



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ismo Uusitalo

Robottihionnan automatisointi muoviosien valmistuksessa

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK tekniikka

Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Ismo Uusitalo

Työn nimi: Robottihionnan automatisointi muoviosien valmistuksessa

Ohjaaja: Juha Hirvonen

Vuosi:2021

Sivumäärä:32

Liitteiden lukumäärä:0

Työn tavoitteena oli löytää erilaisia ohjaustapoja reaktiovalulla valmistettujen muoviosien robottihionnan automatisoinnille. Tärkeä osa työtä oli ratkaisujen eri ominaisuuksien vertailu. Vertailun perusteella valitaan sopivin yrityksen käyttöön. Erilaisia pohjia ratkaisuille löytyi kolme: kameraton ratkaisu, kamerallinen ratkaisu ja kolmannen robotin lisäys.

Näistä kolmesta pohjasta kehitettiin toimivat kokonaisuudet. Työ tehtiin MSK Plastille. Työn pohjalta Plast tekee päätöksen mahdollisesta investoinnista. Löydettyjen ratkaisujen toivottiin olevan mahdollisimman pitkälle mietittyjä, jotta yritys voi vain päättää minkä järjestelmän haluaa, eikä lisäselvityksiä tarvitse tehdä. Vertailu on takaisinmaksuaikoja vaille valmis. Tilastoa hionnan tarpeesta ei ole ja tarjouspyyntöihin ei vastattu työn aikana. Lopputuloksena oli kolme toimivaa ratkaisua, joiden vertailujen perusteella Plast tekee päätöksen investoida.

¹ Asiasanat: konenäkö, robotti, ABB

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Technology

Specialisation: Machine Automation

Author: Ismo Uusitalo

Title of thesis: Automation of robot sanding for plastic manufacturing

Supervisor: Juha Hirvonen

Year: 2021

Number of pages:32

Number of appendices: 0

The objective of the thesis was to find different ways to guide a robot in surface finishing and compare the found solutions. The customer, MSK Plast, will make investments based on this comparison. There were found three base solutions: guiding without machine vision, guiding with machine vision, and adding a third robot to the factory.

These three solutions were refined into complete solutions. MSK Plast was the customer of the thesis and will make a decision whether to invest or not, based on this thesis. The company was hoping that the solutions would be ready to be implemented in the cell. At the end of the thesis project the comparison was done paying attention to all other aspects except for the information on the payback periods. There was no data about the need for sanding and quotations for the solutions were not received during the thesis project. In the end there were three working solutions and the company will be able to make a decision on the investment.

¹ Keywords: machine vision, ABB,robot

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	5
1 Johdanto	7
1.1 MSK Plast	7
1.2 Työn tausta	7
1.3 Tavoite	8
1.4 Työn rakenne	8
2 TEOLLISUUSROBOTIT	9
2.1 Määritelmä ja rakenne.....	9
2.2 Robottityypit	10
2.2.1 Kiertyvänivelinen robotti.....	10
2.2.2 Yhteistyörobotit	11
2.2.3 Scara-robotit	11
2.2.4 Rinnakkaisrakenteinen robotti.....	12
2.2.5 Karteesinen robotti.....	13
2.3 Koordinaatistot	14
2.4 Ohjelmointi	14
2.4.1 Offline-ohjelmointi	15
3 KONENÄKÖ.....	16
3.1 Kamera ja kenno	17
3.1.1 CCD- ja CMOS-kenno	17
3.1.2 Kamera	17

3.1.3	Linssi.....	18
3.2	Laserskannerit.....	18
3.3	Valaistus	19
4	PROSESSI JA LAYOUT.....	20
4.1	Prossi.....	20
4.2	Layout	22
5	RATKAISUVAIHTOEHDOT.....	24
5.1	Ohjaus ilman konenäköä.....	24
5.2	Ohjaus konenäöllä	25
5.3	Erillinen hiontarobotti.....	26
6	VERTAILU JA VALINTAEHDOTUS.....	29
7	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	31
	LÄHTEET	32

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. ABB:n yhteistyö robotti GoFa.....	11
Kuva 2. ABB IRB 360	13
Kuva 3. Robotin työkalut.....	21
Kuvio 1. Teollisuusrobotin pääkomponentit.	9
Kuvio 2. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti.....	10
Kuvio 3. Scara-robotti	12
Kuvio 4. Karteesinen robotti.....	14
Kuvio 5. Tyypillinen konenäköjärjestelmä	16
Kuvio 6. Layout	22
Kuvio 7. Ohjelmaesimerkki.	24
Kuvio 8. Hiontarobotti solujen välissä.	27
Kuvio 9. Hiontarobotti solujen ulkopuolella	28
Taulukko 1. Ratkaisuehdotusten vertailu.....	29

Käytetyt termit ja lyhenteet

Asetusaika	Aika, joka kuluu koneen tai prosessin valmisteluun, ennen kuin voidaan aloittaa työstö.
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor-sensor. Valoherkkä kennotyyppi, jota käytetään digitaalikameroissa.
CCD	Charged-Coupled device. Valoherkkä kennotyyppi, jota käytetään digitaalikameroissa.
Jigi	Prosessin apukappale, jolla pääkappale pidetään paikallaan.
Layout	Pohjapiirustus laitteiston sijoittelusta.
PLC	Ohjelmoitava logiikka. Pieni tietokone.
Resoluutio	Tarkkuus. Yleensä pikselien määrä.
RobotStudio	ABB:n robotin ohjelmointi- ja hallintaohjelma.
Ylijuoksu/purse	Muotista yli pursunnut muovi. Poistetaan yleensä purseenpoistajalla.

1 Johdanto

1.1 MSK Plast

MSK Plast on Etelä-Pohjanmaalla sijaitseva yritys, joka valmistaa erilaisia muoviosia. Osia valmistetaan ruiskuvaluna ja reaktiovaluna. Plastin suurimpia asiakkaita ovat mm. Valtra, ABB ja Valmet Automotive. Plast on osa MSK Groupia. (MSK Plast 2020.)

Pienimmät osat painavat vain muutamia grammoja suurimpien ollessa yli 3 metriä pitkiä. Laaja osaaminen, monipuolinen tuotekirjo ja tehokas prosessi on tehnyt MSK Plastista yhden Suomen johtavista muoviosien sopimusvalmistajista. Palveluihin kuuluu myös osien maalaus ja esikokoonpano. (MSK Plast 2020.)

1.2 Työn tausta

Reaktiovalussa muoviosa valetaan kahdesta komponentista. Komponentit ruiskutetaan muottiin. Komponentit reagoivat keskenään ja valos kovettuu muotin muotoon. Muotissa on tilaa pienelle ylijuksulle, tällä varmistetaan muotin täyttyminen, eikä osa jää vajaaksi. Valun jälkeen osan annetaan jäähtyä. Kun osa on jäähtynyt, se voidaan viimeistellä. Ylijuku poistetaan aihosta käsin tai robotilla. Myös syntyneet pintavirheet korjataan käsin tai robotilla. Pintavirheet syntyvät yleensä valun aikana tai osa kolhiintuu välivarastoinnin aikana. Kolhujen ja valuvikojen korjaaminen on aikaa vievää prosessi, ja se haluttaisiin toteuttaa robotilla. Virheiden satunnainen esiintyminen aiheuttaa sen että ohjelmaan ei kannata tehdä hiontaa koko osalle. Tuotannon tehostamiseksi hionta halutaan siirtää robotille. Robotin ohjaukselle on kuitenkin paljon erilaisia vaihtoehtoja.

