joustavalla automaatiolla - Tehoja. 2016. Powerpoint-diasarja. Sisäinen dokumentti. Oulun Ammattikorkeakoulu Oy.
4. Koskinen, Jukka – Malm, Timo – Marstio, Ilari – Salmi, Timo – Toivonen, Sirra – Venho, Outi – Viitaniemi, Juhani 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.
5. Universal Robots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/>. Hakupäivä 3.5.2017.
6. EN ISO/TS 15066. 2016. Robots and robotic devices. Collaborative robots. Itävalta: Kansainvälinen standardisoimisliitto ISO.
7. SFS-EN ISO 10218-1. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

8. SFS-EN ISO 10218-2. 2011. Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.
9. Universal robots safety system URsafety 3.1. 2015. TÜV Nord. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/media/1528658/tuv-nord-certificate.pdf>. Hakupäivä 12.2.2017.
10. Universal Robots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/>. Hakupäivä 15.2.2017.
11. Universal Robots A/S 2014. UR10/CB3 User manual. Tanska: Universal Robots.
12. Universal Robots A/S, 2014. UR3/CB3 User manual. Tanska: Universal Robots.
13. Posicraft Oy. Saatavissa: <http://www.posicraft.fi>. Hakupäivä 15.2.2017.
14. Universal Robots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/>. Hakupäivä 3.5.2017.
15. Aalto, Heikki – Heilala, Juhani – Hirvelä, Tuomas – Kuivanen, Risto – Laitinen, Mika – Lehtinen, Hannu – Lempiäinen, Juhani – Lylynoja, Ari – Renfors, Juha – Selin, Keijo – Siintoharju, Tero – Temmes, Jaakko – Tuovila, Tommi – Veikkolainen, Mikko – Vihinen, Jorma – Virtanen, Ari 1999. Robottiikka. Vantaa: Talentum Oyj/MetalliTekniikka.
16. Laamanen, Kai – Tinnilä, Markku 2009. Prosessijohtamisen käsitteet. Kustannuspaikka tuntematon: Teknologiateollisuus.

17. JHS 152 Prosessien kuvaaminen. Versio: 5.10.2012. Julkaistu: 13.12.2002.

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta JUHTA. Saatavissa:
<http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS152/JHS152.html>. Hakupäivä 18.2.2017.

18. Piirainen, Antti 2016. Prosessimainen toimintamalli ja ISO 9001:2015. Quality Knowhow Karjalainen Oy. Saatavissa: <http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/prosessimainen-toimintamalli/>. Hakupäivä 2.5.2017.

LIITTEET

Liite 1 Toteutuksen vaatavuustason arviointi

Liite 2. Kustannuksien arviointilomake

Liite 3. Seurantalomake

Liite 4. Valmistuneiden tuotteiden seuranta

Liite 5. Prosessikuvaus

OULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES :: oamk.fi

Kohteen arviointi

Oulun ammattikorkeakoulu - Tuottavuutta joustavalla automaatiolla

OULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES :: oamk.fi

[Kohteen nimi]

Skenaario:

- [Kuvaile kohteen työtehtävä yleisesti]
- [Kerro vaaditut luvut, tuotteiden määrä tarjottimella, eräkkö..]
- [Ilmoita vaadittu tahtiaika]

Kuvaile kehittämisen kohteet:

- [Mitä solussa pitäisi kehittää]
- [Mitkä ovat tavoitteet]

4/2/2017 Tuottavuutta joustavalla automaatiolla 2

OULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES :: oamk.fi

Tuotantosolun layout

```
graph LR; A[Kappaleen tarjonta] --> B[Laitte/prosessi]; B --> C[Valmis tuote]
```

Kappaleen tarjonta

- Laatikko
- Tarjotin
- Lava

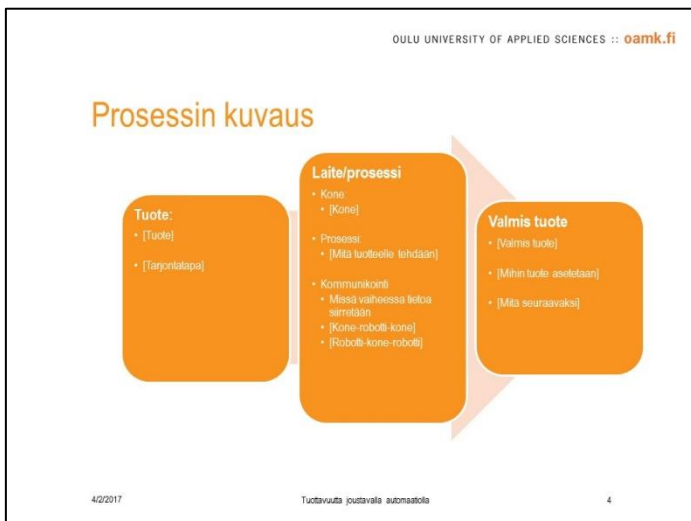
Laitte/prosessi

- Kone
- Työstöväline

Valmis tuote

- Mihin pakataan
- Laatikko/lava..

