

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Konetekniikan koulutus

Lasse Räsänen

Tuotantosolun automatisoinnin investoinnin kannattavuuden selvitys

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2019



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2019
Konetekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Lasse Räsänen

Nimeke
Tuotantosolun automatisoinnin investoinnin kannattavuuden selvitys

Toimeksiantaja
Okun Koneistuspalvelu Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella sopiva automatisointijärjestelmä tuotantosoluun. Tarkoituksena oli myös selvittää automatisoinnin kannattavuus investointilaskelmien avulla. Automatisointijärjestelmän suunnittelu toteutettiin tutkimalla tietyn tuotteen valmistusprosessia, jonka mukaisesti robottijärjestelmä räätälöitiin. Tarkoituksena oli myös selvittää prosessissa olevia hukkatekijöitä sekä tutkia prosessin läpimenoajan lyhentämistä automatisoinnin avulla. Työ toteutettiin DMAIC-menetelmää hyödyntäen.

Työn teoriaosiossa käsiteltiin aiheita, joiden tietoa hyödynnettiin opinnäytetyön toteutusosiossa. Teoriaosiossa käsitellään robotiikkaa, konenäköä, investointilaskelmia sekä DMAIC-menetelmää. Toteutusosiossa selvitettiin ja analysoitiin valmistusprosessin nykytilanne sekä käytiin läpi parannuksen toteuttaminen ja selvitettiin parannuksen investoimisen kannattavuus.

Työn tuloksena saatiin selvitettyä tuotantosoluun sopiva automatisointijärjestelmä. Lisäksi laskelmien perusteella todettiin, että suunnitellun automatisoinnin avulla saataisiin lyhennettyä valmistusprosessin läpimenoaika. Tulokseksi saatiin, että automatisointijärjestelmää ei kannata investoida yksinomaan vain tutkittuun prosessiin. Opinnäytetyön johtopäätöksenä todettiin, että automatisointijärjestelmä olisi kannattavaa investoida, jos automatisointijärjestelmää voitaisiin hyödyntää useammassa eri valmistusprosessissa.

Kieli
suomi

Sivuja 47
Liitteet 2
Liitesivumäärä 2

Asiasanat
robotiikka, konenäkö, investointilaskelmat



THESIS
April 2019
Degree Programme in Mechanical Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+358 13 260 600 (switchboard)

Author
Lasse Räsänen

Title
Profitability Analysis of Production Cell Automation Investment

Commissioned by
Okun Koneistuspalvelu Oy

Abstract

The goal of this thesis was to detect a suitable automation system to a production cell and determine its profitability. The profitability of the automation was determined by using investment calculation methods. The automation system was customized based on the examination of the manufacturing process of a specific product. The aim of this thesis also was also to find out the waste factors in the process and study how to shorten the process delivery cycle by using automation. The work was carried out using the DMAIC method.

The theoretical part of the thesis was to introduce concepts which were utilized in the thesis' implementation part of the thesis. The theoretical part introduces robotics, machine vision, investment calculations and the DMAIC method. In the implementation section the present situation of manufacturing process was examined and analysed. Furthermore, the benefits of automation, system implementing and determining the profitability of investing in the automation system were introduced in implementation section.

As a result, a suitable automation system was found for the production cell. In addition, with the help of automation the delivery cycle was shortened. Also, it was found out, that it is not worth investing in the automation system exclusively for the examined product. The automation system must be utilized in more than one product. As a conclusion of the process it can be said that it would be profitable to invest in an automation system if it could be utilized in several different manufacturing processes.

Language

Finnish

Pages 47

Appendices 2

Pages of Appendices 2

Keywords

robotics, machine vision, investment calculations

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet ja haasteet.....	6
1.2	Okun Koneistuspalvelu Oy	7
2	Teollisuusrobotiikka	8
2.1	Yleistä teollisuusrobotiikasta.....	8
2.2	Vuorovaikutteinen robotiikka.....	8
2.3	Ohjaus	10
2.4	Ohjelmointi.....	10
2.5	Robottijärjestelmän hankinnan suunnittelu	12
3	Konenäkö.....	14
3.1	Konenäkö yleisesti.....	14
3.2	Konenäön sovelluksia.....	14
3.3	Konenäkö teollisuusrobotin ohjauksessa	15
3.4	Kamera	15
3.4.1	3D-kamera	16
3.4.2	Älykamera.....	17
3.5	Kuvankäsittely.....	17
4	Investoinnit.....	18
4.1	Investointilaskelmat	18
4.1.1	Nykyarvomenetelmä	20
4.1.2	Takaisinmaksuajan menetelmä	20
4.2	Investoinnin herkkyyshanalyysi.....	21
4.3	Investointiprojektin seuranta	21
5	DMAIC-menetelmä	22
5.1	DMAIC-menetelmä yleisesti.....	22
5.2	Määrittelyvaihe.....	22
5.3	Mittausvaihe.....	23
5.4	Analysointivaihe.....	24
5.5	Parannusvaihe.....	24
5.6	Ohjausvaihe.....	25
6	Työn toteuttamisessa käytetyt menetelmät.....	25
6.1	Määrittelyvaihe.....	25
6.2	Mittausvaihe.....	26
6.2.1	Tiedonkeruusuunnitelma	26
6.2.2	Tiedon esittäminen visuaalisesti	27
6.3	Analyysivaihe.....	27
6.4	Parannusvaihe.....	28
6.5	Ohjausvaihe.....	28
7	Työn toteutus ja tulokset.....	29
7.1	Projektin määrittely	29
7.2	Prosessin mittaus	31
7.3	Analysointi	32
7.4	Parannus	33
7.4.1	Parannusehdotus.....	33

7.4.2	Parannuksen hyödyt	35
7.5	Investointilaskelmat	36
7.5.1	Ensimmäisen järjestelmän investointilaskelmat	37
7.5.2	Toisen järjestelmän investointilaskelmat.....	39
7.5.3	Investoinnin herkkyyshanalyysi.....	40
7.6	Ohjaus	41
8	Johtopäätökset	41
9	Pohdinta.....	43
	Lähteet.....	46

Liitteet

Liite 1	Koneistusprosessin tiedonkeruulomake
Liite 2	Hukka-analyysilomake

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä pyritään löytämään tuotantosolulle sopiva automatisointijärjestelmä sekä selvittämään investoinnin taloudellinen kannattavuus investointilaskelmien avulla. Automatisoinnin suunnittelu toteutetaan Okun Koneistuspalvelu Oy:n tuotannon tarpeiden mukaisesti. Tarkoituksena on selvittää tuotantosolun automatisointiin parhaiten soveltuva ratkaisu. Lisäksi tässä työssä tarkastellaan prosessissa olevia hukcatekijöitä sekä prosessin läpimenoaikaa. Opinnäytetyö toteutetaan DMAIC-menetelmää hyödyntäen.

Automatisointiin tarvittavat ratkaisut sekä kannattavuus selvitetään tutkimalla tietyn tuotteen valmistusprosessia. Lähtökohtaisesti tuotetta valmistetaan miehitehtyllä työstökoneella. Tarkoituksena on tutkia, voidaanko tuotetta valmistaa ilman työntekijän läsnäoloa työstökoneella, joka on sijainniltaan hieman syrjemmässä.

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet ja haasteet

Työn tavoitteena on selvittää sopiva järjestelmä tuotantosolun automatisointiin sekä laskea investoinnin kannattavuus investointilaskelmien avulla. Robottisolun tulisi toimia itsenäisesti useamman tuotteen valmistamisen ajan ja olla mahdollisimman helppokäyttöinen sekä helposti uudelleen ohjelmoitava. Jotta robotti olisi mahdollisimman itsenäinen, täytyy selvittää, voisiko robotti suorittaa tuotteen viimeistelyn automaattisesti sekä kykenisikö järjestelmä toteuttamaan valmiin tuotteen mittaamisen itsenäisesti. Vaatimuksena on, että robotin tulisi kyetä poimaan takeita laatikosta, jossa ne ovat sekaisin ja asettamaan sen jälkeen takeet työstökoneelle. Lisäksi robotin tulisi kyetä työskentelemään ilman turva-aitaa. Tarkoituksena on myös selvittää, voisiko robotti olla siirrettävä, jotta robottia voitaisiin hyödyntää useammalla työstökoneella. Valmistusprosessin läpimenoaikaa pyritään lyhentämään hukcatekijöitä tunnistamalla sekä poistamalla niitä automatisoinnin avulla.

Työn haasteena on suunnitella sellainen järjestelmä, että takeen paikannus ja poiminta laatikosta automaattisesti onnistuu, sillä osat sijaitsevat laatikossa täysin sekaisin ja myös päällekkäin. Lisäksi robotin täytyy kohdistaa ja asettaa tae oikeaan asentoon työstökoneelle. Haasteena on myös suunnitella sellainen robottijärjestelmä, joka olisi helposti siirrettävissä työstökoneelta toiselle tarvittaessa. Kun robotti suorittaa viimeistelyä, haasteita tuo voimien tunnistaminen ja säätely, sillä robotin tulee havaita ja kyetä säätämään viimeistelyvaiheessa tuotteeseen kohdistuvia voimia. Lisäksi mittauksen toteuttavan mittalaitteen tulee kyetä viestimään robottijärjestelmälle tuotteen mittavirheistä.

1.2 Okun Koneistuspalvelu Oy

Okun Koneistuspalvelu Oy on Outokummussa Itä-Suomessa sijaitseva perheyri-tytys, joka on erikoistunut tarkkuusosien ja hienomekaanisten osien valmistami-seen. Vuonna 1978 perustetun yrityksen yksi perustajista on Eero Kettunen, joka toimii nykyisin hallituksen puheenjohtajana. Yrityksellä on toimintaa kahdessa tehtaassa, jotka sijaitsevat Sätöksessä ja Joensuunkadulla Outokummussa. Toi-minta on aloitettu Sätöksen koululla ja toiminnan kasvaessa koulun tontille on rakennettu toimitilat, joita on laajennuttu useaan otteeseen. Joensuunkadulla si-jaitsee teollisuushalli, jonka yritys hankki 1990-luvulla. (Kettunen 2019.)

Okun Koneistuspalvelun Oy:n valmistamia tarkkuusosia käytetään vaativissa kohteissa, kuten aseissa ja lentokoneissa. Yritys on alusta alkaen pyrkinyt asia-kslähtöisesti investoimaan uusimpaan teknologiaan sekä kehittämään jatkuvasti toimintaansa. Yrityksen tarkkuuden mahdollistavat tarkkuusteknologian ja jatku-van toiminnan kehittämisen lisäksi motivoitunut sekä osaava henkilöstö. (Kettu-nen 2019.)

2 Teollisuusrobotiikka

Tässä luvussa käsitellään teollisuusrobotiikkaa yleisesti. Lisäksi tässä luvussa käydään läpi vuorovaikutteista robotiikkaa, jonka avulla pyritään löytämään toteutusvaiheessa yrityksen ongelmaan ratkaisu. Lisäksi luku käsittelee robotin ohjausta, ohjelmointia sekä robottijärjestelmän hankinnan suunnittelua.

2.1 Yleistä teollisuusrobotiikasta

Teollisuudenala on ollut robottitekniikan edelläkävijä, ja tavallisesti roboteilla tarkoitetaan tietokoneohjattuja yleiskäyttöisiä laitteita, jotka käsittelevät kappaleita tai työkaluja. Teollisuusrobotia voidaan käyttää useisiin erilaisiin sovelluksiin sekä niiden liikkeitä voidaan ohjelmoida uudelleen. Nykyaikaisiin robotteihin voidaan kytkeä monenlaisia ohjausjärjestelmiä ja älyä lisääviä aistimia. Modernit teollisuusrobotit ovat ominaisuuksiinsa nähden myös erittäin kustannustehokkaita laitteita. Robotti on kuitenkin valmiista sovelluksesta vain osa, sillä järjestelmä tarvitsee muitakin komponentteja toimiakseen. (Salmi 2014.)

Robotiikassa teollisuudenala Suomessa kohtaa vaikeuksia pienikokoisista valmistuseristä ja toistuvasti vaihtuvista sekä päivittyvistä tuotteista. Robotiikan kannalta käytön haasteita piensarjatuotannossa ovat ohjelmien luominen, ympäristöön soveltuminen sekä prosessiin ja tuotteisiin tuleviin muutoksiin mukautuminen. Joustavuuden haasteita voidaan selvittää esimerkiksi käyttämällä voima-antureita roboteissa sekä hyödyntämällä konenäköä kappaleiden kohdistamisessa ja poimimisessa laatikoista. (Salmi 2014.)