1.3 Tavoite

Työn tavoitteena oli löytää erilaisia ratkaisuja robotin ohjaukseen, vertailla niitä ja löytää paras ratkaisu MSK Plastin tarpeeseen. Tehtävä oli tutkia erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, jotka ovat toteutettavissa nykyisellä laitteistolla.

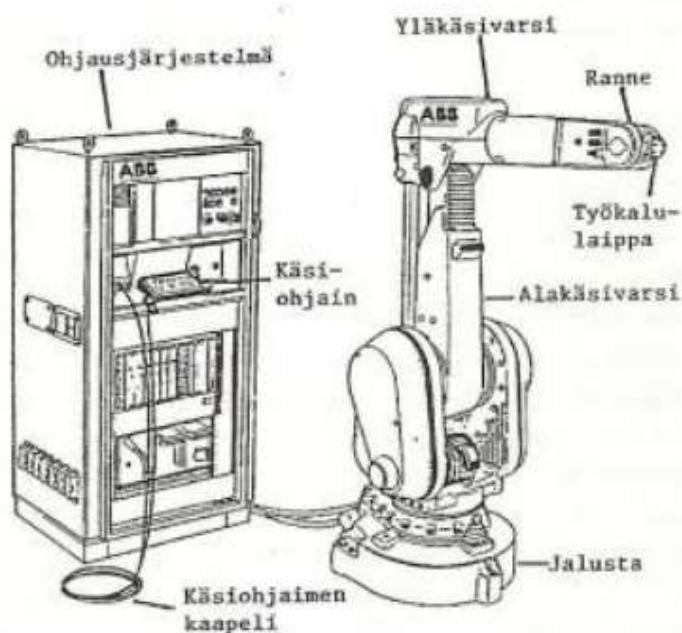
1.4 Työn rakenne

Teoriaosassa käsitellään robotiikkaa ja konenäköä. Teorian jälkeen siirrytään tutkimusosaan, jossa käydään erilaisia ratkaisuja läpi ja niiden hyviä ja huonoja puolia. Tutkimusosan jälkeen on ratkaisusuositus perusteluineen. Seuraavana on yhteenveto ja loppupohdinta. Lopusta löytyy lähteet ja liitteet.

2 TEOLLISUUSROBOTIT

2.1 Määritelmä ja rakenne

Kansainvälisen robottiyhdistyksen määritelmän mukaan teollisuusrobotti on teollisuuden sovelluksissa käytettävä monipuolinen vähintään kolmenivelinen mekaaninen laite, joka on uudelleen ohjelmitavissa, ja on suunniteltu liikuttamaan osia, kappaleita, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmitavien liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi (Kuivanen 1999, 13). Teollisuusrobotti muodostuu tyypillisesti kahdesta pääkomponentista, jotka ovat mekaaninen manipulaattori ja ohjausjärjestelmä (kuvio 1). Mekaaninen manipulaattori koostuu toistensa suhteen liikkuvista tukivarsista eli nivelistä. Nivelten liike tuotetaan servotoimilaitteilla etukäteen ohjelmitujen liikeratojen mukaan erillisten tai ulkoisten tuntoelimien perusteella. Ohjausjärjestelmä koostuu tyypillisesti robotin keskusyksiköstä, massamuistista, käsiohjaimesta, ulkoisista liitännöistä, servotoimilaitteista ja tehonlähteestä. (Kuivanen 1999, 13-14, 34.)



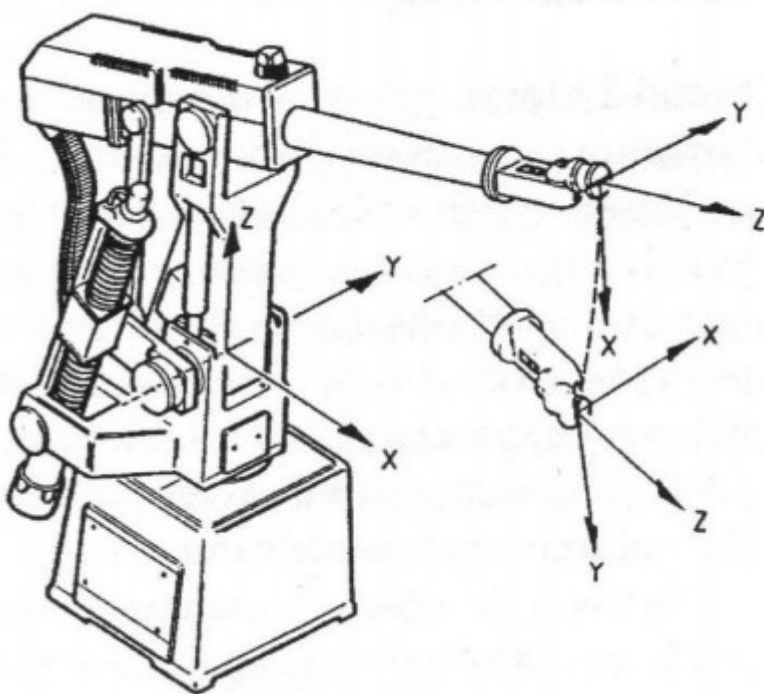
Kuvio 1. Teollisuusrobotin pääkomponentit (Kuivanen, 1999, 13).

2.2 Robottityypit

Standardi ISO 8373 määrittelee yleisimmät robottityypit, niiden mekaanisen rakenteen ja työalueiden mukaan (Kuivanen 1999, 12). Seuraavissa alaluvuissa käydään läpi muutamia yleisimpiä robottityyppejä.

2.2.1 Kiertyvänivelinen robotti

Kiertyväniveliset robotit ovat yleisimmin käytettyjä robotteja teollisuudessa. Yleensä kiertyväniveliset robotit omaavat 6 kiertyvää niveltä. Nivelten määrä voi kuitenkin vaihdella 2–10 nivelen välillä. Kiertyvänivelisten teollisuusrobottien etuja ovat monipuolisuus ja laaja työalue. Niitä käytetään monissa teollisuuden sovelluksissa kuten esimerkiksi hitsauksessa ja kappaleen käsittelyssä. (Technavio 2018.)



Kuvio 2. Kiertyvänivelinen teollisuusrobotti (Kuivanen 1999, 17).

