

Oskari Kerttula

## **AVAINVALMISTUSPROSESSIN AUTOMATISOINTI**

# **AVAINVALMISTUSPROSESSIN AUTOMATISOINTI**

Oskari Kerttula  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, koneautomaatio

---

Tekijä: Oskari Kerttula

Opinnäytetyön nimi suomeksi: Avainvalmistusprosessin automatisointi

Opinnäytetyön nimi englanniksi: Automation of Key Manufacturing Process

Työn ohjaaja: Juha Juntila

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2021

Sivumäärä: 67

---

Opinnäytetyö tehtiin ILOQ Oy:lle Oulussa 2020 - 2021. Työssä suunniteltiin ja testattiin robottisoluja ja sen mahdollisuuksia avainvalmistusprosessissa. Tavoitteena oli selvittää robotin käyttömahdollisuuksia avainvalmistusprosessissa ja saada aikaan automatisoitu tai osin automatisoitu prosessi. Prosessissa avaimet saapuvat valmistuksesta, minkä jälkeen avaimille tehdään toimintatestaukset ja loput prosessin työvaiheet. Testauksien jälkeen varmistutaan avaimen toimivuudesta ja avain pakataan myyntipakkaukseen. Tässä työssä keskityttiin robotin ohjaukseen ja muu automaatio jätettiin pois.

Työssä tutustuttiin eri robottityyppeihin ja niiden liikeratoihin sekä soveltuvuuksiin. Työhön soveltuvat robottityypit esiteltiin. Prosessi jaettiin kuudeksi osatoiminnoksi, jolloin voitiin keskittyä yhteen prosessin vaiheeseen kerrallaan. Osatoiminnot olivat avaimen poimiminen avainpaletista, NFC-testin tekeminen, kontaktilangan testaus, ohjelmiston päivittäminen, tunnistemerkintä ja myyntipakkaukseen pakkaaminen. Osatoiminnot yhdistettiin ohjelmakokonaisuudeksi ja ohjelmakokonaisuuden toimintaa testattiin. Lisäksi suunniteltiin tarvittavia apulaitteita, kuten avainjigejä, tarttujan kynsiä ja muita solun vaatimia apulaitteita. Testausvaiheessa käytetyt tarvikkeet suunniteltiin ja 3D-tulostettiin prototyypeiksi.

Lopputuloksissa tuotiin ilmi robotin soveltuminen avainvalmistusprosessiin ja sen tuomat edut ja haasteet sekä vaatimukset. Tuloksena voidaan myös esittää robotin olevan soveltuva avainvalmistusprosessiin tietyin muutoksin, joita robottisolu vaatii toimiakseen. Vaadittavia muutoksia ovat muun muassa jigiratkaisut ja avainten sijoittelu prosessissa.

---

Asiasanat: robotti, ohjelmointi, tarttuja, konenäkö

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme of Mechanical Engineering, Machine Automation

---

Author: Oskari Kerttula  
Title of thesis: Automation Key Manufacturing Process  
Supervisor: Juha Junntila  
Term and year when the thesis was submitted: spring 2021  
Pages: 67

---

The thesis was commissioned by iLOQ Oy in Oulu in 2020-2021. The subject of the thesis was to test whether it would be possible to use a robot in a key manufacturing process. The goal was to provide an automated or partially automated process for key manufacturing. In the process, the keys arrived from production in a key palette to a robot cell, after which the keys were subjected to an NFC test and a contact wire test. After the tests, the functionality of the keys was verified, and the keys were laser-tagged. Finally, a software update was carried out, and the keys were packed in a sales package. The target was also to document the function of the robot cell and the changes it brought. This thesis focused on robot control, and other automation was secondary.

The work compares five different robot types and introduces the trajectories and applications of different robots at the theoretical level. In addition, the necessary auxiliary devices, such as jigs, gripping devices, and other material required by the cell were designed and reviewed. The accessories used in the testing phase were designed and 3D printed as prototypes.

The results show the suitability of the robot for the key manufacturing process and benefits and challenges it brings, as well as the requirements of the auxiliary devices. As a result, the robot can also be shown to be suitable for the key manufacturing process with certain changes required by the robot cell function, including jig solutions and key placement in the process.

---

Keywords: Robot programming, palletizing, gripper devices, machine vision

## **ALKULAUSE**

Opinnäytetyö tehtiin iLOQ Oy:lle Oulussa. Opinnäytetyön suunnittelu aloitettiin syksyllä 2020 syyslukukauden alkupuolella ja työ toteutettiin keväällä 2021. Työn yhteyshenkilönä ja ohjaajana toimi yrityksen puolelta projektipäällikkö Timo Karhu. Oulun ammattikorkeakoulun puolelta ohjaajana toimi lehtori Juha Junntila.

Kiitos kaikille opinnäytetyön parissa toimineille henkilöille. Suurkiitos ohjaajille hyvästä asiantuntemuksesta ja ohjauksesta. Erityiskiitos Oulun ammattikorkeakoulun automaatiolaboratorion henkilökunnalle kaikista neuvoista. Kiitos myös vanhemmilleni ja siskolleni tuesta ja kannustuksesta.

Kiitos iLOQ Oy:lle mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyö.

Oulussa 31.5.2021

Oskari Kerttula

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
1.1 iLOQ Oy	9
1.2 Tavoitteet	10
2 TEOLLISUUSROBOTIT	11
2.1 Robotin rakenne	12
2.2 Robotin koordinaatisto	13
2.3 Robotin vapausasteet	14
2.4 Robottityypit	15
2.4.1 SCARA-robotti	15
2.4.2 Sylinterirobotti	16
2.4.3 Käsivarsirobotti	17
2.4.4 Karteesinen robotti	18
2.4.5 Rinnakkaisrakenteinen robotti	19
2.5 Robottisolu	20
3 TYÖN VAIHEISTUS	22
4 TYÖHÖN SOVELTUVAT ROBOTTITYYPIT	24
5 TYÖVÄLINEISTÖ	26
6 LISÄOSIEN SUUNNITTELU	27
6.1 Kappaleeseen tarttuminen	27
6.2 Kohdistimen suunnittelu	32
6.3 Tunnistemerkinä-jigi	34
7 ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU JA TESTAUS	36
7.1.1 Avaimen NFC-testi ja ohjelmistopäivitys	36
7.1.2 Avaimen kontaktilankatesti	39
7.1.3 Avaimen tunnistemerkinä	42
7.1.4 Avaimen pakkaaminen	45

7.2 Kokonaisuuden yhdistäminen ja testaus	53
8 JATKOKEHITYSIDEAT	58
8.1 Avainpaletti	58
8.2 NFC-testikortti	58
8.3 Kontaktilanka-testi	58
8.4 Jigien liikuttelu ja palletointi	59
8.5 Myyntipakkaus ja siihen pakkaaminen	59
8.6 Tarttujan kynnet	60
8.7 Ohjelmointi	60
9 YHTEENVETO	61
LÄHTEET	64

## SANASTO

avainaukko	yksi kuudesta myyntipakkauksen avainpaikoista
Base	robotin kiinnityspiste alustaan
BeforeStart	robotin ohjelmaan luotava osio, jonka robotti suorittaa ennen varsinaisen ohjelman aloitusta
Depalletizing	Universal Robots -robotin toiminto: pois pakkaaminen tietyssä järjestyksessä
integrointi	robotin ja toimilaitteiden yhdistäminen
kollaboratiivinen robotti	yhteistoiminnallinen robotti, joka kykenee toimimaan yhdessä ihmisen kanssa
kynnet	tarttujaan asennetut leuat, joilla itse tartunta tapahtuu
Loop	ohjelmassa tapahtuva silmukkakomento, jossa toistetaan tiettyä osaa määrityksen mukaisesti
Palletizing	Universal Robots -robotin toiminto: lajittelu tai pakkaaminen järjestyksessä
palletointi	esineiden lajittelu tai pakkaaminen järjestyksessä
kuvanottopiste	konenäkökameran kuvauspiste robotin koordinaatistossa
tarttuja	robotin tartuntalaippaan sijoitettava laite, joka mahdollistaa esineisiin tarttumisen
teollisuusrobotti	teollisuudessa käytettävä ei kollaboratiivinen robotti
tunnistusarvo	konenäkökameran tunnistuspisteiden arvo
paikoituspiste	robotin koordinaatistoon määritettävä paikka



# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä suunnitellaan robottisolun toimintaa ja testataan oppilaitokselta löytyvällä kalustolla konseptin toimintaa. Työn tilaajana toimii iLOQ Oy ja tavoitteena on tutkia robotiikan mahdollisuuksia avainvalmistusprosessissa ja selvittää tarvittavat muutokset prosessissa. Avaimet saapuvat valusta raakavalmisteina avainpaletilla, minkä jälkeen avaimille suoritetaan NFC-testi (Near Field Communication, lyhyen matkan langaton yhteys). NFC-testissä testataan avaimen yhteyttä lukulaitteeseen, minkä jälkeen avaimille tehdään kontaktilankatesti. Kontaktilankatestissä avaimista löytyvän johtimen toiminta testataan, jolloin varmistutaan avaimen toimivuudesta lukkopesän kanssa. Näiden työvaiheiden jälkeen avaimiin merkitään sarjanumerot laserilla niiden yksilöimistä varten. Viimeisiksi vaiheiksi jää ohjelmistopäivitys ja avaimien pakkaus myyntipakkaukseen.

iLOQ:n valmistamat älykkäät lukitusjärjestelmät sisältävät erilaisia älyavaimia ja lukkolaitteita. Työssä keskitytään K10S.3-sarjan avaimien toimintatestauksen ja valmistuksen automatisointiin. Työssä käytettiin myös K5-sarjan avaimia, joiden valmistukseen työssä tähdätään.

Työssä käytettävät K10S.3-sarjan avaimet ovat mekaanisesti identtisiä ja pääsyoikeudet ohjelmoidaan avaimiin erikseen. Avaimet toimivat ilman varsinaista virtalähdettä. Avaimen runko on valmistettu ruostumattomasta teräksestä ja muovisen kahvaosan sisälle on valettu avaimen tarvitsema elektroniikka. Avaimet ovat myös iskun- ja vedenkestäviä. Kulkuoikeuksia voidaan ohjelmoida asiakkaan toiveiden mukaan ja muokata tarpeen tullen. Avaimista löytyvä NFC-siru mahdollistaa avaimien käyttämisen kulkukortin tavoin ja kontaktilanka sirun lukemisen virtapiirin kautta elektromeekaanista lukkoa käytettäessä.

(1.)

## 1.1 iLOQ Oy

iLOQ Oy on vuonna 2003 perustettu yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Oulussa. Yritys toimii Suomen lisäksi Ruotsissa, Tanskassa, Norjassa, Saksassa, Hollannissa ja Espanjassa. Lisäksi iLOQ on avannut uudet toimipisteet Kanadaan ja Iso-Britanniaan. iLOQ Oy tarjoaa älykkäitä lukitus- ja kulunhallinnan kokonaisuuksia yksittäisestä rakennuksesta aina isoihin kiinteistökokonaisuuksiin. iLOQ Oy:n tarjoamat tuotteet korvaavat perinteiset

mekaaniset lukitusjärjestelmät nykyaikaisilla älykkäillä järjestelmillä, jotka helpottavat ja parantavat pääsyoikeuksien jakamista sekä hallintaa. (2.)

## **1.2 Tavoitteet**

Työn päätavoitteena on suunnitella, dokumentoida ja testata, onko robotin käyttäminen avainvalmistusprosessissa mahdollista ja mitä se vaatii toimiakseen. Työssä vertaillaan eri robottityyppejä ja niiden soveltuvuuksia prosessiin. Jokainen työvaihe tutkitaan ja testataan erikseen ja perehdytään tarvittaviin apuvälineisiin sekä haasteisiin, joita robotin yhdistäminen prosessiin tuo tai voisi tuoda tulevaisuudessa. Lopuksi työvaiheet yhdistetään kokonaisuudeksi ja työkokonaisuutta testataan. Robottisolulla saadaan tehostettua tuotantoa ja parannettua laatua, minkä seurauksena voidaan vapauttaa resursseja muihin tehtäviin sekä parannettua työvaiheiden ergonomiaa.

## 2 TEOLLISUUSROBOTIT

Teollisuusrobotilla tarkoitetaan lähtökohtaisesti tietokoneohjattuja työkappaleita tai työvälineitä käsitteleviä, yleiskäyttöisiä koneita. Teollisuusrobotilla on useita määritelmiä riippuen lähteestä. Esimerkiksi ISO 8373:2012 -standardin mukaan robotin määritelmänä voidaan pitää (3, luku 2)

- kykyä suorittaa tehtäviä itsenäisesti ilman ihmisen puuttumista
- mahdollisuutta uudelleen ohjelmointiin ja ohjelmamuutoksiin
- kykyä liikkua kolmeen tai useampaan suuntaan ja jossa tietty osa robotista liikkuu ympäristössä tehtävien suorittamiseksi
- mahdollisuutta sovittaa eri käyttötarkoitukseen fyysisin muutoksin.

Yleisesti robotilla viitataan kuitenkin mekaaniseen laitteeseen, joka ohjelman perusteella kykenee fyysisiin suorituksiin ja on uudelleen ohjelmoitavissa eri käyttötarkoitukseen. Robotissa täytyy olla vähintään kolme liikeakselia, jotta sitä voidaan kutsua robotiksi. Robotti ohjelmoidaan liikkumaan ennalta määrättyjä liikeratoja pitkin paikoituspisteiden välillä sekä tekemään tarvittavat suoritteet samalla tai erikseen. Robotin liikehdintä tapahtuu edellä mainittujen kolmen tai useamman nivelen varassa, jotka liikuttavat robottia. (3.) Robottiin voidaan myös kytkeä erilaisia antureita, jolloin robotti kykenee aistimaan ympäristöä ja ympäristön muutoksia, jolloin robotti muokkaa saadun informaation mukaan.

Robotin käyttöönottamisen etuina tuotannossa voidaan pitää (4)

- robotin parempaa reagointia tuotannon muutoksiin
- sietokykyä kestää tuotannon huippuja ja prosessivirheitä
- energia- ja resurssitehokkuutta
- tuottavuutta ja työntekijöiden työnlaadun parantamista
- toiminta- ja pääomakustannusten alentamista
- tuotteiden laadun parantamista
- tuotannon kasvattamista
- tilan säästämistä.

## **2.1 Robotin rakenne**

Puhuttaessa robotista, sillä yleensä tarkoitetaan robotin mekaanista rakennetta. Robotti kuitenkin koostuu viidestä pääkomponenteista, joita ilman robotti ei kykene liikkumaan.

### **Manipulaattori**

Manipulaattorilla tarkoitetaan robotin liikkuvaa osaa, eli liikkuvaa mekaanista rakennetta (5). Manipulaattori koostuu useista liitoksista ja nivelistä, joiden avulla robotin liikkeet tapahtuvat (5). Robotin nivelien asennot mitataan antureilla. Robotti on pelkkä manipulaattori, jos se ei tiedosta niveliensä asentoja. (6).