2.2 Vuorovaikutteinen robotiikka

Ihmisen ja robotin yhteistyö tapahtuu perinteisesti työalueet toisistaan erillään, esimerkiksi robotin työskentelyalue aidalla ympäröitynä. Nykyaikaisen anturitekniikan avulla robotin ja ihmisen työskentelyalueiden yhdistäminen on kuitenkin

mahdollista. Ihmisen ja robotin yhteistyön ansiosta tuotannon tehokkuus lisääntyy, tuotannon laaduntuotto paranee ja työntekijöiden työskentelyolosuhteet kohenevat. (Malm 2008, 2.)

Ihmisen ja robotin yhteistyötä samassa tilassa kutsutaan muun muassa termeillä vuorovaikutteinen, interaktiivinen ja kollaboratiivinen robotiikka. Robotiikan uudet turvastandardit ovat mahdollistaneet vuorovaikutteisen robotiikan tuonnin teollisuudenalan käyttöön. Standardien mukaisesti robottia voidaan pitää muun toiminnan kanssa samassa ympäristössä ilman eristystä, kuten aitausta. Työskennellessä robotin liikkeen ei tarvitse pysähtyä, jos ihminen tulee työalueen lähelle tai työskentelyalueelle vaan riittää kun robotti hidastaa liikkeitänsä ja vasta tarvittaessa pysäyttää ohjelman. (Heikkilä 2016.) Robotti voi havaita lähestyvän ihmisen esimerkiksi laserskannerin avulla (Malm 2008, 23).

Robotti voi työskennellä ihmisten kanssa sellaisenaan samassa työtilassa, jos sen liikevoimat ovat riittävän pienet ja se havaitsee kosketuksen tai törmäyksen sekä pysähtyy näiden seurauksena tarvittaessa. Työskennellessä robotin kanssa samassa tilassa täytyy kuitenkin ottaa huomioon työvälineen liikkeiden aiheuttamat vaarat. (Heikkilä 2016.) Nykyisissä teollisuusroboteissa on sisäänrakennetut törmäyksen tunnistukset. Tunnistus tapahtuu tarkkailemalla akselien moottoreiden virran kulutusta käsivarsien liikkeiden tapahtuessa ja robotin liike pysähtyy virran noustessa yli määrätyn rajan. (Malm 2008, 29.) Törmäyksessä kohdistuva suurin voima saa olla 150 Newtonia, joten robotin liikenopeuksien on oltava tarpeeksi hitaita, jotta robotti pysähtyy ennen kuin kohdistuva voima ylittää 150 Newtonia. Akselien moottoreiden virrankulutuksen seuranta on yksinkertaisin törmäyksen tunnistus. Täsmällisempää osumisen tunnistusta voidaan toteuttaa voima-antureita käyttämällä. Voima-antureiden informaation ja moottoreiden virrankulutuksen seurannan yhdistämisellä saadaan seurattua yksityiskohtaisemmin voimien muutoksia. Voima-anturi voi sijaita esimerkiksi työkalukiinnittimessä. (Tervola 2016.)

2.3 Ohjaus

Robotin ohjausjärjestelmänä toimii PC-pohjainen tietokone, joka kykenee reagoimaan tapahtumiin lähes reaaliaikaisesti. Robottivalmistajilla on useimmiten vain jokunen eri ohjaintyyppi saatavilla ja ohjaimet sopivat tavallisesti useampaan eri robottiin. Nykyisin useampien robottien tilojen tarkastelu sekä asetusten muuttaminen onnistuu myös etänä, sillä niiden ohjaimet voidaan liittää internetiin. Nykyaikaisten robottien ohjelmoinnin suorittaminen on nopeaa, sillä käsiohjaimet ovat useimmiten värinäytöllisiä pienoistietokoneita. (Malm 2008, 36, 38.)

Ohjain mahdollistaa robotin toimintakyvyn, sillä robotin moottoreiden virransyöttö toteutuu ohjaimessa. Anturit havaitsevat tietoja toimintaympäristöstä sekä robotista, tiedot toimitetaan ohjaimelle ja niiden perusteella ohjain toteuttaa tarvittavia toimenpiteitä. Ohjain myös toteuttaa informaation vaihdon järjestelmän muiden ohjausjärjestelmien sekä tietokoneiden kanssa. Ohjauksen tehtävänä on liikuttaa robottia ja työkaluja ennalta määrättyihin paikkoihin. On-line-ohjelmia tehtäessä ohjelmointia avustavat tekijät luovat ohjelmoinnin aikana rakennetta ohjelmalle ja ottavat antureiden tilatiedot huomioon. Opetettujen ohjelmien toisto on ohjaimen tärkein tehtävä. Ohjain myös pysäyttää robotin liikkeen turvallisuustoimintojen aktivoituessa. Ohjaimen voidaan luoda alueita, jota robotti joko saa tai ei saa ylittää. Langaton tiedonsiirto on yleistynyt robotin ohjauksessa, mutta se on häiriöherkempää ja yleensä hitaampaa kuin langallinen ohjaus. (Malm 2008, 36 - 37, 41, 48 - 49.)

Ohjausjärjestelmät on sijoitettu siten, että ne ovat suojassa liialta ja lämmöltä. Ohjaimessa on tulo- ja lähtöliitännät apulaitteiden sekä työkalujen ohjauksille. Erillisellä kortilla voidaan lisätä ohjaimen sovelluksia, antureita tai liitäntöjä. Esimerkiksi kamera voidaan liittää ohjaimen liitäntöjen avulla. (Malm 2008, 38.)

2.4 Ohjelmointi

Yleensä robottia ohjelmoidessa ihminen on eniten robotin kanssa vuorovaikutuksessa ja usein robotille määritetään visuaalisesti haluttu paikka. Teollisuusrobotin

ohjelmointi voidaan toteuttaa joko on-line- tai off-line-ohjelmoiden. On-line-ohjelmoinnin aikana robottia tarvitaan ohjelmointiin, joten robotin työskentely keskeytyy ohjelmoinnin aikana. Off-line-ohjelmointi tapahtuu etänä eikä ohjelmoinnin aikana robottia tarvita ja robotti voi suorittaa muuta työtä, mutta usein ohjelmoinnin jälkeen täytyy tehdä kalibrointi ohjelmoidun- ja todellisen ympäristön välillä. On-line-ohjelmointi voi tapahtua esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

- Opettamalla
 - Robotti ajetaan käsiohjaimella haluttuun paikkaan, paikka tallennetaan muistiin ja robotti ajetaan seuraavaan paikkaan.
- Käsiohjaimella
 - Käsiohjaimella ohjelmointi voi olla oliopohjaista, jossa käytetään valmiita ikoneita. Käsiohjaimella ohjelmointi voi olla myös valikkopohjaista tai ohjelmointikielen osaamista vaativaa tekstipohjaista ohjelmointia.
- Näyttämällä
 - Robotin käsivarsi siirretään taluttamalla haluttuun paikkaan tai opetetaan haluttu liikerata robotille.
- Konenäköpohjaisesti
 - Järjestelmälle opetetaan tunnistettava kohde. Ohjelmoinnissa kameralla kuvataan kohde ja järjestelmä pääättelee pisteet itse. Järjestelmän itsenäisyydestä riippuu, tarvitseeko käyttäjän hyväksyä tai hylätä liikeradat. (Malm 2008, 95 - 98.)

Off-line-ohjelmointi voi tapahtua esimerkiksi seuraavilla tavoilla:

- Tekstipohjaisesti
 - Tietokonetta käyttäen tehdään tekstuaalinen ohjelma.
- Oliopohjaisesti
 - Tietokoneella tehdään ohjelma käyttämällä valmiita merkkejä.
- Virtuaalisella käsiohjaimella
 - Tietokoneella virtuaalisella käsiohjaimella
- Mallipohjaisesti

- Ohjelma tuotetaan käyttäen tietokoneen 3D-graafista käyttöliittymää ja laitteiden simulointimalleja. Valmis ohjelma voidaan testata simuloimalla.
- Automaattisesti etäohjelmoiden
 - Tietokone päättelee ja analysoi CAD-kuvasta, mitä liikkeitä robotin täytyy tehdä. Ihminen päättää, hyväksyykö liikkeet ja tekee toimintaan tarvittavat lisäykset. (Malm 2008, 95 - 98.)

Vuorovaikutteisen robotin ohjelmointi voi tapahtua esimerkiksi tulkitsemalla ympäristöä robotille ja sen sensoreille sekä kertomalla robotille sen tehtävät. Robotille voidaan ilmaista esimerkiksi mitkä ovat kappaleen viimeisteltävät tasot. Vuorovaikutteisen robotin radat voidaan myös ohjelmoida taluttamalla robotin käsivarsi haluttuun paikkaan ja näyttämällä tartunta- ja irrotuspisteet tai näyttämällä käsittelyradat robotille, kuten kappaleen hiontaradat. (Heikkilä 2016.)

2.5 Robottijärjestelmän hankinnan suunnittelu

Robotin suunnittelu aloitetaan analysoimalla tarkasti lähtötilanne. Lähtötilanteen tarkastelussa täytyy selvittää kappaleiden tilat ja siirrot. Lisäksi täytyy selvittää prosessin vaiheet, prosessin miehitys sekä ympäristö ja oheislaitteiden sijoittelu. Kun alkutilanne on analysoitu, toteutetaan robotin käytön suunnittelu. Tässä vaiheessa suunnitellaan sopivat käsittelylaitteet, solun layout, turvajärjestelmä, laitteiden yhteensopivuus sekä kunnossapito ja huolto. (Kuivanen 1999, 92.)

Tarraimen suunnittelussa täytyy miettiä kokonaisuutta, eikä kannata pyrkiä matkimaan ihmisen menettelyjä. Suunnittelussa täytyy ottaa huomioon muun muassa seuraavat asiat:

- tarraimen yksinkertainen rakenne
- tarraimen ja kappaleen paino
- tarraimen toimintaperiaate
- tarvittava tarraimen voima
- robotin hyötykuorma. (Kuivanen 1999, 64 - 67.)

Robottijärjestelmän hankintaperiaate toteutetaan tapauskohtaisesti. Jos hankinnassa halutaan päästä helpolla sekä halutaan järjestelmä nopeasti käyttöön, voidaan robottijärjestelmä hankkia kokonaistoimituksena. Toinen vaihtoehto järjestelmän hankkimiselle on, että robotti sekä oheislaitteet hankitaan itse ja ulkoistetaan asennus sekä käyttöönotto ulkopuoliselle yritykselle. Kolmas vaihtoehto on, että yritys hankkii ja asentaa robottijärjestelmän itse, jolloin vaaditaan osaamista kaikkein eniten. (Kuivanen 1999, 101.)

Robottijärjestelmän kannattavuuslaskenta toteutetaan samalla periaatteella kuin muidenkin investointien kannattavuus. Robottijärjestelmän kustannuksia ovat laitteen hankintakustannukset sekä laitteen käyttökustannukset. Laitteen hankintakustannukset koostuvat robottijärjestelmän investointikustannuksista, suunnittelu-, asennus- ja käyttöönottokustannuksista. Järjestelmän käyttökustannukset koostuvat esimerkiksi seuraavista tekijöistä:

- kunnossapitokustannukset
- opetuksesta syntyvät kustannukset
- sähkö-, materiaali- ja varustekustannukset
- robotin käyttäjien palkkakustannukset
- epäsuorat palkkakustannukset. (Kuivanen 1999, 93, 109 - 110.)

Robottijärjestelmän säästöt koostuvat seuraavista tekijöistä:

- Ainekustannukset vähenevät.
- Tarvittava tilan määrä vähenee.
- Koneiden toiminta-aste kohenee.
- Virheellisten kappaleiden määrä vähenee.
- Palkkakustannukset vähenevät. (Kuivanen 1999, 110.)

Robottijärjestelmän hankinnassa on huomioitava useita asioita, sillä robottijärjestelmä suunnitellaan ja toteutetaan lähes aina sovelluksen mukaan. Hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi on käyttäjien prosessitietämys yhdistettävä robottijärjestelmän toimittajan tietämykseen. (Kuivanen 1999, 110.)

3 Konenäkö

Tässä luvussa käsitellään konenäköä ja konenäön soveltamista teollisuudessa. Luvussa kerrotaan erityisesti konenäön hyödyntämisestä robotin ohjauksessa sekä käsitellään ratkaisuja kappaleiden paikantamiseen. Lisäksi tässä luvussa perehdytään myös tarkemmin erilaisiin konenäössä käytettäviin kameroihin sekä kuvankäsittelyyn.

3.1 Konenäkö yleisesti

Konenäkösovellukset ovat kameratekniikan ja tietokoneohjelmistojen avulla toteutettua havainnointitoimintaa (Kuivanen 1999, 56). Konenäön avulla pyritään saamaan kone ymmärtämään muodostetun kuvan sisältöä ja saatua tietoa käytetään konenäköjärjestelmän sovelluksissa. Konenäön avulla kone muun muassa tunnistaa kohteita, määrittää niiden sijainnit sekä asennot, tunnistaa kohteen muutokset ja tekee tulkintojen perusteella päätöksiä. Muodostetun kuvan koneohjattu analysointi on vaativaa, sillä ympäristön vaihtelut ja valaistuksen muutokset aiheuttavat haasteita muodostetun kuvan tulkinnalle. Teollisuudenala on konenäön keskeisimpiä sovellusaloja ja se on merkittävässä roolissa ihmisen sekä koneen älykkään yhteistyön suunnittelussa. (Pietikäinen & Silven 2011, 1 - 3.)

