

Veikko Terho

## **HERKKIEN KAPPALEIDEN POIMIMINEN ROBOTILLA**

# **HERKKIEN KAPPALEIDEN POIMIMINEN ROBOTILLA**

Veikko Terho  
Opinnäytetyö  
Kevät 2020  
Kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Veikko Terho

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Herkkien kappaleiden poimiminen robotilla

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Picking of sensitive parts on collaborative robot

Työn ohjaaja: Heikki Takalo-Kippola

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2020

Sivumäärä: 45 + 0 liitettä

---

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja toteutettiin robottisolun. Robottisolun avulla tunnistetaan ja poimitaan kuljettimelta tulevat kappaleet, jotka lajitellaan niille varattuihin paikkoihin. Poimittavat kappaleet olivat alumiinia, eikä niitä saanut naarmuttaa pakkauksen aikana. Solun toimivuus kokeiltiin ammattikorkeakoulun tiloissa, minkä jälkeen solu siirrettiin yhteistyöyrityksen tuotantotiloihin.

Työn tuloksena syntyi toimiva solu, joka tunnistaa poimittavat kappaleet ja lajittelee ne haluttuihin paikkoihin. Poiminta saatiin toteutettua useilla eri nimikkeillä. Poiminta toteutettiin alipainetarttujalla. Kappaleen tullessa poimintapisteeseen kuljetin pysäytettiin poiminnan ajaksi.

Työn loppuvaiheessa vertailtiin, voisiko poiminnan toteuttaa jollakin muulla robottimallilla. Vertailu tehtiin kiertyvänivelisille roboteille Scara-robotille ja Delta-robotille. Mikäli poiminta toteutettaisiin muulla kuin yhteistoimintarobotilla, tulisi solun ympäristö suunnitella uudestaan, jotta voitaisiin täyttää teollisuusrobottien vaatimat turvallisuusstandardit. Lisäksi Scara- ja Delta-robottien z-akselin suuntainen liike ei olisi riittänyt pakkauksen toteuttamiseen.

---

Asiasanat: yhteistoimintarobotti, konenäköjärjestelmä, soketti

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Mechanical engineering, Machine automation

---

Author: Veikko Terho

Title of thesis: Picking of Sensitive Parts by Collaborative Robot

Supervisor: Heikki Takalo-Kippola

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2020

Pages: 45 + 0 appendices

---

In the thesis, a robot cell was designed and implemented to identify and pick up the pieces coming from the conveyor and to sort the pieces into their designated locations. The pieces to be picked were aluminum and should not be scratched during the packaging. The cell was tested on the premises of the University of Applied Sciences, after which the cell was transferred to the production facilities of the partner company.

The result of this work was a working cell that recognizes the pieces to be picked and sorts them to the desired locations. 30 different names were obtained during the trial run. The picking was carried out with a vacuum gripper. When the object arrived at the picking point, the conveyor was stopped during the picking.

In the final part of the thesis, the Delta robot, the Scara robot and the rotating articulated robot were studied theoretically and considered how different types of robots would fit into this task. In addition, a specific comparison was made between the manufacturers.

---

Keywords: collaborative robot, machine vision system, socket

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄSITTEET	7
1 JOHDANTO	8
2 KONENÄKÖ	9
2.1 Yleistä konenäöstä	9
2.2 Ohjaus	9
2.3 Konenäköjärjestelmät	9
2.4 Valaistus	12
3 YHTEISTOIMINTAROBOTTI	13
3.1 Yleistä	13
3.2 Käyttökohteet	13
3.3 Turvallisuus	14
3.4 Kommunikaatio	14
4 RISKIENARVIOINTI	16
5 LAYOUT	17
5.1 Suunnittelu	17
5.2 Layout 1	18
5.3 Layout 2	19
5.4 Poiminnan toteuttaminen	20
6 TARRAIN	21
7 KÄYTTÖÖNOTTO	22
7.1 Ympäristön haasteet	22
7.2 Tekniset haasteet	22
7.2.1 Poiminta	23
7.2.2 Kuva-ala	23
7.3 Tarttuja	24
7.4 Konenäkökamerat	25
7.4.1 Robotiq RWC	25
7.4.2 SICK inspector pim60	25

7.4.3 Sensopart Visor v20	26
7.4.4 Kommunikaatio	26
7.4.5 Poimintapiste	28
7.5 Ulkomuodon tarkastaminen	29
8 VAIHTOEHTOISET ROBOTIT	30
8.1 Yhteistoimintarobotti	30
8.2 Kiertyvänivelinen robotti	32
8.3 Delta-robotti	33
8.4 Scara-robotti	35
9 YHTEENVETO	38
LÄHTEET	41

## KÄSITTEET

Delta-robotti	Rakenne on yksinkertainen ja perusajatus on suunnikkaiden käyttö.
hyötykuorma	Hyötykuorman avulla voidaan laskea, kuinka suuria taakkoja cobotilla tai yleensä roboteilla voidaan käsitellä.
kiertyvänivelinen robotti	Tietokoneohjattu työvälineitä tai työkappaleita käsittelevä kone.
Scara-robotti	Robotit ovat 4-akselisia, joiden liikkeet ovat verrattavissa ihmisen käsivarren liikkeisiin siinä suhteessa, että nivelten avulla käsivarsi voi liikkua pysty- ja vaakasuoraan.
soketti	Soketin avulla voidaan lukea ja kirjoittaa tiettyyn määriteltyyn verkkoyhteyteen.
URcap	Alusta, jonka avulla loppukäyttäjä voi käyttää onnistuneesti eri valmistajien ja integraattoreiden lisävarusteita
yhteistoimintarobotti	6-akselisia käsivarsirobotteja, joissa on voimantunnistus, jonka ansioista voivat työskennellä ihmisen kanssa samassa tilassa. Kutsutaan coboteiksi.

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan ja toteutetaan robottisolu, jonka avulla tunnistetaan ja poimitaan kuljettimelta tulevat kappaleet ja lajitellaan niille varattuihin paikkoihin. Kuljettimelta tulee myös jätöpaloja, joiden seasta tulee tunnistaa poimittavat kappaleet. Työssä hyödynnetään 2D-konenäköä, jolla erotellaan poimittavat kappaleet jätteestä. Kappaleiden tullessa konenäkökameran kuva-alalle kuljetin pysäytetään ja cobotti (yhteistoimintarobotti) poimii kappaleet.

Työ toteutetaan Universal Robotsin UR 10e -robotilla. Konenäkökamerana toimii Sensopartin Visor v20 ja apuna käytetään myös turvaskanneria. Työn alussa on tutkittu myös muiden valmistajien konenäkökameroita. Solun toimivuus kokeiltiin ammattikorkeakoulun tiloissa kahdella eri nimikkeellä, minkä jälkeen solu siirretään työn tilaajan tuotantotiloihin.

Työn lopussa käsitellään, miten Delta-robotilla, Scara-robotilla sekä kiertyvänivelisellä robotilla voitaisiin toteuttaa kyseinen robottisolu. Lisäksi tehtiin vertailu, miten eri valmistajien robotit eroavat toisistaan. Vertailussa käytettävä tieto on haettu valmistajien kotisivuilta.



## **2 KONENÄKÖ**

### **2.1 Yleistä konenäöstä**

Konenäöksi kutsutaan yleensä järjestelmää, jossa tietokonenäköä sovelletaan teolliseen tarkoitukseen. Yleensä järjestelmissä on neljä eri osaa: kamera, jolla muodostetaan kuva, kuvankaappaus, tietokone, joka käsittelee kuvan, ja ohjausjärjestelmä. Järjestelmiä käytetään yleensä tehtäviin, joissa kappaleen tai objektin tarkastuksen pitää olla nopeaa, tarkkaa, ympärivuorokautista tai toistettavaa. Konenäöllä voidaan korvata ihmiselle rasittavia rutiinitehtäviä esimerkiksi liukuhihnalla tai suorittaa ihmisen näkökyvyille mahdottomia tehtäviä. Ihmisen näkökyky ei pysty havaitsemaan tiettyjä aallonpituuksia, joiden tunnistamisen apuna käytetään konenäkökameraa. Konenäkö soveltuu laajasti eri käyttökohteisiin, ja sitä käytetään muun muassa viivakoodien lukemiseen, kappaleiden muotojen tarkkailuun, tunnistukseen sekä kuljettimella olevien objektien laskemiseen. (1, s. 11; 2, s. 1.)

### **2.2 Ohjaus**

Konenäköjärjestelmän ohjaus tehdään, jotta voidaan määrittää kappaleen paikka ja suunta. Järjestelmä vertaa näitä määritelyihin toleransseihin ja varmistaa, että se täyttää määritellyt arvot. Ohjausjärjestelmä ilmoittaa 2D- tai 3D-tilassa kappaleen sijainnin ja suunnan robotille tai jollekin muulle ohjaimelle. (3, s. 7.)

Konenäköohjauksella saavutetaan suurempi tarkkuus ja nopeus verrattuna manuaaliseen paikannukseen. Konenäköohjausta voidaan käyttää muun muassa kappaleiden järjestämiseen kuormalavalle, kappaleiden poimimiseen kuljettimelta ja kappaleiden tunnistamiseen. (3, s. 7.)

### **2.3 Konenäköjärjestelmät**

Konenäköjärjestelmiä käytetään osien tunnistamiseen, viivakoodien lukemiseen (1D-järjestelmä), tietomatriisikoodien lukemiseen (2D-järjestelmä) ja suorien osamerkkien lukemiseen. Lisäksi voidaan hakea osista niihin painettuja merkkejä tai tarroja.

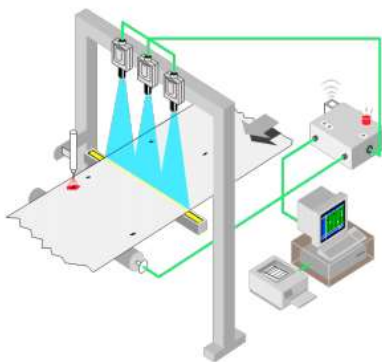
Merkkien tunnistukseen käytetään yleensä kahta erityyppistä tunnistusmenetelmää: optinen merkintunnistus (OCR) ja optinen merkintarkistus (OCV). Optisessa merkintunnistuksessa luetaan aakkosnumeerisia merkkejä ilman ennakkotietoja. Optisessa merkintarkistuksessa järjestelmä varmistaa ennalta määriteltyjen merkkijonojen olemassaolon. Konenäköjärjestelmät voivat tunnistaa kappaleet värin, muodon tai fyysisen koon perusteella. (3, s. 8.)