### **Työkalulaippa**

Robotti on kiinnitetty alkupäästä kiinteään tai liikkuvaan alustaan. Alustaa kutsutaan baseksi. Toisessa päässä robottia sijaitsee työkalun kiinnityskohta, mihin kiinnitetään halutut työkalut. Työkalun kiinnityspistettä kutsutaan työkalulaipaksi. Työkalulaipat ovat yleensä standardisoituja, jolloin niissä on standardien mukaiset kiinnitysreiät ja mitat. Robotin työskentely tapahtuu liikuttamalla työkalulaippaa haluttuihin paikoituspisteisiin ja käyttämällä työkalua. (5.)

### **Toimilaitteet**

Robotin tarvittavat liikkeet tapahtuvat moottoreiden voimin. Moottorit liikuttavat robotin liikkeakseleita ja niiden voimanlähteenä voidaan käyttää sähköä, paineilmaa tai hydraulikkaa. (5.)

### **Ohjainlaite**

Digitaalinen tietokone ohjaa robotin toimintaa. Ohjaimen avulla robotti pystyy suorittamaan määrättyt tehtävät. Ohjain ohjaa manipulaattorin ja työkalun liikkeitä ja toisin sanoen ohjaa robotin liikkeitä. Se myös suorittaa laskentaa robotin liikeratojen tuottamiseksi. (5.)

### **Anturit**

Anturit tuottavat robotin ohjaimelle tarvittavia tietoja, joiden perusteella ohjain kykenee ohjaamaan robottia. Toisin sanoen robotin ohjain ei voi tehdä mitään, ellei ohjaimella ole

tietoa robotin sen hetkisestä tilasta. Anturit ovat siis mittalaitteita, jotka mittaavat mitattavia arvoja. Mitattavia arvoja ovat muun muassa sijainti, nopeus, voima, vääntömomentti, etäisyys ja lämpötila. (5.)

## 2.2 Robotin koordinaatisto

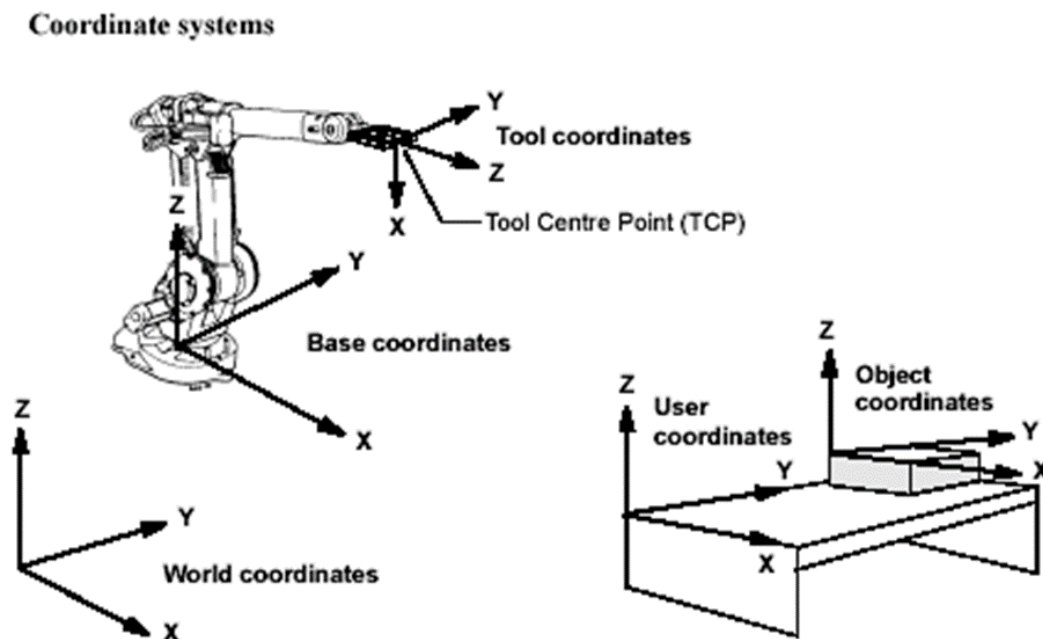
Teollisuusrobottien liikkeet tapahtuvat robotin koordinaatistoissa. Yleisesti käytössä olevat robotin koordinaatistot ovat ortonormeerattuja oikeankäden koordinaatistoja. Koordinaatistoissa

- X-suunta on eteen ja taaksepäin
- Y-suunta on oikealle ja vasemmalle
- Z-suunta on ylös ja alaspäin.

Teollisuusroboteissa käytetään yleensä kolmea eri pääkoordinaatistoa. Koordinaatistot ovat robotin

- peruskoordinaatisto (base coordinates)
- maailmankoordinaatisto (world coordinates)
- työkalukoordinaatisto (tool coordinates).

Myös muita käytettäviä koordinaatistoja ovat työkappalekoordinaatistot (user coordinates ja object coordinates) (kuva 1) ja työkalulaipankoordinaatisto (wrist coordinates). (7.)



KUVA 1. Robotin koordinaatistot (7)

Peruskoordinaatisto on kytketty robotin paikallaan olevaan kiinnitysjalkaan. Yksinkertaiset sovellukset voidaan toteuttaa käyttämällä tätä koordinaatistoa. Tässä koordinaatistossa Z-akseli on sidottu kohtisuorassa robotin kiinnityspisteen kanssa, X-akseli osoittaa ensimmäisen nivelen työalueen suuntaan ja XY-taso on lattian suuntainen. (7.)

Maailmankoordinaatisto on sama kuin peruskoordinaatisto, ellei sitä ole erikseen määritetty. Useampaa robottia käytettäessä samassa tilassa, voivat robotit käyttää samaa maailman koordinaatistoa tietääkseen toisensa sijainnit. Maailmankoordinaatisto voidaan siis sijoittaa ulkopuoliseen ympäristöön. (7.)

Työkalukoordinaatistoon määritetään työkalun sijainti verrattuna työkalulaipan koordinaatistoon. Robotin työkalulaippaan asennettavat työkalut ovat erilaisia ja niitä vaihdellaan eri töitä tehdessä. Tämän takia työkalu vaatii usein oman koordinaatistonsa, jotta TCP (Tool Center Point) voidaan määrittää jokaiselle työkalulle sopivaksi. TCP kertoo robotille työkalun työstöpisteen, missä varsinainen tekeminen tapahtuu ja TCP määritetään aina jokaisen työkalun mittojen mukaan. (7.)

Työkappalekoordinaatisto on työkappaleelle määritettävä koordinaatisto, joka kertoo työkappaleen sijainnin ja asennon robotille maailmankoordinaatistossa. Työkappalekoordinaatisto on siis sidoksissa maailmankoordinaatistoon. Robotin ollessa tietoinen työkappaleen sijainnista robotti kykenee toimimaan ja suorittamaan tehtävänsä tiedon mukaisesti. Työkappalekoordinaatistoja voidaan määrittää useita, jolloin robotti osaa toimia eri paikoissa erillä tavalla. Työkappalekoordinaatistoon voidaan myös määrittää työaluekoordinaatisto, jonka sisällä työkappaleiden siirtely tai työstäminen tapahtuu. (7.)

### **2.3 Robotin vapausasteet**

Robotin vapausasteet kuvaavat sen kykyä liikkua eri suuntiin robotin koordinaatistossa. Liikkumisen vapausasteita ovat robotin liike

- eteen ja taakse (X)
- oikealle ja vasemmalle (Y)
- ylös ja alas (Z) (8).

Pyörimisen vapausasteet ovat

- vaakasuuntainen pyöriminen (Rx)
- sivusuuntainen pyöriminen (Ry)

- pystysuora pyöriminen ( $R_z$ ) (8).

Robotilla, jonka liikkeet tapahtuvat kaikissa em. suunnissa on siis kuusi vapausastetta. Vastaavasti jos robotin liikkeet tapahtuvat vain esimerkiksi Y-, Z- ja  $R_y$ -suunnissa on silloin robotilla vain kolme vapausastetta. Joskus puhutaan myös robotin seitsemännestä vapausasteesta, jolla tarkoitetaan robotin liikkuvaa alustaa, johon robotin kiinnityspiste on kiinnitetty (9).

Liikkuakseen tietyllä tasolla tiettyyn paikoituspisteeseen robotti tarvitsee vähintään kaksi vapausastetta. Liikkuakseen avaruudessa tiettyyn paikoituspisteeseen robotti tarvitsee vähintään kolme vapausastetta. (10.) Usein vapausasteet yhdistetään liikkuviin niveliin, mutta se ei aina tarkoita samaa. Esimerkiksi jos robotin kiinnitysalustaan yhdistetään kolme niveltä ja kolme vartta peräkkäin Z- ja Y-tasolle. Silloin robotilla olisi kolme niveltä ja kaksi vapausastetta, eli robotti kykenisi liikkumaan Z- ja Y-suunnissa.

## **2.4 Robottityypit**

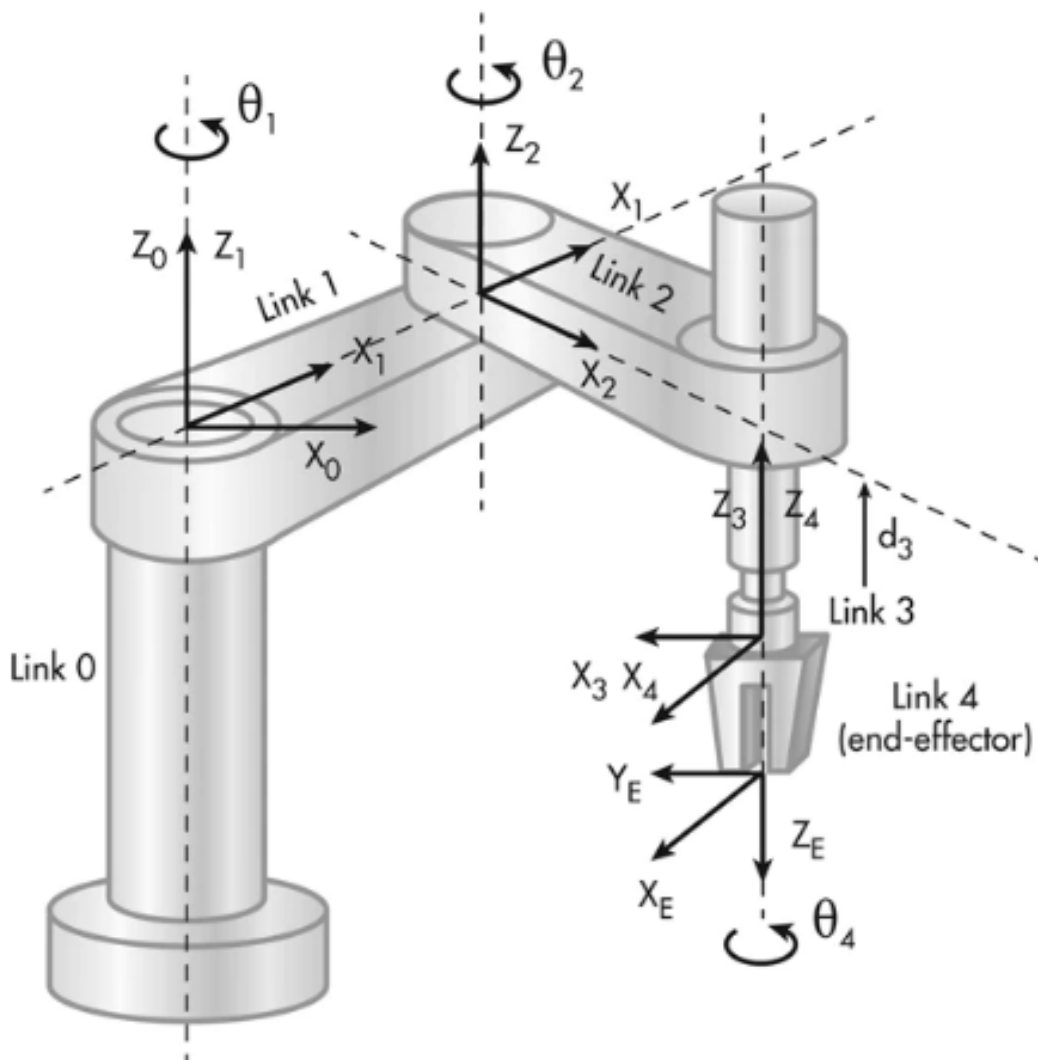
Tässä osiossa esitellään työn kannalta tarpeellisia tietoja eri robottityypeistä ja niiden mahdollisia etuja ja haittoja. Kappaleessa käydään läpi robottien soveltuvia käyttötarkoituksia ja havainnoidaan myös eri robottityyppien vapausasteita.

### **2.4.1 SCARA-robotti**

SCARA, eli Selective Compliant Assembly Robot Arm on robottityyppi, jonka Z-akseli on vääntöjäykkä ja liikkeet tapahtuvat XY-tasossa. SCARA kehitettiin Yamanashin yliopistossa professori Hiroshi Makiton ohjauksessa ja vuonna 1981 Sankyo Seiki, Pentel ja NEC esittelivät sen uutena konseptina. (11.)

SCARA-robotti kykenee kurkottamaan ahtaisiin paikkoihin ja vetäytymään kasaan tarvittaessa. SCARAn nivelrakenne ei sisällä ylimääräisiä niveliä tai hihnavälityksiä, jonka ansiosta nivelrakenteeseen ei synny ylimääräisiä välyksiä. SCARA soveltuu hyvin suurien tarkkuuksien vaatimiin töihin. SCARAn nivelvarren päästä löytyy usein moottoroitu kierretanko, jonka päähän varsinainen tarttuja tai työkalu on kiinnitetty. Moottori - kierretanko rakenteella tuotetaan robotin tarvitsema liike Z-tasolla, jolloin voidaan nostaa kappaleita Z-suunnassa. (Kuva 2.) (12.) SCARA-robotit soveltuvat hyvin töihin, joissa tarvitaan ylös-

alas ladontaa. Esimerkiksi komponenttien asettelu, jossa robotilta vaaditaan ylös-alas liikettä ja suurta tarkkuutta. SCARA-robotilla on yleensä neljä vapausastetta. Vapausasteet ovat X, Y, Z ja  $R_z$ .