2.2.2 Yhteistyörobotit

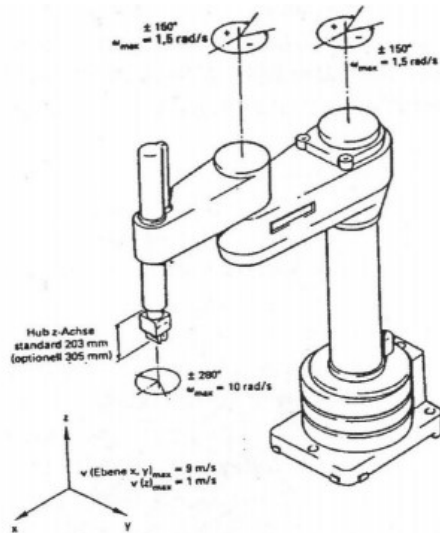
Yhteistyörobotti on sellainen robotti, joka on suunniteltu yhteistyöhön ihmisen kanssa. Yhteistyörobotit muistuttavat yleensä kuusinivelistä kiertyvänivelistä robottia, mutta ovat rakenteeltaan paljon kevyempiä ja nopeuksiltaan hitaampia. Turvallinen yhteistyö varmistetaan esim. tehojen rajoittamisella törmäyksen tapahtuessa ja ympäristön tarkkailulla. (IFR 2020, 2.)



Kuva 1. ABB:n yhteistyö robotti GoFa (ABB, [viitattu 13.4.2021])

2.2.3 Scara-robotit

Scara-robotit (Selective compliance assembly robot arm) koostuvat kolmesta kiertyvästä ja yhdestä lineaarisesta pysty akselista. Scara-robotit ovat nopeita ja niiden toistotarkkuus hyvä. Niitä käytetään kevyiden kuormien käsittelyssä erityisesti elektroniikan kokoonpanossa. (Legnani & Fassi 2012, 7.)



Kuvio 3. Scara-robotti (Kuivanen 1999,17).

2.2.4 Rinnakkaisrakenteinen robotti

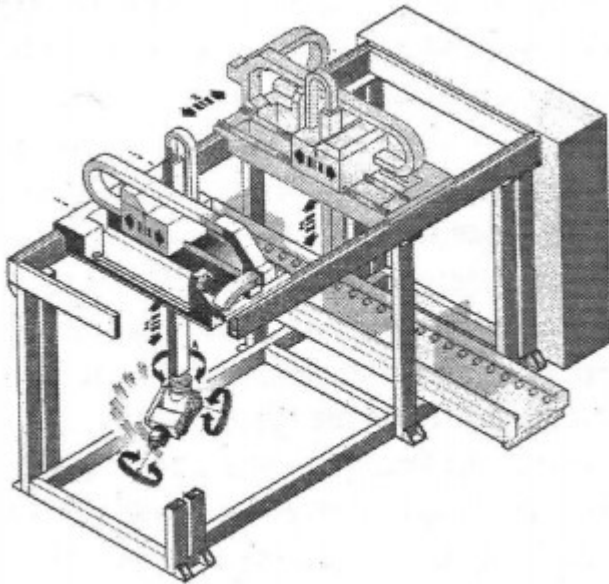
Rinnakkaisrakenteiset robotit muodostuvat useista samaan jalustaan kiinnitetyistä rinnakkaisista nivelistä. Rinnakkaisrakenteiset robotit ovat nopeita ja niiden toistotarkkuus on hyvä. Niitä käytetään kevyiden kuormien käsittelyssä esim. erilaisissa pakkaus- ja lajittelu-sovelluksissa. (Legnani & Fassi 2012, 8.)



Kuva 2. ABB IRB 360 (ABB, [viitattu 13.4.2021])

2.2.5 Karteesinen robotti

Karteesiset robotit muodostuvat vähintään kolmesta lineaarisesta vapausasteesta. Karteesisia robotteja kutsutaan myös portaaliroboteiksi tai suorakulmaisiksi roboteiksi. Karteesisen robotin yksinkertainen rakenne mahdollistaa laajan työalueen ja suuren kuormankantokyvyn. Niitä käytetään lähinnä erilaisissa koneistussovelluksissa. (Legnani & Fassi 2012, 5.)



Kuvio 4. Karteesinen robotti (Kuivanen 1999, 17).

2.3 Koordinaatistot

Teollisuusroboteissa yleensä käytettyjä koordinaatistoja ovat maailmakoordinaatisto, peruskoordinaatisto ja työkalukoordinaatisto. Peruskoordinaatisto on robotin kantaan sidottu koordinaatisto, jossa tavallisesti Z-akseli yhtyy ensimmäiseen vapausasteen akseliin, X-akseli osoittaa ensimmäisen nivelen työalueen keskikohtaa ja XY-taso yhtyy lattiaan. Työkalukoordinaatisto on taas robotin työkalulaippaan työkalumäärittelyksellä sidottu koordinaatisto. Maailmakoordinaatisto on ympäristöön, esim. työpöytään sidottu koordinaatisto. (Kuivanen 1999, 20-21.)

Koordinaatisto voi myös olla käyttäjän määrittelemä. Koordinaatisto voidaan sitoa haluttuun paikkaan esimerkiksi käsiteltävään kappaleeseen.

2.4 Ohjelmointi

Robottien ohjelmointiin käytetään yleensä robotin käsiohjainta, jolla voidaan luoda robotin ohjelma kokonaisuudessaan. Perinteisesti robotteja ohjelmoidaan viemällä käsiohjaimen avulla robotin työkalu haluttuun pisteeseen ja tallentamalla asema robotin muistiin. Asemien

välillä liikkumiseen tai kohdeaseman valitsemiseen taas käytetään erilaisia hyppykäskyjä ja aliohjelmiä. (Kuivanen 1999, 79.)