Konenäköjärjestelmät ovat riippuvaisia digitaalisista antureista, sekä riittävästä valaistuksesta. Kameroiden sisällä on monimutkaisia optiikoita, joiden avulla hankitaan kuvia. Kuvista tietokonelaitteistot ja ohjelmistot prosessoivat, analysoivat ja mittaavat erilaisia ominaisuuksia. Teollisessa käytössä konenäöltä vaaditaan mekaanista kestävyyttä, luotettavuutta, vakautta sekä korkeiden lämpötilojen kestävyyttä. (3, s. 3.)

Konenäköjärjestelmät voidaan jaotella kolmeen kategoriaan: 1D, 2D ja 3D. Järjestelmät koostuvat kamerasta, ohjelmistosta, jolla etsitään kuvasta halutut piirteet ja ominaisuudet, sekä ohjausjärjestelmästä, jolla analysoidaan kuvasta löydettyt piirteet ja ohjataan koko järjestelmää. (3, s.17; 4, s. 3.)

### **1D-näköjärjestelmä**

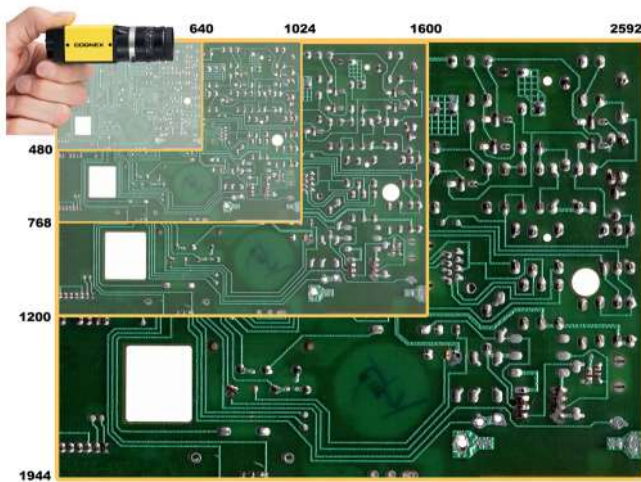
1D-näkö analysoi yhtä riviä digitaalisesta signaalista kokonaiskuvan tarkastelun sijaan. Tämä tekniikka yleensä havaitsee ja luokittelee puutteet prosesseissa, joissa valmistettava materiaali on paperia, metallia, muovia tai muuta rullatavaa. Kuvassa 1 on esitetty, mistä 1D-konenäköjärjestelmä koostuu.



*KUVA 1. 1D-järjestelmän laitteet (3, s. 17)*

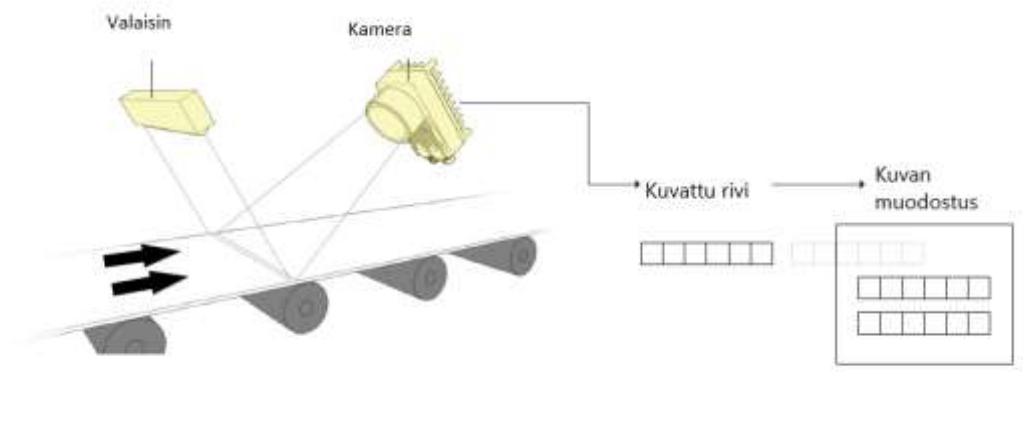
## 2D-konenäkö

2D-konenäköjärjestelmillä yleensä kuvataan aluetta eri tarkkuuksina, mistä etsitään tiettyjä ominaisuuksia. 2D-järjestelmillä käsitellään kaksiulotteista karttaa (X, Y), joka otetaan talteen kuvasta. Yleisimpiä käyttökohteita 2D-järjestelmille on viivakoodien lukeminen sekä kappaleiden ulkomuotojen tarkkailu. Kuvassa 2 on esitelty 2D-järjestelmän erikokoisia resoluutioita.



*KUVA 2. 2D-järjestelmän eri resoluutioita (3, s. 18)*

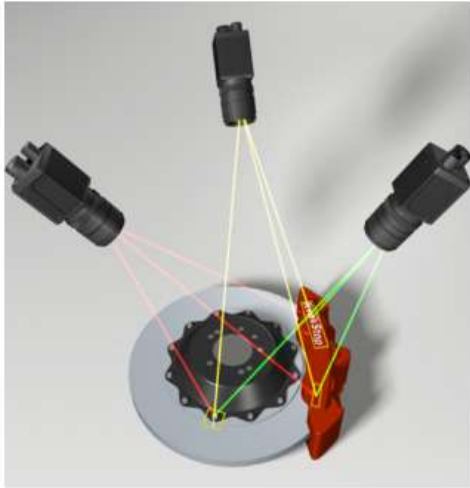
On myös olemassa 2D-järjestelmä, joka kuvaa kappaleen rivi riviltä ja muodostaa niistä yhden kokonaisen kuvan. Tämä on esitetty kuvassa 3. (3, s. 18; 4.)



*KUVA 3. Rivi riviltä muodostettava 2D-kuva (3, s. 18)*

### 3D-konenäköjärjestelmä

3D-konenäköjärjestelmät voivat koostua useista kameroista, jotka ovat kiinnitetty kolmion muotoon kuvattavaan objektiin nähden. Tällöin kamerat muodostavat kappaleen 3D-avaruudessa. Kuvassa 4 on esitetty usean kameran 3D-järjestelmä. (3, s. 20.)



*KUVA 4. Usean kameran 3D-järjestelmä (3, s. 20)*

### 2.4 Valaistus

Konenäkölle tuottaa vaikeuksia toimintaympäristön valaistuksen muuttuminen. Konenäön kannalta valaistuksen tulee olla tasainen koko kuva-alalla. Valaistusta voidaan säätää ohjelmalla käsittelemällä kuvan eri värisävyjä tai aukon aukioloaikaa. Toinen vaihtoehto on muokata valaistusta fyysisillä rakenteilla tai komponenteilla.

Kappaleen pintamateriaali vaikuttaa suuresti tunnistusprosessiin. Konenäköjärjestelmät luovat kuvia analysoimalla kohteesta heijastunutta valoa. Heijastuksiin voidaan vaikuttaa lisävalon eri värisävyillä, valon tulokulmalla tai suunnalla. Valaistuksella kuvaa voi parantaa siten, että se heikentää joitain epäolennaisia piirteitä ja parantaa toisia. Esimerkiksi valaistuksella voidaan hämärtää kappaleen pinnalla olevia yksityiskohtia, jotta reunojen mittaus helpottuisi (5).

## **3 YHTEISTOIMINTAROBOTTI**

### **3.1 Yleistä**

Suurin ero cobottien ja teollisuusrobottien välillä on, että cobotit on suunniteltu toimimaan ihmisten rinnalla. Teollisuusroboteilla yleensä korvataan ihminen tietyistä tehtävistä kokonaan. Yleensä robotit auttavat työntekijöitä työtehtävissä, jotka voivat olla liian vaarallisia, rasittavia tai yksitoikkoisia. Näin saadaan aikaan turvallisempi ja tehokkaampi toimintaympäristö. Teollisuusroboteilla automatisoidaan valmistusprosesseja lähes kokonaan ilman työntekijän apua. Cobottien yhteydessä ilmenee monesti lean-robotiikka, jolla tarkoitetaan, että ihminen palvelee cobottia ja cobotti palvelee ihmistä. (6.)

Cobottien etu teollisuusroboteihin on niiden ohjelmoinnin helppous. Työntekijä voi ohjelmoida cobotin liikuttamalla käsivartta haluttua rataa pitkin. Cobotti toistaa liikerataa, kunnes ohjelma keskeytetään. Teollisuusrobotit vaativat jokaiseen muutokseen ohjelmoijan kirjoittamaan uuden koodin. (6.)

Cobotissa on myös voimantunnistus, jonka ansiosta se voi työskennellä ihmisen kanssa samassa tilassa. Törmätessään esteeseen cobotti pysäyttää liikkeen automaattisesti ja odottaa, että operaattori tulee käynnistämään sen uudestaan. (6.)

### **3.2 Käyttökohteet**

Yleensä cobotteja käytetään teollisuudessa poimimaan kappaleita hihnalta ja asettamaan kappaleita ennalta määrättyyn paikkaan tai syöttämään tavaraa hihnalle. Cobotteja käytetään myös CNC-koneiden yhteydessä, jolloin ne hoitavat yleensä työkalun vaihdon tai materiaalin lisäämisen. Cobotteja voidaan käyttää myös kuormalavan pakkauksessa ja teollisuuden eri tehtävissä. Yleisimpiä esimerkkejä ovat liimaaminen, annostelu ja hitsaus. Myös laaduntarkkailu ja viimeistely voidaan suorittaa cobotilla. (7.)

### 3.3 Turvallisuus

UR e-sarjan cobotti on sertifioitu ISO 10218-1:n mukaisesti (13), minkä takia se täyttää uusimmat ISO-turvastandardit. Cobotti sisältää 17 ohjelmoitavaa turvallisuusominaisuutta. Cobotilla on kategorian 3 PLd -taso, joka on määrätty standardissa ISO 13849-1 (14). Lisäksi laitteeseen on integroitu voiman, sekä väännön mittausta. (8; 9.)

### 3.4 Kommunikaatio

Yhteys cobotin ja kameran välillä muodostettiin soketikommunikaationa. Yleensä kommunikaatio tehdään cobotin ja kameran välillä käyttämällä URCap-sia.