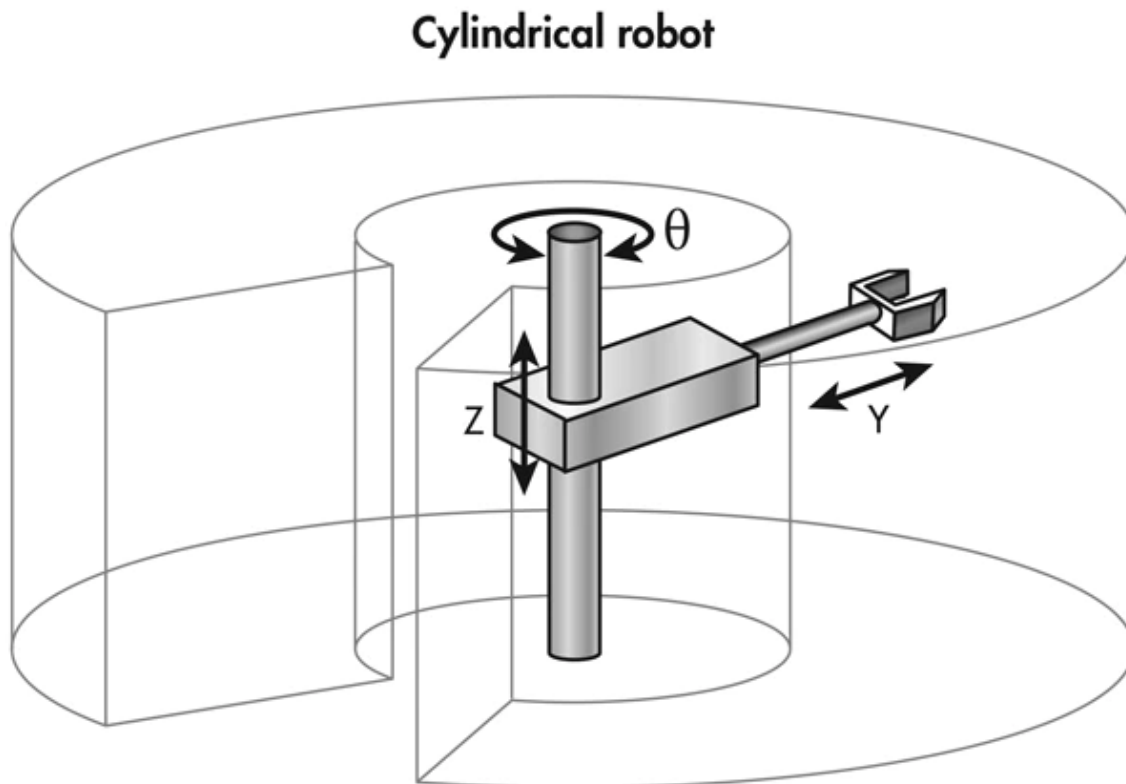
KUVA 2. SCARA-robotin rakenne (12)

### 2.4.2 Sylinterirobotti

Sylinterirobotin nimi tulee sen sylinteriä muistuttavasta työalueesta (kuva 3). Robotilla on neljä vapausastetta, jotka ovat X, Y, Z ja  $R_z$  ja se liikkuu suoraviivaisesti ainoastaan Y- ja Z-akseleita pitkin (kuva 3). Sylinterirobotin kolmas liikeakseli on robotin pyörivä alusta,



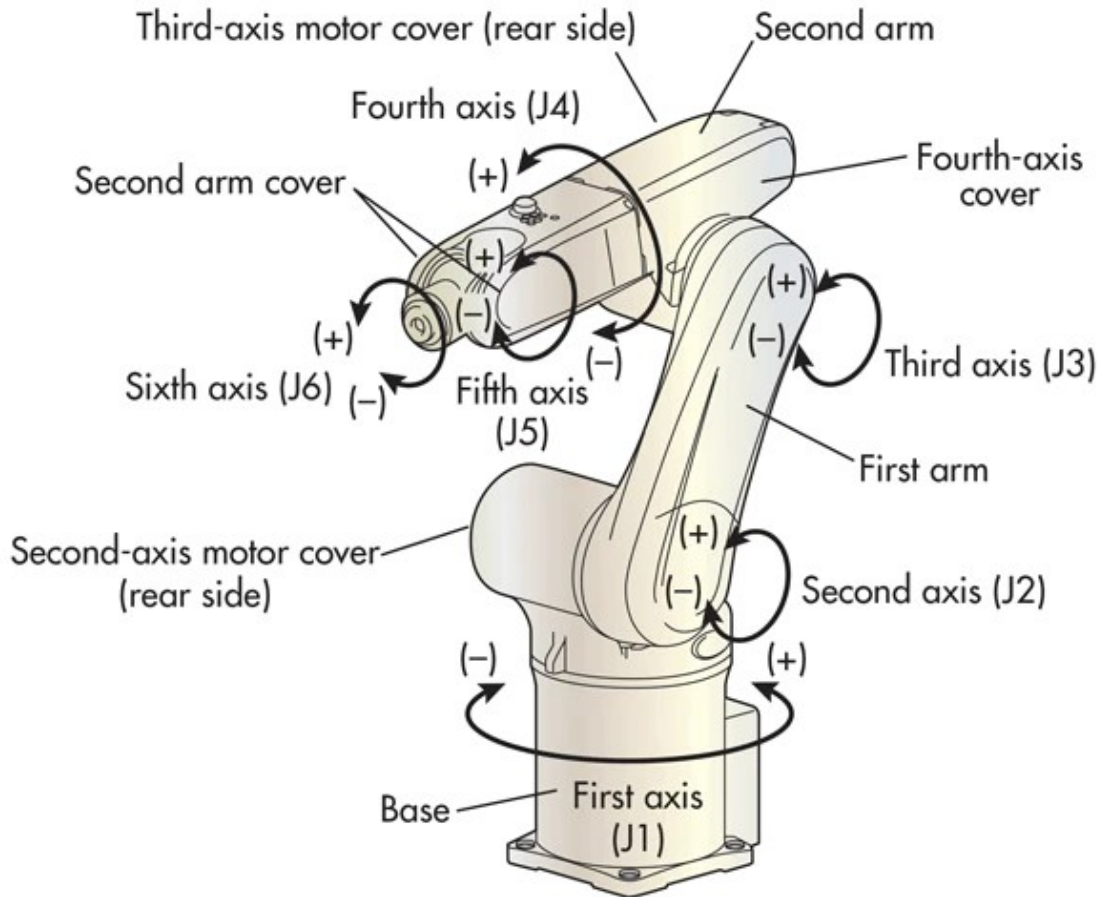
jossa Z-akselin kierto tapahtuu. (13.) Sylinterirobotteja käytetään muun muassa kokoonpanossa, työkalujen käsittelyssä, valamisessa ja pistehitsauksessa (14). Sylinterirobotteja on nykypäivänä hankala löytää valmistajilta niiden vähäisen kysynnän vuoksi.



*KUVA 3. Havainnekuva sylinterirobotin työalueesta ja rakenteesta (12)*

### 2.4.3 Käsivarsirobotti

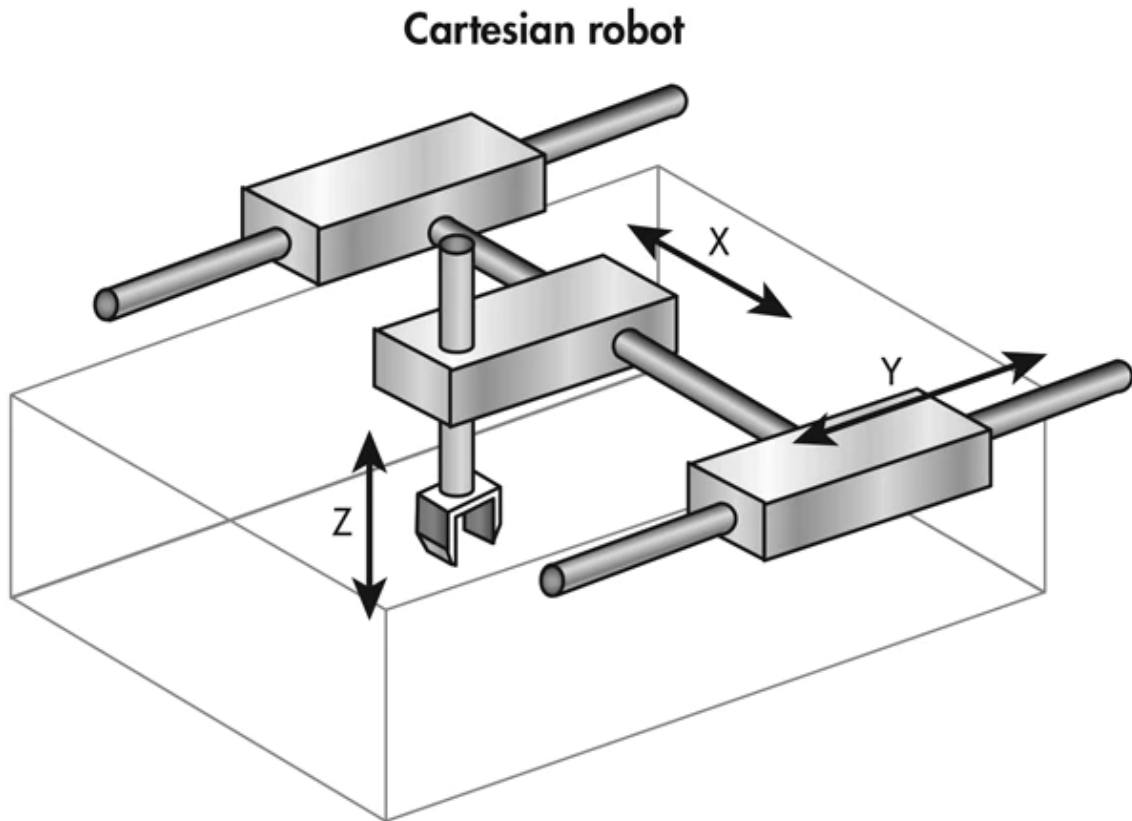
Käsivarsirobotit ovat kaikkein yleisimpiä käytettäviä robotteja teollisuudessa nykypäivänä. Ne ovat välttämättömiä kokoonpanotoimenpiteisiin, joissa vaaditaan suurta nostokykyä ja monimutkaisia liikkeitä. Käsivarsirobotin varret ovat nivelletty sisältäpäin liitoksilla, jotka voivat vaihdella yksinkertaisesta liitoksesta monimutkaisiin liitoskokonaisuuksiin (kuva 4). Käsivarsirobotin ensimmäinen varsi on liitetty kiinnityspisteeseen, jossa on kiertyvä liitos. Muut varret yhdistyvät toisiinsa kiertyvillä liitoksilla. Mitä enemmän robotissa on kiertyviä liitoksia ja varsia, sitä enemmän robotissa voi olla vapausasteita. Useimmat käsivarsirobotit omaavat nykypäivänä kaikki kuusi vapausastetta ja ne kykenevät monimutkaisiin liikkeisiin ja asentoihin. Käsivarsirobotteja käytetään yleisesti kokoonpanotoiminnassa, painevalussa, kiinnittämisessä, hitsauksessa sekä maalauksessa. Käsivarsirobotit ovat helposti sovellettavissa muihin tehtäviin. (12.)



KUVA 4. Havainnekuva käsivarsirobotista ja sen nivelrakenteesta (8)

#### 2.4.4 Karteesinen robotti

Karteesinen robotti liikkuu X-, Y- ja Z-akselien suunnassa suorakulmaisesti. Robottia voidaan kutsua myös suoraviivaiseksi robotiksi. Suorakulmaisessa robotissa on kolme suoraviivaista liitosta, jotka käyttävät suorakulmaista koordinaatistoa. Nivelet toimivat X-, Y- ja Z-akselilla käyttämällä suoraviivaisia ohjainkiskoja (kuva 5). Käyttökohteina ovat yleisimmin järjestely, levittäminen, kokoonpano tai kappaleiden käsittely ja hitsaus. (12.)



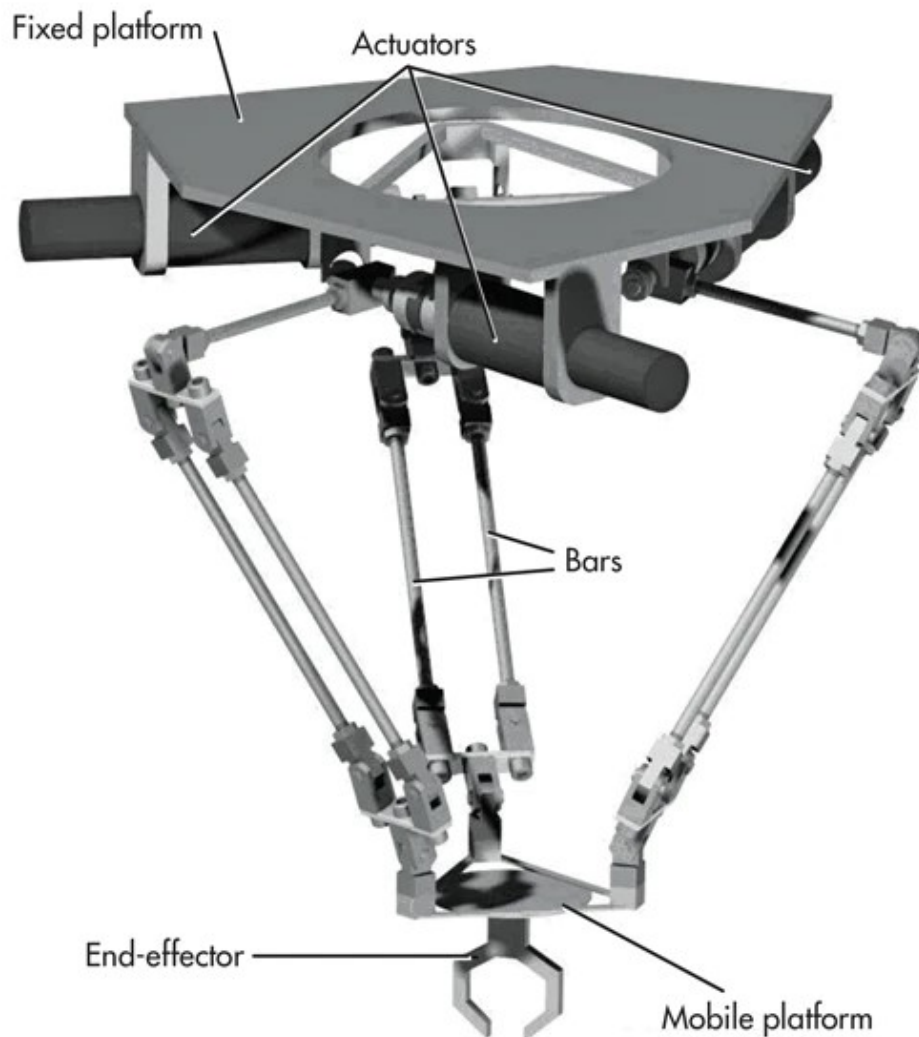
*KUVA 5. Havainnekuva suorakulmaisen robotin rakenteesta ja liikehdinnästä työalueella (12)*

#### **2.4.5 Rinnakkaisrakenteinen robotti**

Rinnakkaisrakenteiset robotit tunnetaan myös nimellä deltarobotit. Rinnakkaisrakenteiset robotit on rakennettu nivelletyistä rinnakkain sijaitsevista tukivarsista, jotka kiinnittyvät moottoreihin ylhäältä ja alhaalta työkalulaippaan (kuva 6). Rinnakkaisrakenteinen robotti kykenee liikuttamaan työkalua suoraviivaisesti X-, Y- ja Z-suunnissa ja kallistamaan työkalua X- ja Y-suunnassa. Rinnakkaisrobotteja käytetään yleensä nosta ja laske -tapaisissa töissä kuten tuotteiden siirtämisessä liukuhihnalta toiselle. Rinnakkaisrobotit ovat suosittuja kokoonpanotehtävissä sekä lääke- ja sähköteollisuudessa niiden nopeuden ja suuren tarkkuuden ansiosta. (12.)