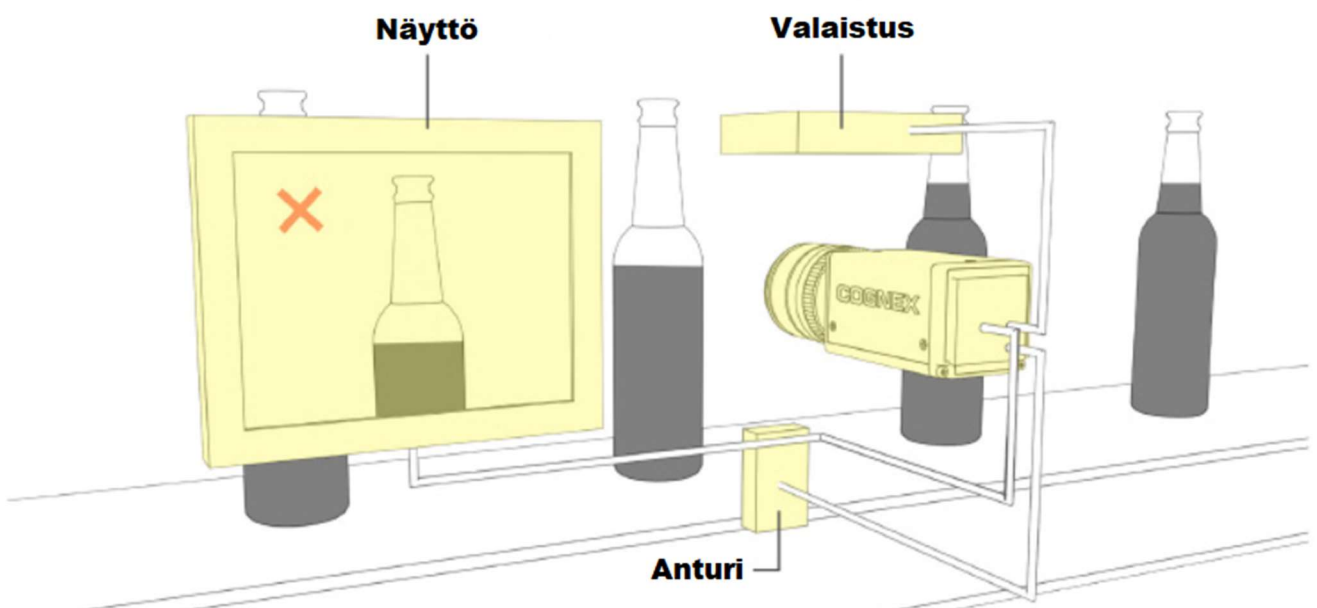
2.4.1 Offline-ohjelmointi

Offline-ohjelmoinnissa ohjelma luodaan tuotantoympäristön ulkopuolella. Tuotantoa ei tarvitse keskeyttää ohjelmoinnin ajaksi. Simulaatio ja offline-ohjelmointi mahdollistavat erilaisten skenaarioiden tutkimisen ennen tuotannon käynnistämistä. (RoboDK, [viitattu 11.5.2021].)

3 KONENÄKÖ

Automated Imaging Association (AIA) määrittelee konenäön koostuvan sovelluksista, joissa ohjelmiston ja laitteiston yhdistelmällä saadaan otettua kuva ja prosessoitua siitä toimintakäsky ohjattavalle laitteelle. Konenäköjärjestelmä koostuu useasta eri komponentista, kuten kamerasta, objektiivista, valaistuksesta, kuvankäsittelystä ja tiedonsiirrosta. Kameralla ja objektiivilla muodostetaan kuva halutusta kohteesta ja valaistuksella saadaan korostettua kohdekappaleen halutut piirteet. Perinteisessä konenäköjärjestelmässä käytetään tietokonetta kuvan käsittelyyn ja analysointiin, mutta tämä voidaan myös suorittaa älykameralla, joka sisältää kaiken tarvittavan elektroniikan kuvan käsittelyyn ja sen analysointiin, kuten prosessorin ja muistit jne. (Cognex, [viitattu 13.4.2021].)

Kuvio 5 esittää tyypillistä konenäkö järjestelmää. Kuviossa kamera tutkii onko pullo tarpeeksi täynnä. Anturi antaa signaalin kameralle, joka ottaa kuvan. Älykamera tutkii annettujen parametrien avulla pullon ja antaa hyväksytyt tai hylätyt signaalin. (Cognex, [viitattu 13.4.2021].)



Kuvio 5. Tyypillinen konenäköjärjestelmä (Cognex, [viitattu 13.4.2021].)

3.1 Kamera ja kenno

Kamera on konenäköjärjestelmän tärkein komponentti ja sen tehtävänä on kuvata tarkasteltava kohde. Kohteesta heijastuva valo ohjautuu kameran optiikan kautta valoherkälle kennolle, joka varautuu sähköisesti siihen kohdistuvan valon kirkkauden perusteella. Kenno on kameran tärkein osa. Se muodostaa digitaalisen kuvan, jota voidaan käsitellä. Kenno voi olla matriisi- tai viivakenno. Matriisikenno luo kaksiulotteisen kuvan yhdellä valotuksella. Viivakenno vaatii liikkeen, jotta se voi luoda kaksiulotteisen kuvan. Kameroita saa yleensä kahdella eri kennotekniikalla, jotka ovat CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor-sensor) ja CCD (Charged-Coupled device). (Hornberg 2017, 319-320.)

3.1.1 CCD- ja CMOS-kenno

CMOS- ja CCD-kennot eroavat toisistaan tavassaan käsitellä pikselivaroja. Valotusaikana CCD-kennon fotodiodien pikselivaraukset siirtyvät puolijohdekondensaattoreita hyödyntävien siirtoporttien kautta sarjaliikennelukijarekistereihin, jonka jälkeen varaukset muunnetaan jännitteiksi ja jännitteet vahvistetaan sekä konvertoidaan joko analogisiksi tai digitaalisiksi signaaleiksi. Näistä signaaleista muodostuu digitaalinen kuva. CMOS-kennojen pikselin muunnos varauksesta jännitteeksi sekä jännitteen vahvistus ja muuntaminen tapahtuvat taas samalla kennopiirillä. Tämän takia CMOS-kennoilla päästään yleensä pienempään virrankulutukseen verrattuna CCD-kennoihin. CMOS-kennojen teknisiä vahvuuksia ovat korkea kuvataajuus ja korkea integraatioaste. CCD-kennojen teknisiä vahvuuksia ovat vähäinen kohina kuvissa sekä hyvä valoherkkyys. (Hornberg 2017, 328.)

3.1.2 Kamera

Konenäkösovelluksen kameran valinnan tärkein kriteeri on kameran käyttötarkoitus. Yksi tärkeimmistä ominaisuuksista kameran valinnassa on resoluutio. Resoluution on oltava riittävä että saadaan tarpeeksi tarkka kuva. Resoluution valintaan vaikuttaa myös kuvattavan kohteen koko. Tarkkuuden kasvaessa myös kuvan käsittelyaika ja tiedonsiirtoaika kasvavat. (Hornberg 2017, 38-39, 40-41.)

Toinen merkittävä tekijä on konenäköjärjestelmän alusta eli käytetäänkö älykameraa vai tavallista konenäkökameraa. Ne eroavat siten, että älykamera ei vaadi toimiakseen erillistä tietokonetta. Älykamera analysoi kuvat itse ja lähettää analyysin tuloksen eteenpäin. Perinteisessä konenäköjärjestelmässä kamera ottaa kuvan ja lähettää sen tietokoneelle analysoitavaksi. (Hornberg 2017, 41, 400-403.)

3.1.3 Linssi

Linssin tehtävä on heijastaa kuva kameran kennolle. Linssin on oltava oikeanlainen, jotta kennolle saadaan oikeankokoinen ja tarkka kuva. Linssit kuitenkin muodostavat vääristymiä, jotka voidaan korjata kalibroinnilla. (Hornberg 2017, 42.)

Vääristymät voidaan jakaa kahteen osaan: monokromaattisiin ja kromaattisiin vääristymiin. Kromaattiset vääristymät johtuvat valon eri aallonpituuksien taitumisesta kameran linssissä. Tämä ilmenee esimerkiksi värien hajonnassa. Monokromaattiset vääristymät taas tapahtuvat, vaikka valosäteet olisivat samaa aallonpituutta. Monokromaattisia heijastuksia ovat esimerkiksi geometriset vääristymät. (Hornberg 2017, 278.)