#### **str\_len()**

Komennon str\_len() avulla voidaan hakea sulkeiden sisällä olevan muuttujan pituus tai merkkien määrää. Esimerkissä 1 haetaan sulkeiden sisällä olevan tekstin pituutta. Komento kirjoittaa arvon 5. (10, s. 52.)

*ESIMERKKI 1. Tekstin pituuden hakeminen*

```
str_len("Terve")
```

Tulos 5

#### **str\_sub()**

Komennon str\_sub() avulla voidaan hakea sulkeiden sisällä olevan tekstin tai jonkin muuttujan tiettyä osaa. Esimerkissä 2 haetaan numero-osan viidennestä merkistä kolme seuraavaa merkkiä. (10, s. 53.)

*ESIMERKKI 2. Tiettyjen merkkien hakeminen merkkijonosta*

```
str_sub("0123456789", 5, 3)
```

Tulos "567"

## **str\_find()**

Komennon `str_find()` avulla voidaan hakea sulkeiden sisällä olevasta tekstistä jotakin tiettyä merkkiä. Esimerkissä 3 haetaan tekstistä Hello World o-kirjainta. Arvoksi tulee ensimmäinen merkki, jota haetaan. Tässä tapauksessa komento antaa tulokseksi neljä, kun tekstin neljäs kirjan on o. (10, s. 51.)

### *ESIMERKKI 3. O-kirjaimen hakeminen tekstistä*

```
str_find("Hello World!", "o")
```

Tulos 4

## **to\_num**

Komennon `to_num()` avulla muutetaan merkkijono numeroiksi. Kyseistä komentoa käytettiin ohjelmassa X-, Y- ja Z-koordinaattien luomiseen. Esimerkissä 4 muutetaan `visor_output_data:n` 31 merkistä seitsemän merkkiä eteenpäin cobottille yhteensopivaksi. Luku jaetaan miljoonalla, jotta cobotti osaa muodostaa oikean muuttujan X-koordinaatille. (10, s. 55.)

### *ESIMERKKI 4. X-muuttujalle arvon hakeminen ja muuttaminen yhteensopivaan muotoon*

```
X=to_num(str_sub(visor_output_data,31,7))/1000000
```

## 4 RISKIENARVIOINTI

Kirjallinen määritelmä riskinarvioinnille on riskien tunnistaminen, arviointi ja arvio riskitasosta. Niitä vertaillaan vertailuarvoihin tai standardeissa hyväksytyihin riskitasoihin. Robottimaailmassa riskien arvioinnissa arvioidaan potentiaalisia riskejä ja ne tarvittaessa lievitetään hyväksyttävälle tasolle, jotta ihminen voisi työskennellä cobotin kanssa turvallisesti. (8.)

Koekäytön ajaksi cobottisoluun tehtiin riskienarviointi standardien SFS-ISO 12100 sekä SFS-ISO/TR 14121-2 pohjalta. (11; 12.) Riskienarvioinnin perusteella cobottisoluun liittyvät suurimpina riskeinä viiltyminen, irtileikkaantuminen, isku ja puristuminen. Viiltyminen ja irtileikkaantuminen aiheutuvat poimittavista kappaleista, jotka voivat viiltää operaattoria. Iskut voivat syntyä, kun operaattori menee cobotin toiminta-alueelle ja niiden yhteentörmäminen on todennäköistä. Riskit lievennettiin turvaskannerilla, jolla tulkitaan cobotin ympärillä tapahtuvaa liikettä.

### **Turvaskanneri**

Turvaskannerin toimintasäde on 270 astetta. Skanneriin voidaan määrittää kaksi eri sektoria, joita se valvoo. Lisäksi järjestelmään kuuluu turvarele, jonka avulla saadaan tieto sektoreiden aktivoitumisesta. Cobotin asetuksista voidaan määrittää, mitä tapahtuu, kun kukin sektori aktivoituu. Ensimmäisen sektorin aktivoituessa cobotti hidasti liikenopeuksia. Toisen sektorin aktivoituessa pysähtyi cobotti kokonaan.



## 5 LAYOUT

### 5.1 Suunnittelu

Suunnittelun lähtökohtana oli saada toimiva layout rajoitettuun toimintaympäristöön. Toimintaympäristön haasteina oli kapea tila, johon piti saada mahdutettua pakkaustaso ja cobotti. Laserleikkurin operaattorin piti päästä kulkemaan sujuvasti kuljettimen vieressä olevista oviaukoista, sekä päästä ohjainlaitteelle.

Suunnittelussa alettiin miettiä vaihtoehtoja eri pohjaratkaisulle. Tavoitteena oli saada mahdollisimman pieneen tilaan kaikki tarpeellinen. Kahdesta viimeisestä vaihtoehdosta tehtiin 3D-mallit, joiden perusteella valittiin toimivin ratkaisu. Lisäksi tehtiin vaatimuslista (taulukko 1). Vaatimuslistaan listattiin pakkaussolun kiinteät vaatimukset, vähimmäisvaatimukset sekä toivomukset.

TAULUKKO 1. Vaatimuslista

KV, VV, T	Vaatimus
	<b>1. Ympäristö</b>
KV	Jäteastia tulee olla tyhjennettävissä
KV	Jätekuljettimen tulee olla kuljettimen päässä
KV	Oviaukot tulee pitää vapaina
	<b>2. Voimat</b>
KV	Pakkaustason tulee kannatella robotin paino 33,3 kg
KV	Pakkaustason tulee kannatella osien painot
KV	Rakenteen tulee kestää kiertoliikkeestä aiheutuvat rasitukset
KV	Maksimi liikenopeudet nivelille ovat 120°/s ja 180°/s
	<b>3. Energia</b>
KV	Verkkovirta 230 V
KV	Paineilma 7 bar

(jatkuu)

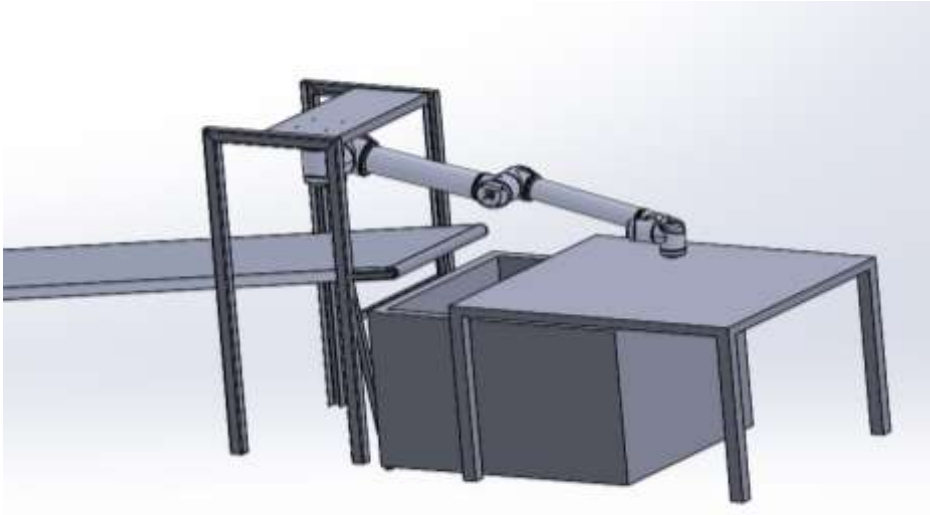
TAULUKKO 1. (jatkuu)

	<b>4. Materiaali</b>
VV	Rakenneteräs, alumiini, kumimatto, vaneri
	<b>5. Turvallisuus</b>
KV	Robotin tulee toimia ihmisen kanssa samassa tilassa
KV	Turvaskanneri
	<b>6. Osien poiminta</b>
KV	Kappaleen pinta ei saa vioittua
KV	Poimittavat osat pitää lajitella
VV	Osat tulee poimia kuljettimelta
VV	Konenäöllä tunnistetaan poimittavat kappaleet
	<b>7. Osat</b>
	Poimittavat kappaleet ovat erimuotoisia ja -mallisia
	Eräkoot ovat 1 – 500 kpl
	Suurin jätepala on 550 mm x 415 mm

## 5.2 Layout 1

Ensimmäisessä vaihtoehdossa cobotti oli sijoitettu ylösalaisin kuljettimen päälle. Pakkaustaso voisi olla pienempi ja operaattorille jäisi suurempi tila työskennellä. Konenäköjärjestelmä olisi voitu kiinnittää cobotin tukirakenteisiin.

Huonoina puolina kyseisessä vaihtoehdossa olivat rakenteet, jotka pienensivät cobotin toimintasädettä. Jotta toimintasäde olisi saatu mahdollisimman suureksi, olisi cobotin jalustan ja kuljettimen välinen etäisyys ollut liian pieni. Poimintatilanteessa rakenteet olisi aiheuttanut suuria haasteita cobotin liikeratojen toteutukseen. Lisäksi konenäköjärjestelmän kuva-ala olisi voinut jäädä suppeaksi, koska kameran etäisyys kuljettimeen olisi ollut vakio. Myös ulkopuolisen valaistuksen järjestäminen kyseisellä rakenteella olisi todennäköisesti ollut haastava toteuttaa. Kuvassa 5 on havainnekuva layoutista.