Markkinoilta löytyy myös malleja, joista löytyy X-, Y- ja Z-akselin kierto. Näin ollen rinnakkaisrobotilla voi olla jopa kuusi vapausastetta. Rinnakkaisrobotissa  $R_x$ ,  $R_y$  ja  $R_z$  kierto- liikkeet ovat usein rajoitetut robotin rakenteen takia tai niitä ei löydy läheskään kaikista

malleista. Esimerkiksi Fanuc M-3iA/6A rinnakkaisrobotista löytyy kaikki kuusi vapausas-  
tetta ja ratkaisu on toteutettu työkalulaippaa jatkavilla nivelillä. (15).



*KUVA 6. Havainnekuva rinnakkaisrakenteisen robotin rakenteesta (12)*

## **2.5 Robottisolu**

Varsinaisella robotilla tarkoitetaan usein puhekielessä robottia ja sen toimilaitteita, joilla robotti saadaan liikkeelle. Robotti ei kuitenkaan ole valmis vielä toimimaan käyttötarkoituksessaan, vaan tarvitsee toimiakseen työkalun ja apulaitteita.

Yleisin käytettävä työkalutyyppe on tarttuja, jota käytetään kappaleenkäsittelysovelluksissa. Tarttumat ovat usein juuri tiettyyn tehtävään suunnitellut ja niiden suunnittelussa on

otettu huomioon työkappaleiden muodot ja materiaalit. Markkinoilta löytyy yleismallin tarttuvia, joita usein pyritään käyttämään ensisijaisesti suunnittelutyön resurssien vähentämiseksi. Robottiin kytkettäviä tarttuvia voivat olla esimerkiksi erilaiset

- leukatarttijat
- servotarttijat
- alipainetarttijat
- magneettitarttijat.

Muissa sovelluksissa voidaan käyttää esimerkiksi robottiin asetettavia suihkupuhdistus-, maalaus-, metallisointi-, hitsaus- ja liimaustyökaluja, jotka valitaan aina käyttötarpeen ja soveltuvuuden mukaan (16, s. 17–18).

Kun robottia aletaan integroimaan tiettyä tehtävää varten, voidaan alkaa puhumaan robottisolusta, jossa robotti ja lisälaitteet muodostavat kokonaisuuden. Robottisolu on kokonaisuus, jossa robotti suorittaa haluttua tehtävää ja tarvittavat lisälaitteet toimivat yhdessä robotin kanssa määrätyn lopputuloksen saavuttamiseksi. Robottisolun tarvittavia lisälaitteita voivat olla esimerkiksi

- pneumaattiset lisälaitteet
- hydrauliset lisälaitteet
- sähköiset lisätyökalut
- vinopöydät ja jigit
- robotin työpöytä
- kuljettimet
- turvallisuusanturit ja laitteisto.

Robottiin voidaan kytkeä konenäkökameroita, joilla voidaan tunnistaa kappaleita ja muotoja. Tällöin robottisolun valaistus täytyy miettiä toiminnan kannalta toimivaksi. Myös erilaiset anturit ja kuljettimet voidaan kytkeä valvomaan ja avustamaan robotin työskentelyä.

### 3 TYÖN VAIHEISTUS

Työn suoritus vaiheistetaan kuuteen osatoimintoon:

1. avaimen poimiminen avainpaletilta
2. NFC-testi
3. kontaktilankatesti
4. tunnistemerkintä laserilla
5. SW-päivitys
6. pakkaaminen myyntipakkaukseen.

Ensimmäisessä vaiheessa työn alussa avaimet saapuvat valmistuksesta avainpaletilla, jossa avaimet ovat aseteltu kyljelleen. Avainpalettiin mahtuu avaimia neljään riviin ja jokaisessa rivissä on seitsemän avainta. Avaimet poimitaan paletilta vietäväksi seuraavaan työvaiheeseen.

Toisessa vaiheessa eli NFC-testissä avain viedään NFC-lukulaitteen antennin päälle, joka testaa NFC-yhteyden avaimeen. Tällöin varmistutaan avaimen sisällä olevan piirilevyn toimimisesta. Avain täytyy asettaa keskelle lukulaitteen antennia ja kiinni tai mahdollisimman lähelle sitä. NFC-testilaitteeseen syttyy merkkivalo onnistuneen yhteyden merkiksi ja avain siirretään eteenpäin seuraavaan työvaiheeseen.

Kolmannessa vaiheessa eli kontaktilankatestissä avainta käytetään kontaktilankatesterissä, jota voidaan kuvata lukkopesäksi. Testerissä on sisällä kosketinpinnat, jotka testaavat avaimesta löytyvän piirin toimivuuden, kun avain on asetettu sisään testeriin. Avaimen pitää kohdistaa hieman erilaista vääntöä kumpaankin suuntaa; aivan kuten avainta käännettäisiin lukossa oikeasti. Tällöin varmistutaan piirin toimivuudesta.

Neljännessä vaiheessa eli tunnistemerkinnässä avaimet tunnistemerkittään laserilla, jossa avaimiin merkitään sarjanumero. Tunnistemerkintä tapahtuu isommassa laserointikoneeseen lastattavassa jigissä, minkä sisältä löytyy viisi pienempää 3D-tulostettua 12-paikkaista tunnistemerkintä-jigiä. Merkintää varten avaimet tulee asettaa tunnistemerkintä-jigeihin tarkasti oikeaan asentoon. Avaimen ollessa sivussa, liian syvällä tai liian ylhäällä laserointi ei onnistu oikealla tavalla. Avaimet asetellaan pienempiin jigeihin varsinainen avainosa jigien sisään ja kahvaosa ylöspäin toistensa viereen. Avaimet asetetaan

jigiin ja merkinnän jälkeen avaimet poistetaan jigistä ja siirretään eteenpäin seuraavaan prosessi vaiheeseen.

Viidennessä työvaiheessa avaimiin tehdään vielä ohjelmistopäivitys, mikäli päivitys on tarpeellinen. Ohjelmistopäivitys toteutetaan samalla tavalla kuin avaimen NFC-testi, eli avain viedään etälukijan viereen ja päivitys siirretään avaimeen.

Kuudennessa työvaiheessa eli avaimen pakkausvaiheessa avain viedään testien ja tunnistemerkinnän jälkeen myyntipakkaukseen, jossa yhdelle avainliuskalle pakataan 12-kappaletta avaimia. Pahviliuskassa on kaksi kuuden avaimen avainaukkoa, ja varsinaiseen pakkaukseen asetetaan kuusi täyttä avainliuskaa, eli myyntipakkaukseen mahtuu yhteensä 60 avainta. Avaimet asetetaan liuskalle pystyyn, avainosa alaspäin ja kahvaosa ylöspäin vierivireen kuten tunnistemerkintävaiheessa.

## 4 TYÖHÖN SOVELTUVAT ROBOTTITYYPIT

Avainvalmistusprosessissa avaimet siirretään avainpaletilta NFC-testiin ja sen jälkeen kontaktilankatestiin. Kontaktilankatestin jälkeen avaimet käyvät tunnistemerkinnässä, joka tapahtuu tarkoitukseen suunnitellussa jigissä. Seuraavaksi avaimiin tehdään ohjelmistopäivitys ja avaimet pakataan myyntipakkaukseen. Tavoitteena oli toteuttaa prosessi irrottamatta otetta avaimesta, minkä seurauksena aikaa vievät välilaskut voitaisiin jättää pois.

Avaimien poimiminen avainpaletista ja avaimien asettaminen myyntipakkaukseen vaatii robotilta kykyä liikuttaa tarttujaa ylöspäin ja alaspäin työalueen päällä. Avaimet täytyy voida nostaa pois avainpaletilta ja samoin avaimet täytyy voida laskea myyntipakkaukseen. Robotin täytyy kyetä liikuttamaan avainta horisontaalisesti työalueella toisiin työvaiheisiin.

NFC-yhteyden testausvaiheessa ja ohjelmistopäivityksessä avain täytyy asettaa lukukortin antennin päälle kyljelleen, jolloin robotilta vaaditaan kykyä kallistaa työkalua kiertämällä sitä X- tai Y-akselin ympäri. Toinen vaihtoehto on sijoittaa NFC-lukukortin antenni työalueelle niin, että robotti kykenee tuomaan avaimen antennin luokse esimerkiksi vaakasuoralla liikkeellä.

Kontaktilankatestin suorittamista varten robotin työkalulaipan tulee kyetä kiertymään Z-akselinsa ympäri, jolloin avaimeen kohdistuva kiertoliike kyetään toteuttamaan. Kiertoliikkeen liikealueen ei tarvitse olla suuri, joten alue voi olla myös rajoittunut. Vaihtoehtoisesti kiertoliike voitaisiin toteuttaa kiertämällä työkalua X- tai Y-akselin ympäri riippuen testilaitteen sijoituksesta työalueelle.

Tunnistemerkinäkää varten robotin työkalulaipan täytyy kyetä myös kallistumaan Y- tai X-suunnassa, koska tunnistemerkinäkä-jigi on kallellaan toiselle puolelle ja avaimet sijoitetaan jigisiin vinosti. Tämä työvaihe sulkee pois SCARA-robotit, ellei työalueen pohjapiirrosta suunnitella kyseisten robottien käyttöä varten. SCARA-robottien käyttö olisi mahdollista, jos tunnistemerkinäkä-jigi aseteltaisiin esimerkiksi tietyssä kulmassa olevalle vino-pöydälle ja tunnistemerkinäkä-jigin kallistus saataisiin näin korjattua suoraksi.



Prosessissa käytettävä robotti voisi olla rinnakkaisrakenteinen robotti. Rinnakkaisrakenteisen kevyt liikuteltava rakenne mahdollistaa hyvin nopeat tahtiajat. Robotin etuina prosessissa voidaan pitää sen suurempaa työskentelynopeutta verrattuna raskaaseen käsivarsirobottiin. Työalueelle sijoitetut testilaitteet ja jigit täytyisi tällöin asetella robottityypille soveltuviksi. Rinnakkaisrakenteisen robotin huonona puolena voidaan pitää sen rajatumpaa työskentelyaluetta verrattuna käsivarsirobottiin. Rinnakkaisrakenteinen robotti vaatii usein kiinnityksen työpisteen yläpuolelle, ja työskentely työkappaleen ympärillä on rajoitunut sivuilta ja alapuolelta. Myös soveltuvuus muihin tehtäviin voi aiheuttaa haasteita.

Avainvalmistusprosessissa käytettävä robotti voisi olla käsivarsirobotti. Käsivarsirobotin etuna voidaan pitää sen monipuolista työskentelyaluetta ja kykyä liikkua monimutkaisiin asentoihin. Käsivarsirobotilla avaimien asettaminen tunnistemerkintä-jigiin voidaan toteuttaa tasaisella alustalla esimerkiksi kuljettimen päällä, eikä käsivarsirobotti vaadi tunnistemerkintä-jigin alle vinopöytää kääntämään jigia suoraan ylöspäin. Käsivarsirobotin eduiksi voidaan katsoa myös soveltuvuus muihin tehtäviin. Sitä käyttämällä avainvalmistusprosessia voidaan laajentaa lisätehtäviin, kuten esimerkiksi tunnistemerkintäkoneen lastaukseen ja purkuun. Valmistusprosessissa vaaditaan työkappaleen liikuttamista useissa asennoissa, jolloin robottityypeistä käsivarsirobotin käyttö on perusteltua. Käsivarsirobotin huonona puolena sen suhteellisen raskasrakenteinen robotti verrattuna työkappaleeseen.

## 5 TYÖVÄLINEISTÖ

Työn testaamista ja suunnittelua varten saatiin tilaajalta materiaalia, joka mahdollisti työn toteuttamisen. Materiaaliin sisältö oli

- nippu avaimia
- yksi viidestä pienemmästä tunnistemerkinä jigistä
- avainpaletti, jolla avaimet saapuvat valusta
- useampi myyntipakkaus
- kaksi NFC-testikorttia
- yksi kontaktilanka-testilaite.

Oppilaitoksen puolelta käytettyä välineistöä ovat muun muassa

- Universal Robots 10 e -sarjan kollaboratiivinen robotti
- Robotiq Hand-E Adaptive Gripper -tarttuja
- Robotiq Wrist Camera -koneenäkökamera
- Prusa i3 MK3 -3D-tulostin
- muut tarvikkeet.

Käytössä oli myös Solidworks 2019 -3D-mallinnusohjelma opiskelijalisenssillä, jolla pääasiassa tehtiin kaikki mallinnus ja muotoilu.

## 6 LISÄOSIEN SUUNNITTELU

Nykyinen avainvalmistusprosessi on suunniteltu käsin tehtäväksi, joten kaikki prosessissa käytettävät apuvälineet eivät sovellu robotin käyttöön. Prosessin työvaiheiden suorittaminen robotilla vaatii toimiakseen erilaisia apuvälineitä kuten tarttujan kynnet, joita robotti tarvitsee tarttuakseen avaimiin. Hyvin suunnitelluilla kynsillä kyetään tarttumaan avaimen tarkasti ja vähentämään törmäyksen riskiä. Kontaktilankatestin suorittamista parannettiin pyöristetystä ohjuri-napilla, jolloin avain saadaan asettumaan helpommin oikeaan paikkaan.

Työn helpottamista varten suunniteltiin ja valmistettiin myös oma pelkistetty versio tunnistemerkintä-jigistä, jossa parannettiin avaimien asettamista koloihin ja muutettiin asetettavien avaimien lukumäärää. Tämän ansiosta tarttujan kynsistä voidaan valmistaa hieinan vahvemmat ja avaimen poimiminen merkintä-jigistä helpottuu.