3.2 Laserskannerit

Laserskanneri on tekniikka kuvata kappaleita kolmiulotteisena. Skannerissa on valonlähde, josta lähtee laser, joka heijastuu kohteesta takaisin skannerille. Skanneri analysoi heijastusta ja luo kolmiulotteisen pistekartan kappaleen muodoista. (Kutz 2016, 62-64.)

3.3 Valaistus

Valaistus määrittelee miten hyvin näkymä kappaleesta muodostuu. Valaistuksen tarkoituksena on luoda mahdollisimman hyvä signaali, jolla saadaan oikea kontrasti ja mahdollisimman suuri tarkkuus. Mitä parempi valaistus, sitä parempi on järjestelmän luotettavuus ja suorituskky. Erilaisia tapoja vaikuttaa kontrastiin ovat mm. valon tulokulma kappaleen suhteen sekä valon spektri (Hornberg 2017, 44.)

4 PROSESSI JA LAYOUT

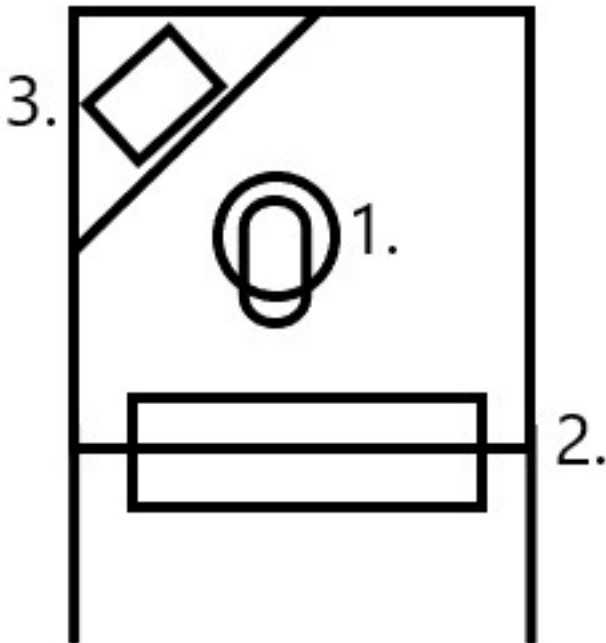
4.1 Prosessi

Työ tehtiin MSK Plastin reaktiovaluosastolle. Ennen muoviosan valamista muotti lämmitetään. Muotin lämmityksellä varmistetaan ettei valu jähmety liian nopeasti. Reaktiovalussa tulee ennen ruiskua olevaan sekoituspäähän kahta eri komponenttia, jotka sekoitetaan ruiskutusvaiheessa. Komponentit sekoitetaan ja ruiskutetaan muottiin, jossa ne alkavat välittömästi reagoida keskenään. Muotin annetaan olla kiinni, jotta kappaleella on aikaa jähmettyä. Jos muotti avataan ja kappale otetaan pois liian aikaisin, saattaa kappale vääntyä. Muottiin ruiskutetaan hieman ylimääräistä muovia. Ylimäärä varmistaa sen, että muotti täyttyy eikä kappale jää vajaaksi. Ylimääräisen muovin aiheuttama purse täytyy kuitenkin poistaa. Purse poistetaan viimeistelyssä käsin purseenpoistajalla tai robotti jyräsi purseen pois. Manuaalisesta viimeistelystä, johon kuuluu purseenpoisto, hionta ja reikien paikkaus, halutaan siirtää hiontaa ja purseenpoistoa robotille. Purseenpoisto tehdään robotilla melkein kaikille osille. Robotin jälkeen osa jatkaa matkaansa viimeistelyyn. Viimeistelyssä siistitään robotin jälkiä ja käydään osan pinta läpi virheiden varalta. Mikäli vikoja löytyy, osa hiotaan. Kun osa on viimeistelty, se käy läpi maalausprosessin, johon kuuluu pesu, pohjamaalaus, pintamaalaus ja lakkauus. Lakkauksen jälkeen osa menee kuivuriin. Kun maali on kuivunut, osa tarkastetaan ja se menee pakkaukseen.

Nykyisen solun kokoonpanoon kuuluu ABB:n kuusinivelinen IRB 6640 -teollisuusrobotti, johon on kiinnitetty Dynalocin DLC 120 sähkötoiminen kara ja Mirka Airos -epäkeskiohiomakone (kuva 3). Solussa on kääntyvä pöytä, jossa suurin osa osista käsitellään. Sivupöydällä käsitellään kevytrakenteisia osia ja hionnan ohjausta ei välttämättä tarvita sivupöydälle. Vieressä on rakenteeltaan samanlainen solu ilman sivupöytää ja samaa ratkaisua voidaan soveltaa myös toiselle solulle. Kuvio 6 esittelee solun pohjapiirroksen.



Kuva 3. Robotin työkalut



1. Robotti
2. Kääntöpöytä
3. Sivupöytä

Kuvio 6. Layout

4.2 Layout

Osat ovat välivarastossa solun läheisyydessä. Operaattori ottaa osan telineeltä ja kiinnittää sen kääntöpöydän jigiin. Kun osa on kiinni ja kääntöpöydän edusta tyhjä, operaattori antaa kuittaukset ja robotti kääntää pöydän. Pöydän kääntyttyä sama prosessi tehdään toisella puolellakin. Kun robotti on viimeistellyt ja saanut tarvittavat kuittaukset, se kääntää pöydän uudelleen. Pöytä kääntyy aina samalla tavalla. Pöydän eri asennot ovat robotin tiedossa ja ohjelmat on aina sidottu pöydän asemaan. Sivupöydälle osat viedään käsin ja kuitataan ovien olevan kiinni. Sivupöydällä ei tällä hetkellä tehdä ollenkaan hiontoja. Sivupöytä jää hieman

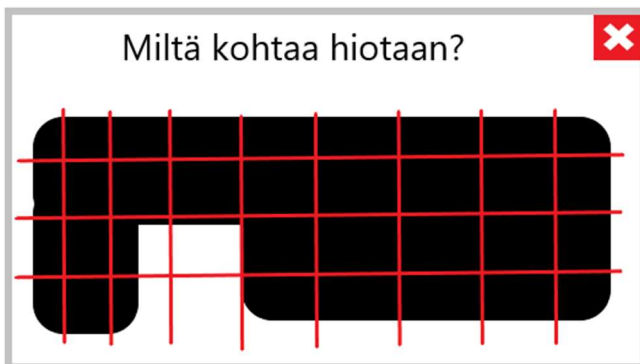
kauaksi robotista, joten liikeradat riittä eivät suurien kappaleiden käsittelyyn. Kun robotti on käsitellyt osat, ne siirretään välivarastoon viimeistelyn lähelle.