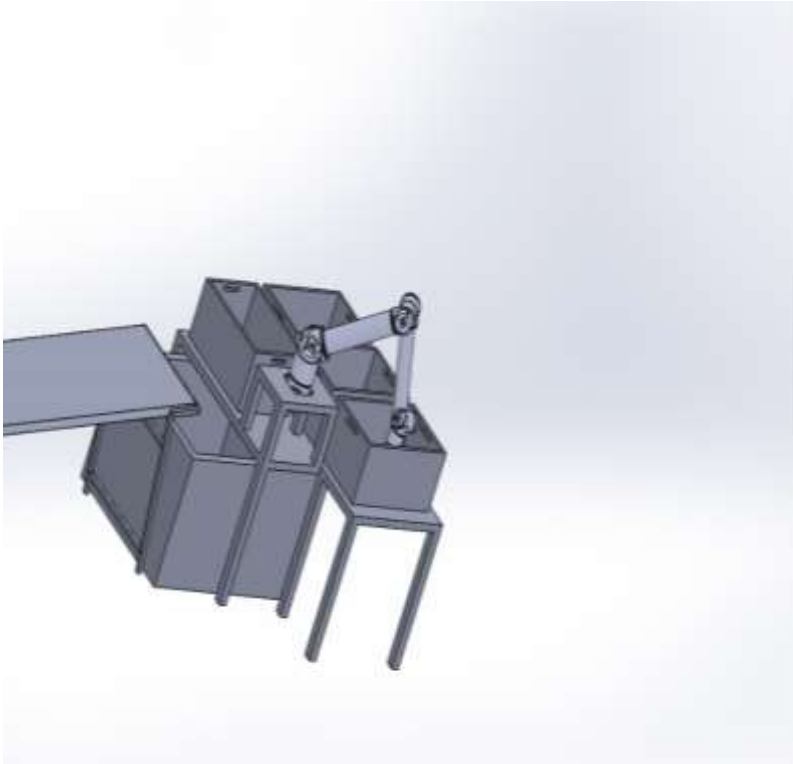


*KUVA 5. Havainnekuva, layout 1*

### **5.3 Layout 2**

Kyseisessä vaihtoehdossa cobotti sijoitettiin pakkaustasolle, mikä mahdollisti isomman toimintasäteen. Toimintasäteen kasvun ansiosta pakkauslaatikoiden määrää voitiin kasvattaa. Kyseisessä versiossa cobotin alusta nostettaisiin pakkaustasosta ylöspäin 300 mm, jotta pakkaamisen voisi aloittaa laatikon pohjalta. Kyseinen layout pienensi osittain operaattorin toiminta-aluetta, mutta ei kriittisesti.

Konenäköjärjestelmälle joutuisi kyseisessä vaihtoehdossa rakentamaan oman rakenteen. Tämä varmistaisi, että kameran etäisyyttä kuljettimeen nähden voidaan säätää ja riittävä kuva-ala olisi mahdollista saavuttaa. Myös kuva-alan mahdollinen lisävalaistus olisi helpompi toteuttaa kyseisellä sovelluksella.



*KUVA 6. Havainnekuva, layout 2*

#### **5.4 Poiminnan toteuttaminen**

Lopullinen kokoonpano pohjautui layout 2:een, jota vähän paranneltiin. Cobotin jalusta laskettiin pöydän tasolle, jotta rakenteesta tulisi tarpeeksi kestävä. Työkä-lunvartta pidennettiin, minkä avulla pakkaaminen voitiin aloittaa laatikon pohjalta.

Konenäkökamera sijoitettiin kuljettimen päälle noin 600 mm:n päähän cobotin keskipisteestä, minkä avulla saatiin poiminta-alue riittävän isoksi. Tämä myös mahdollisti riittävän laajan kuva-alan, minkä ansiosta voitiin poimia suurempia kappaleita.

## 6 TARRAIN

Tarrain on mekaaninen osa, jota robotti siirtää sille määritellyn ohjelman mukaisesti. Robotin tarraimet voidaan jaotella karkeasti kahteen eri ryhmään, tarraimiin sekä työkaluihin. Tarraimet pitävät sisällään alipaine-, magneettiset, sormi-, hydrauliset sekä sähköiset tarraimet. Tyypillisiä työkaluja robotille on muun muassa hitsauspistooli, maalausruisku tai liimasuutin. (3, s. 60.)

Sovelluksessa tarttujan tuli olla sellainen, mikä ei vioita poimittavan kappaleen pintaa. Suurin osa kappaleiden materiaaleista oli alumiinia, johon ei voi tarttua magneetilla. Tästä syystä päädyttiin käyttämään alipainetarttujaa.

Oikean tyyppinen alipainetarttuja oli vaikea löytää, koska poimittavien kappaleiden geometria oli monimutkainen. Kappaleissa vaihteli suuresti tartuntapinta-ala, johon mahdollinen alipaine oli kohdistettava. Tarttujan valinnassa käytettiin periaatetta 80/20. Haastavien kappaleiden poimintaan olisi myöhemmin käytössä useita eri tarttujia.

Tarttujan muotoon vaikutti myös tilaajayrityksen lähettämät mallikappaleet, joilla solun toimintaa kokeiltiin koulun tiloissa. Tämän takia tarttujaksi valikoitui kahdella imukupilla varustettu tarttuja. (Kuva 7.)



*KUVA 7. Tarttujan prototyyppi*

## 7 KÄYTTÖÖNOTTO

### 7.1 Ympäristön haasteet

Solun toimintaan vaikutti suuresti ympäristössä vaihtuva valaistus. Valaistuksen vaihteluun vaikuttivat solun yläpuolella olevat kattoikkunat, jotka toimivat savunpoistoluukkuina.

Valaistusta kokeiltiin tehostaa usealla led-valolla, jotka valaisivat epäsuorasti poimittavaa kappaletta, mutta siltikään kuva-alan valaistusta ei saatu tasaiseksi. Kameran ympärille tehtiin pahvista katos, mikä poisti osan kattoikkunoista tulevan valon. Mikäli luonnonvalon olisi halunnut poistaa kokonaan, olisi katos pitänyt rakentaa koko laserleikkurin ympärille. Kattoikkunoihin asennettiin opal-muovit, jotka tasoittavat luonnonvalon vaihtelua. Tämän ansiosta riittävä valaistus kuva-alueelle voitiin toteuttaa led-valoilla.

### 7.2 Tekniset haasteet

Alkuun kuljetin oli noin 15 asteen kulmassa cobotin alustaan nähden. Konenäkökamera sijoitettiin kohtisuoraan kuljettimen kanssa, minkä takia poiminnan toteuttaminen oli haasteellista. Kun kappale oli kuvanottohetkellä samassa asennossa kuin poimintapistettä opetettaessa, poiminta tapahtui normaalisti. Kappaleen kulman muuttuessa työkalu alkoi kiertymään RX ja RY akselin suuntaisesti, minkä takia tartunta epäonnistui.

Poiminnan parantamiseksi kameran kulmaa muutettiin kuljettimeen nähden, jolloin alkoi muodostua ongelmia kappaleen tunnistamisen kanssa. Lisäksi muutettiin cobotin alustan koordinaatisto samaan kulmaan kuljettimen kanssa. Ongelma saatiin ratkaistua siten, että kuljetin säädettiin vaakasuoraan cobotin alustaan nähden. Tämän jälkeen poiminta alkoi toimimaan halutulla tavalla. Kuljettimen suoristaminen aiheutti haasteita suurien kappaleiden luukutukseen, koska ne pystyivät jäämään jumiin kahden kuljettimen väliin. Ongelma saatiin osittain ratkaistua laskemalla kuljetin niin alas, kuin mahdollista.

### **7.2.1 Poiminta**

Ensimmäisissä koeajoissa oli käytössä URCap, joka mahdollisti kappaleen poimimisen, joiden ulkomitat olivat 90 mm x 120 mm. Kun poiminnassa oli suurempi kappale, meni kommunikaatio kameran ja cobotin välillä hitaaksi ja tahtiaika ei riittänyt kappaleiden poimimiseen.

Kommunikointi kameran ja cobotin välillä muutettiin myöhemmässä vaiheessa sokettikommunikaatioksi. Tällä saatiin poiminta- ja tunnistusprosessia nopeutettua huomattavasti. Kommunikaatiotavan muuttamisen ansiosta ratkaistiin myös se, miten voidaan samaan sokettiin viestiä useita eri poimittavia kappaleita. Kun poimittava kappale muuttui, operaattorin ei tarvinnut käydä muuttamassa ohjelmaa cobotilta.

### **7.2.2 Kuva-ala**

Kuljettimen leveys oli 650 mm. Koeajojen alussa kuva-ala oli noin 450 mm x 350 mm, joka oli liian pieni. Kuva-alan kasvattamisessa isoin haaste oli saada kameran kalibrointi toteutettua. Alkuun kokeiltiin toteuttaa kalibrointi kameran mukana tulevalla kalibrointilevyllä, jonka koko oli (340x176). Tämä ei onnistunut, koska kameraa ei saanut tarkennettua riittävästi, jotta se olisi tunnistanut kalibrointilevyssä olevat pisteet riittävän tarkasti.

Kameran kalibrointi kokeiltiin tehdä point pair listin avulla, joka ei onnistunut. Todennäköisin syy oli valaistuksen vajavuus. Kameran kalibrointi saatiin toteutettua isommalla kalibrointilevyllä (820x403) ja kuva-alaksi saatiin 600 mm x 500 mm. Suurin osa kappaleista tuli kuljettimen keskikohdalla, joten tämä oli riittävä kuva-ala luotettavan poiminnan toteuttamiseen.

### 7.3 Tarttuja

Haasteena oli löytää oikeanlainen tarttuja, jolla voisi poimia suurimman osan hihnalta tulevista kappaleista. Luotettavan tartunnan saamiseksi tarttujan kohdistaminen kappaleeseen oli todella tarkkaa kappaleiden geometrian takia. Solun toimivuutta kokeiltiin ammattikorkeakoulun tiloissa kuvassa 8 olevalla tarttujalla.



*KUVA 8. Käytössä ollut tarttuja*

Lisäksi ammattikorkeakoululla kokeiltiin V-mecan V-Grip G130 -tarttujaa, joka poimisi noin 90 prosenttia kuljettimelle tulevista kappaleista. Huono puoli tarttujassa oli tartuntapinnassa oleva solukumi, joka olisi todennäköisesti vioittunut ohutlevyosissa olevista terävistä reunoista. Lisäksi joidenkin kappaleiden leikkamiseen käytettiin leikkuunestettä, joka olisi imeytynyt solukumiin.

Seuraavaksi suunniteltiin tarttuja, johon tuli 20 imukuppia. Jokaiseen imukuppiin tuli imuvastaventtiili. Imuvastaventtiilit rajoittavat imua niiltä imukupeilta, jotka eivät osu poimittavaan kappaleeseen. Tarttujaa kokeiltaessa huomattiin alipaineen tuoton riittämättömyys. Käytössä oli SMC:n ZK2-ZSVB-A-ejectori.



Yksi mahdollisuus olisi ollut alipainepumpun käyttö, jolla olisi luotu riittävä alipaine. Alipainepumppua ei päästy kokeilemaan käytännössä, koska alipainepumppua ei saatu koekäyttöön. Myöhemmin vähennettiin imukuppien määrä neljään, jolloin imuvastaventtiilit toimivat halutulla tavalla. Neljällä imukupilla ei saatu riittävää tartuntaa poimittaviin kappaleisiin.