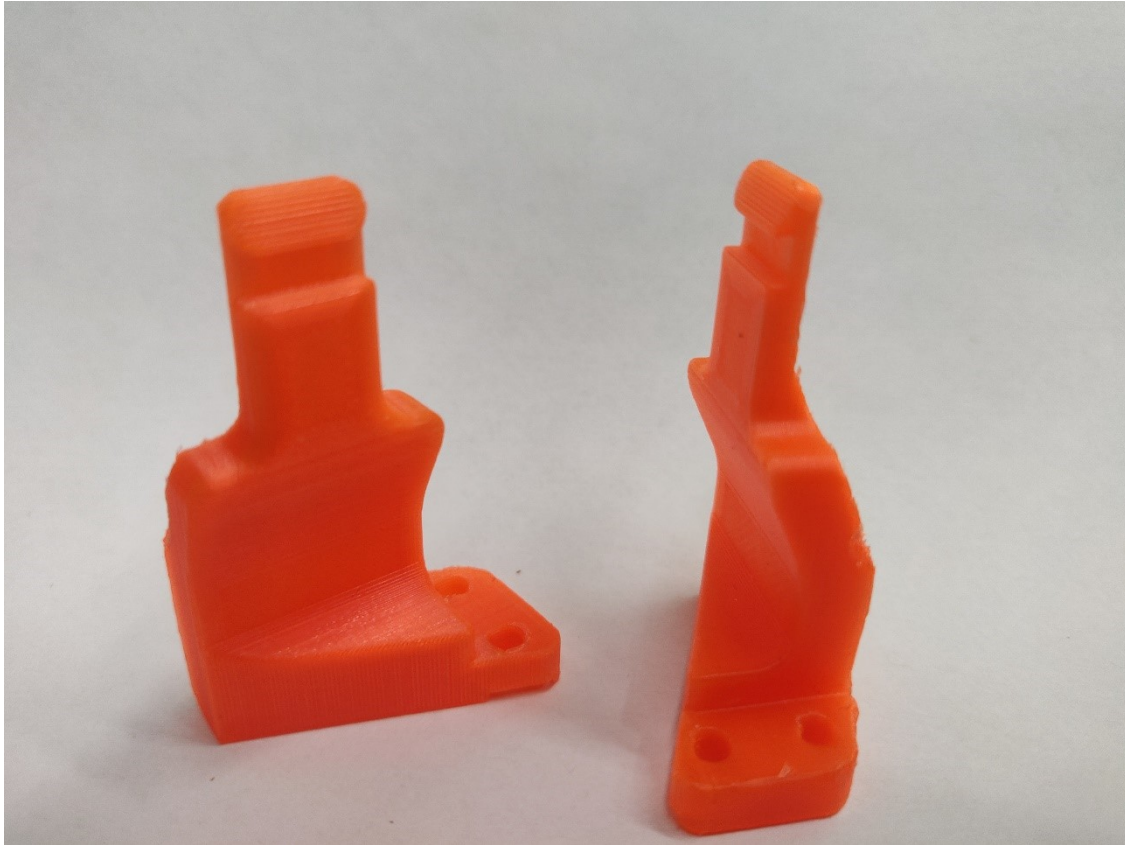
### 6.1 Kappaleeseen tarttuminen

Työprosessissa avaimia poimitaan Robotiq Hand-E -adaptiivisella servotarttujalla, jossa on paikallaan tehtaalta saapuneet alkuperäiset alumiiniset tartuntakynnet (kuva 7). Alkuperäisten kynsien toimintaa pohdittiin työssä ja tultiin siihen tulokseen, etteivät ne sovellu avaimien poimimiseen suuren kokonsa ja tartuntapintojen vuoksi. Avaimien poimimiseen tunnistemerkintä-jigistä tarvittiin siis ohuet tarkoitukseen suunnitellut tarttujan kynnet, joilla avaimien poimiminen jigistä onnistuisi vaivattomasti. Uudet kynnet täytyi suunnitella tarttumaan keskeltä avaimen kahvaosaa ja kohdistumaan avaimen kahvassa olevaan aukkoon, jolloin saataisiin mahdollisimman paljon tarkkuutta tarttumiseen ja tukeva ote.



*KUVA 7. Hand-E-servotarttuja ja mukana tulleet kynnet suojakumeineen (17)*

Lähtökohdaksi tarttujan kynsien suunnitteluun käytettiin tarttujan tehdasvalmisteisia kynsiä. Robotiq:n sivuilta löytyneestä käyttöohjeesta saatiin oikeat mitat kynsien kiinnityspisteisiin (17, s. 106). Kynnen tartuntapinta suunniteltiin avaimen kahvaosasta, jolloin saataisiin mahdollisimman paras tartuntaote. Solidworks-3D-mallinnusohjelmalla piirretystä kynnestä 3D-tulostettiin prototyyppi (kuva 8). Ensimmäisen prototyypin materiaalina käytettiin PLA-muovia, joka osoittautui liian kovaksi. Testauksessa PLA-muovi halkesi pienestä virheosumasta ja ensimmäiset prototyypit hylättiin.



*KUVA 8. Ensimmäiset versiot tarttujan kynsistä valmiina tulostuksen jälkeen*

Paranneltu prototyyppi 3D-tulostettiin PETG-muovista, joka oli hieman taipuisampaa. Tällä vähennettiin riskiä kynnen katkeamiseen kesken työn virheen sattuessa. Ensimmäisissä versioissa oli myös heittoja tulostustarkkuuksissa, joten kynnen ja avaimen niin sanottu liitos ei ollut riittävän tiivis, jolloin avain pääsi "nitkumaan" kynsien ollessa kiinni. Muutoksien jälkeen toisen version kynnet voitiin ottaa testikäyttöön, mutta työn edetessä kynnet todettiin liian kapeiksi ja tartuntapintaa päädyttiin parantamaan vielä lisää (kuva 9).



*KUVA 9. Toisen version tarttujan kynnet valmiina tulostuksen jälkeen, materiaalina PETG.*

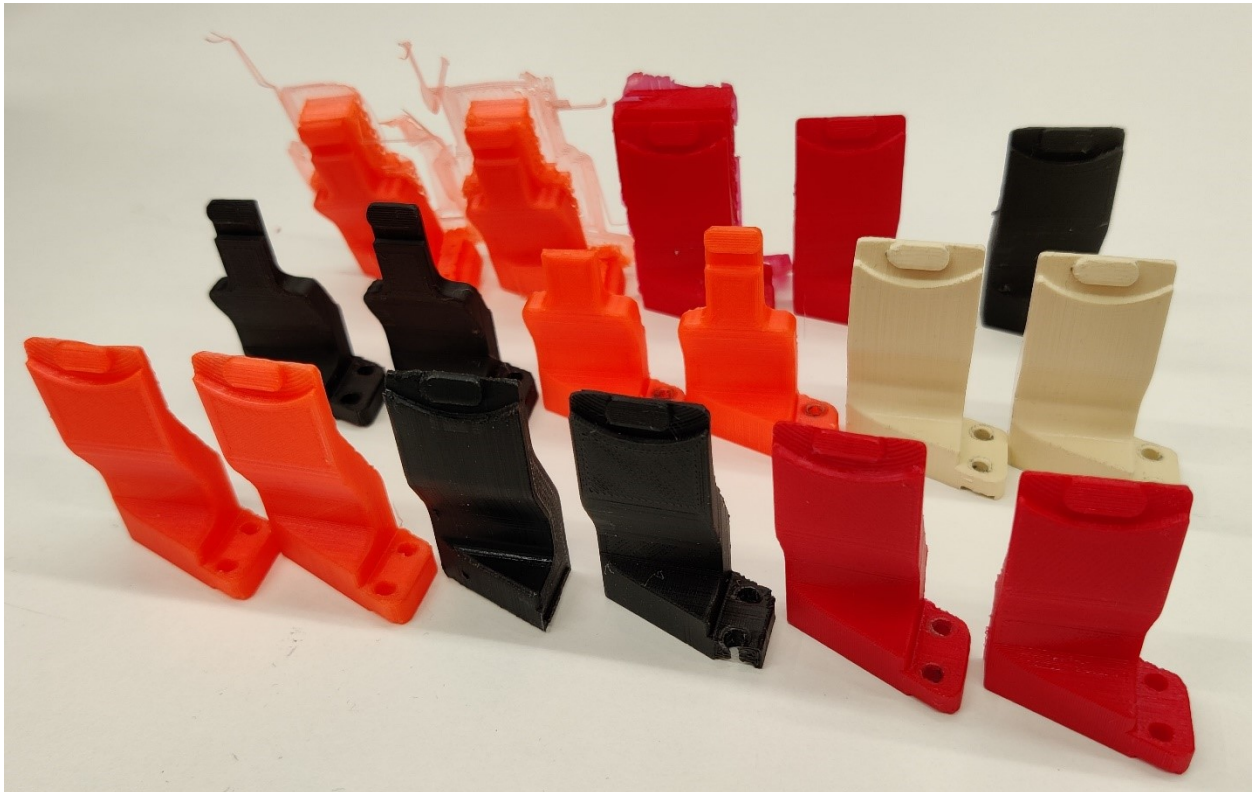
Työn edetessä tultiin siihen tulokseen, että kehitetty tarttujan kynsi ei ole riittävän leveä vääntötestin tekemistä varten. Z-akselin ympärillä pyörivää vääntöä asetettaessa toisen version kynnet taipuivat liikaa ja tartunta-alue vääristyi tai kynnet vain katkesivat ja paukahtivat irti avaimesta. Kehitettiin kolmas prototyyppi, joka myötäilee paremmin avaimen kahvaosan muotoja ja on leveämpi, jolloin kynsi kestää paremmin vääntöä ja sillä saadaan parempi tartunta (kuva 10).



*KUVA 10. Vasemmalla kolmannen version tarttujan kynsi ja oikealla neljäs paranneltu versio*

Tarttujan kynsistä ehdittiin suunnittelemaan ja valmistamaan useita prototyyppisiä (kuva 11). Jotkin versiot hylättiin suoraan tulostinvirheen takia, joten todellisuudessa kynsiä tehtiin reilu kymmenen paria. Kynsiä joutui myös hylkyyn tulostusvirheiden ja törmäyksien

seurauksena. Lopulliset testissä käytetyt prototyyppi kynnet valmistettiin 3D-tulostettuna PETG-muovista ja tulostettiin umpinaisina osina.



*KUVA 11. Jäljelle jääneitä prototyyppi kynsiä sekä oikeassa alareunassa viimeisimmät versiot*

Kynnen ja avaimen väliset pinnat kopioitiin avaimesta mittaamalla ja avaimen ulkomuoto mallinnettiin kynteen käytettävissä olleiden mittalaitteiden avulla. Viimeisen version kynnet vaativat vielä hieman viilaamista, koska käytetyt mittalaitteet rajoittuivat työntömittaan ja kolmioviivoittimeen. Paremmatkaan mittalaitteet eivät olisi parantaneet tulosta avaimen pinnanmuotojen vuoksi, vaan kynsien tartuntapinta täytyisi peilata suoraan avaimen 3D-mallista. Tällöin kynsien tartuntapinta saataisiin sopivaan juuri valmistettavalle avaimelle. Kynnet voitaisiin myös koneistaa suoraan metallista, jolloin voitaisiin välttää 3D-tulostimen tarkkuusvirheet. Viimeisen version kynsillä kyettiin kuitenkin suorittamaan tarvittavat testaukset ja ne palvelivat työn loppuun asti moitteetta.

## **6.2 Kohdistimen suunnittelu**

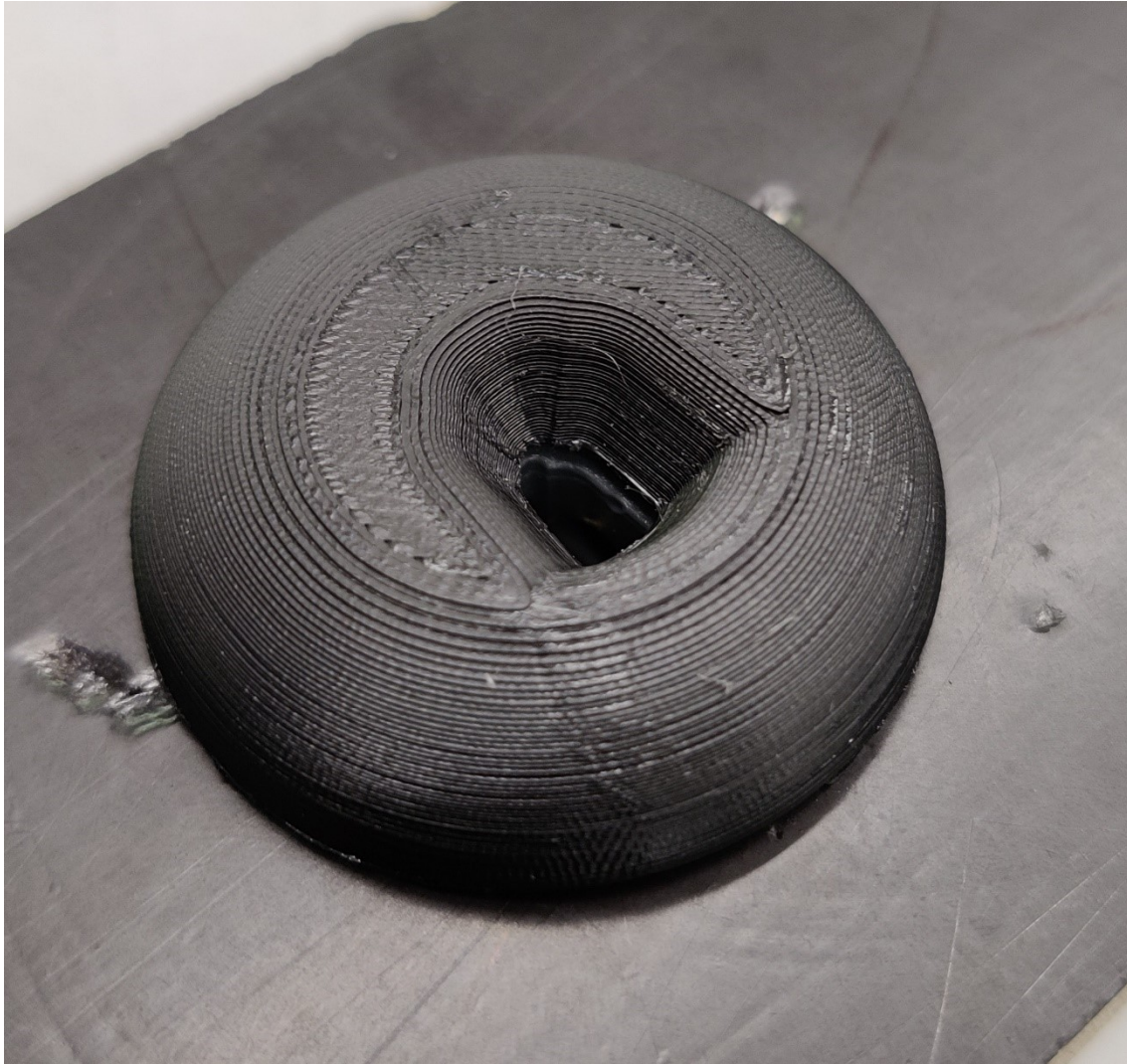
Kontaktilankatestiä tehtäessä avain asetetaan lukkopesän tapaiseen testilaitteeseen kärki edellä, jossa testilaitteen aukko avaimelle on kohtalaisen pieni ja robotilta vaaditaan



suurta tarkkuutta avaimen asettamiseen aukkoon. Robotin valmistaja Universal Robots ilmoittaa toistotarkkuudeksi  $\pm 0,5$  millimetriä kuorman kanssa (18, s. 78). Toistotarkkuus riittää hyvin avaimen asettamiseen testilaitteeseen, mutta tarttujan kynsien ja avaimen välisen liitoksen ei voida olettaa olevan joka kerta lähelläkään vastaavaa tarkkuutta. Työvaiheen suorittamisen kannalta pohdittiin, olisiko työvaihe järkevämpi suorittaa Robotiqin lisäohjelmista löytyvällä insertion-toiminnolla vai ohjuri-napin avulla.