5 RATKAISUVAIHTOEHDOT

5.1 Ohjaus ilman konenäköä

Aluksi työn tarkoitus oli vain etsiä erilaisia konenäköratkaisuja ja vertailla niitä. Aloituspalaverissa tavoite kuitenkin muuttui ja tarkoitus oli etsiä myös muita ratkaisuja. Lähtökohtaisesti toiveissa oli kuitenkin nykyisen pohjaratkaisun säilyttäminen.

Ensimmäisessä toteutuksessa ohjelma kysyy hionnan tarpeesta. Jos vastataan, että tarvetta on, ohjelma kysyy hiottavaa kohtaa. Ohjaimen tulee kuva työstettävästä osasta, joka on graafisesti jaettu osiin (kuvio 7). Hiontaa vaativaa kohtaa klikataan. Ohjelmasta menee kyseisen kohdan moduuli päälle ja robotti suorittaa hionnan osana muun ohjelman suoritusta.



Kuvio 7. Ohjelmaesimerkki.

Tällä toteutuksella on paljon hyvä puolia. Se on toteutettavissa nykyisellä layoutilla ja laitteistolla, mutta se vaatii paljon ohjelmointia. Ohjelmointi voidaan tehdä offline-ohjelmointina, jolloin tuotanto ei kärsi. Konenäkö-toteutukset ovat haastavia, johtuen tuotteiden pinnanmuodoista. Mutta tässä ratkaisussa joka kohdalle on olemassa kulmat ja liikeradat ohjelman sisällä, jolloin ei tarvitse pelätä törmäyksiä.

Ongelmallista on koodin määrä. Työmäärä, jolla halutuille osille saadaan hionta, on aivan valtava. Toki työmäärä riippuu pitkälti siitä, miten osa jaotellaan työstöihin. Halutaanko hiontarutiinit koko osalle vai riittääkö vain 75 %:n kattavuus? Osien muodoista johtuen koko

osaa ei välttämättä tarvitse hioa esim. syvennykset kappaleen muodoissa saattavat selvitä ilman kolhuja. Toisaalta robotin liikeradat rajoittavat pääsyä hankalimpiin paikkoihin ja hionta jää käsin tehtäväksi.

Toinen variaatio tästä mallista on se, että viedään käyttöliittymä esim. PC:lle. Näytölle tulee samaan tapaan kuva, joka kysyy hionnan paikkaa. Mutta kuvasta viedään koordinaatit ohjelmaan ja hiontarutiini luodaan lennosta. Tämän ratkaisun suurin haaste on saada koordinaatit vietyä PC:ltä robotin ohjelmaan.

5.2 Ohjaus konenäöllä

Konenäkö-ohjaukseen löytyi kaksi erilaista pohjaratkaisua. Ensimmäisenä työssä selvitettiin pohjaa konenäköjärjestelmälle: PLC-pohjainen vai ABB Vision. PLC sisältää ohjelman joka käsittelee kuvan ja antaa datan eteenpäin. ABB vision on ABB:n oma konenäkö-järjestelmä, joka toimii robotin ohjaimessa. ABB:n kamera pohjautuu Cognex 7000 -sarjan kameroihin ja RobotStudion konenäköliitännäinen perustuu Cognexin In-Sight Exploreriin. Selkeä etu muihin konenäkö ratkaisuihin on ABB Visionin helppous: tarvitaan vain kamera, kaapelointi ja valaistus. Muut ratkaisut vaativat lisäksi PLC:n ja ohjelman, joka pystyy kääntämään PLC:n datan robotille sopivaan muotoon. Tällaisia sovelluksia on varmasti olemassa. Jos PLC:hen päädytään, valmis paketti olisi paras.

Kameran paikka aiheutti hieman päänvaivaa. Kameran olisi hyvä olla solun sisällä, jotta välttyttäisiin ulkopuolisilta häiriöiltä ja solun ulkopuolinen toiminta ei häiriintyisi kameran takia. Solun sisälle kameraa ei pysty sijoittamaan niin ettei se olisi robotin tiellä. Kameran kylki oli yksi sijoituspaikka. Siinä se luultavasti tulisi tielle tai ainakin rajoittaisi liikeratoja huomattavasti. Mutta jos kameran voisi liittää karaan, konenäköä voitaisiin soveltaa myös sivupöydällä ilman toista kameraa. Kaikki nykyiset ohjelmat pitäisi ajaa läpi ja tarkistaa ettei kamera aiheuttaisi törmäyksiä. Suurimpien työstettävien osien kohdalla tilanne on erittäin hankala sillä nyt jo on haasteita joidenkin liikeratojen kanssa. Suurimpana huolena on kuitenkin karaan aiheuttama värinä ja lämpeneminen. Miten pitkään kamera kestää ja millaisia vaikutuksia tällä on

kuvanlaatuun? Toinen merkittävä tekijä oli kaapelointi. Jos kamera tulee robotin työkaluun, kaapelointi joutuu kovaan rasitukseen.

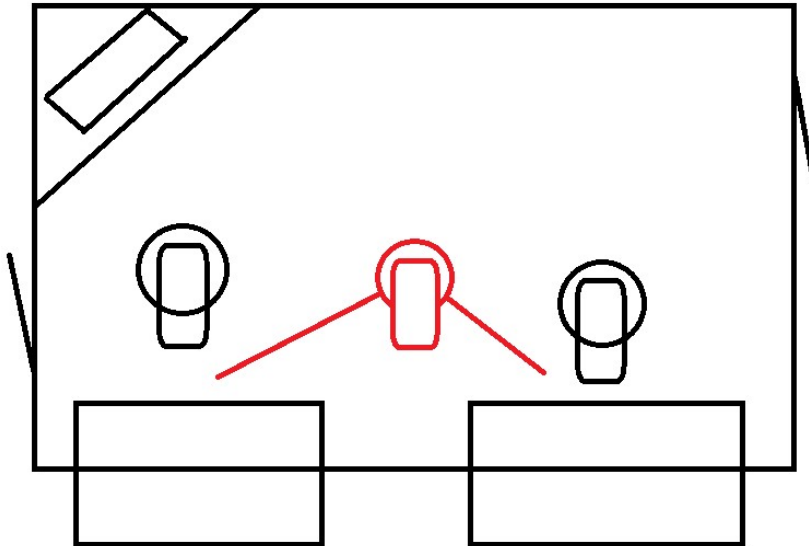
Kamera tulee solun ulkopuolelle taitettavan varren päähän. Tällöin kamera voidaan siirtää sivuun niin ettei se vaikeuta jigin vaihtoa. Kamera olisi hyvä pitää solun yhteydessä, jolloin se ei tulisi muun toiminnan tielle. Samaan varteen tulee myös kameran vaatima salamavalon jatkuva valaistusta on hankala toteuttaa katon korkeuden takia. Erillisille valoille ei myöskään ole tilaa lattiatasolla. Osien muodot aiheuttavat luultavasti väkisinkin heijastuksia. Erilaisia muotoja voidaan käyttää erilaisten hiontojen aktivointiin, esim. neliö voisi kuvastaa pitkää naarmua, jolloin hiontaa tehtäisiin isommalle pinta-alalle.