3.2 Konenäön sovelluksia

Konenäköä voidaan käyttää monenlaisissa eri sovelluksissa. Konenäön avulla voidaan tarkistaa esimerkiksi osan sijainti ja suunta sekä verrata näitä määritettyihin tietoihin varmistaakseen osan kokoonpantavuuden. Konenäköä käytetään myös muun muassa osien, merkintöjen ja koodien tunnistamisessa. (Cognex 2016, 6 - 9.)

Konenäköä käytetään myös kohteen mittojen mittaamiseen ja tarkistamiseen, jossa järjestelmä vertaa mitattua tietoa määriteltyihin mittoihin. Jos mittaukset eivät vastaa määritettyjä mittoja, näköjärjestelmä tekee virheellisestä mitasta ilmoituksen ohjausjärjestelmälle, joka tekee tarvittavat jatkotoimenpiteet. Konenäköjärjestelmiä käytetään myös laadunvalvonnassa havaitsemaan virheitä, epäpuhtauksia, toiminnallisia puutteita ja muita epäsäännöllisyyksiä valmistetuissa tuotteissa. (Cognex 2016, 9 - 10.)

3.3 Konenäkö teollisuusrobotin ohjauksessa

Konenäköä voidaan hyödyntää robottijärjestelmässä silloin, kun tavanomainen anturointi ei riitä. Perinteisesti teollisuusrobotteja ohjataan opettamalla niille manuaalisesti paikat ja tallentamalla koordinaatiston pisteet robotin muistiin. Toimintapisteiden määrän kasvaessa suureksi, voidaan robotin työskentelyä simuloida CAD-mallien avulla. Näissä tapauksissa robotin käsittelemien kappaleiden paikat ja orientaatiot säilyvät muuttumattomina. Toimintapisteiden opetus ja simulointi ei toimi, jos kappaleiden paikka tai orientaatio vaihtelee. (Kuivanen 1999, 34 - 35, 56.)

Konenäön avulla voidaan tiedottaa robotille kappaleen sijainti ja suunta, jonka avulla robotti määrittää osan sijainnin koordinaatistoonsa. Konenäköohjauksen etuna manuaaliseen paikantamiseen on se, että robotti voi toimia nopeammin ja tarkemmin konenäköohjauksen avulla. Konenäön avulla robottijärjestelmä voi esimerkiksi pakata osia kuormalavalle, asettaa osat hyllyyn sekä poimia osia laatikosta. (Cognex 2016, 7.) 3D-konenäön avulla robotti voi poimia jopa täysin epäjärjestyksessä sekä eri tasossa olevia kappaleita laatikosta (Salmi 2014).

3.4 Kamera

Konenäköjärjestelmässä kuvattavasta kohteesta muodostetaan kuva kameralla. Kameran optiikan avulla siirretään kohteesta heijastuva valo valoherkälle kennoille. Kenno muodostuu pikseleistä, ja kameran tarkkuus määräytyy pikseleiden

määrästä. Yleensä konenäköjärjestelmään riittää mustavalkokamera, mutta värinäköä vaativissa kohteissa voidaan käyttää värikameroita. (Kuivanen 1999, 56 - 57.)

Konenäössä käytettävät kamerat voidaan jakaa viiva- ja matriisikameroihin kennon muodon mukaan. Kennot voidaan jakaa tekniikan mukaan CCD- ja CMOS -kennoihin. Matriisikamerassa kuvaelementit on sijoitettu x-y-matriisiin useaan riviin. (Szeliski 2010, 73.) Viivakamerassa pikselit ovat yhdessä jonossa. Viivakamerat soveltuvat hyvin sekä reunojen että profiilien mittaukseen ja viivakameroita käytetään myös liikkuvien kohteiden kuvaamiseen. Viivakameran tarkkuus ja kuvankäsittely on nopeampaa, sillä pikseleitä käsitellään vähemmän kerralla kuin matriisikameroissa. (Kuivanen 1999, 57.) CMOS-kenno edustaa uudempaa teknologiaa. Sekä CCD- että CMOS -kennojen avulla valo muutetaan digitaaliseksi signaaliksi. CMOS-kennoissa varaus muutetaan pikseleissä jännitteeksi ja CCD-kennoissa varaus siirretään seuraavalle pikselille, kunnes kennon reuna tulee vastaan ja varaus siirtyy analogia-digitaalimuuntimeen, jossa varauksen muutos jännitteeksi tapahtuu. CMOS-kennojen virrankulutus on yleensä pienempi kuin CCD-kennoilla. (Szeliski 2010, 73.)

3.4.1 3D-kamera

Haastavissa konenäkösovelluksissa voidaan käyttää 3D-kameraa kolmiulotteisen kuvan muodostamiseen. Kolmiulotteisen kameran avulla saadaan kohteesta esille syvyystietoa ja pinnanmuotoja. 3D-konenäön avulla kuvattavan kohteen muodoista saadaan mittatietoa yhdellä kameralla, mikä on automaation kannalta tärkeää. Sama kohde voidaan kuvata yhdellä kameralla nopeasti useita kertoja vaihtamalla valaisukuvioita tai valon suuntaa. 3D-konenäössä korostuu valaisun hallinnan tärkeys, ja erityisesti rakenteellisella valaistuksella saadaan kolmiulotteisuus kohteesta esiin. Käyttämällä yhtä 3D-kameraa voidaan korvata useita 2D-kameroita, sillä perinteisessä stereokuvauksessa on käytetty montaa 2D-kameraa, joiden muodostamat kuvat on yhdistetty. (Lehtinen 2009.)

3.4.2 Älykamera

Älykamerat ovat alkaneet yleistymään ja ne yksinkertaistavat konenäköjärjestelmiä, sillä älykamerat kykenevät mittaamaan kohteesta mittoja ja tuotteen oikeellisuutta ilman erillistä tietokonetta. Älykameroihin on tyypillisesti integroitu konenäköjärjestelmään liittyvät toiminnot, kuten muisti, sisäinen prosessori, mikropiiri, ohjelmisto ja valaistus. Perinteinen kamera lähettää kuvan tietokoneelle analysoitavaksi, mutta älykamera analysoi kuvat integroidun prosessorin avulla. Älykamera lähettää analysoinnin perusteella saadut tiedot eteenpäin järjestelmälle esimerkiksi ohjausta varten. Älykameroissa on yleensä liitännät valmiina esimerkiksi ethernetille ja I/O-ohjauksille. Älykameroiden käyttöönotto on helppoa, sillä ohjelmointi on vaivatonta graafisen käyttöliittymän avulla. Perinteisiin konenäköjärjestelmiin verratessa älykamerat ovat edullisempia ostohinnaltaan ja ylläpitokustannuksiltaan, sillä kuvankäsittelyyn ei tarvita esimerkiksi erillistä tietokonetta ja ohjelmointi on helppoa. (Wilson 2018.)

3.5 Kuvankäsittely

Yksinkertaisen konenäkösovelluksen kuvankäsittelyprosessin vaiheet ovat kuvanmuodostus, kuvan esikäsittely, segmentointi, sisällön kuvauksen muodostus, sovitus ja tunnistus. Sovitusvaiheessa opetettua mallia verrataan muodostettuun kuvaukseen. (Pietikäinen & Silven 2011, 4 - 5.)

Järjestelmä kykenee analysoimaan kuvaa huomattavasti helpommin, jos valaistus ja muut järjestelyt on suunniteltu sekä toteutettu hyvin. Esikäsittelyssä kuvassa olevaa informaatiota muokataan analysointia varten helpommin käsiteltäväksi. Kuvasta voidaan suodattaa kohinaa ja muita häiritseviä sävyvaihteluja pois kuvan laadun parantamiseksi. Esikäsittelyssä korostetaan kohteesta myös tarvittavia piirteitä analyysimenetelmien nopeuttamiseksi. (Pietikäinen & Silven 2011, 5.)

Seuraavana vaiheena on kuvan segmentointi, joka on kuva-analyysin kriittisin vaihe, koska epäonnistunut segmentointi voi estää kuvan analysoimisen. Segmentoimalla kuva jaetaan osiin, jotta kuvasta voidaan erottaa tarvittavat yksityiskohdat. Kuvan ominaisuuksia voidaan korostaa erilaisilla menetelmillä. Aluepohjaisen menetelmän avulla kuva jaetaan esimerkiksi värin tai harmaasävyn perusteella alueisiin. Reunailmaisussa kuvasta erotetaan alueiden reunoja. (Pietikäinen & Silven 2011, 5 - 6.)

Seuraavaksi muodostetaan kuvauksia segmentoitujen ominaisuuksien avulla. Tunnistettava kohde voi muodostua useasta segmentoidusta ominaisuudesta, joten tällöin kuvauksen muodostuksessa hyödynnetään alueiden ominaisuuksien lisäksi myös tietoa alueiden keskinäisistä riippuvuuksista. Muodostettua kuvausta verrataan järjestelmälle opetettuun malliin ja tehdään tunnistuksen perusteella päätös toteutettavasta toiminnasta. Järjestelmä ilmaisee, jos kuva poikkeaa opetetusta mallista. Järjestelmä antaa toimintakäskyn ohjausjärjestelmälle tunnistuksen perusteella. (Pietikäinen & Silven 2011, 6.)

4 Investoinnit

Tässä luvussa käsitellään investointilaskelmia yleisesti, laskelmamenetelmiä, herkkyyksianalyysia ja investointiprojektin seuranta. Investoinnin kannattavuuden selvittämiseksi on useita laskentamenetelmiä, mutta tässä luvussa perehdytään erityisesti nykyarvomenetelmään ja takaisinmaksuajan menetelmään.

4.1 Investointilaskelmat

Investoinnit ovat rahamäärältään suuria menoja, joista odotetaan kertyvän tuloja pidemmältä ajalta ja investointilaskelmat ovat tulevaisuutta varten laskettuja laskelmia, joilla selvitetään investoinnin kannattavuus. Laskelmien lähtöarvot voivat olla arvioitavissa tai mitattavissa olevia tekijöitä. Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat seuraavat:

- perushankintakustannus

- laskentakorko
- juoksevasti syntyvät tuotot ja kustannukset
- investoinnin pitoaika
- investoinnin jäännösarvo. (Uusi-Rauva, Haverila, Kouri & Miettinen 2003, 163, 165 - 169.)

Perushankintakustannus ajoittuu lähelle päätöksentekohetkeä, eikä tähän liity niin paljon epävarmuustekijöitä kuin juoksevasti syntyviin tuottoihin ja kustannuksiin. Perushankintakustannuksia ovat esimerkiksi uusi tuotantolaitos, rakennuskustannukset, kone- ja laitekustannukset sekä käyttöpääoman lisäys. (Uusi-Rauva ym. 2003, 168.)

Laskentakorko on laskelmissa käytettävä korko, jonka avulla saadaan eri aikoina tapahtuvat suoritukset keskenään vertailukelpoisiksi. Korkokantaa voidaan käyttää investoinnin minimituottovaatimuksena. Laskentakorko voi olla keskimääräisen lainakoron suuruinen. Jos investointi ostetaan osittain omalla pääomalla ja osittain lainarahalla, niin laskentakoron voi laskea tämän mukaisena keskiarvona. (Uusi-Rauva ym. 2003, 168.)

Juoksevasti syntyvät tuotot ovat esimerkiksi investoinnista saatavat myyntituotot ja juoksevat kustannukset ovat investoinnista syntyvät kustannukset. Nettotuotot ovat vuotuisten tuottojen ja kustannusten erotus. Investoinnissa voi syntyä tuoton asemasta myös kustannussäästöä. (Uusi-Rauva ym. 2003, 169.)

Investoinnin pitoaika on aika, jolloin investoitua hyödykettä käytetään yrityksessä. Pitoaika voi olla koneen käyttöikä, mutta yleensä pitoajaksi määritetään hyödykkeen taloudellinen pitoaika. (Uusi-Rauva ym. 2003, 169.)

Investoinnin jäännösarvo on esimerkiksi koneesta saatava myyntitulo, joka saadaan investoinnin pitoajan päättyessä. Jäännösarvo voi olla myös negatiivinen, jos tuotteen hävittämisestä seuraa kustannuksia. (Suomala, Manninen & Lyly-Yrjänäinen 2011, 153.)