Insertion-toiminnolla robotti hakee kokeilemalla oikean kohdan, mihin asettaa avain, ja tiedot perustuvat robotin voimanmittausantureihin. Ratkaisuksi kuitenkin valittiin yksinkertainen ohjuri-nappi, joka asetetaan testilaitteen päälle ohjaamaan avain sisään testeriin, vaikka tartuntaote olisikin hieman epäonnistunut. Valintaperusteina voidaan pitää ajan säästämistä ja luotettavuutta verrattuna siihen, että robotti alkaa pienenevällä ympyräliikkeellä etsimään oikeaa kohtaa asettaa avain. Avaimen kärjen moniosainen muoto ja testisyylinterin aukon muoto saattavat osuessaan toisiinsa aiheuttaa törmäyksen, jos ohjuri-nappi jätetään pois välistä.

Ohjuri-nappi mallinnettiin Solidworks 2019-mallinnusohjelmalla ja 3D-tulostettiin PLA-muovista (kuva 12). Ohjuri-napista löytyvän kidan tarkoituksena on ohjata avain oikeaan paikkaan asettamisvaiheessa. Siistimisen jälkeen ohjuri-nappi asetettiin kaksipuoleisella teipillä kontaktilankatesterin päälle, jolloin voitiin suorittaa tarvittavat testit työvaiheen suorittamiseen.



*KUVA 12. Havainnekuva suunnitellusta ohjuri-napista*

### **6.3 Tunnistemerkinä-jigi**

Tilaajan käyttämä tunnistemerkinä-jigi on tällä hetkellä 12-paikkainen, johon avaimet asetetaan vieriviereen lähes kiinni toisiinsa kahvaosa ylöspäin ja avainosa alaspäin. 12-paikkainen tunnistemerkinä-jigi koettiin hieman ahtaaksi työn alkuvaiheilla, koska avaimien ollessa jigissä jää avaimien tartuntapintojen väliin noin kolme millimetriä tilaa. tunnistemerkinä-jigin avainmäärää haluttiin muuttaa luotettavuuden ja törmäysriskien vähentämiseksi. Törmäysriski kasvaa enemmän robotin nopeutta lisätessä.

Tunnistemerkinä-jigi ongelmaa pohdittiin ja tultiin siihen tulokseen, että muutetaan merkinä-jigi 8-paikkaiseksi, jolloin avaimien väliin jää enemmän tilaa tarttumista varten. Myös

avaimien asettamista jigiiin parannettiin pyöristämällä reunat avainkoloista. tunnistemerkintä-jigi tulostettiin oppilaitoksen 3D-tulostimella PLA-muovista karkeana tulosteena ilman muita yksityiskohtia, koska tarkoituksena oli vain testata jigiiin toimivuutta projektissa (kuva 13).



*KUVA 13. 3D-tulostettu valmis 8-paikkainen tunnistemerkintä-jigi*

Kahta erilaista tunnistemerkintä-jigiä testattaessa todettiin robotin asettavan ja poistavan avaimet yhtä lailla 12-paikkaisesta tunnistemerkintä-jigistä kuin myös 8-paikkaisesta. Tilanteen ei voida kuitenkaan olettaa vastaavan todellisuutta, jolloin 12-paikkaiset tunnistemerkintä-jigit olisi pakattuna yhteen isoon tunnistemerkintä-jigiin. Tämä iso tunnistemerkintä-jigi asetetaan laserointikoneen sisälle ja siirretään siitä aina robottisoluun ja takaisin. Kahden päällekkäisen jigiiin käyttö herättää kysymyksiä jigiiin kohdistumisesta robottisoluun ja poiminnan tarkkuuden säilymisestä. Kysymyslistaan voidaan lisätä vielä mahdollisten jigiiin kohdistimien toiminta kahdella päällekkäisellä jigillä, joita tässä työssä ei ollut mahdollista testata. Mikäli alkuperäistä 12-paikkaista tunnistemerkintä-jigiä päädytään käyttämään, voitaisiin olettaa avainaukkojen reunojen pyöristämisen olevan hyvä varotoimi vähentämään törmäyksiä.

## 7 ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU JA TESTAUS

Robottisolun suunnittelu ja testaus aloitettiin selkeyttämällä työn tavoitteet yhdessä tilaajan edustajien kanssa. Tavoitteena oli testata mitä robotin lisääminen avainvalmistusprosessiin vaatisi ja olisiko työvaiheet mahdollista suorittaa robotilla. Suunnitelmaksi päätyi jakaa kaikki toivotut toiminnot omiksi osikseen ja suunnitella ja testata työn eri kohdat erikseen, kokonaiskuva huomioiden. Koska kyseessä oli konsepti ja aikataulu oli väljä, voitiin jokaista vaihetta testata eri menetelmillä.

### 7.1.1 Avaimen NFC-testi ja ohjelmistopäivitys

iLOQ:n avaimista löytyvällä NFC-tagilla avain kommunikoi lukkolaitteesta löytyvän lukijan kanssa. NFC, eli Near Field Communication on lyhyen matkan langaton yhteys, joka hyödyntää RFID-tekniikkaa (Radio Frequency Identification) (19, linkit linkit NFC → NFC-tekniikkaa). Standardoitu NFC-tekniikka toimii 13,56 MHz:n taajuudella ja perustuu sähkömagneettiseen induktioon kahden laitteen välillä (19, linkit linkit NFC → NFC-tekniikkaa). Muita käytettyjä taajuuksia ovat matalat taajuudet 124 - 134 kHz, UHF-tunnisteet 868 - 956 MHz ja mikroaaltotunnisteet 2,45 GHz. Tässä tapauksessa lukkolaite toimii lukijana ja avaimesta löytyvä NFC-tagitunnisteena.

Avaimen ja lukon välille syntyy yhteys, kun avain ja lukko tuodaan muutaman senttimetrin päähän toisistaan tai ne koskettavat toisiaan. Avaimien valamisvaiheessa avaimien sisälle valetaan NFC-siru, joka toimii tunnisteena lukkolaitteen lukijalle. Valmistusprosessissa NFC-sirun toiminta testataan testikortilla. Myös avaimen ohjelmistopäivitys tapahtuu samalla tavalla saman tapaisen NFC-lukijan avulla, joten työvaihetta voidaan soveltaa myös ohjelmistopäivitykseen.

NFC-sirun testaamista varten tilaaja toimitti NFC-testikortin, joka oli suunniteltu avaimesta löytyvän NFC-sirun testaamista varten. Testikortin päälle oli suunniteltu irrotettava suojakuori, joka toimi kohdistimena avaimen oikeaan kohtaan asettamista varten lukukortin antennin päälle. (Kuva 14.)

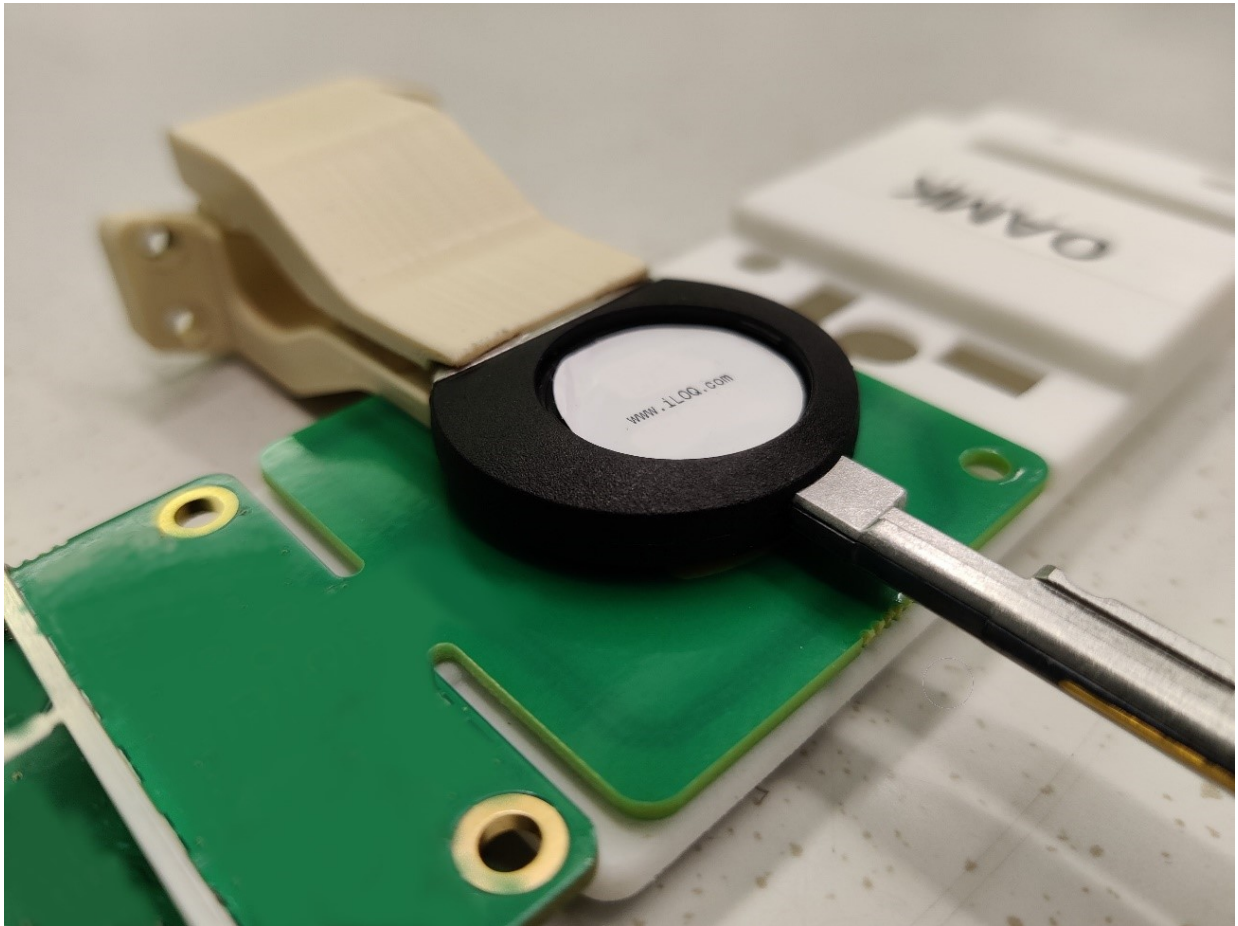


*KUVA 14. NFC-lukukortti suojakuori päällä asetettuna*

Suunnitelma NFC-testin suorittamisesta robotilla aloitettiin pohtimalla NFC-lukulaitteen rakennetta. Avaimen ja NFC-lukulaitteen antennin väli täytyi saada mahdollisimman pieneksi, jolloin testaus onnistuisi onnistuneesti. Avaimen poimintakohta muodostui ongelmaksi tässä vaiheessa työtä, koska avain täytyisi laskea testilaitteen päälle kyljelleen. Avaimen poimiminen kahvaosan päädyistä ei ollut mahdollista näillä komponenteilla, koska tarttujan kynnet eivät mahtuneet aukeamaan, eivätkä laskemaan avainta antennin päälle.

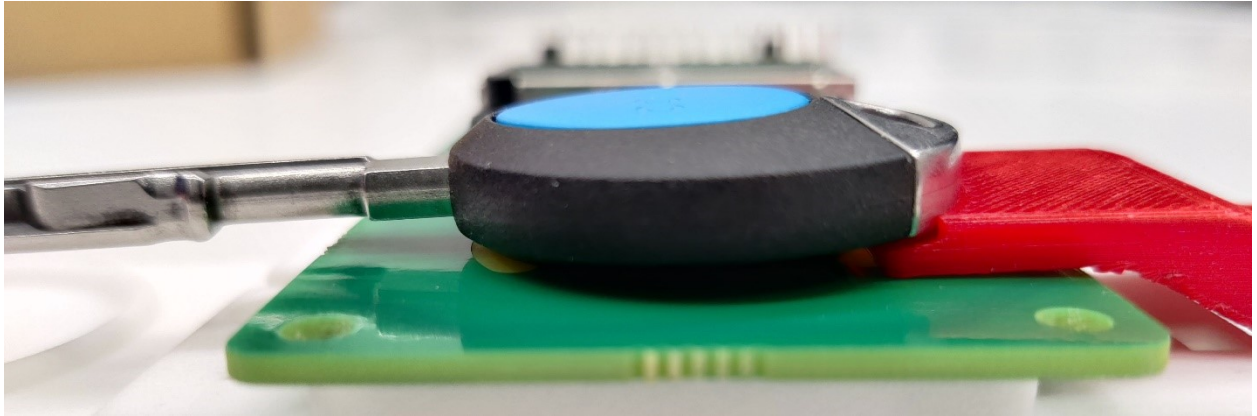
Ongelman ratkaisuksi kehitettiin ensimmäiseksi prototyyppi-jigiksi vinopöydän ja kohdistimen yhdistelmä, joka kohdistaisi avaimen oikeaan kohtaan antennia, vaikka avain pudotettaisiin liukukaukaloon hieman väärässä asennossa. Prototyypin idea testattiin toimivaksi, mutta sen tärkeyttä prosessiin täytyi harkita uudelleen, koska robotin toiminnan tarkentuessa haluttiin robotin pitävän avaimesta kiinni jatkuvasti ja välilaskut haluttiin jättää prosessista pois.

Muita työvaiheita testatessa kuitenkin huomattiin, että ohuilla tarttujan kynsillä kyettiin käyttämään avainta lukijalla. Tällöin testauskortti piti sijoittaa niin, että robotti pystyi asettamaan avaimen antennin päälle. Myös NFC-testauskortin suojakuoren piti olla poistettuna (kuva 15). NFC-testauskortti kiinnitettiin pystyasentoon pöydälle ja robotti ohjelmointiin yksinkertaisesti siirtymään lukijan antennin viereen ja siitä suoraviivaisella liikkeellä käyttämään avainta antennin päällä ja siirtymään samaa reittiä pois. Tällöin tarttuja ja robotin ranne mahtuivat käyttämään avainta lukijalla ilman törmäystä alustaan.