## **7.4 Konenäkökamerat**

### **7.4.1 Robotiq RWC**

Alkuun kokeiltiin kappaleen tunnistusta rannekameralla. Kuljetin olisi pitänyt anturoida ja anturitiedon avulla pysäyttää kuljetin. Kuljettimen pysäyttämällä olisi varmistettu, ettei poimittavia kappaleita menisi jätelavalle. Mikäli kuljetin olisi anturoitu, haasteeksi olisi tullut jätepalat, joita ei poimita ollenkaan. Kuljettimen päätyyn olisi pitänyt rakentaa jigi, johon kaikki kappaleet menisivät. Tunnistus olisi toteutettu kameralla ja kappaleet, joita ei olisi tarvinnut poimia olisi pitänyt saada pois jigistä, jonkin erillisen mekaniikan avulla.

### **7.4.2 SICK inspector pim60**

Kamera ohjelmoitiin toimimaan URCapin kautta yhdelle kappaleelle. Ohjelmointi onnistui helposti, mutta poimintapisteen lähettämässä syntyi liian suuri viive. Hitaus ilmeni, kun poimittava kappale tuli kameran kuva-alueelle. Tämän takia URCap ohitettiin ja poiminta toteutettiin muuttujien avulla. Ohjelma luki suoraan kameran muuttujista poimittavan kappaleen koordinaatit. Tämä poisti poimintapisteen koordinaattien lähettämisen viiveen.

Seuraavaksi kokeiltiin usean kappaleen yhtäaikaista poimintaa. Poimittavan kappaleen vaihto olisi tullut suorittaa manuaalisesti cobotin pädiltä. Tilaajan kannalta tämä ei ollut ihanteellinen vaihtoehto, joten alettiin selvittämään, olisiko kappaleen vaihto mahdollisesti automatisoitavissa. Selvitystä tehtäessä ilmeni, että kyseisellä kameramallilla ei ole tehty usean kappaleen tunnistusta.

### 7.4.3 Sensopart Visor v20

Visor V20- kamera valittiin sen ominaisuuksien takia. Kameralla pystyy toteuttamaan usean eri kappaleen tunnistuksen saman jobin sisällä. Alkuun yhteys muodostettiin URCapin välityksellä, mikä aiheutti tunnistusprosessiin liian suuren viiveen ja cobotin tahtiaika oli liian hidas. Tahtiaikaa nopeuttaakseen URCap ohitettiin sokettikommunikaation avulla. Tämä mahdollisti kameralta tulevan datan nopean siirtymisen cobotin käyttöön.

Mikäli tunnistettavia kappaleita olisi vain yksi, tiedon voisi ottaa visor\_pose muuttujasta. Jotta muuttujan tietoa voi käyttää, tulee kameran tunnistaa kappale hyväksytysti. Muuttujan sisältämät X-, Y- sekä RZ-alkiot ovat suoraan yhteensopivia cobotin koordinaatistoon. Ainoastaan Z-akselin alkion joutui muodostamaan muulla tavalla. Z-akselin koordinaatit saatiin, kun muodostettiin erillinen taso kuljettimen päälle. Tason kolmannesta alkioista otettiin arvo Z-akselille.

Kameran antamat koordinaatit luettiin visorOutputDatasta, jonka sisältö voidaan määrittää Visor Vision Sensor -ohjelmalla. Kyseisessä sovelluksessa kamera lähettää kappaleen X- ja Y-koordinaatit, kappaleen kulman sekä tiedon mikä detectori on kysessä. Detectoritieto määritettiin stringin alkuun omana muuttujana. Detectoritieto kertoo, mikä kappale on tunnistettu ja tulossa poimintaan.

### 7.4.4 Kommunikaatio

Yhden tunnistettavan kappaleen kanssa voidaan käyttää kameravalmistajan luomaa URCapsia. Cobottisovellus oli usean kappaleen poimintaan, joten jouduttiin ohittamaan URcaps ja luomaan kommunikaatio sokettiyhteyden avulla.

Poimintapisteen muodostamisessa käytettiin kameran muuttujaa visor\_output\_data (), joka sisältää detectori-tiedon sekä antaa X-, Y- ja RZ-koordinaatit numeroina. Detectori-tiedon avulla voitiin tunnistaa poimittava kappale, minkä avulla ohjelma haki automaattisesti jokaiselle kappaleelle määritellyn pakkauspaikan. Kyseisen muuttujan tiedot eivät olleet suoraan yhteensopivia cobotille, vaan ne täytyi muuttaa oikeaan muotoon.

Alkuun tuli hakea muuttujasta tieto, kuinka monta merkkiä se sisältää. Merkkien määrä haettiin komennolla `str_len`. Komentoon kirjoitetaan mistä muuttujasta tietoa haetaan ja tuloksena saadaan muuttujan pituus. Esimerkissä 5 haetaan tieto, kuinka monta merkkiä muuttuja sisältää.

#### *ESIMERKKI 5. Muuttujan `visor_output_data` pituuden määrittäminen*

```
koko:=str_len(visor_output_data)
```

Globaalien muuttujien X-, Y- ja RZ-arvot haetaan komennolla `str_sub`. X- ja Y-arvot tulee jakaa 1 000 000, jotta poimintapiste olisi yhteen sopiva cobotin koordinaatistoon. RZ-arvo tulee jakaa 1 000 ja tämän jälkeen muuttaa asteista radianeiksi, jotta se soveltuu koordinaatistoon. Esimerkissä 6, Y:n arvo on haettu muuttujasta ja käännetty yhteensopivaksi cobotin koordinaatistoon.

#### *ESIMERKKI 6. Y-muuttujalle arvon hakeminen*

```
Y:=to_num(str_sub(visor_output_data,17,7))/1000000
```

Haasteena oli datassa olevien merkkien määrä. Merkkien määrä vaihteli 3:n ja 8:n välillä. Visor Vision -ohjelmalla pystyy määrittelemään output datassa olevien arvojen merkkijonojen pituuden. Pituudeksi tuli määrittää jokaisen muuttujan kohdalle oikea arvo. Mikäli muuttujan merkkimäärä oli vähemmän kuin seitsemän, ohjelma lisäsi numerojen perään tyhjän merkin.

Kun merkkien määrä ei ollut vakio, täytyi hakea tieto, kuinka monta merkkiä luetaan. Tieto haettiin `str_find` komennolla, jossa kerrotaan mistä muuttujasta ja mitä tietoa haetaan. Esimerkissä 7 näkyy, miten x-arvo haettiin muuttujasta ja käännetään yhteensopivaksi cobotin koordinaatistoon. Ensimmäisessä rivissä haetaan muuttujan pituus yhdeksänneistä merkistä eteenpäin, ja siitä luetaan seitsemän merkkiä. Toisella rivillä haetaan tieto, onko x:n arvossa tyhjiä merkkejä. Mikäli muuttujassa ei ole tyhjää merkkiä tulee sen arvoksi -1. Muussa tapauksessa arvoksi tulee merkkien määrä. X-arvo määritetään if lausekkeella, mikä on muodostettu kolmannesta rivistä eteenpäin.

### *ESIMERKKI 7. X-muuttujan muodostaminen*

```
x_string_nolla:=str_sub(visor_output_data,9,7)
x_pituus:=str_find(x_string_nolla," ")
If x_pituus=-1
X:=to_num(str_sub(visor_output_data,9,7))/1000000
Else
X:=to_num(str_sub(visor_output_data,9,x_pituus))/1000000
end
```

#### **7.4.5 Poimintapiste**

Ohjelmassa voidaan määrittää piste joksikin muuttujaksi. Esimerkissä 8 muodostetaan poimintapistemuuttuja. Pistettä käytettiin ohjelmassa poimintapisteenä.

### *ESIMERKKI 8. Poimintapisteen määrittäminen*

Poiminta =  $P[X,Y,Z,RX,RY,RZ]$

Muuttuja kokeiltiin määrittää ensin, että se hakisi kaikki muuttujat yhdellä komennolla, mutta ohjelma ei osannut poimia RZ-tietoa oikein. Poimintapiste tuli määritellä kahdella eri muuttujalla, jotka yhdistetään pose\_trans komennon avulla. Ensimmäiseen muuttujaan määritellään koordinaatiston X-, Y-, Z-, RX- ja RY-arvot. Toisessa muuttujassa määritellään ainoastaan RZ-arvo, jotta poimintapiste määryytyy oikein. Poimintapisteen Z-arvolle piti määritellä taso, joka oli asetettu kuljettimen pintaan. Z-arvon sai haettua muuttujalla, jossa haettiin kuljettimen pintaan muodostetun tason toinen alkio.

X-, Y- ja RZ-arvo tulevat visor\_output\_datasta. RX- ja RY-arvot ovat vakioita, jotka voidaan lukea, kun työkalu on kohtisuorassa kuljettimeen nähden. Mikäli RX- ja RY-arvot eivät ole vakioita lähestyy cobotti poimintapistettä aina eri suunnasta ja työkalu ei ole kohtisuorassa poimittavan kappaleen kanssa.

Esimerkissä 9 näkyy, miten lopullinen poimintapiste muodostettiin. RZ-muuttuja tuli olla negatiivinen, jotta työkalun kiertoliike saatiin minimoitua.

### *ESIMERKKI 9. Poimintapisteen muodostaminen pose trans komennon avulla*

```
pick_pos_1:=p[X,Y,Z,3.14,-0.028,0]
```

```
pick_pos_2:=p[0,0,0,0,0,-RZ]
```

```
poiminta:=pose_trans(pick_pos_1, pick_pos_2)
```

Poiminnan varmistamisen kannalta tuli määrittää lähestymispiste. Lähestymispiste asetettiin 50mm kappaleen yläpuolelle. Lähestymispiste muodostetaan kahdella eri muuttujalla. Ensimmäisessä muuttujassa määritellään haluttu lähestymiskorkeus poimintapisteen yläpuolelle. Toisessa muuttujassa oli poimintapisteen arvot. Tällöin cobotti lähestyy poimittavaa kappaletta aina samasta pisteestä.