4.1.1 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä investoinnin kaikki tuotot ja kustannukset diskontataan eli muutetaan investointiajankohdan rahamääräksi valitun laskentakoron avulla. Diskonttaus tapahtuu kertomalla vuotuinen nettotuotto diskonttaustekijällä. Vuotuisten diskontattujen tuottojen summa on nykyarvosumma ja investointi on kannattava, jos nykyarvosumma on suurempi kuin investoinnin hankintameno. Jos investointivaihtoehtoja on useita, kannattavin on se, jonka positiivinen nykyarvo on suurin. Diskonttaustekijän laskukaava on esitetty kaavassa 1:

$$\frac{1}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Jossa n = tarkasteluvuosi investoinnin jälkeen
 i = laskentakorko. (Uusi-Rauva ym. 2003, 168 - 170.)

Jos vuotuiset nettotuotot pysyvät hankinnan pitoajan yhtä suurina, niin diskonttaus tapahtuu kertomalla vuotuinen nettotuotto diskonttauskertoimella, joka on esitetty kaavassa 2:

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad (2)$$

Jossa n = investoinnin pitoaika vuosina
 i = laskentakorko. (Uusi-Rauva ym. 2003, 168 – 170.)

4.1.2 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmä on suosittu investointilaskemisessa sen helppouden ja yksinkertaisuuden takia. Takaisinmaksuajan menetelmässä selvitetään, missä ajassa investointi maksetaan takaisin nettokassavirralla. Investointi on sitä kannattavampi, mitä nopeammin pääoma kertyy takaisin. Takaisinmaksuaika menetelmän laskukaava on esitetty kaavassa 3:

$$Takaismaksuaika = \frac{\text{hankintakustannus}}{\text{vuotuinen nettotuotto}} \quad (3)$$

Tämän laskukaavan mukaan oletetaan, että vuosittaiset kassavirrat ovat jokaisena vuotena samansuuruisia. Jos vuotuiset kassavirrat vaihtelevat, saadaan takaisinmaksuaika laskemalla investoinnin kumulatiivinen kassavirta taulukkolaskentaohjelmalla. (Jormakka ym. 2012, 234 - 235.)

4.2 Investoinnin herkkyyshanalyysi

Investoinnin kannattavuuden laskentaan liittyy usein epävarmuustekijöitä, sillä investoinnit sijoittuvat tulevaisuuteen. Herkkyyshanalyysillä selvitetään investoinnin kannattavuuden muuttuminen, kun yhden tai useamman kannattavuustekijän toteutuvat arvot eroavat investointilaskelmissa käytetyistä arvoista. Kannattavuustekijöiden epäedullisten muutosten vaikutus investoinnin kannattavuuteen on erityisen tärkeää selvittää. Herkkyyshanalyysin avulla saadaan selville tekijät, joiden arviointivirheiden vaikutus on voimakkainta investoinnin kannattavuuteen. Samalla saadaan selville myös kannattavuuskomponentit, joiden arviointivirheiden vaikutus investointiin on vähäisempää. (Uusi-Rauva ym. 2003, 173.)

4.3 Investointiprojektin seuranta

Seurantavaiheessa verrataan toteutuneita hyötyjä, tuottoja ja kustannuksia investoinnin suunnitteluvaiheessa arvioituihin tuottoihin ja kustannuksiin. On tärkeää seurata investointiprojektia, sillä jos projektin eteneminen poikkeaa suunnitellusta, voidaan projekti keskeyttää tai tehdä päätös toimenpiteistä, joilla projekti saadaan tulokselliseksi. (Jormakka ym. 2012, 239.)

5 DMAIC-menetelmä

Tässä luvussa käsitellään DMAIC-menetelmää yleisesti sekä vaiheittain määrittelyvaiheesta ohjausvaiheeseen. DMAIC-menetelmässä edetään järjestelmällisesti ja sen vaiheita ovat määrittely, mittaus, analysointi, parannus ja ohjaus. Alaluvuissa käsitellään jokaisessa vaiheessa toteutettavia tehtäviä sekä tavoitteita.

5.1 DMAIC-menetelmä yleisesti

Lean Six Sigma DMAIC -ongelmanratkaisumenetelmä on hyvin järjestelmällinen ongelmanratkaisutapa. DMAIC-prosessin avulla saadaan valittua ja ratkaistua kehitysprojekteja, joiden vaikutus yrityksen tulokseen on suuri. DMAIC-menetelmän vaiheet ovat määrittely, mittaus, analysointi, parantaminen ja ohjaus. DMAIC-prosessin eri vaiheissa yrityksen ongelma tunnistetaan, tarkennetaan ja määritellään. Prosessi kuvataan ja analysoidaan erilaisten työkalujen avulla. Mittarit määritellään ja mittaustulokset analysoidaan tilastollisten analyysien avulla. Ongelman juurisyitä etsitään, parannustoimenpiteet suoritetaan ja ohjausmenetelmät käyttöönotetaan. DMAIC-prosessin eri vaiheissa käytetään työkaluja asioiden selvittämiseksi. Six Sigma -projektit ovat tehokkaita menetelmiä taloudellisten tulosten parantamiseksi. (Ihalainen & Hölttä 2001, 57 - 59.)

DMAIC-prosessin avulla pyritään löytämään systeemistä suorituskykyä parantavat tekijät ja tarkoituksena on muuttaa niitä merkittävästi. Suorituskyvyn kehittämisessä tärkeää on löytää prosessiin vaikuttava satunnainen syy. DMAIC-prosessissa käytetään kerätyn datan tutkimiseen ja analysoimiseen tilastollisia työkaluja, kuten Minitab-ohjelmaa. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 43.)

5.2 Määrittelyvaihe

DMAIC-menetelmän määrittelyjaksossa määritellään yrityksen ongelma ja asiakasvaatimukset, jotka taas määrittelevät projektin laajuuden ja tarkoituksen. Määrittelyvaiheessa täytyy kerätä tietoa prosessin asiakkaista, asiakkaiden vaatimuksista ja parannettavasta prosessista. Ongelma on asetettava selkeäksi,

kannattavuus on arvioitava ja projekti täytyy aikatauluttaa. Saavutettavien muutosten täytyy olla merkittäviä, jotta ne voidaan havaita ilman todella suurta tiedonkeruuta ja ajankäyttöä. Määrittelyvaiheessa tavoitteena on laatia selkeä tavoite halutusta parannuksesta ja toteuttaa kuvaus jalostusarvon muodostumisesta prosessissa. Lisäksi määrittelyvaiheessa tavoitteena on toteuttaa lista asioista, jotka ovat tärkeitä ja vaikuttavat kriittisesti asiakastyytyvyyteen laadun, toimitusajan ja kustannusten osalta. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 46.)

Määrittelyvaiheessa voidaan käyttää työkaluina esimerkiksi SIPOC-lomaketta, CTQ-puuta ja projektin määrittelylomaketta. On tärkeä kysyä kysymyksiä, jotta projekti ei lähtisi etenemään väärään suuntaan. Määrittelyvaiheen aikana voidaan selvittää vastauksia tiimin kesken seuraaville kysymyksille:

- Miksi teemme töitä tämän ongelman parissa?
- Kuka on asiakas ja mitkä ovat asiakkaan vaatimukset prosessin osalta?
- Miten prosessia hoidetaan tällä hetkellä?
- Mitkä ovat prosessin kehittämisen hyödyt? (Karjalainen & Karjalainen 2002, 46, 92.)

5.3 Mittausvaihe

Mittausvaiheessa määritetään mitä mitataan ja todennetaan ongelman olemassaolo. Mittausvaihe aloittaa mahdollisten juurisyiden etsimisen. Mittausvaiheessa määritetään tiedonkeräyssuunnitelma sekä mittarit mittauksen luotettavuuden varmistamiseksi. Mittausvaiheessa mitataan ja arvioidaan prosessin tämänhetkinen suorituskyky. Mittausvaiheessa saadaan lähtötilanteen dataa, visuaaliset kuvaajat lähtötilanteen datasta, ongelman rajaavaa dataa, prosessin suorituskyvyt ja ongelma muutettua tilastolliseksi. Mittausvaiheessa voidaan käyttää työkaluina esimerkiksi tiedonkeruusuunnitelmaa, tiedonkeruulomaketta ja priorisointimatriisia. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 47 - 48, 125.)

5.4 Analysointivaihe

Analysointivaiheessa analysoidaan mittauksilla ja mittareilla asiakkaalle kriittisten ominaisuuksien suorituskyky. Tutkimalla kerättyä tietoa analysointivaiheessa on tarkoituksena havaita, mikä prosessissa estää tavoitteiden saavuttamisen. Tässä vaiheessa täytyy tunnistaa prosessiin vaikuttavat juurisyyt. Analyysivaiheessa tutkitaan prosessin toimintaa ja kerättyä dataa. Prosessianalyysin avulla pyritään tunnistamaan prosessin läpimenoajat, prosessin alhaallaoloajat ja asiat, jotka eivät lisää jalostusarvoa. Data-analyysin avulla pyritään tutkimaan kerättyä dataa, kuvioita ja trendejä, joiden eroja tutkimalla voidaan tunnistaa tai hylätä ongelmaan liittyvät teoriat. Analysointivaiheessa saadaan otaksuma ongelmien syistä. Analysointivaiheessa voidaan käyttää työkaluina esimerkiksi syy-seurausanalyysia, vuokaaviota, aivoriihityöskentelyä ja hypoteesitestausta. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 49 - 51, 126.)

5.5 Parannusvaihe

Parannusvaiheessa testataan ja sovelletaan ratkaisuja analysointivaiheessa löydettyjen juurisyiden vaikutuksien poistamiseksi ja tavoiteprosessin saavuttamiseksi. Ratkaisun avulla pyritään pienentämään vaihtelua ja optimoimaan prosessi. Parannusvaiheessa saadaan suunnitelmat parantamiseen ja testataan toimenpiteet, joiden avulla ongelmat saadaan ratkaistua pysyvästi. Parantamiseen käytettävät menetelmät valitaan arvioinnin perusteella. Parannusvaiheessa voidaan käyttää työkaluina esimerkiksi koesuunnittelua, aivoriihityöskentelyä, FMEA-analyysia, simulointia ja hypoteesitestausta. Parannusvaiheessa testattuja ja hyväksi todettuja ratkaisuja sovelletaan ohjausvaiheessa (Karjalainen & Karjalainen 2002, 51 – 52, 127.)

5.6 Ohjausvaihe

Ohjausvaiheessa varmistetaan, että ratkaisut ovat pysyviä. Tavoitteena on arvioida ratkaisuja ja kehittää menetelmät, joiden avulla saavutetut tulokset ylläpidetään. Ohjausvaiheessa pyritään tutkimaan, voidaanko saavutettuja parannuksia hyödyntää muualla liiketoiminnassa. Ohjausvaiheessa saadaan tulokseksi projektin saavutukset, liiketoiminnallinen vaikutus ja prosessin seurantajärjestelmät. Siinä myös päivitetään johtamisjärjestelmän menettelyt. Ohjausvaiheessa työkaluina voidaan käyttää esimerkiksi ohjauskortteja, vuokaavioita, ohjaussuunnitelmaa ja laatujärjestelmiä. DMAIC-projekti päättyy ohjausvaiheeseen. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 52 - 53, 128.)

6 Työn toteuttamisessa käytetyt menetelmät

Tässä luvussa käsitellään työn tekemisessä käytetyt menetelmät vaiheittain. Opinnäytetyön toteuttamisvaihe tehtiin DMAIC-menetelmän mukaisesti. Jokaisen työvaiheen välissä pidettiin projektin katselmus, jonka jälkeen siirryttiin seuraavaan vaiheeseen. Projektin tekeminen aloitettiin määritysvaiheella ja projekti lopetettiin parannusvaiheeseen. Ohjausvaihe ei kuulunut tämän työn toteuttamiseen, mutta työssä käytiin kuitenkin läpi mitä toimenpiteitä olisi hyvä suorittaa kyseisen investoinnin toteutuessa.

6.1 Määrittäsvaihe

Määrittäsvaiheessa käytettiin SIPOC-työkalua. SIPOC-kaavion avulla esitetään prosessi visuaalisesti yksinkertaisena diagrammina. SIPOCin avulla rajataan tutkittava prosessi ja se tehdään yleensä projektin aikaisessa vaiheessa. SIPOC-kaavio sisältää toimittajat, syötteet, prosessin, tuotokset ja asiakkaat. Prosessikuvaus sisältää selvityksen prosessin toiminnasta. Syötteiden ja tuotoksien rajapinnat määrittävät prosessin toiminta-alueen. Tuotokset ovat prosessin tuloksia ja syötteet ovat asioita, joita prosessi tarvitsee toimiakseen ja tuottaakseen tuo-

toksia. Asiakkaat ovat ihmisiä, jotka saavat käyttöönsä prosessin tuotoksia. Toimittajat toimittavat syötteet prosessiin. SIPOC-kaavio voidaan luoda seuraavassa järjestyksessä:

1. Määritetään ja nimetään prosessi.
2. Määritetään tutkittavan prosessin laajuus.
3. Nimetään tärkeät tuotokset ja listataan niiden vaatimukset.
4. Listataan asiakkaat prosessin jokaiselle tuotokselle.
5. Kirjataan keskeiset asiakasvaatimukset tuotoksille ja vaatimukset prosessin syötteille.
6. Listataan prosessin syötteet.
7. Listataan prosessin toimittajat.
8. Tunnistetaan, nimetään ja määritetään tärkeät prosessivaiheet. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 100 - 101.)