*KUVA 15. Avaimen sovittamista lukijan antennin päälle tarttujan kynsien kanssa*

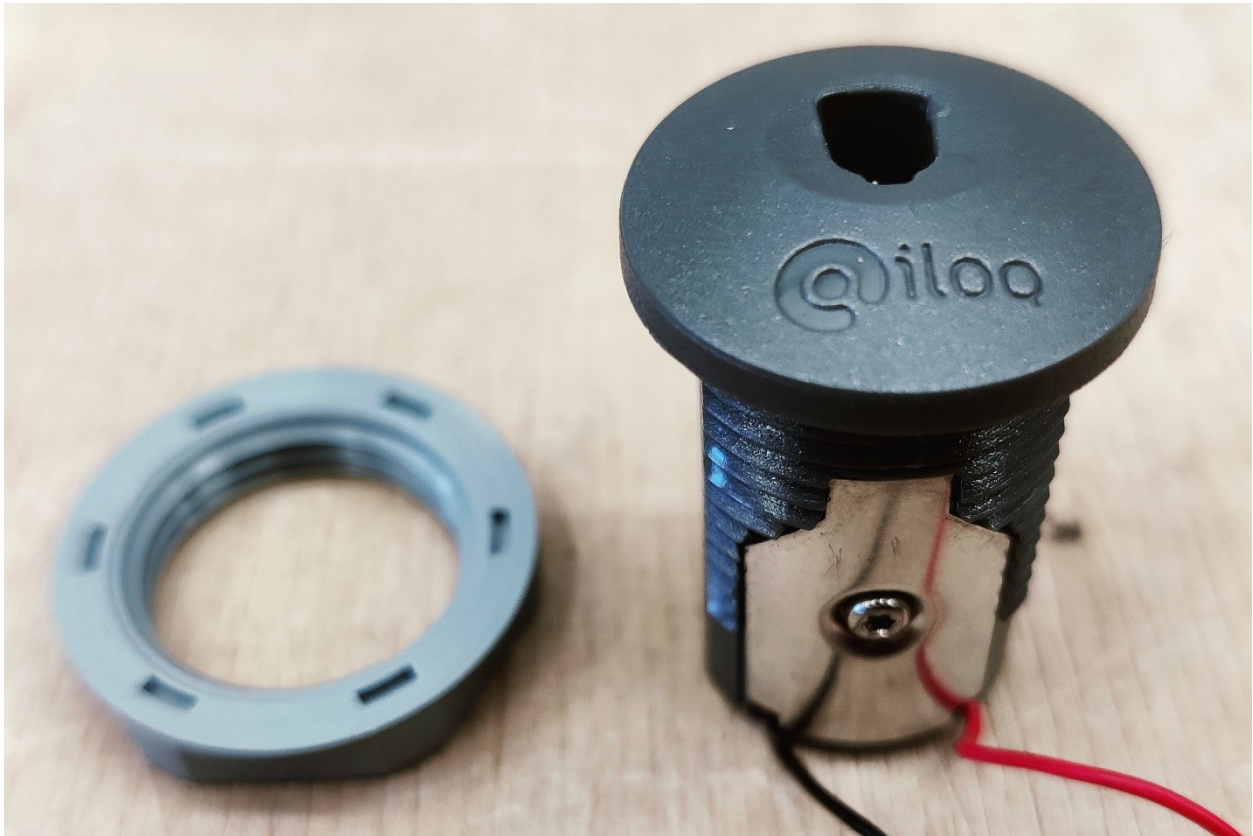
Edellä mainitulla tavalla avaimen ja lukijan väliin jää ainoastaan noin 1 mm tyhjää tilaa ja pieni osa 1 mm paksuista tarttujan kynttä (kuva 16). Tilaajalta saadulla toimivalla NFC-testikortilla voitiin vielä varmistaa NFC-yhteyden toimiminen avaimen ja testikortin välillä tarttujan kynsien ollessa välissä. Yhteyden toimiessa testikorttiin syttyi vihreä valo yhteyden onnistumisen merkiksi. Tehtyjen testauksien perusteella voitiin todeta testin suorituksen onnistuvan robotilla.



*KUVA 16. Havainnekuva avaimen asettumisesta antennin päälle, jossa noin 1 mm:n suuruinen väli avaimen ja antennin välissä*

### **7.1.2 Avaimen kontaktilankatesti**

Avaimiin valetun kontaktilangan kautta lukkosylinterin tuottama virta siirtyy avaimeen ja avaimessa sijaitseva tietosiru voidaan lukea. Kontaktilanka täytyy testata avainvalmistusprosessissa toimivaksi. Testaaminen tapahtuu asettamalla avain lukkosylinterin tapaiseen testeriin, jolloin testeristä voidaan mitata jännite-erot ja päätellä niistä kontaktilangan toimivuus (kuva 17). Avaimen kohdistetaan myös pientä vääntöliikettä, joka simuloi todellista käyttöä, jolloin voidaan paremmin varmistua avaimen toimivuudesta.

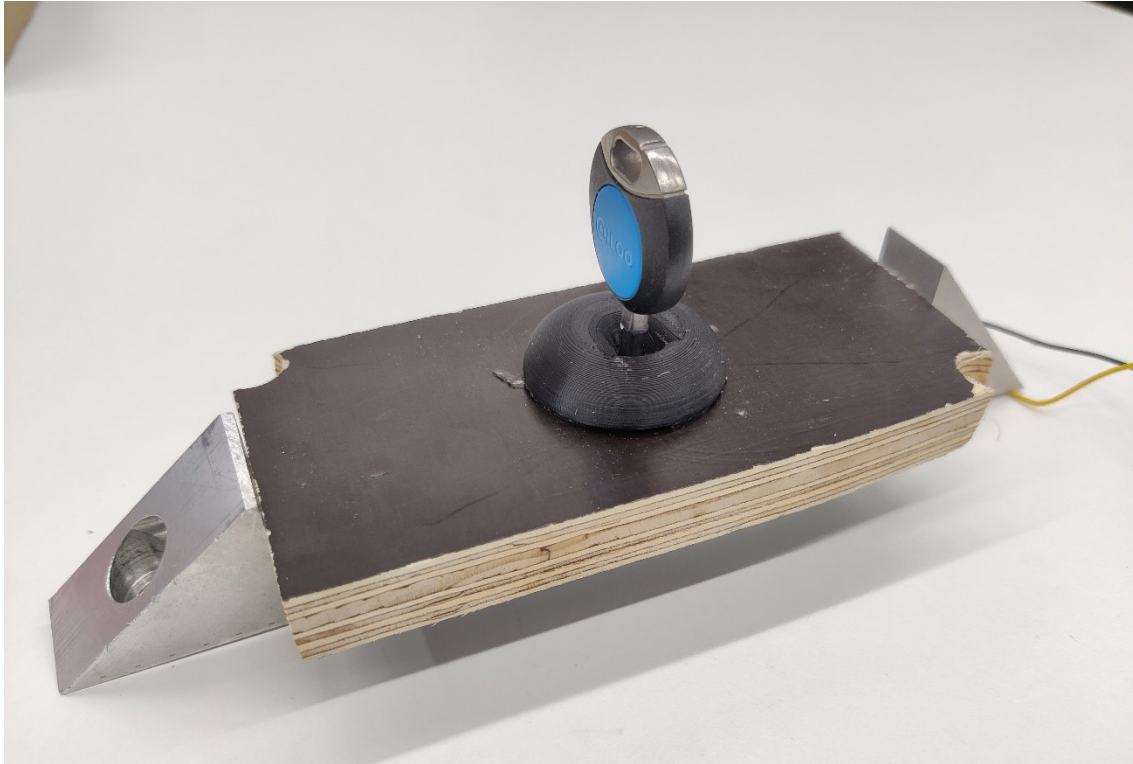


*KUVA 17. Kontaktilangan testaussylinteri*

Työvaiheen suorittaminen robotilla aloitettiin kiinnittämällä testisylinteri alustaan tukevasti. Robotille tehtiin liikeradat, jotka koostuivat avaimen testisylinteriin asettamisesta ja sieltä pois ottamisesta. Työvaiheessa avaimen pitää kohdistaa vääntömomenttia, minkä takia hyödynnettiin voimanhajusta. Vääntösuunta testattiin UR10 e -sarjalaisesta löytyvällä force-toiminnolla, johon voitiin määrittää, millä voimalla robotti yrittää liikkua määrättyyn pisteeseen. Force-toiminto pyrkii siirtämään robotin esimerkiksi paikoituspisteestä yksi paikoituspisteeseen kaksi määrättyllä voimalla. Jos robotti ei onnistu saavuttamaan paikoituspistettä kaksi, se siirtyy suoraan seuraavaan paikoituspisteeseen. Jos robotti onnistuu saavuttamaan paikoituspisteen kaksi, se siirtyy seuraavaan paikoituspisteeseen.

Robotti liikkuu ensin paikoituspisteestä yksi alaspäin ja asettaa avaimen testilaitteeseen pisteeseen kaksi (kuva 18). Tämän jälkeen robotin ranne alkaa pyörimään Z-akselin ympärillä paikoituspistettä kolme kohden, joka on määritetty force-toiminnon alle. Robotti ei kuitenkaan koskaan saavuta paikoituspistettä kolme, koska vääntövoima on määritetty estämään liika liike. Robotti palaa paikoituspisteeseen kaksi ja siitä takaisin paikoituspisteeseen yksi.





*KUVA 18. Avain asetettuna testilaitteeseen*

Ensimmäinen testaus suoritettiin force-toimintoa käyttäen kääntämällä avainta yhteen suuntaan. Liikkeet tapahtuivat toivotulla tavalla, mutta force-toiminto on kohtalaisen hidas käyttöinen, koska kyseessä on pienet voimat. Toisessa testissä testattiin kääntää avainta edestakaisin kumpaankin suuntaan force-toimintoa käyttäen. Robotti toimi toivotulla tavalla, mutta arvattavasti kaksi kertaa hitaammin.

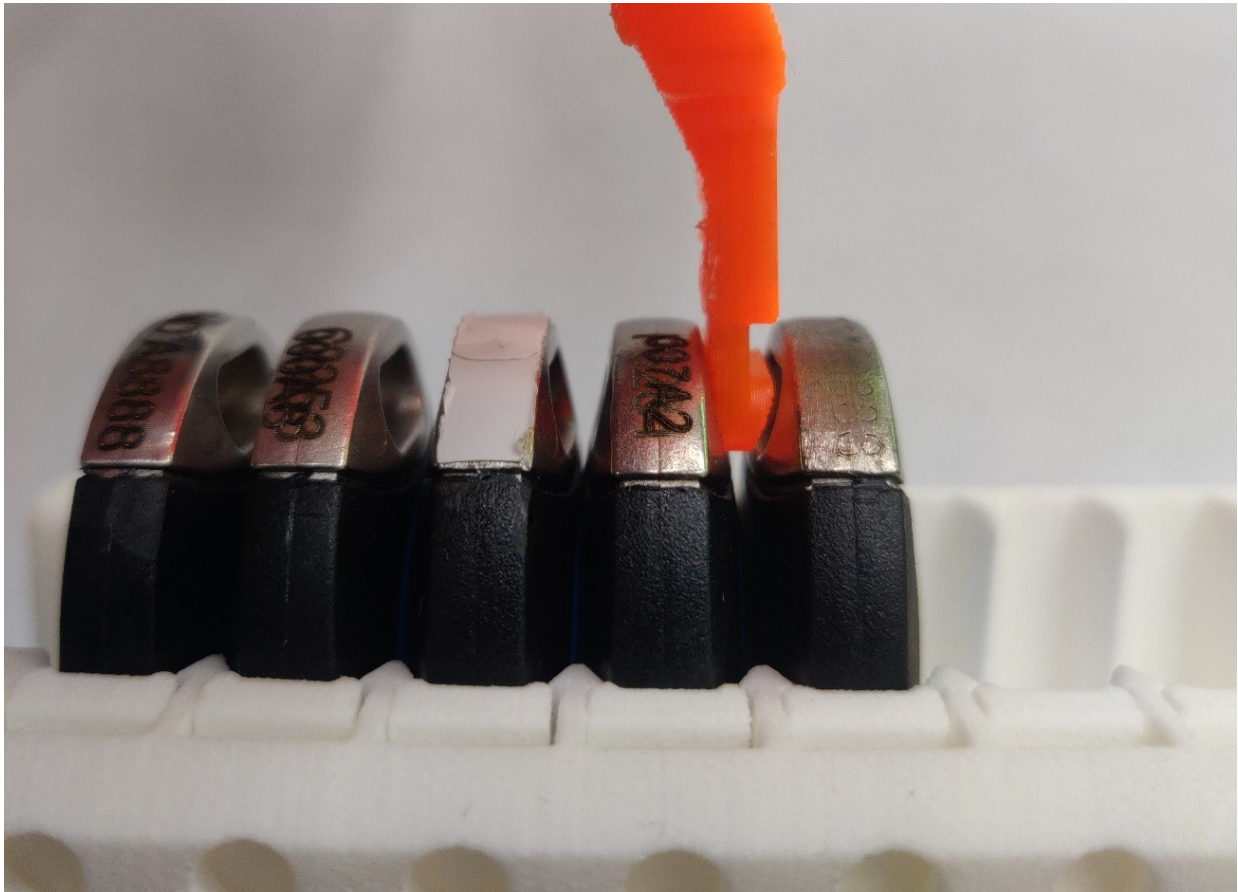
Kolmannessa testissä haluttiin testata, onnistuisiko avaimeen kohdistettavat "nitkautukset" suorittaa lisäämällä avaimen Z-akselin ympärille kaksi paikoituspistettä. Tällöin robotti laskee avaimen ensimmäiseen paikoituspisteeseen, eli testisynterin sisälle. Robotti pyöryttää avainta Rz-suunnassa paikoituspisteeseen kaksi. Seuraavaksi robotti pyöryttää avainta takaisinpäin paikoituspisteeseen kolme, joka sijaitsee päinvastaisessa suunnassa. Näiden jälkeen robotti palaa takaisin paikoituspisteeseen yksi. Käytettäessä paikoituspisteitä ilman force-komentoa täytyy paikoituspisteiden sijoittelun olla tarkka. Kyseessä on ainoastaan pienet "nitkautukset" ja jos pyörytykset ovat liian suuret, alkaa robotti kääntämään avainta väkisin testilaitetta vasten. Silloin "nitkautukset" tulkitaan törmäyksiksi.

Kontaktilankatesti voidaan siis suorittaa force-toimintoa käyttäen tai ilman sitä. Kuitenkin force-toiminnon pois jättäminen voi pidemmällä aikavälillä aiheuttaa materiaalin väsymistä kynsissä ja testilaitteessa. Myös liitoksien löystyminen testilaitteen kiinnityksessä on todennäköistä.

### **7.1.3 Avaimen tunnistemerkintä**

Prosessissa avaimiin tehdään tunnistemerkintä, jotta avaimet kyetään erottamaan toisistaan. Avaimiin siis merkitään laserilla sarjanumero. Tunnistemerkintä tapahtuu jigissä, jonka sisältä löytyy neljä pienempää 3D-tulostettua 12-paikkaista jigistä. Avaimet asetellaan pienempiin jigisiin varsinaisen avainosa jigien sisään ja kahvaosa ylöspäin toistensa viereen. Työvaiheen tarkoituksena on asettaa avaimet jigisiin ja merkinnän jälkeen poistaa avaimet jigistä eteenpäin seuraavaan työvaiheeseen.

Työvaiheen toteutus aloitettiin testaamalla tarttujan kynsiä poiminnassa ja asettamisessa. Avainten ollessa jigissä ja tarttujan kynsien ollessa välissä, jäi niiden väliin todella vähän tilaa (noin. 0,5 mm), minkä seurauksena tarttujan kynsien täytyi olla todella ohuet ja tarkasti suunnitellut (kuva 19).