4/2/2017 Tuottavuutta joustavalla automaatiolla 3



OULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES :: oamk.fi

Työvaiheistus

Työvaiheistuksen ideana on kuvata tämän hetkinen tuotanto vaiheittain. Vaiheistuksen jälkeen voidaan arvioida, mitkä vaiheet aiheuttavat ongelmia robotille

Työvaiheistus (esimerkki)	Tiedonsiirto
1 Avaa koneistuskeskuksen ovi	
2 Puhdista kiinnittimet painamalla	
3 Ota aihio lavalta	
4 Aseta aihio kiinnittimeen	
5 Kiristä kiinnittimet 19mm lenkkiavaimella	X
6 Sulje ovi	
7 Paina F11 nappia koneistuskeskuksen näyttöpaneelista	X
8 Paina vihreää nappia käyttöpaneelin sivulla aloittaaksesi työstön	X
9 Odota 18,6minuuttia ja avaa ovi kun vihreä valo koneen kyljessä palaa	X
10 Puhdista työstöalue painamalla ennen kiinnittimen avamista	
11 Avaa kiinnittimet 19mm lenkkiavaimella	X
12 Nosta valmis tuote valmiiden tuotteiden tarjottimelle	
13 Aseta uusi aihio kiinnittimiin ja toista kohdat 5-13 kunnes aihiolava on tyhjä	

2 April 2017 Tuotavuutta joustavalla automaatiolla 5

OULU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES :: oamk.fi

Automatisoinnin sopeuttaminen

Mitä/miten edellä mainittuja työtehtäviä tulee muuttaa, jotta ne voidaan suorittaa robotilla? *Korvaa kursivoidut tekstit omalla tekstillä*

- **Ongelma 1:** *Aihion poiminta lavalta. Kappaleet eivät ole järjestetty lavalle, eikä kappaleet ole aina samassa kohtaa.*
 - **Ratkaisu 1:** Järjestetään kappaleet lavalle kiinteisiin paikkoihin, jolloin roboti osaa hakea kappaleen. Tehdään kiinteä paletti, jossa kappaleet paikoittuvat aina samaan kohtaan.
- **Ongelma 2:** *Aihio kiinnitetään 19mm lenkkiavaimella. Kyseinen kiinnitystapa ei ole mahdollista robotilla.*
 - **Ratkaisu 2:** Korvataan kiinnittimet pneumaattisille kiinnittimillä. Kiinnitys/irroitus käsketään robotin I/O -signaaleilla.

2 April 2017 Tuotavuutta joustavalla automaatiolla 6

OU LU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES :: oamk.fi

Automatisoinnista saatavat hyödyt

Tuotanto

- Tuottavuuden kasvu, laatu tekijät, työntekijöiden vapauttaminen muihin työtehtäviin, robotin työskentely 24/7...

Työntekijät

- Ergonomia, tuottavuuden kasvu, staattisen työtehtävän poistaminen..

Laatu

- Kasvattaako automatisointi laatua (tasalaatuisuus), datan kerääminen tuotannosta digitaalisesti..

2 April 2017 Tuottavuutta joustavalla automaatolla 7

KUSTANNUKSIEN ARVIOINTILOMAKE

LIITE 2

lähtökohdat	Nykytila (esimerkki)	Automatisoinnilla saatavat hyödyt [vuodessa]	Tavoitetila (esimerkki)
Työntekijöiden määrä	-	Työntekijöiden määrä	-
Työtunnit per päivä [h]	-	Työvuorojärjestelmä	-
Työvuorojärjestelmä	-	Palkkakustannukset vuodessa [€]	- €
Palkkakustannukset vuodessa [€]	- €	Käyttökatkoksen kustannukset [€]	- €
Käyttökatkoksen kustannukset [€]	- €	Viallisen tuotteen kustannukset [€]	- €
Viallisen tuotteen kustannukset [€]	- €	Jigien ja prosessin tehostaminen [€]	- €
Jigien ja prosessin tehostaminen [€]	- €	Työskentelyviikot [vuodessa]	-
Vuosittaiset kustannukset	#VALUE!	Tavoitetilan kustannukset	#VALUE!

ROI

Takaisinmaksuaika [vuosissa]:	#VALUE!
Takaisinmaksuaika [Kuukausissa]:	#VALUE!
Takaisinmaksuaika [päivissä]:	#VALUE!
Robottijärjestelmän tuntihinta [€/h]:	#VALUE!

(Robottisolun kokonaiskustannukset / robotin kokonaistyöaika)

Robottisolun kustannukset

Arvioidut kunnossapitokustannukset	Tavoitetila
- €	- €

Investoinnit	Kustannukset	Kuvaus
Robotti [€]	- €	[robottimalli]
Tarttija [€]	- €	[tarttujamalli]
Kappaleen tarjotin [€]	- €	[laatikko/tarjotin/lava]
Konenäköjärjestelmä [€]	- €	[kameramalli]
Toiminnan seurantajärjestelmä [€]	- €	[kuvaile järjestelmä]
Muut oheislaitteet [€]	- €	[kuvaile toimilaitteet]
Puhdistusjärjestelmä [€]	- €	[kuvaile puhdistustapa]
Fyysiset suojat [€]	- €	[kuvaile suoja]
Koneen robottivalmius [€]	- €	
Integraation kustannukset [€]	- €	
Muut kulut [€]	- €	[kuvaile muut kulut]
Alkuinvestointi	- €	

Seurantalomake



[Robottisolun nimi]

[Seurannan aikaväli]

Havainto	pvm.	Syy	Ratkaisu	Suoritettut kehitystoimenpiteet

Valmistuneiden tuotteiden seuranta (ESIMERKKI)

Päivämäärä	Saanto
2.3.2017	550
3.3.2017	551
4.3.2017	553
5.3.2017	550
6.3.2017	560
7.3.2017	561
8.3.2017	563
9.3.2017	490
10.3.2017	550
11.3.2017	551
12.3.2017	560
13.3.2017	566
14.3.2017	569
15.3.2017	566



Viallisten tuotteiden seuranta (ESIMERKKI)

Päivämäärä	Viallisten määrä
2.3.2017	15
3.3.2017	17
4.3.2017	22
5.3.2017	2
6.3.2017	3
7.3.2017	1
8.3.2017	0
9.3.2017	50
10.3.2017	4
11.3.2017	3
12.3.2017	5
13.3.2017	0
14.3.2017	0
15.3.2017	0