6.2 Mittausvaihe

6.2.1 Tiedonkeruusuunnitelma

Tiedonkeruusuunnitelmassa määritellään kerättävä tieto, tiedon määrä ja tiedonkeruun ajanjakso. On hyvä määritellä, mitä tehdään ja miksi se täytyy tehdä. Tiedonkeruusuunnitelman avulla saadaan mahdollisimman todenmukainen kuva prosessin nykyisestä toiminnasta. Tiedonkeruulomaketta laatiessa voidaan ottaa mallia esimerkiksi käytössä olevista lomakkeista, asiakkaan tarvitsemasta tiedosta, käyttäjän kokemuksesta ja standardeista. Tiedonkeruulomakkeen sisällön kannalta tärkeitä tekijöitä ovat kohteen määrittelevät parametrit, tiedonkeruupaikka, päivämäärä, käyttäjät, tavoiteltavat ominaisuudet ja prosessin käyttöolosuhteet sekä ympäristön olosuhteet laatimisajankohtana. Tiedonkeruulomakkeessa voi olla valmiit vastausvaihtoehdot. Lomakkeessa voi olla myös selväkielistä tekstiä tai numeerisesti mitattavia yksiköitä. (SFS-ISO 13053-2:fi 2014, 64.)

6.2.2 Tiedon esittäminen visuaalisesti

Visualisointityökalujen avulla prosessin mitatut tunnusluvut esitetään sekä graafisesti että numeerisesti ja analyysin avulla on tavoitteena ymmärtää muuttujien vaihtelua. Visuaalisen kuvan avulla voidaan tunnistaa tietyn tekijän vaikutukset tarkasteltavaan ominaisuuteen ja analyysin tulokset voidaan varmistaa tilastollisella testillä. Visualisointityökaluna voi käyttää esimerkiksi histogrammia, Pareto-kaaviota, jaksokorttia tai laatikkokuviota. (SFS-ISO 13053-2:fi 2014, 70.)

6.3 Analyysivaihe

Analyysivaiheessa käytettiin Hukka-analyysityökalua. Hukka-analyysissa tutkitaan seitsemää hukkaa, jotka esiintyvät usein tuotannossa ja jotka eivät tuo lisäarvoa prosessille. Tutkimalla nämä seitsemän hukkaa esiin voidaan poistaa lähes kaikki hukcatekijät ja parantaa työvoiman tehokkuutta. Seitsemän hukcatekijää ovat seuraavat:

- Ylituotanto
 - Tuotetaan yli tarpeen.
- Odottaminen
 - Aika, kun odotetaan jonkin tapahtuvan
- Turhat liikkeet
 - Turhia siirtoja huonon sijoittelun takia
- Kuljetukset
 - Laitteiden tai osien arvoa lisäämättömät liikkeet
- Yliprosessointi
 - Monimutkaisen prosessin suunnittelun takia syntyvät raskaat ja työlääät toimintatavat
- Varastointi
 - Varastoa on yli tarpeen
- Virheet
 - Laadunvarmistuksessa hylätyt tuotteet

Hukan poistaminen aloitetaan prosessin kartoituksella ja seuraavaksi selvitetään, missä prosessin vaiheessa on hukkaa. Sen jälkeen määritetään hukan aiheuttamat kustannukset ja asetetaan toteutettavat toimet. Lopuksi suunnitellaan prosessit uudelleen hukkaa aiheuttavat tekijät poistaen. Hukan poistamisen jälkeen on hyvä tarkistaa säännöllisesti, ettei hukkaa ilmene uudestaan. (SFS-ISO 13053-2:fi 2014, 74.)

6.4 Parannusvaihe

Parannusvaiheessa käytettiin aivorihtä, joka on luovan ongelmanratkaisun menetelmä. Aivoriihen tavoitteena on saada luovan ajattelun avulla suuri määrä ideoita tehokkaasti ja sen avulla saadaan jokainen tiimin jäsen osallistumaan ideointiin. Aivoriihen avulla luodaan uusia ratkaisuja, keksitään tapoja mitata ongelmia ja voidaan löytää mahdollisia ongelman aiheuttajia. Aivorihiprosessi aloitetaan määrittämällä aiheet, joita mietitään. Seuraavaksi jokaiselta henkilöltä pyydetään tietty määrä ideoita ja henkilöt kirjoittavat ideat ylös määritetyn aikataulun mukaan. Kun kirjoittaminen on päättynyt, ideat kerätään ja niitä tarkastellaan, selkeytetään ja liitetään toisiinsa. (Karjalainen & Karjalainen 2002, 114.)

6.5 Ohjausvaihe

Ohjaussuunnitelma on kirjoitettu yhteenveto, jossa kuvataan prosessit, prosessin keskeiset syötteen ja tuotokset sekä näille asetetut vaatimukset. Ohjaussuunnitelman avulla ylläpidetään saavutettua prosessin parannusta. Se toimii muistutuksena mittaus-toimenpiteistä ja prosessin statuksesta. Ohjaussuunnitelma sisältää prosessin menettelyohjeet, ennaltaehkäisevän toiminnon ylläpidon ja mittausmenetelmäohjeet. Ohjaussuunnitelman tarkoituksena on hallita ja minimoida prosessin ja tuotteiden vaihtelua seurannan ja mittausratkaisujen avulla. Ohjaussuunnitelma on koottu useasta dokumentista, kuten prosessikuvauksesta ja suorituskykymittauksista. Ohjaussuunnitelma on tärkeä dokumentti prosessissa saavutettujen parannusten ylläpitämiseksi, ja sitä on päivitettävä jatkuvasti. (Karjalainen 2008.)

7 Työn toteutus ja tulokset

7.1 Projektin määrittäminen

Projekti toteutettiin DMAIC-menetelmää hyödyntäen. Tuotantosolun automaatio- ja laatuohjelmointiprojekti aloitettiin pitämällä projektin alkupalaveri, jossa määriteltiin projektiin liittyvät henkilöt, projektin tavoitteet sekä rajattiin tutkittava projekti. Okun Koneistuspalvelu Oy:n toimitusjohtaja Päivi Kettunen ja valmistuspäällikkö Jarmo Hassinen olivat määritelleet valmiiksi tutkittavan ja kehitettävän kohteen. Projektin valmistumisen tavoiteaikatauluksi asetettiin kevät 2019.

Projekti rajattiin yhden tuotteen valmistusprosessin tutkimiseen ja sen mukaisesti selvitettiin tuotantosolun automatisoinnin kannattavuus. Lähtökohtaisesti tuotetta on valmistettu takeista Mazak Integrex 200-IV -työstökoneella koneistajan läsnäollessa. Projektin tarkoituksena oli selvittää, miten tuotetta voidaan valmistaa ilman työntekijän läsnäoloa Mazak Integrex i-200 -työstökoneella, joka sijaitsee hieman syrjemmässä. Tämä Mazak Integrex i-200 -työstökone toimii pääsääntöisesti miehittämättömänä, sillä kone on varustettu tankosyöttölaitteella sekä kuljettimella.

Projektiryhmä koostui itsestäni, valmistuspäälliköstä, joka toimi työnohjaajanani sekä työntekijästä, joka työskenteli tutkittavan prosessin parissa. Projektin tavoitteeksi määriteltiin työstösolun automatisoinnin suunnittelu sekä investoinnin kannattavuuden selvittäminen. Työstösolun täytyisi työskennellä itsenäisesti useamman tuotteen valmistuksen ajan sekä robottisolun tulisi toimia ilman suoja-aitaa. Työstösoluun suunniteltavan robotin uudelleenohjelmoinnin sekä käytettävyyden täytyisi olla mahdollisimman helppoa, jotta robotin käytön koulutus ei olisi monimutkaista. Robotin tulisi kyetä itsenäisesti paikantamaan ja siirtämään takeet kuormalavalta, jossa ne ovat sekaisin ja asettamaan takeet oikeaan asentoon työstökoneelle. Robotin täytyisi myös suorittaa tuotteen viimeistely itsenäisesti. Lisäksi projektissa piti selvittää mahdollisuudet tuotteen automaattiselle mittaukselle. Tavoitteena oli myös tutkia robotin mahdollinen siirrettävyys, jotta saataisiin selvyys, voitaisiinko robottia hyödyntää useammalla työstökoneella. Lisäksi pro-

jektissa piti tutkia valmistusprosessin läpimenoajan lyhentämistä sekä työstösolun automatisointi täytyisi suunnitella siten, että koneistusprosessin läpimenoaika saataisiin mahdollisimman lyhyeksi. Lopuksi tuli toteuttaa investointilaskelmat, joiden avulla Okun Koneistuspalvelu Oy saa selville tuotantosolun automatisoinnin kannattavuudesta.

Tiedon kerääminen aloitettiin selvittämällä kehitettävän prosessin lähtötilanteen toiminta SIPOC-kaavion avulla. SIPOC-kaavion vaiheet määriteltiin yhdessä projektiryhmän kanssa seuraamalla tuotteen valmistusprosessia. Prosessikuvaus rajattiin asetustyöstä valmiiden osien toimittamiseen varastolle. Kaavion täyttäminen aloitettiin prosessin toimintavaiheiden kuvaamisella. Toiminnan vaiheet kuvattiin yksityiskohtaisesti, jotta varsinaisesta toiminnasta saataisiin mahdollisimman kattava kuva. Seuraavaksi kuvattiin prosessin tuotokset ja tuotoksille asiakkaat. Prosessin tuotoksina syntyy valmistettu tuote sekä tietotaitoa kokemuksen perusteella. Tämän jälkeen kuvattiin prosessin tarvitsemat syötteet tuotoksen valmistamiseksi. Lopuksi listattiin prosessin syötteiden toimittajat. Kuviossa 1 on SIPOC-kaavion avulla esitetty prosessikuvaus.

Supplier / Toimittaja	Input / Syöte	Process / Prosessi	Output / Tuotos	Customer / Asiakas	
Toimittaja 1	-Tekninen piirustus -Kuormalavat	1. Asetustyö	-Valmistettu osa -Tietotaito	-Varasto -> Asiakas 1	
Toimittaja 2	-Aihiot	2. Aihoiden kuljetus työstösoluun			
Toimittaja 3	-Terät	3. Koneistusprosessin aloitus. Aihion kiinnitys koneeseen			-Okun Koneistuspalvelu Oy (Työnjohto, työntekijät)
Toimittaja 4	-Työkalut	4. Koneistus			
Työnjohto	-Ohjeet	5. Osan tarkistusmittaus			
Tuotannonohjaus järjestelmä	-Tuotannonohjaus informaatio -Työmääräin	6. Koneistus			
		7. Osan tarkistusmittaus			
		8. Koneistus			
		9. Osan irrotus koneesta Koneistusprosessi päättyy			
		10. Siirytään vaiheeseen 3. Joutoaikana siirytään vaiheeseen 11			
		11. Osan viimeistely			
		12. Valmiin osan asetus kuormalavalle			
		13. Osien toimitus varastoon kuormalavan täytyessä tai prosessin päätyessä			

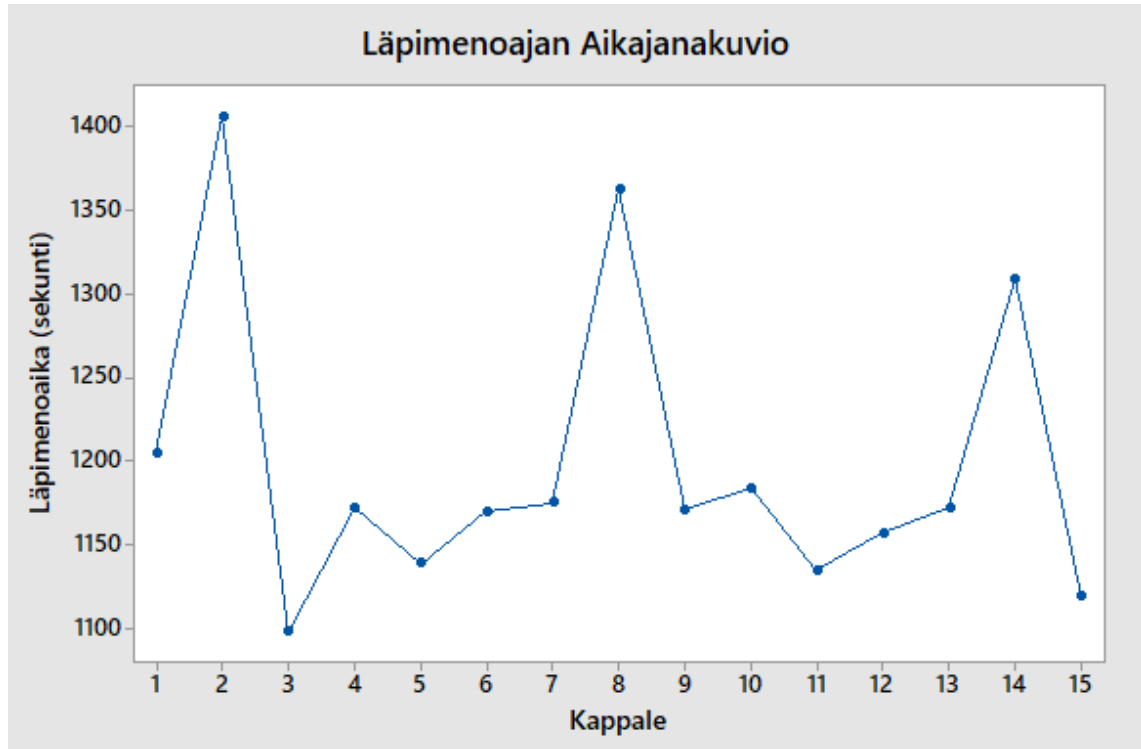
Kuvio 1. SIPOC-kaavio.