### **7.5 Ulkomuodon tarkastaminen**

Toissijaisena tavoitteena oli ulkomuotojen sekä geometrian tarkkailu. Tarkkailu kokeiltiin toteuttaa blob sekä contour detectori tyypeillä. Kun kappaleen tunnistusprosenttia nosti riittävälle tasolle, niin kameran toiminta-aika hidastui liian suureksi. Tämän takia kappaleet kerkesivät mennä kuva-alan ulkopuolelle, ennen kuin kamera antoi cobotille käskyn pysäyttää kuljettimen. Kyseisellä kokoonpanolla ja työssä tutkittavien nimikkeiden määrällä geometrinen muotojen tarkkailu ei ole järkevää. Mikäli tutkittavia kappaleita olisi ollut yksi, olisi muotojen tarkkailu mahdollista toteuttaa contour detectorilla.

## 8 VAIHTOEHTOISET ROBOTIT

Tässä luvussa pohditaan, miten erityyppiset robotit olisivat soveltuneet cobottisolulle suunniteltuun poimintatehtävään. Lisäksi luvussa tutkitaan, mitä rajoitteita olisi tullut vastaan, jos solussa olisi ollut muu, kuin yhteistoimintarobotti. Vertailtavat robottimallit ovat yhteistoimintarobotti, kiertyvänivelinen robotti, Scara-robotti ja Delta-robotti.

### 8.1 Yhteistoimintarobotti

Vertailtaviin cobottien rajaamiseksi käytettiin ulottuvuutta ja hyötykuormaa. Ulottuvuuden minimiarvoksi määritettiin 900 mm ja hyötykuorman minimiarvoksi 5 kg. Hyötykuorman avulla voidaan laskea, kuinka suuria taakkoja cobotilla tai yleensä roboteilla voidaan käsitellä. Hyötykuormaa laskiessa tulee ottaa huomioon tarttuvan paino, joka vähennetään hyötykuormasta. Mikäli cobotin valmistaja ilmoittaa hyötykuormaksi 7 kg ja cobotin käyttämä työkalu painaa 2 kg, voidaan cobotilla käsitellä 5 kg:n painoisia taakkoja.

Cobotteja, joita vertailtiin ovat Omron TM 12, Fanuc Cr-7iA/L, Universal Robot UR 10e, Motoman HC10DT. Vertailun pohjana käytetään valmistajien antamia tietoja, jotka löytyivät cobottien teknisistä tiedoista. Kuvassa 9 on esitetty 6-akselisen käsivarsirobotin akselit. Taulukossa 2 näkyy eri cobottien ulottuvuus, hyötykuorma, eri akselien toimintasäteet, nopeudet sekä toistotarkkuus.



KUVA 9. 6-akselisen käsivarsirobotin akselit (15)

TAULUKKO 2. Cobottien vertailu (16; 17; 18; 19)

		Omron TM 12	Fanuc CR- 7iA/L	Universal Robot UR 10 e	Motoman HC10DT
	Ulottuvuus	1 300 mm	911 mm	1 300 mm	1 200 mm
	Hyötykuorma	12 kg	7 kg	10 kg	10 kg
	Toistotarkkuus	± 0,1 mm	± 0,01 mm	± 0,05 mm	± 0,1 mm
Liikematka	Akseli 1	270°	340°	360°	± 180°
	Akseli 2	180°	166°	360°	± 180°
	Akseli 3	166°	383°	360°	± 355°
	Akseli 4	180°	380°	360°	± 180°
	Akseli 5	180°	240°	360°	± 180°
	Akseli 5	270°	720°	360°	± 180°
Liikenopeus	Akseli 1	120 °/s		120 °/s	130 °/s
	Akseli 2	120 °/s		120 °/s	130 °/s
	Akseli 3	180 °/s		180 °/s	180 °/s
	Akseli 4	180 °/s		180 °/s	180 °/s
	Akseli 5	180 °/s		180 °/s	250 °/s
	Akseli 5	180 °/s		180 °/s	250 °/s

6-akselinen käsivarsirobotti koostuu nimensä mukaan kuudesta eri akselistä. Käsivarsirobottia voidaan verrata ihmisen käsivarteen. Osat voidaan myös nimetä käsivarren nimillä (20): seuraavasti:

- Akseli 1 on robotin alusta, joka mahdollistaa robotin liikkeet oikealta vasemmalle. Kyseisellä liikeradalla voidaan laajentaa työaluetta molemmin puolin käsivartta, sekä käsivarren taakse.
- Akseli 2 liikuttaa robotin alavartta eteen ja taaksepäin. Kutsutaan myös olkavarreksi.
- Akseli 3 nostaa ja laskee robotin ylempää vartta. Kutsutaan myös kyynärvareksi.
- Akseli 4 kiertää ylempää vartta.
- Akseli 5 nostaa ja laskee rannetta.
- Akseli 6 kiertää rannetta.

## **Yhteistoimintarobottien edut ja haitat**

Suunniteltuun ympäristöön yhteistoimintarobotti soveltuu hyvin, koska se voi työskennellä ihmisen kanssa samassa tilassa ilman suoja-aitoja. Cobottin viemä tila on pieni ja kulku kuljettimen molemmin puolin sijaitseviin oviin on mahdollista. Lisäksi cobotti voidaan liikuttaa halutessaan toisaalle, minkä ansiosta samalla käsivarrella voidaan hoitaa useita eri tehtävää.

Cobottin heikkoutena voidaan pitää liikenopeuksia, mutta kyseisessä solussa se ei koitunut ongelmaksi.

### **8.2 Kiertyvänivelinen robotti**

Kiertyvänivelinen robotti (kuva 10) koostuu yleensä kuudesta eri vapausasteesta.



*KUVA 10. 6-akselinen kiertyvänivel robotti (22)*

Kyseisessä robottirakenteessa liitoksia voi olla aina 10:een asti. Varret ovat kytkeyty toisiinsa pyörivillä nivelillä. Jokaista niveltä kutsutaan omaksi akseliksi, joiden avulla voidaan pyörittää varsia tai niillä saadaan lisää ulottuvuutta robotille. Teollisuudessa käytettävissä kiertyvänivelisissä roboteissa on yleensä neljä tai kuusi akselia. (21) Taulukossa 3 vertaillaan 6-akselisia kiertyvänivel robotteja. Vertailuun valittiin Kukan KR 12 R1810, ABB 2600-20/1.65, Yaskawan GP25 sekä Fanucin M-20iA/20M.



TAULUKKO 3. 6-akselisten kiertyvänivel robottien vartailu (23; 24; 25; 26)

		Kuka KR 12 R1810	ABB IRB 2600-20/1.65	Yaskawa GP25	Fanuc M- 20iA/20M
	Ulottuvuus	1 813 mm	1 650 mm	1 730 mm	1 813 mm
	Hyötykuorma	23,9 kg	20 kg	25 kg	20 kg
	Toistotark- kuus	± 0.04 mm	0.04 mm	± 0.06 mm	± 0.03 mm
Liikematka	Akseli 1	± 185°	±180°	±180°	370°
	Akseli 2	-185° to 65°	+155° to -95°	+155° to - 105°	260°
	Akseli 3	-138° to 175°	+75° to 180°	+160° to -86°	460,6°
	Akseli 4	±350 °	±400°	±200°	400°
	Akseli 5	±130°	±120°	±150°	280°
	Akseli 6	±350°	±400°	±455°	900°
Liikenopeus	Akseli 1	200 °/s	175 °/s	210 °/s	195 °/s
	Akseli 2	175 °/s	175 °/s	210 °/s	175 °/s
	Akseli 3	190 °/s	175 °/s	265 °/s	180 °/s
	Akseli 4	430 °/s	360 °/s	420 °/s	405 °/s
	Akseli 5	430 °/s	360 °/s	420 °/s	405 °/s
	Akseli 6	630 °/s	500 °/s	885 °/s	615 °/s

### Kiertyvänivelrobottien edut ja haitat.

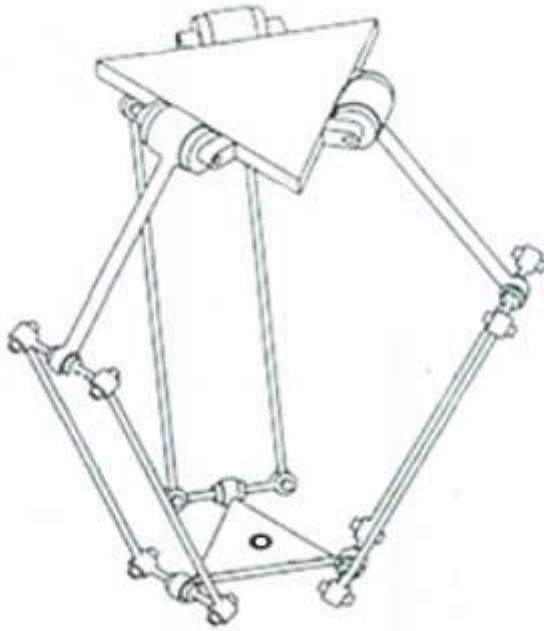
Kyseiseen sovellukseen kiertyvänivel robotin haittana on robottimallin vaatima turvallistaminen. Ihmisen pääsy robotin toiminta-alueelle tulee rajoittaa, joko fyysisillä rakenteilla, tai valoverhoilla. Valoverhojen aktivoituessa tulee robotin liikkeiden lakata täysin. Mikäli kiertyvänivelisen robotin haluaisi laittaa toimimaan kyseiseen tehtävään, tulisi laserleikkurin layoutti suunnitella uusiksi. Mikäli nykyiseen layouttiin sijoitetaan kiertyvänivelrobotti, kulku jätekuljettimen molemmin puolin sijaitseviin oviin estyisi täysin.

Kiertyvänivelisen robotin etuna yhteistoimintarobottiin on ulottuvuus, hyötykuorma sekä liikenopeudet.

### 8.3 Delta-robotti

Delta-robotin (kuva 11) rakenne on yksinkertainen ja perusajatus on suunnikkaiden käyttö. Delta-robotit koostuvat yleensä kolmesta raajasta. Raajojen yläpäät ovat kiinni alustassa, jossa on yksi moottori jokaista raajaa kohden. Raajan

alapäässä on kaksi rinnakkain sijoitettua vartta, jotka on kiinnitetty ala-alustaan. Ala-alusta liikkuu ainoastaan x-, y- ja z- suuntiin. Joidenkin valmistajien Delta-robotteihin on saatavissa neljäs akseli, jonka avulla työkalun kierto on myös mahdollista. Delta-robotit ovat teollisuusrobotteja ja niiden turvallistaminen tulee tehdä asianmukaisella tavalla. (27.)