5.3 Erillinen hiontarobotti

Hionnan siirtäminen kokonaan kolmannelle robotille on myös potentiaalinen ratkaisu. Kokonaan erillisen hiontasolun tekeminen on kuitenkin kannattamatonta. Hionnan tarvetta ei ole niin paljon, että erillinen hiontasolu maksaisi itsensä takaisin. Hallissa ei ole myöskään tilaa solun järkevään sijoittamiseen.

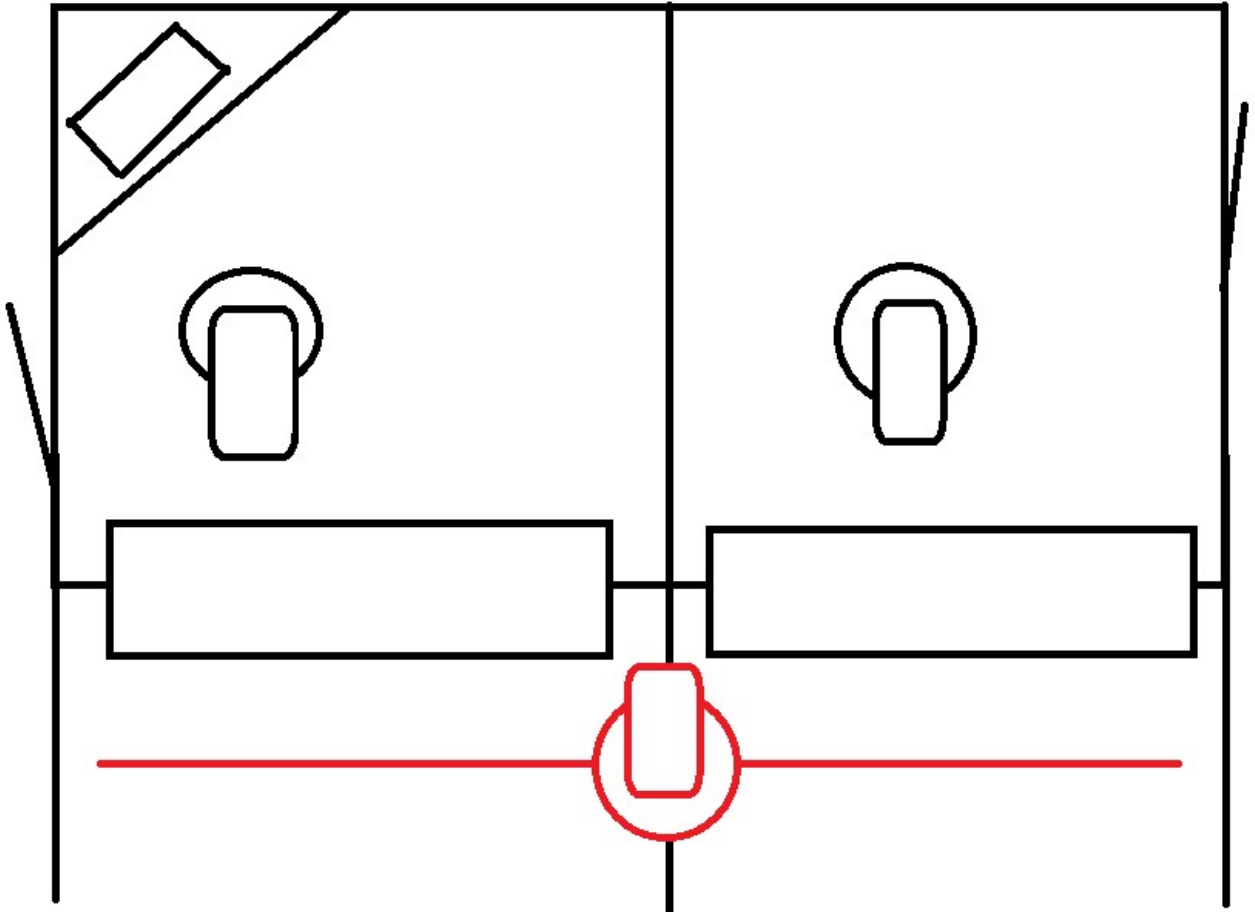
Erillinen hiontarobotti solujen yhteyteen on toimivampi ratkaisu. Yhteistyörobotti vastaa parhaiten yrityksen tarvetta. Hiontojen ajat ovat vain muutamia minuutteja, jolloin ei ole tarvetta teollisuusrobotin nopeudelle ja voimalle. Yhteistyörobotti mahdollistaa myös paljon kevyemmät turvajärjestelyt, jolloin muu toiminta solun ympärillä ei häiriinny. Erilaiset turvajärjestelyt yleensä myös pidentävät asetusajoja.

Ensin työssä selvitettiin mahdollisuutta sijoittaa hiontarobotti solujen väliin. Solujen välissä oleva seinä poistettaisiin ja kolmas robotti (kuvio 8 punaisella) kulkisi kiskoa pitkin tekemässä molempien solujen hionnat. Suurimmaksi ongelmaksi muodostui turvallisuus. Kahden solun yhdistämisen vuoksi turvapiirit pitäisi yhdistää samaan piiriin. Tällöin kääntöpöydät voisivat kääntyä vain yhtä aikaa, mikä lisäisi työaikoja. Toisaalta kolmas robotti, joka liikkuu servomootorin avulla kiskolla, on erittäin kallis investointi.



Kuvio 8. Hiontarobotti solujen välissä.

Seuraava vaihtoehto on sijoittaa hiontarobotti solujen ulkopuolelle. Eeli yhteistyörobotti kiskolla, jolla on oma kamera. Robotti voitaisiin kuljettaa käsin kiskoa pitkin halutulle solulle, jossa se kuvaisi osan ja tekisi hionnat. Mikäli hiontoja ei ole, voidaan robotti työntää sivuun. Jos hiontoja on, yhteistyörobotti voidaan nopeasti asettaa toimimaan. Hionta olisi eripuolella kuin viimeistely, jolloin kahta eri prosessia voidaan suorittaa yhtä aikaa. Robotti työskentelisi vain toisella solulla kerrallaan, jolloin viereinen solu toimisi normaalisti.



Kuvio 9. Hiontarobotti solujen ulkopuolella

6 VERTAILU JA VALINTAEHDOTUS

Vertailun helpottamiseksi hyvät ja huonot puolet koottiin taulukkoon. Taulukko 1 näyttää tämän vertailun.

Taulukko 1. Ratkaisuehdotusten vertailu.