7.2 Prosessin mittaus

Mittausvaihe aloitettiin suunnittelemalla tiedonkeruuta sekä tiedonkeruulomaketta. Tiedonkeruulomakkeella (liite 1) kerättiin tietoa koneistusprosessin läpimenoaikaan vaikuttavista vaiheista, jotka voidaan toteuttaa automatisointia hyödyntäen. Prosessista kerättävä aika mitattiin sekuntikellolla sekuntien tarkkuudella. Tiedonkeruulomakkeella kerättiin tietoa koneistusprosessin läpimenoajasta, jotta saatiin selville koneistusprosessiin kuluva aika sekä läpimenoajan vaihtelu. Koneistusprosessin läpimenoaika mitattiin takeen kiinnittämisestä osan irrottamiseen. Koneistusprosessin mittauksessa seuraava vaihe alkoi aina edellisen vaiheen päätyttyä.

Mittaus-toimenpide aloitettiin määrittelemällä tiedonkeruulomakkeeseen mittauspaikka, valmistukseen käytetty kone, mittauspäivämäärä sekä mittauksen suorittaja. Koneistusprosessin läpimenoajan mittauksia suoritettiin 15 kertaa. Tiedonkeruulomakkeeseen täytettiin mitatut arvot sekä lomakkeeseen laskettiin myös jokaiseen vaiheeseen kulunut minimi-, maksimi- ja keskiarvoaika. Mittausvaiheessa mitattiin myös takeen paino.

Prosessin lähtötilanteen kyvykkyyden selvittämiseksi toteutettiin prosessin läpimenoajan aikajanakuviokuva (kuviokuva 2) Minitab-ohjelmalla. Kuviossa on esitetty koneistusprosessin läpimenoaika ja ajan mittayksikkönä käytettiin sekuntia. Vaaka-akselilla on esitetty koneistetut tuotteet numeroidusti ja pystyakselilla on esitetty tuotteen koneistusprosessiin kulunut aika sekunteina.



Kuvio 2. Prosessin läpimenoajan aikajanakuvi.

7.3 Analysointi

Analysointivaihe aloitettiin tutkimalla prosessissa mahdollisesti esiintyviä hukkatekijöitä hukka-analyysilomaketta käyttäen (liite 2). Hukka-analyysissä ilmeni, että prosessin aikana mahdollisesti esiintyviä hukkatekijöitä ovat odottaminen, turhat liikkeet, yliprosessointi ja muut virheet. Odottamista voi syntyä yllättävästä puutteesta, esimerkiksi jos prosessissa tarvittavia työkaluja tai teriä ei ole heti käytettävissä. Työstökoneen toiminnan seisomista saattaa syntyä, jos koneistusprosessin vaiheet ovat niin lyhyitä, että prosessivaihe valmistuu työntekijän ollessa tauolla. Lisäksi koneistajan työskennellessä työstökoneen kanssa toiminnan seisomista saattaa syntyä inhimillisistä syistä esimerkiksi siinä tilanteessa, jos koneistaja ei huomaa koneistusprosessin vaiheen valmistumista tai ei ehdi välittömästi reagoimaan siihen, että seuraavaan työvaiheeseen voisi jo siirtyä. Yliprosessointia voi syntyä, jos tuotteiden valmistamiseen käytetään liian työläitä koneistusohjelmia ja ohjelmia ei pyritä kehittämään jatkuvasti. Tuotteissa voi esiintyä esimerkiksi mittavirheitä, virheellistä työstöjälkeä tai terän rikkoontumisesta aiheutuvia haittoja.

Prosessin läpimenoajan aikajanakuviota (kuvio 2) tutkimalla havaittiin, että näkyvimvät vaihtelut ovat tuotteiden 2, 8 ja 14 läpimenoajoissa. Muuten koneistusprosessin läpimenoaika vaihtelee tasaisesti 1080 ja 1200 sekunnin välillä, eli 18 ja 20 minuutin välillä. Kun täytettyä koneistusprosessin tiedonkeruulomaketta tutkittiin, selvisi työntekijän taukojen olevan tuotteiden 2, 8 ja 14 läpimenoaikojen vaihteluiden takana. Työntekijän tauot ovat kuitenkin ajoitettu siten, että tauot sijoittuvat aina pisimmän koneistusvaiheen ajalle. Tämän ansiosta työstökoneen mahdollinen seisominen on minimoitu. Jos tuotteen koneistusvaiheet olisivat lyhyempiä, niin mahdollinen koneen seisominen olisi pidempiaikaista. Myös tuotteen viimeistelyvaihe on ajoitettu siten, että se toteutetaan työstökoneen työstäessä seuraavaa tuotetta.

Koneistusprosessien läpimenoaikojen keskiarvo on 19 minuuttia 58 sekuntia. Täytettyä koneistusprosessin tiedonkeruulomaketta tutkimalla havaittiin, että toteutunut minimiaika on 18 minuuttia 18 sekuntia sekä toteutunut maksimiaika on 23 minuuttia 46 sekuntia. Maksimi- ja minimiaikojen erotus on 5 minuuttia 28 sekuntia. Koneistusprosessin vaiheiden minimiajat yhteenlaskettuna saatiin optimaalisen läpimenoajaksi 17 minuuttia 36 sekuntia lähtötilanteen työskentelyta-voilla.

7.4 Parannus

7.4.1 Parannusehdotus

Parannusvaihe aloitettiin ideoimalla prosessin parannusvaihtoehtoja ja valitsemalla vaihtoehtoista ne, joilla saavutetaan asetetut tavoitteet. Robottijärjestelmän suunnittelun pääpainona oli, että prosessin läpimenoaika tulisi saada mahdollisimman lyhyeksi sekä järjestelmän tulisi olla mahdollisimman helppokäyttöinen ja helposti uudelleenohjelmoitava.

Jotta robottijärjestelmän ohjelmointi olisi mahdollisimman toimivaa Okun Koneistuspalvelu Oy:n tarpeisiin, sen siirrettävyys olisi mahdollisimman joustavaa, eikä

robottisolua tarvitsisi aidata, päätettiin työstösoluun kysyä tarjous vuorovaikutteisesta- eli yhteistyörobotista. Robotin käsivarren ulottuvuuden täytyisi olla vähintään 1200 millimetriä, sillä osat sijaitsevat kuormalavalla. Näiden vaatimuksien perusteella tarjous kysyttiin eräästä yhteistyörobotista.

Tarttujan valinnassa päätettiin kysyä tarjous kaksoistarttujasta, jotta läpimenoaika saataisiin mahdollisimman lyhyeksi. Kaksoistarttuja mahdollistaa sen, että robotti voi koneistusvaiheen aikana poimia seuraavan takeen valmiiksi, ja heti koneistusprosessin valmistuttua ottaa valmiin osan työstökoneesta ja asentaa samalla uuden takeen työstökoneeseen. Tämä nopeuttaa koneistusprosessin läpimenoaikaa arviolta minuutin verran suhteessa yhden tarttujan sovellukseen.

Takeen paikantamista varten päätettiin kysyä tarjous 3D-kamerasta, joka kykenee paikantamaan sekaisin olevat takeet kuormalavalta. Takeiden tunnistaminen vaatii 3D-kameran, koska takeet sijaitsevat päällekkäin, jolloin osien paikantamiseen tarvitaan myös syvyystietoa. 3D-kameran vaatimuksena oli, että kameran täytyisi kyetä tarkastelemaan kuormalavan kokoista aluetta ja liittäminen valitun robotin ohjausjärjestelmään täytyisi olla mahdollisimman helppoa. Tuotteen opettaminen järjestelmälle täytyisi olla myös mahdollisimman yksinkertaista. Päätettiin kysyä vaihtoehtoisesti tarjous myös palettiratkaisusta, jossa olisi valmis paikka robotille sekä kokonaisuuden siirrettävyys olisi helppoa esimerkiksi pumpukärryllä. Tarjous kysyttiin vaatimuksien perusteella 3D-kamerasta sekä palettiratkaisusta.

Lähtötilanteessa viimeistely tapahtui käsityönä joutoaikana työstökoneen koneistaessa seuraavaa tuotetta. Tarkoituksena olisi tulevaisuudessa toteuttaa viimeistelyvaihe robottia käyttämällä. Jotta tuotteen hiominen onnistuisi mahdollisimman hyvin, robotin täytyisi viimeistelyvaiheessa tunnistaa ja säädellä tuotteeseen kohdistuvaa voimaa, joten työkalukiinnittimeen täytyisi asentaa voima-anturi.

Jotta tuotantosolun toiminta olisi itsenäisempää, järjestelmä vaatisi automaattisesti toimivan mittalaitteen. Mittalaitte mahdollistaisi myös sen, että läpimenoaika saataisi lyhennettyä, sillä koneistusaikaa ei kuluisi mittaustoimenpiteen suorittamiseen, kun mittaustoimenpide sijoittuisi työstökoneen koneistusprosessin

ajalle. Mittalaitteen kriteereinä oli, että laitteen täytyisi kyetä mittaamaan tuotteesta määritetyt mitat robotin toimittaessa tuotteen mittalaitteelle. Mittalaitteen täytyisi myös ilmoittaa robotin ohjausjärjestelmälle tuotteen mittavirheistä mahdollisia jatkotoimenpiteitä varten, jotta järjestelmä reagoisi virheisiin eikä sallisi viallisten tuotteiden valmistamisen jatkamista. Päätettiin kysyä tarjous optisesta mikrometrillä, jonka mittausalue, mittatarkkuus sekä käytettävyys täyttää soveluksen vaatimukset.

Ideoinnin ja parannusvaihtoehtojen valinnan jälkeen kysyttiin robottijärjestelmien toimittajilta tarjous robottijärjestelmän kokonaistoimituksesta. Tarjouksia kysyttiin neljältä eri toimittajalta. Tarjoukseen pyydettiin edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi koulutuksen, asennuksien sekä mahdollisten työstökoneeseen tarvittavien muutoksien hinnat. Lisäksi vuorovaikutteisen robotin käyttöönotossa täytyy tehdä riskianalyysi ja turvallisuussuunnittelu, joten tarjoukseen pyydettiin myös hinta-arvio riskianalyysistä sekä mahdollisesta turvalaserskannerista.

Tarjouksia kysyttiin kahdesta eri kokonaisuudesta. Kokonaisuuksien erona oli se, että ensimmäinen järjestelmä sisälsi 3D-kameran ja toinen järjestelmä palettiratkaisun.

7.4.2 Parannuksen hyödyt

Robottijärjestelmän toimiessa työstökoneen parina valmistusprosessin läpimenoaika lyhenee sekä läpimenoajan vaihtelu pienenee, sillä robotin työskennellessä odottamista ei synny sen reagoidessa välittömästi käskyihin. Robotti toistaa liikkeitä täsmällisesti ohjelman mukaisesti eikä robotti tarvitse taukoja, joten lyhyempienkin vaiheiden ajossa odottamista ei synny. Tämän ansiosta voidaan ajatella, että robotin työskennellessä työstökoneen kanssa, saavutetaan lähes lähtötilanteen optimaalinen aika. Lisäksi läpimenoaikaa lyhentää myös se, että mittaaminen toteutetaan mittalaitteella työstökoneen koneistaessa seuraavaa kappaletta. Mittalaitteen avulla koneistusaikaa saadaan lyhennettyä noin 15 sekuntia verrattaessa optimaaliseen lähtötilanteeseen.