*KUVA 11. Delta-robotin rakenne (28)*

Delta-robottien yleisimpiä käyttökohteita ovat poimi ja aseta -tyyppiset tehtävät, koska rakenteiden ansiosta liikkumisnopeudet ovat suuret. Yleensä Delta-robottia käytetään keveiden kappaleiden liikutteluun, 10 grammasta 1 000 grammaan. Toimintaympyrä Delta-roboteilla on yleensä noin 1 000 mm ja z-akselin toiminta korkeus on 200 mm. (29.)

Delta-robotteja valmistaa useampi eri valmistaja. Taulukossa 3 vertaillaan kolmen eri valmistajan robotteja. Vertailuun valittiin robotit, joiden hyötykuorma on vähintään 3 kg. Vertailussa verrataan hyötykuormaa, toimintasädettä, z-akselin suuntaista liikettä sekä toistotarkkuutta.

TAULUKKO 3. Delta-robottien vertailu (30; 31; 32)

	ABB IRB 360-3/1130	Yaskawa MPP3H	Kawasaki YF003N
Hyötykuorma	3 kg	3 kg	3 kg
Toimintasäde	1 130 mm	1 300 mm	1 300 mm
Z-akselin suuntainen liike	350 mm	600 mm	500 mm
Toistotarkkuus	± 0.1 mm	± 0.1 mm	± 0.1 mm

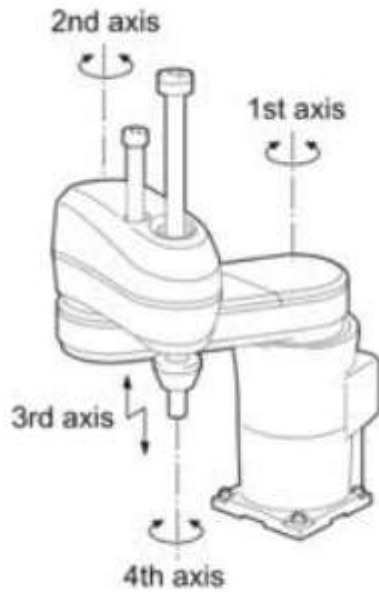
### Delta-robotin edut ja haitat

Delta-robotin etuina kyseisessä kohteessa voidaan pitää kappaleiden poiminta-aikaa. Lisäksi Delta-robotit tulee yleensä sijoittaa kohtisuoraan kuljettimen kanssa, joten se vie fyysisesti vähän tilaa.

Delta-robotin haittoina yhteistoimintarobottiin on robotin toiminta-alueen turvallis-taminen. Delta-robotin toiminta-alue tulee rajata siten, että ihminen ei pääse sen toiminta-alueelle, kun robotti on toiminnassa. Lisäksi haittana on z-akselin suun-tainen liike. Kappaleiden pakkaaminen käytössä oleviin laatikoihin voi olla haas-tavaa, ellei jopa mahdotonta.

### 8.4 Scara-robotti

Scara-robotti (kuva 12) on lyhenne sanoista Selective Compliance Assembly Ro-bot Arm, joka vapaasti suomennettuna tarkoittaa tiettyyn suuntaan joustavaa ko-koonpanorobottia. Scara-robotit ovat 4-akselisia, joiden liikkeet ovat verrattavissa ihmisen käsivarren liikkeisiin siinä suhteessa, että nivelten avulla käsivarsi voi liikkua pysty- ja vaakasuoraan. Käsivarren liikkeet X- ja Y-akselin suhteen toteu-tetaan kolmella kiertonivelellä ja Z-akselin liikkeet toteutetaan yhdellä lineaa-rinivelellä. Scara-robotilla voidaan toteuttaa ranteen pyörimisliike, mutta sen kal-listaminen ei ole mahdollista. (33.)



KUVA 12. Scara-robotin havainnekuva (34)

Taulukossa 4 vertaillaan eri valmistajien Scara-robotteja. Vertailuun valittiin robotit, joiden hyötykuorma on maksimissaan 6 kg. Vertailussa verrataan hyötykuormaa, toimintasädettä, iskunpituutta sekä toistotarkkuutta eri akselleilla.

TAULUKKO 4. Scara-Robotin vertailu (35; 36; 37, s. 14)

	FANUC SR-6iA	ABB IRB 910SC - 3/065	EPSON G6-65x
Hyötykuorma	6 kg	6 kg	6 kg
Ulottuvuus	650 mm	650 mm	650 mm
Iskunpituus	210 mm	180 mm	180 mm
Toisto- tarkkus	Akselit 1 ja 2	±0.01 mm	±0.015 mm
	Akseli 3	±0.01 mm	±0.01 mm
	Akseli 4	±0.004 °	±0.005 °

### Scara-robotin edut ja haitat

Scara-robotin etuina kyseisessä kohteessa voidaan pitää kappaleiden poiminta-aikaa. Scara-robotin liikkeet verrattuna yhteistoimintarobottiin ja käsivarsirobottiin ovat todella nopeita.

Scara-robotin haittoina verrattuna yhteistoimintarobottiin on robotin toiminta-alueen turvallistaminen. Robotin toiminta-alue tulee rajata siten, ettei ihminen pääse sen toiminta-alueelle. Lisäksi haittana on iskun pituus, jonka takia pakkaaminen käytössä oleviin laatikoihin on hyvin haasteellista ja todennäköisesti mahdotonta. Myös ulottuvuus olisi tuonut haasteita, miten saadaan poimittavat kappaleet virtaamaan riittävällä nopeudella eteenpäin.

## 9 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin yhteistoimintarobotiikkasolu. Solun tuli poimia hihnalta ohutlevyosia, jotka tulevat ulos laserleikkurilta. Kuljettimelta tuli poimittavien kappaleiden lisäksi myös jätepaloja, jotka tuli päästää poiminnan läpi jäteastiaan. Tämän takia työn olennaisin osa oli toimivan konenäköjärjestelmän luominen cobotin avuksi. Työ tehtiin yhteistyössä yrityksen kanssa, jonka tiloissa sovellus koekäytettiin käytännössä.

Alkuun suunniteltiin cobottisolun rakennetta. Työssä mietittiin, miten sijoittaa pakkaustaso ja cobotti kuljettimeen nähden niin, että levyleikkurin operaattorille jäisi riittävästi tilaa työskennellä. Tämän jälkeen tehtiin vaatimuslista, jossa selvisi, mitä vaatimuksia solun tulisi täyttää. Solun rakennetta suunniteltaessa oli kaksi vaihtoehtoa. Ensimmäisessä vaihtoehdossa cobotti oli sijoitettu roikkumaan kuljettimen päälle ja pakkaustaso kuljettimen perään. Mikäli cobotti olisi laitettu roikkumaan, haasteeksi olisi tullut riittävän ulottuvuuden saavuttaminen. Riittävän ulottuvuuden saavuttamiseksi olisi cobotin ja kuljettimen väliin jäänyt liian vähän tilaa, jolloin käsivarren osa olisi ottanut kuljettimeen kiinni eikä toiminta olisi onnistunut. Mikäli cobotin olisi sijoittanut riittävän korkealle toivotun toimivuuden kannalta, olisi pakkaustaso jäänyt liian pieneksi. Toisessa vaihtoehdossa sijoitettiin pakkaustaso kuljettimen päähän ja cobotti asetettiin pakkaustasolle. Tällä saavutettiin riittävä ulottuvuus ja riittävästi pakkauspaikkoja, jouhevan toiminnan saavuttamiseksi.

Työn aikana pohdittiin myös mahdollista poiminta-alustaa, joka olisi tullut kuljettimen päähän. Cobotti olisi poiminut kappaleet alustasta omaan tahtiin. Tämä olisi mahdollistanut kuljettimen yhtäjaksoisen pyörimisen, mikä olisi todennäköisesti pidentänyt moottorin käyttöikä.

Poiminta-alusta olisi vähentänyt operaattorin työskentelytilaa, joka oli valmiiksi jo niukka. Alustan suunnittelu ja koekäyttö olisi vaatinut paljon aikaa, jotta luotettavuus olisi saatu riittävälle tasolle. Tämän takia päädyttiin ratkaisuun, että kuljetin pysäytetään, kun poimittava kappale tulee kameran kuva-alalle.

Solun toimivuutta kokeiltiin ammattikorkeakoulun tiloissa. Kokeilun alussa poiminta oli tarkoitus toteuttaa liikkuvalla kuljettimella. Koekäytön aikana huomattiin, ettei tämä ole järkevää. Poimittavia kappaleita olisi voinut päätyä jäteastiaan, kun cobotti on viemässä edellistä kappaletta pakkauspaikalle. Tämän seurauksena päädyttiin kuljettimen pysäyttämiseen, kun poimittava kappale tulee kuva-alueelle. Ammattikorkeakoulun tiloissa selviteltiin myös, mikä konenäkökamera soveltuisi kyseiseen soluun parhaiten

Eri kameroita kokeiltaessa alkuun tutkittiin, miten kamera soveltuu yhden kappaleen tunnistamiseen. Tutkimuksen alussa käytössä oli kolme eri kameraa, joista yksi oli Robotigin RWC-rannekamera ja kaksi muuta erillistä kameraa: Sick inspector pim 60 ja Sensopart Visor V20. Erilliset kamerat sijoitettiin kiinteään telineeseen hihnan päälle.

Rannekamera hylättiin hyvin varhaisessa vaiheessa. Kuljettimen päälle olisi pitänyt sijoittaa toinen kamera kuljettimen valvontaa varten tai kuljetin olisi pitänyt anturoida. Kiinteä kamera antaisi tiedon, milloin poimittava kappale olisi poimintapisteessä, minkä jälkeen antaisi käskyn kuljettimen pysäyttämiseen. Anturoinnin todennäköisin seuraus olisi ollut, että laserleikkurin tahtiaikaa olisi pitänyt hidastaa, mutta se on aina huono vaihtoehto. Kappaleet olisivat poimintaan tullessa voineet olla päällekkäin, minkä seurauksena kappaleisiin olisi syntynyt mahdollisesti naarmuja.