	Plussat	Miinukset	Laajennettavuus
Kameraton ohjaus	Toteuttavissa heti Varmatoiminen Halvin	Työläs; vaatii paljon koodia Tarkkuus (lattialta näytölle)	Ohjelmoinnin rajoissa
Ohjaus kameralla	Tarkkuus Kameraa voidaan käyttää muuhunkin ohjaukseen Sama ratkaisumallia voidaan toteuttaa toisella solulla.	Osien muoto vaikeuttaa koko osan hiontaa	Voidaan lisätä kameroita helposti, koska pohja on jo olemassa.
Erillinen hiontarobotti	Hionta on omassa yksikössä	Kallis. Saattaa vaikuttaa asetus- ja vaiheaikoihin.	Voidaan käyttää molemmilla soluilla

Työn loppuvaiheella aloitettiin hionnantarpeen seuranta ja eri ratkaisuehdotuksia tullaan harkitsemaan seurannan pohjalta. Vertailutaulukossa on esitetty ratkaisujen ominaisuuksia helposti luettavassa muodossa. Tietty ratkaisu ei sinänsä sulje toista ratkaisua pois. Palavereissa nousi esiin mahdollisuus yhdistellä kamerattoman ja kamerallisen ratkaisun ominaisuuksia. Kappaleeseen voidaan tehdä erilaisia merkintöjä esim. kirjaimia tai numeroita, jotka sitten asettavat jonkun ohjelman osan päälle.

Jos hionnan tarvetta on paljon ja sitä esiintyy säännöllisesti, kolmas robotti olisi paras vaihtoehto. Kolmas robotti voisi hioa osia samalla kun kaksi muuta viimeistelevät. Se poistaisi hionnan ajan niiden työstöajoista.

Jos hionnan tarvetta esiintyy epäsäännöllisesti ja vaihtelevia määriä, konenäköratkaisu olisi paras. Konenäkö ei muuttaisi solun layoutia eikä toimintaa. Robotilla on jo hiontatyökalu ja satunnaiset hionnat eivät hidastaisi liiaksi yksikön toimintaa. Konenäköä voidaan myös soveltaa muihin tarkoituksiin: kappale voidaan paikoittaa kameralla tai kameraa voidaan päivittää tehokkaammaksi, jolloin robotti hoitaa myös pinnan tarkastuksen.

Jos hionnan tarvetta ei juurikaan ole tai sitä esiintyy vain tietyissä osissa esim. valumuotin takia, hionta olisi paras toteuttaa ohjelmallisesti. Yksittäiset viat on helppo korjata käsin. Jos virheitä ei juurikaan esiinny, muiden järjestelmien takaisinmaksuajat muodostuvat pitkiksi.

7 YHTEENVETO JA POHDINTA

Aluksi työn tavoitteena oli löytää konenäkösovellus, jolla voitaisiin ohjata robottihiontaa. Työ kuitenkin laajeni siihen että etsittiin erilaisia ratkaisuja. Ratkaisujen haluttiin olevan mahdollisimman valmiita. Tavoitteisiin päästiin melko hyvin. Erilaisia ratkaisuja löytyi useita. Lopputuloksena on kuitenkin kolme toimivaa ratkaisua. Kun puuttuva data saadaan, voidaan aloittaa ratkaisun valinta. Yritys oli tyytyväinen ratkaisuihin, vaikkakin takaisinmaksuaikoja ei saatu selville. Varsinkin useamman erilaisen ratkaisun löytyminen ja niiden yhdistäminen miellytti. Tarjouspyyntöihin ei saatu vastausta opinnäytetyön aikana, mutta laskelmat takaisinmaksuajoista tehdään, kun saadaan tilastoa hionnan tarpeesta ja tarjouspyyntöihin saadaan vastaukset. Kun puuttuva tieto saadaan, tehdään laskelmat takaisinmaksuajoista. Hionnan tarpeen seuranta kertoo, onko tarvetta siirtää virheenkorjausta robotille. Näiden tietojen pohjalta tehdään päätös investoinneista kesällä 2021.

Työ sujui hyvin, mutta hionnantarpeen seurannan olisi voinut aloittaa aiemmin. Parempi työn suunnittelu olisi mahdollisesti nostanut asian esiin aiemmin. Toisaalta myös koronaviruspandemian aiheuttamat rajoitukset vaikuttivat yhteyden pitoon yrityksen kanssa. Paikan päälle pääsi vain hyvin rajoitetusti. Internetin välityksellä pidetyt palaverit tekivät tehtävänsä, mutta hallin lattialta katsottuna asiat näkyvät toisella tavalla.

Konenäköjärjestelmän kokoamisessa ei sinänsä ollut mitään uutta, mutta järjestelmät ovat monipuolistuneet paljon muutamassa vuodessa. Oli hieno huomata, miten erilaiset laitetoimittajat ovat integroineet konenäön osaksi järjestelmiään. Ohjelmointi on paljon sujuvampaa, kun kaikki toimii yhtenä kokonaisuutena samalla ohjelmistopohjalla. Robotti tarvitsee vain kameran ja konenäköominaisuudet ovat käytössä. Löydetyt ratkaisut ovat kelvollisia noinkin, mutta jos niitä halutaan parantaa, voidaan pinnanlaadun arviointi siirtää myös robotille. Opinnäytetyön ratkaisun kameran resoluutio ei ole tarpeeksi suuri, jotta se voisi luotettavasti tutkia suuria osia. Toisaalta kameran täytyisi päästä liikkumaan, että erilaiset muodot eivät haittaisi pinnan arvioimista.

LÄHTEET

ABB. Ei päiväystä. IRB 360 FlexPicker. [Verkkosivu]. ABB. [Viitattu 13.4.2021]. Saatavana: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360>

ABB. Ei päiväystä. Integrated Vision. [Verkkosivu]. ABB. [Viitattu 14.4.2021]. Saatavana: <https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/vision-systems/integrated-vision>

ABB. 2020. IRB 6640, Product specification. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 13.4.2021]. Saatavana: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC028284-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Cognex. Ei päiväystä. Introduction to machine vision. [Verkkosivu]. Cognex Corporation. [Viitattu 13.4.2020]. Saatavana: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/what-is-machine-vision>

Hornberg, A. 2017. Handbook of machine and computer vision: the guide for developers and users. Weinheim: Wiley.

IFR 2020. Demystifying Collaborative Industrial Robots. [Verkkojulkaisu]. International Federation of Robotics. [Viitattu 13.4.2021]. Saatavana: <https://ifr.org/papers>

Kutz, M. 2016. Handbook of measurement in science and engineering: Volume 3. New Jersey: Wiley.

Kuivanen, R. 1999. Robotiikka. Suomen robotiikkayhdistys. Helsinki: Talentum.

Legnani, G.& Fassi, I. 2012. Robotics: state of the art and future trends. New York: Nova Science Publishers, Inc.

MSK Plast. 2020. Yritysesittely. [Powerpoint]. MSK Plast. [Viitattu 22.3.2021]. Saatavana: Vain yrityksen sisäisessä käytössä.

RoboDK. Ei päiväystä. Offline Programming. [Verkkosivu]. [Viitattu 11.5.2021]. Saatavana: <https://robodk.com/offline-programming>

Technavio. 31.08.2018. 6 Major Types of Industrial Robots Used in the Global Manufacturing 2018. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.4.2021]. Saatavana: <https://blog.technavio.com/blog/major-types-of-industrial-robots>