Optimaalinen läpimenoaika lähtötilanteessa oli 17 minuuttia ja 36 sekuntia ja optimaalinen koneistusprosessin läpimenoaika ilman mittausta on siis 17 minuuttia ja 21 sekuntia. Tämä Mazak Integrex i-200 -työstökone on kuitenkin yksikarainen, joten tuote on käännettävä koneistusprosessin aikana. Kääntämisestä syntyvä lisäaika huomioon ottaen voidaan koneistusprosessin läpimenoajaksi arvioida 18 minuuttia.

Robottijärjestelmän avulla saadaan vähennettyä prosessista hukka-aikaa, jonka ansiosta läpimenoaikaa saadaan lyhennettyä noin 2 minuuttia. Tämän seurauksena työstökoneen tehokkuus paranee noin 10 prosenttia. Tehokkuuden kasvun ansiosta robottijärjestelmän investoimisen kannattavuus kasvaa, mutta tätä ei huomioida investointilaskelmissa. Kun uutta tuotetta aloitetaan valmistamaan, robottijärjestelmän ohjelmointi kestää arviolta noin tunnin verran ja tuotteen opettaminen kameralle kestää muutaman tunnin. Ohjelman ja opetetun tuotteen tallentamisen ansiosta opettamista ja ohjelmointia ei tarvitse tehdä kuin kunkin tuotteen ensimmäisellä valmistuskerralla.

7.5 Investointilaskelmat

Tuotetta, jonka valmistukseen robottijärjestelmä suunniteltiin, valmistetaan vuodessa noin 1300 kappaletta. Lähtötilanteessa tuotteen valmistamiseen kului aikaa 20 minuuttia, joten 1300 tuotteen valmistamiseen kuluisi aikaa 434 tuntia. 1300 tuotteen valmistamiseen kuluu konepajan toimiessa kahdessa työvuorossa yhteensä 27 työpäivää ja 2 tuntia. Kun robottijärjestelmää käyttäen valmistetaan tuotteet, valmistamiseen kuluu 18 minuuttia, eli 1300 tuotteen valmistamiseen kuluu 390 tuntia. Robotin käyttöikä on 35 000 tuntia, mutta laskelmissa käytettiin investoinnin taloudellisena pitoaikana 15 vuotta, sillä jos robottijärjestelmää käytetään vain tutkittuun prosessiin, täyttyy 35 000 tuntia reilussa 89 vuodessa.

Robottijärjestelmän käytön seurauksena tuoton sijasta syntyy säästöjä, koska tuotetta valmistava koneistaja vapautuu jonkun toisen tuotteen valmistamiseen. Laskelmissa arvioitiin säästöksi 30 euroa tunnilta, joka koostuu työntekijään liittyvistä kustannuksista. Robottijärjestelmän käyttämisestä syntyviä kustannuksia

ovat esimerkiksi robottia käyttävän työntekijän kustannukset sekä robotin energi-ankulutus. Arvioitiin, että ensimmäisessä järjestelmässä työntekijä työskentelee robottijärjestelmän parissa keskimäärin tunnin päivässä, eli työntekijästä syntyvät kustannukset ovat 30 euroa päivässä. Työntekijä toteuttaa robotin ohjelmoinnit, opettaa tuotteet kameralle, vaihtaa työstökoneeseen terät sekä toteuttaa tarvittavat järjestelmän seurannat. Arvioitiin, että toisessa järjestelmässä työntekijä työskentelee robottijärjestelmän parissa keskimäärin 1,5 tuntia päivässä, sillä työntekijä tekee samat toimenpiteet kuin ensimmäisessä sovelluksessa kameran opettamista lukuun ottamatta, mutta lisäksi työntekijä käy täyttämässä ja tyhjentämässä palettitarjottimen. Toisessa sovelluksessa työntekijän kustannukset päivässä ovat noin 45 euroa. Robottijärjestelmän sähkönkulutuskustannukseksi arvioitiin noin euro päivässä järjestelmän laitteiden tehot sekä sähkön hinta huomioon ottaen.

Investointilaskelmissa ei otettu huomioon mahdollista jäännösarvoa. Myöskään kunnossapitokustannuksia ei otettu huomioon, sillä laite on huoltovapaa. Laskelmissa käytettiin laskentakorkona 10 %, joka on investoinnin minimituottovaatimus.

7.5.1 Ensimmäisen järjestelmän investointilaskelmat

Investointilaskelmat toteutettiin kahdesta eri järjestelmäkokonaisuudesta. Ensimmäinen järjestelmä sisälsi robotin, tarttujan, voima-anturin työkalukiinnittimeen, 3D-kameran, mittalaitteen, koulutuksen, oven automatisoinnin, järjestelmän asennuksen turvasuunnitteluineen sekä mahdollisesti tarvittavan turvalaserskanerin ja toimituskulut. Ensimmäisen sovelluksen kokonaishinta on noin 84 000 euroa.

Ensimmäisen järjestelmän vuotuinen nettotuotto laskettiin vähentämällä kokonaissästöistä käytöstä syntyvät kustannukset. Kokonaissästöt syntyvät säästöstä, joka on 30 euroa tuntia kohden sekä tuotteen valmistamiseen kuluva 434 tunnista. Käytöstä koostuvia kustannuksia syntyy järjestelmän sähkönkulu-

tuksesta 1 euro sekä robotinohjauksesta 30 euroa työntekijän kustannuksiin päivässä. Kahden työvuoron työpäivä on 16 tuntia, joten jokaista tuntia kohden syntyy kustannuksia noin 2 euroa. Ensimmäisen järjestelmän vuotuinen nettotuotto on laskettu kaavassa 4:

$$Nettotuotto1 = 434h * 30 \frac{e}{h} - \left(2 \frac{e}{h} * 434h \right) = 12152e \quad (4)$$

Jossa h= tunti
 e= euro.

Investoimisen kannattavuus arvioitiin nykyarvomenetelmällä ja takaisinmaksuajan menetelmällä. Nykyarvomenetelmän laskelmassa käytettiin 10 % laskentakorkoa ja investoinnin pitoaikana käytettiin 15 vuotta. Laskelmassa huomioidaan vuotuiset nettotuotot koko pitoajan yhtä suurina. Kaavassa 5 on laskettu ensimmäisen järjestelmän laskentakorkokannan mukainen nykyarvo:

$$NA = \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} * Nettotuotto1 \Rightarrow NA = \frac{(1+0,1)^{15} - 1}{0,1 * (1+0,1)^{15}} * 12152e = 92429e \quad (5)$$

Jossa NA= nykyarvo
 n= investoinnin pitoaika vuosina
 i = laskentakorko.
 e= euro

Nykyarvosummaksi saatiin 92 429 euroa ja järjestelmän hankintahinnan on 84000 euroa. Nykyarvosumma on siis 8 429 euroa suurempi kuin robottijärjestelmän hankintakustannus, joten nykyarvomenetelmän mukaan ensimmäisen järjestelmän investointi on kannattava.

Takaisinmaksuajan menetelmän mukaan selvitettiin investoinnin takaisinmaksu-aika olettaen, että nettotuotot ovat yhtä suuret vuosittain pitoaikana. Ensimmäisen järjestelmän takaisinmaksu-aika on laskettu kaavassa 6.

$$Takaismaksuaika = \frac{\text{hankintakustannus}}{\text{vuotuinen nettotuotto}} = \frac{84000 e}{12152 \frac{e}{a}} = 6,9a \quad (6)$$

Jossa a= vuosi
e= euro.

Takaismaksuajan menetelmällä tulokseksi saatiin, että investointi on maksettu takaisin nettotuotolla 6,9 vuodessa, eli noin 6 vuodessa 11 kuukaudessa.

7.5.2 Toisen järjestelmän investointilaskelmat

Toinen järjestelmä sisältää palettiratkaisun sekä lisäksi samat ratkaisut kuin ensimmäisen järjestelmä lukuun ottamatta 3D-kameraa. Toisen sovelluksen kokonaihinta on noin 79 000 euroa.

Toisessa sovelluksessa säästöt ovat samat kuin ensimmäisessä sovelluksessa, eli säästöt syntyvät tuotteen valmistamiseen kuluvaista 434 tunnista ja säästöstä, joka on 30 euroa jokaista tuntia kohden. Päiväkohtaiset kustannukset koostuvat työntekijän 45 euron kustannuksista sekä euro järjestelmän sähkön kulutuksesta. Tuntia kohden syntyy kustannuksia noin 3 euroa. Kaavassa 7 on laskettu toisen järjestelmän nettotuotto:

$$Nettotuotto2 = 434h * 30 \frac{e}{h} - \left(3 \frac{e}{h} * 434h \right) = 11718e \quad (7)$$

Toisen järjestelmän nykyarvomenetelmän laskelmassa käytettiin samaa 10 % laskentakorkoa ja 15 vuoden pitoaikaa, kuin ensimmäisen järjestelmän laskelmissa. Kaavassa 8 on laskettu toisen järjestelmän laskentakorkokannan mukainen nykyarvo:

$$NA = \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} * Nettotuotto2 \Rightarrow NA = \frac{(1+0,1)^{15} - 1}{0,1 * (1+0,1)^{15}} * 11718e = 89128e \quad (8)$$

Toisen järjestelmän hankintahinta on 79 000 euroa ja nykyarvosummaksi saatiin 89 128 euroa, joka on 10 128 euroa suurempi kuin tämän järjestelmän hankintakustannus. Nykyarvomenetelmän mukaan ensimmäisen ja toisen sovelluksen kannattavuudessa ei ole suurta eroa.

Toisen järjestelmän takaisinmaksuaika on laskettu kaavassa 9:

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{hankintakustannus}}{\text{vuotuinen nettotuotto}} = \frac{79000 \text{ e}}{11718 \frac{\text{e}}{\text{a}}} = 6,74a \quad (9)$$

Tulokseksi saatiin, että toisen sovelluksen investoinnin takaisinmaksamiseen menee aikaa noin 6 vuotta ja 9 kuukautta.

7.5.3 Investoinnin herkkyyshanalyysi

Herkkyysanalyysin avulla tutkittiin, kuinka investoimisen kannattavuus muuttui, kun kannattavuustekijöiden arvot poikkeavat investointilaskelmissa käytetyistä arvoista. Herkkyyshanalyysi laskettiin ensimmäisen järjestelmän kannattavuudesta. Analyysissä tutkittiin, kuinka investoinnin kannattavuuteen vaikuttaa, jos laskelmissa käytetyt arvot ovatkin 10 % epäedullisempia toteutusvaiheessa. Herkkyyshanalyysi toteutettiin laskemalla nykyarvomenetelmällä epäedullisen tilanteen kannattavuus. Taulukossa 1 on esitetty suunnittelussa käytetyt arvot sekä herkkyyshanalyysissä käytetyt 10 % epäedullisemmat arvo.

Taulukko 1. Herkkyyshanalyysin tekijöiden arvot.

Tekijä	Suunnittelussa käytetty arvo	10% epäedullisempi arvo
Hankintakustannus (€)	84 000	92 400
Vuotuinen nettotuotto (€)	12 152	10 937
Pitoaika (v)	15	13,5

Epäedullisen tilanteen nykyarvon laskelmassa käytettiin 10 % laskentakorkoa. Taulukon 1 mukaisesti laskelmassa käytettiin 13,5 vuoden pitoaikaa ja 11 327 euron vuotuista nettotuottoa. Kaavassa 10 on laskettu epäedullisen tilanteen mukainen nykyarvo:

$$NA = \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} * \text{Nettotuotto} \Rightarrow NA = \frac{(1+0,1)^{13,5} - 1}{0,1 * (1+0,1)^{13,5}} * 10937e = 79164e \quad (10)$$

Epäedullisen tilanteen nykyarvosummaksi saatiin 79 164 euroa. Epäedullisessa tilanteessa järjestelmän hankintahinta olisi 92 400 euroa, joka on 13 236 euroa enemmän kuin nykyarvosumma. Nykyarvomenetelmän mukaan tämä ei siis olisi enää kannattava investointi.

7.6 Ohjaus

DMAIC-menetelmän ohjausvaihe ei kuulunut tämän työn toteutukseen, sillä työ keskittyi prosessin tutkimiseen sekä parannuksen suunnitteluun ja investoinnin kannattavuuden selvittämiseen. Järjestelmän investoimisesta lopullisen päätöksen tekee Okun Koneistuspalvelu Oy. Jos Okun koneistuspalvelu Oy päättää toteuttaa investoinnin, ohjausvaiheessa voisi toteuttaa selkeät suomenkieliset käyttöohjeet robottijärjestelmälle, jotta työntekijät voisivat käyttää tarvittaessa robottijärjestelmää ohjeiden mukaisesti myös ilman erillistä koulutusta. Lisäksi ohjausvaiheessa on toteutettava hankinnan seuranta vertaamalla toteutuneita kustannuksia, hyötyjä ja tuottoja arvioituihin tuottoihin sekä kustannuksiin.