Kuljettimen päällä olevat kamerat toimivat hyvin silloin, kun poimittavia nimikkeitä oli vain yksi. Kun nimikkeitä oli useita, toisen kameravalmistajan ohjelmassa tunnistettavan geometrian tarkkailun vaihtaminen oli haasteellista. Kun poimittava kappale vaihtui, olisi laserleikkurin operaattorin pitänyt käydä vaihtamassa poimittavan kappaleen ohjelma cobotin käyttölaitteelta. Solun jouhevan toiminnan kannalta olennaista oli, ettei operaattorin tule tehdä toimenpiteitä poimittavan kappaleen vaihtuessa. Tämän seurauksena alettiin tutkimaan kolmatta kameraa, josta huomattiin, että kappaleen vaihdon voisi toteuttaa ohjelman sisällä. Kamera, johon päädyttiin, oli Sensopartin Visor v20.

Ammattikorkeakoulun tiloissa koekäyttöä tehdessä valaistukseen ei kiinnitetty riittävä huomiota. Tämä kävi ilmi, kun solua otettiin käyttöön tuotantotiloissa.

Valaistuksen kanssa olisi pitänyt tehdä paljon lisää kokeita siitä, mikä olisi lisävalon paras mahdollinen tulokulma sekä värisävy alumiinikappaleelle. Tuotantotiloissa valaistusongelma ratkaistiin led-rengasvalolla, jonka värisävyä ja valotehoa voitiin säätää portaattomasti. Myös tuotantotiloja kartoitettaessa jäi huomiotta kokonaan kattoikkunat, jotka sijoituivat suoraan poimintapisteen päälle. Kattoikkunoista tullut luonnonvalo aiheutti suuria haasteita. Haasteet ratkaistiin asentamalla kattoikkunoihin opal-muovit, jotka tasoittivat valaistusta riittävästi.

Yksi tutkittava asia voisi olla selvittää, miten onnistuisi liikkuvalla kuljettimella poimiminen sekä pysäytetyltä kuljettimella poimimisen yhdistäminen. Kun kuljettimelle tulevien kappaleiden tahti aika olisi riittävä, poiminta tapahtuisi liikkuvalla kuljettimella. Kun tahti aika kiihtyy, eikä cobotti ehdi poimimaan kaikkea liikkuvalla kuljettimella, kuljetin pysäytettäisiin tarvittaessa.



## LÄHTEET

1. Mäenpää, Topi – Niskanen, Matti – Pyökkö, Heikki – Roponen, Seppo – Silven, Olli 2008. Konenäön hyödyntämismahdollisuudet teiden ylläpidossa ja hoidossa. Tiehallinnon selvityksiä 26/2008. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139417/4622tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y> 23.9.2019
2. Konenäkö robotin ohjauksessa. Automation Technology Laboratory. Department of automation and systems technology. Helsinki University of Technology. Saatavissa: [http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c\\_teria.pdf.%](http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teria.pdf.%). Hakupäivä 24.9.2019.
3. Introduction to machine vision. 2019. Cognex Corporation. Linkki Download Whitepaper. Saatavissa: <https://www.cognex.com/resources/white-papers-articles/whitepaperandarticlemain?event=f6c6ef16-20ec-4564-bc74-7c42a9a4900a> (vaatii kirjautumisen). Hakupäivä 9.10.2019.
4. Selection of the appropriate camera. 2020. Vision doctor. Saatavissa: <https://www.vision-doctor.com/en/selection-of-perfect-camera.html>. Hakupäivä 25.3.2020.
5. Martin, Daryl. Basic Lighting Techniques for Machine Vision. Advanced Illumination. Saatavissa: [https://www.visiononline.org/userAssets/aiaUploads/file/CVP\\_Beginning-Lighting-for-Machine-Vision\\_Daryl-Martin.pdf](https://www.visiononline.org/userAssets/aiaUploads/file/CVP_Beginning-Lighting-for-Machine-Vision_Daryl-Martin.pdf). Hakupäivä 5.9.2019.
6. Roehl, Cory 2017. Know your machine: industrial robots vs. cobots. Universal Robots. Saatavissa: <https://blog.universal-robots.com/know-your-machine-industrial-robots-vs.-cobots>. Hakupäivä 24.9.2019.
7. Gonzalez, Carlos 2018. 7 Common Applications for Cobots. Machine Design. Saatavissa: <https://www.machinedesign.com/motion-control/7-common-applications-cobots>. Hakupäivä 26.9.2019.

8. Bélanger-Barrette, Mathieu 2016. Robotiq. Collaborative robots risk assessment, an introduction. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/safety-collaborative-robots-risk-assessment> linkki Download now (vaatii kirjautumisen). Hakupäivä 20.9.2019.
9. Bélanger-Barrette, Mathieu 2015. Robotiq. What Does Collaborative Robot Mean. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/what-does-collaborative-robot-mean>. Hakupäivä 20.9.2019.
10. The URScript Programming Language. 2019. Universal Robots. Ladattavissa: <https://www.universal-robots.com/download/?option=53317#section53124>. Hakupäivä 20.6.2019.
11. SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
12. SFS-ISO/TR 14121-2. 2013. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
13. SFS-EN ISO 10218-1. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
14. SFS-EN ISO 13849-1. 2015. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
15. Bélanger-Barrette, Mathieu 2014. Robotiq. How to Choose the Right Industrial Robot. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/bid/70408/How-to-Choose-the-Right-Industrial-Robot>. Hakupäivä 4.2.2020.
16. TM Series. 2020. Omron Industrial Automation. Saatavissa: <http://www.ia.omron.com/products/family/3739/specification.html>. Hakupäivä 4.2.2020.

17. FANUC Robot CR-4iA, 7iA, 7iA/L Fanuc Robot CR-14iA/L. 2019. FANUC corporation. Ladattavissa: [https://www.fanuc.co.jp/en/product/robot/f\\_r\\_collabo.html](https://www.fanuc.co.jp/en/product/robot/f_r_collabo.html). Hakupäivä 4.2.2020.
18. UR10e technical details. 2019. Universal robots. Ladattavissa: <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/> (vaatii kirjautumisen). Hakupäivä 4.2.2020.
19. MOTOMAN HC10, HC10DT. 2019. Yaskawa. Ladattavissa: <https://www.yaskawa.eu.com/en/products/robotics/motoman-robots/productdetail/product/hc10/>. Hakupäivä 4.2.2020.
20. 6-Axis Robots Articulated Robots. 2020. Robotisc Automation Systems. Saatavissa: <https://www.roboticautomationsystems.com/6-axis-robots.html>. Hakupäivä 8.2.2020.
21. What Are The Main Types Of Robots. 2020. RobotWorx. Saatavissa: <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-types-of-robots>. Hakupäivä 7.3.2020.
22. Detailed information for IRB 2600. 2020. ABB. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/3HAC020536-018/irb-2600>. Hakupäivä 7.3.2020.
23. Kuka KR 20 R1810. 2019. KUKA. Ladattavissa: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-cybertech>. Hakupäivä 8.2.2020.
24. Robotics IRB 2600. 2019. ABB. Ladattavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-2600/irb-2600-data>. Hakupäivä 8.2.2020.
25. GP25 Efficient, High-Speed Robot. 2019. Yaskawa America. Ladattavissa: <https://www.yaskawa.com/products/robotics/robots-with-iec/articulated-robots/gp25>. Hakupäivä 8.2.2020.
26. M-20iA/20M. 2019. FANUC. Ladattavissa: <https://www.fanuc.eu/fi/en/robots/robot-filter-page/m-20-series/m-20ia->

- 20m?returnurl=https%3A%2F%2Fwww.fanuc.eu%2Ffi%2Fen%2Fro-  
bots%2Frobot-filter-  
page%23%3Ft%3Dc1494f783e1f441a8472ab688bf9ca08%2C1fc42cb423f2  
445bb0da1ea4a885389a. Hakupäivä 8.2.2020.
27. Illian, Bonev. 2001. Affordable Academic Parallel Robots. Saatavissa: <http://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html>. Hakupäivä 15.2.2020.
28. Danielle, Collins. 2016. What do delta robots have in common with spiders. Saatavissa: <https://www.linearmotiontips.com/what-do-delta-robots-have-in-common-with-spiders/>. Hakupäivä 17.2.2020.
29. Viera, Poppeová – Juraj, Uriček – Vladimir, Bulej – Peter, Šindler. 2011. Delta robots – robots for high speed manipulation. Ladattavissa: [https://www.researchgate.net/publication/298131573\\_Delta\\_robots\\_-\\_robots\\_for\\_high\\_speed\\_manipulation](https://www.researchgate.net/publication/298131573_Delta_robots_-_robots_for_high_speed_manipulation). Hakupäivä 17.2.2020.
30. Robotics IRB 360 FlexPicker. 2017. ABB. Ladattavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-360/irb-360-data>. Hakupäivä 22.2.2020.
31. MPP3H MPP3S. 2015. YASKAWA. Ladattavissa: <https://www.yaskawa.com/products/robotics/robots-with-iec/delta-robots/mpp3h>. Hakupäivä 22.2.2020.
32. Kawasaki Robot Y series. 2019. Kawasaki Robot. Ladattavissa: <https://robotics.kawasaki.com/en1/products/robots/pick-place/YF003N/>. Hakupäivä 25.2.2020.
33. Scara. 2006. Robot hall of fame. Saatavissa: <http://www.robothalloffame.org/inductees/06inductees/Scara.html>. Hakupäivä 25.2.2020.
34. Bouchard, Samuel. 2016. Robotiq. Industrial robots What are the different types. Saatavissa: <https://blog.robotiq.com/bid/63528/what-are-the-different-types-of-industrial-robots>. Hakupäivä 24.2.2020.

35. SR-12iA Product Information. 2020. FANUC. Ladattavissa: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/Scara>. Hakupäivä 1.3.2020.
36. Robotics IRB 910SC Scara. 2020. Ladattavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-910sc/irb-910sc-data>. Hakupäivä 1.3.2020.
37. Epson Robots Product Specifications Catalog. 2017. Epson. Ladattaviss: [https://epson.com/Support/Robots/SCARA-Robots/SCARA-G-Series/Epson-G10-SCARA-Robots/s/SPT\\_RG10-651ST13#manuals](https://epson.com/Support/Robots/SCARA-Robots/SCARA-G-Series/Epson-G10-SCARA-Robots/s/SPT_RG10-651ST13#manuals). Hakupäivä 1.3.2020.