8 Johtopäätökset

Työn tuloksena saatiin selvitettyä työstösoluun tavoitteiden mukainen vuorovaihteinen robotti 3D-kameralla. Järjestelmän hankinnan kannattavuuden selvittä-

miseksi toteutettiin investointilaskelmat. Laskelmat toteutettiin kahdesta eri järjestelmästä ratkaisujen kannattavuuden vertailun vuoksi. Lisäksi työssä tutkittiin myös robottijärjestelmän vaikutusta prosessin läpimenoaikaan.

Suunniteltu robottijärjestelmä täytti lähtötilanteessa asetetut vaatimukset. Järjestelmän robotiksi valittiin vuorovaikutteinen robotti, joka työskentelee ilman suojaaitaa. Eräs robottitoimittaja kävi esittelemässä kyseistä robottia paikan päällä, jolloin päästiin testaamaan robotin ohjelmointia käytännössä. Robotin ohjelmointi oli suhteellisen yksinkertaista. Tämän kyseisen vuorovaikutteisen robotin siirrettävyys on myös todella joustavaa, mikä oli lähtötilanteessa yksi tärkeistä kriteereistä. Työstökoneen itsenäinen toiminta useamman tuotteen valmistuksen ajan on mahdollista robotilla suoritettavan viimeistelyn sekä automaattisesti toteutettavan mittauksen ansiosta. Lisäksi takeen paikantaminen 3D-kameralla kuormalavalta tekee robottisolusta joustavamman, eikä takeita tarvitse erikseen asetella tarjottimelle.

Läpimenoajan parannuksen tulokseksi saatiin, että järjestelmän avulla läpimenoaika saataisiin lyhennettyä 20 minuutista 18 minuuttiin, eli tuotteen valmistamisen tehokkuus kasvaisi noin 10 %. Lisäksi automatisoinnin avulla saataisiin pienennettyä läpimenoajan vaihtelua, sillä robotti työskentelee käskyjen mukaisesti tauotta.

Laskelmien perusteella saatiin tulokseksi, että järjestelmä maksaisi itsensä takaisin vajaassa seitsemässä vuodessa. Nykyarvomenetelmän mukaan investointi olisi kannattavaa, mutta herkkyyksianalyysin tuloksen perusteella todettiin, että järjestelmää ei ole kannattavaa investoida pelkästään kyseisen tuotteen valmistukseen. Täytyy kuitenkin huomioida, että vuodessa on noin 220 työpäivää ja kyseisten tuotteiden valmistamiseen menee ainoastaan noin 27 työpäivää, joten robottijärjestelmä olisi todella vähällä käytöllä, jos järjestelmää ei hyödynnettäisi muidenkin tuotteiden valmistuksessa. Jos robottijärjestelmää voitaisiin hyödyntää esimerkiksi kaksi kertaa enemmän kuin laskelmissa on huomioitu, järjestelmä olisi jo todella kannattava investointi. Tähän työhön ei kuulunut kuitenkaan mui-

den valmistettavien prosessien selvittäminen. Lisäksi laskelmissa ei otettu huomioon järjestelmän jäännösarvoa eikä valmistuksen tehokkuuden kasvua, jotka kuitenkin osaltaan voisivat parantaa investoinnin kannattavuutta.

Jos työstökoneetta voitaisiin hyödyntää jollakin toisella työstökoneella, täytyisi selvittää, avautuuko ovi automaattisesti sekä onko työstökoneessa robotin liitännävalmius. Vaikka kyseisessä työstökoneessa ei olisi automaattisesti avautuvaa ovea eikä robotin liitännävalmiutta, näiden ominaisuuksien toteuttaminen ei toisi merkittäviä lisäkustannuksia.

9 Pohdinta

Tämän opinnäytetyöni tavoitteena oli suunnitella tuotantosoluun sopiva automatisointijärjestelmä sekä laskea investoinnin kannattavuus. Työ toteutettiin DMAIC-menetelmää hyödyntäen, ja mielestäni menetelmä oli hyvin soveltuva tähän projektiin. Menetelmän mukaisesti järjestelmällisesti edeten työni sujui mielestäni hyvin koko projektin ajan.

Robottisolun ratkaisut pyrittiin valitsemaan Okun Koneistuspalvelu Oy:n tarpeiden mukaisesti siten, että solu olisi mahdollisimman itsenäinen, joustava sekä helppokäyttöinen. Mielestäni ratkaisut onnistuttiin valitsemaan siten, että ne täyttävät vaatimukset hyvin. Järjestelmä suunniteltiin tietyn tuotteen valmistukseen, mutta järjestelmän suunnittelussa huomioitiin myös se, että robottia voidaan hyödyntää muidenkin tuotteiden valmistuksessa. Robotin helppo uudelleenohjelmointi sekä erityisesti robotin siirrettävyys tekee siitä erittäin hyvin soveltuvan Okun Koneistuspalvelu Oy:n tuotantoon. Robottijärjestelmän käyttöönottamisella saavutettaisiin myös tehokkuuden kasvua tuotannossa.

Investointilaskelmien tuloksena saatiin, että järjestelmää ei ole taloudellisesti kannattavaa investoida yksinomaan tutkitun tuotteen valmistamiseen. Mielestäni järjestelmä kannattaa hankkia, jos on muitakin tuotteita, joita voidaan sitä käyttäen valmistaa. Robottijärjestelmän käyttöaste on laskelmissa huomioitu todella

vähäisenä, ja se on siitä huolimatta lähes kannattava investointi. Jos robottijärjestelmää pystyttäisi hyödyntämään tuotannossa jatkuvasti, se olisi todella kannattava. Uskon että tuotannosta löytyy muitakin tuotteita, joita voitaisiin valmistaa järjestelmää hyödyntäen. Projektin jatkokehitystä ajatellen olisi hyvä selvittää, mitä muita tuotteita voisi valmistaa järjestelmää käyttäen sekä olisiko mahdollista valmistaa tuotteita robotin ollessa jonkin toisen työstökoneen parina. Erityisesti robotin siirrettävyys tekisi robotista todella monipuolisen.

Jos robottijärjestelmää voitaisiin hyödyntää useassa valmistusprosessissa, eikä kaikissa 3D-kameran käyttäminen onnistuisi, voisi järjestelmän hankkia sekä 3D-kameralla että palettiratkaisun kanssa. Molempien ominaisuuksien hankkiminen tekisi robottijärjestelmästä todella monipuolisen. Lisäksi jos työstökoneella valmistettaisiin tuotteita helpommin työstettävistä materiaalista, kuten alumiinista, valmistaminen voitaisiin toteuttaa jopa kolmessa vuorossa, sillä terien vaihtovälit olisivat pidemmät.

Tämän työn toteuttaminen oli mielenkiintoinen projekti. Työn aikana tuli perehdyttyä uusiin aiheisiin sekä syvennyttyä paremmin jo ennestään opittuihin asioihin. Erityisesti konenäkö ja vuorovaikutteinen robotiikka olivat itselleni uusia aiheita. Työn toteuttamista helpotti huomattavasti se, että Okun Koneistuspalvelun Oy:n toimesta vastattiin yhteydenottoihini välittömästi sekä sain heiltä kaiken tarvittavan tiedon selkeästi ja nopeasti. Työ eteni mielestäni hyvin aikataulussa, sillä yhteistyö Okun Koneistuspalvelu Oy:n kanssa sujui erinomaisesti.

Työn tekemisen haasteena oli se, että Okun Koneistuspalvelu Oy:n tuotanto ei ollut entuudestaan tuttua itselleni, vaan tutustuin siihen opinnäytetyöni aikana. Robottijärjestelmän suunnittelu oli myös haastavaa, ja erityisesti vaatimuksien mukaisen järjestelmän suunnittelu vaati perehtymistä aiheeseen. Projektin aikana oltiin yhteydessä maahantuojaan, joilta saatiin tärkeää tietoa laitteiden ominaisuuksista sekä järjestelmän toimivuudesta kyseiseen sovellukseen.

Mielestäni työn toteuttaminen onnistui hyvin, vaikka saamani lopputuloksen perusteella pelkästään tutkitun tuotteen valmistamiseen ei kannata investoida suun-

niteltua automatisointijärjestelmää. Uskon, että automatisointijärjestelmä soveltuu odotusten mukaisesti tuotantoon, jos Okun Koneistuspalvelu Oy näkee mahdollisuuksia järjestelmän soveltamisessa useammassa eri prosessissa sekä päättää kyseisen järjestelmän investoida. Okun Koneistuspalvelu Oy voi tämän tutkimuksen pohjalta selvittää, onko heillä riittävästi tuotteita, joiden valmistuksessa voidaan hyödyntää suunniteltua robottijärjestelmää. Okun Koneistuspalvelu Oy investoi paljon uuteen teknologiaan, ja uskon että tämän projektin perusteella he saavat selvitettyä, soveltuuko tämä teollisuusrobotiikan uudempi ilmiö, vuorovaikutteinen robotiikka, heidän tuotantoonsa.

Lähteet

- Cognex. 2016. Introduction to machine vision.
<http://www.connectingindustry.com/SharedFiles/Download.aspx?pageid=205&mid=123&fileid=173>. 09.12.2018.
- Heikkilä, T. 2016. Vuorovaikutteinen robotiikka – avain piensarjatuotannon automaatio-ongelmiin. <https://vttforindustry.com/2016/04/05/vuorovaikutteinen-robotiikka-avain-piensarjatuotannon-automatio-ongelmiin/>. 20.12.2018.
- Ihalainen, P. & Hölttä, T. 2001. Six Sigma pähkinänkuoressa. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.
- Jormakka, R. Koivusalo, K. Lappalainen, J. & Niskanen, M. 2012. Laskenta-
toimi. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- Karjalainen, E. 2008. Ohjaussuunnitelma (Control Plans). <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/ohjaussuunnitelmat-control-plan/>. 12.12.2018.
- Karjalainen, T. & Karjalainen, E. 2002. Six Sigma – Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy.
- Kettunen, P. 2019. Toimitusjohtaja. Okun Koneistuspalvelu Oy. Tiedonanto 22.1.2019.
- Kuivanen, R. (toim.) 1999. Robotiikka. Helsinki: Talentum Oyj/MetalliTekniikka.
- Lehtinen, L. 2009. Konenäkö saa kolmannen ulottuvuuden.
<http://www.tekniikkatalous.fi/ict/automatio/konenako+saa+kolmannen+ulottuvuuden/a322619>. 10.11.2018.
- Malm, T. (toim.) 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.
- Pietikäinen, M. & Silven, O. 2011. Konenäkö yleistä.
<http://www.cse.oulu.fi/CMV/AboutCMV?action=AttachFile&do=get&target=konenako.pdf>. 21.11.2018.
- Salmi, T. 2014. Robotiikka – monien mahdollisuuksien tekniikka.
<https://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Robotiikka-%E2%80%93-monien-mahdollisuuksien-tekniikka.aspx>. 15.01.2018.
- Suomala, P., Manninen, O. & Lyly-Yrjänäinen, J. 2011. Laskentatoimi johtamisen tukena. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- Szeliski, R. 2010. Computer Vision: Algorithms and Applications.

http://szeliski.org/Book/drafts/SzeliskiBook_20100903_draft.pdf.
24.11.2018.

Suomen Standardoimisliitto Ry. 2014. ISO 13053-2:fi. Prosessin kehittämisen kvantitatiiviset menetelmät. Six Sigma. Osa 2: Työkalut ja tekniikat.

Tervola, J. 2016. Näin opetat robotin työpariksi. <https://www.tekniikkatalous.fi/ttpaiva/nain-opetat-robotin-tyopariksi-6311657>. 20.12.2018.

Uusi-Rauva, E. Haverila, M. Kouri, I. & Miettinen, A. 2003. Teollisuustalous. Ylöjärvi: Infacs Johtamistekniikka Oy.

Wilson, A. 2018. Smart cameras simplify systems integration tasks. <https://www.vision-systems.com/articles/print/volume-23/issue-8/features/smart-cameras-simplify-systems-integration-tasks.html>.
24.11.2018.

Hukka-analyysi lomake

Hukkatekijä	Esiintyminen
Ylituotanto	
Odottaminen	-Prosessissa tarvittavien työkalujen tai terien puuttuminen -Inhimilliset syyt, kuten työntekijän muut meneillään olevat työtehtävät, jotka aiheuttavat prosessin seisomista -Koneistusprosessin valmistuminen työntekijän tauon aikana
Turhat liikkeet	-Terien ja työkalujen etsintä
Kuljetukset	
Yliprosessointi	-Kappaleiden työläät koneistusohjelmat
Varastointi	
Virheet	-Tuotteiden mittavirheet -Virheellinen työstöjälki -Terän rikkoontumisesta aiheutuvat haitat