*KUVA 19. Tarttujan kynnet avaimien välissä tunnistemerkitä-jigissä*

Työvaiheen toimivuuden kannalta oli järkevä tehdä alkuperäiseen suunnitelmaan muutoksia ja muuttaa nykyinen 12-paikkainen tunnistemerkitä-jigi 8-paikkaiseksi, jolloin avaimien väliin saatiin enemmän tilaa. Muutosta varten suunniteltiin 8-paikkainen pelkistetty tunnistemerkitä-jigi, joka mainittiin aiemmassa kappaleessa. Uudessa jigissä aukkojen reunat olivat pyöristetyt, jolloin törmäysriski pieneni. Toimenpiteen ansiosta kyettiin myös kasvattamaan suoritusnopeutta.

Varsinainen työvaiheen testaus toteutettiin kiinnittämällä alkuperäinen 12-paikkainen tunnistemerkitä-jigi tukevasti alustaan esittämään ”avainpaletin” virkaa (kuva 20). Tunnistemerkitä-jigille luotiin oma työkappalekoordinaatisto, jolloin kyettiin siirtelemään tunnistemerkitä-jigiä työalueella helposti. Lisäksi robotin liikkeet ohjautuivat työkappalekoordinaatiston mukaisesti. Alkuperäisestä tunnistemerkitä-jigistä poimittiin avaimia palletointi-ohjelman avustuksella järjestyksessä ja aseteltiin niitä järjestyksessä uuteen 8-paik-

kaiseen jigiiin (kuva 20). Testauksessa kiinnitettiin huomiota avaimien asettumiseen uuteen jigiiin ja seurattiin mahdollisia virheitä, kuten virheellistä tartuntaa avaimeen, jolloin avain olisi mahdollisesti vinossa ja törmäyksen riski kasvaisi.

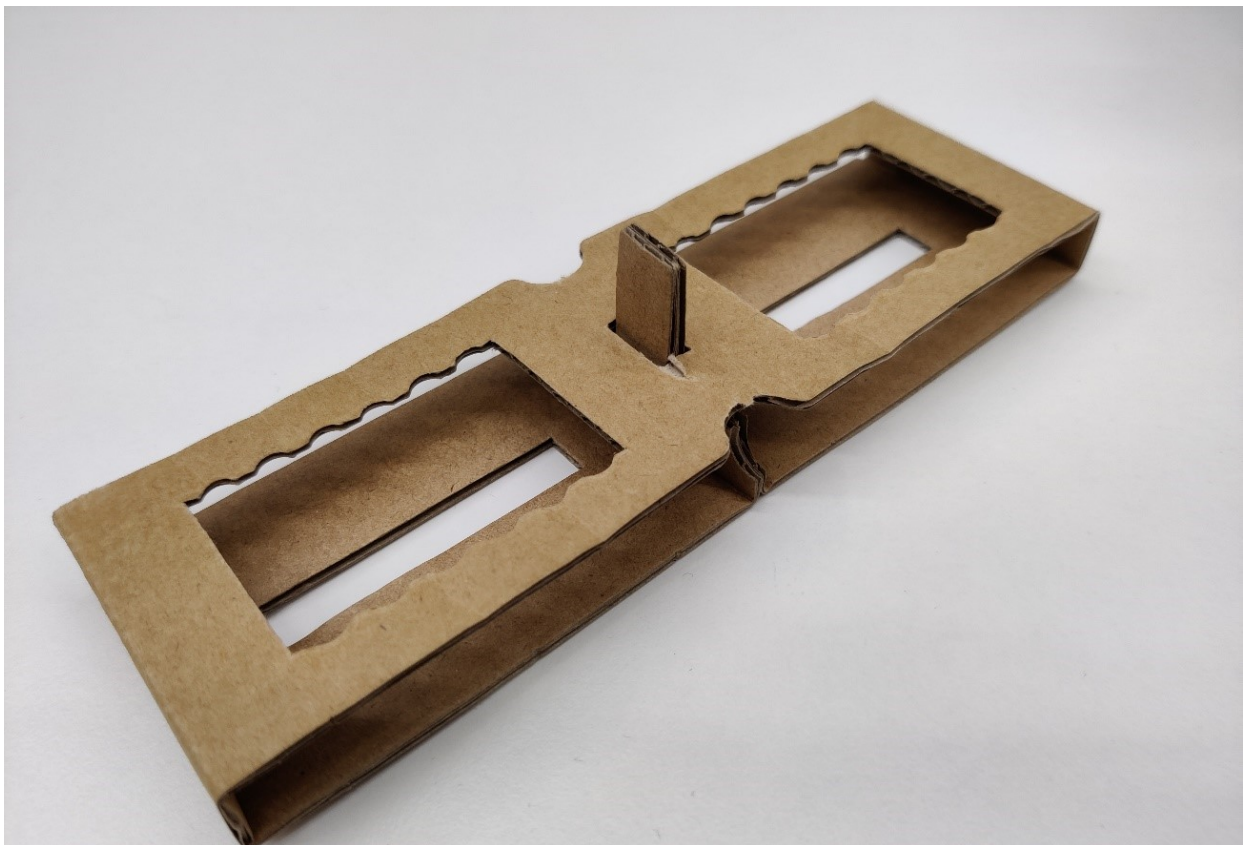


*KUVA 20. Avaimien poimimista alkuperäisestä 12-paikkaisesta tunnistemerkintä-jigistä*

Työvaihetta testattaessa tultiin siihen tulokseen, että robotin kannalta merkitys on todella pieni, poimitaanko avaimia 12-paikkaisesta vai 8-paikkaisesta jigistä. Robotin toistotarkkuus on riittävä työvaiheen suorittamiseen. Suurin vaikutus poimimiseen on jigin samantaisella sijoittelulla, eli jos jigiä vaihdetaan välissä, täytyisi se saada asetettua mahdollisimman samaan paikkaan.

#### **7.1.4 Avaimen pakkaaminen**

iLOQ Oy:n myyntipakkaus sisältää viisi pahvista avainliuskaa, joihin jokaiseen voidaan pakata 12 avainta. Jokaiseen avainliuskaan on muotoleikattu kaksi avainaukkoa avaimien sijoittelua varten. Pahviliuskalle pakataan siis kaksi kuuden avaimen ryhmää, joissa avaimet on aseteltu vieriviereen kyljet muotoleikattua sivuprofiilia vasten. (Kuva 21.)



*KUVA 21. Myyntipakkauksesta löytyvä muotoleikattu avainliuska*

Edellä mainittujen pahviliuskojen alla on tukipahvi, jonka tarkoituksena on nostaa liuskat ilmaan. Tukipahvin korkeus on mitoitettu lähelle avaimien avainosan pituutta. Avaimia

asetettaessa myyntipakkaukseen tukipahvi pitää avaimet pystyasennossa, jolloin avaimien avainosat voivat roikkua liuskoista vapaana (kuva 22).



*KUVA 22. Avainliuskojen alta löytyvä tukipahvi*

Myyntipakkauksen tutkimisessa huomattiin, että varsinaiset pahviliuskat pakkauksen sisällä pääsevät heilumaan liian paljon. Pahviliuskojen vinossa ollessa ne tukkivat osan tukipahvin aukoista, jolloin myyntipakkauksesta ei löydy suoraa linjaa, mihin avaimet voitaisiin asettaa. (Kuva 23.)



*KUVA 23. myyntipakkauksen avainliuskat vinoon aseteltuna*

Pakkauksen alemman tukipahvin aukkoja täytyisi isontaa, jolloin pahviliuskojen aukot eivät tukkeutuisi liuskojen liikkuesssa pakkauksen sisällä. Tukipahvin aukkojen suurennus toteutettiin leikkaamalla aukkoja suuremmiksi mattoveitsellä, koska leikkauksen laadulla ei tässä vaiheessa työtä ollut suurta merkitystä (kuva 24). Aukkojen suurentamisen jälkeen voitiin alkaa pohtimaan vinopöydän tai konenäkökameran käyttöä pakkaamisessa.

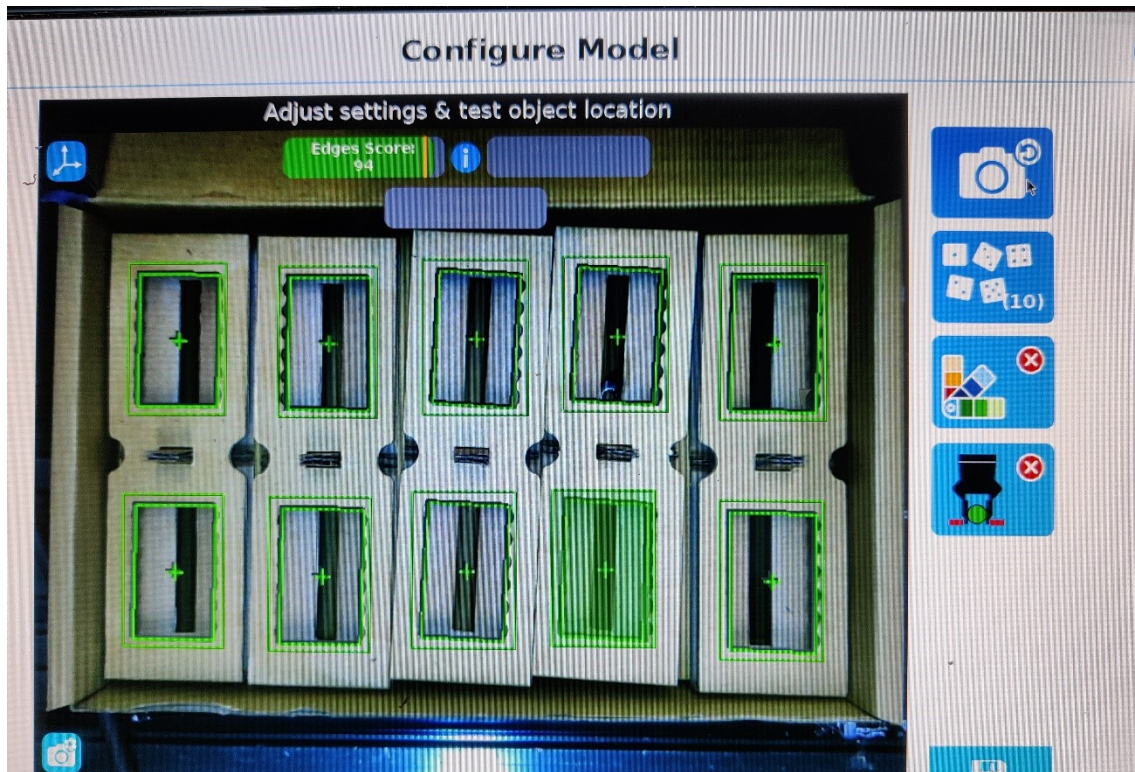


*KUVA 24. Myyntipakkauksen tukipahvi leikattuna*

Testausvaiheessa mietittiin niin vinopöydän, kuten myös konenäkökameran käyttöä pakkaus vaiheen toteutuksessa. Projektissa päädyttiin kuitenkin käyttämään konenäköä, koska myyntipakkauksen vinouden ja epätarkkuuden takia ei voitu luottaa jokaisen pakkauksen asettumista vinopöydälle samaan asentoon samalla lailla.

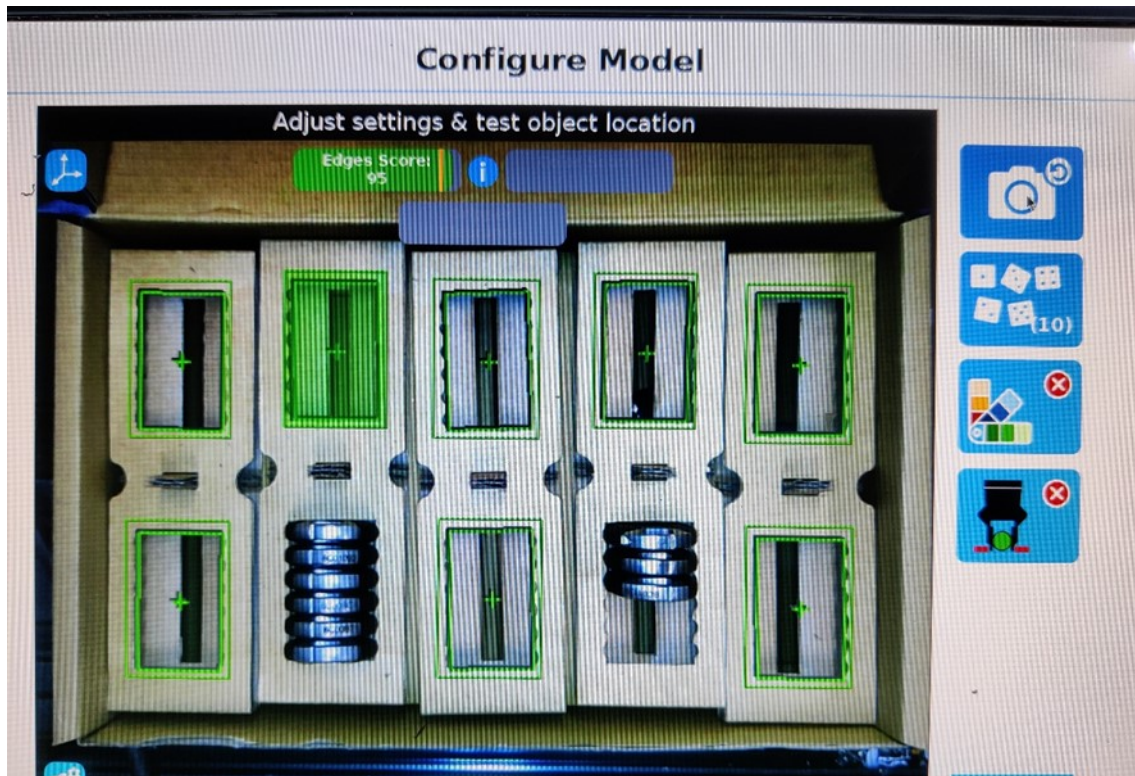
Robotiq Wrist Cameran kokeileminen työhön aloitettiin kytkemällä kamera käyttöohjeen mukaan robottiin. Kamera kytkettiin USB-kaapelilla robotin ohjainlaitteeseen ja tarttujan vaatima 24 V käyttöjännite ja maadoitus kytkettiin robotin virtalähteeseen. Lisäksi kameran toimimista varten tarvittiin lisenssi ja ajurit, jotka liitettiin erillisiltä USB-tikuilta. Kameraan tehtiin kalibrointi ja se opetettiin tunnistamaan tietyn kokoisia neliskulmaisia muotoja. Opetettavina muotoina toimivat avainpahvien avainaukot, jolloin kamera tunnisti aukon neliskulmaisen muodon ja osasi muodostaa muodolle keskipisteen. (kuva 25).





*KUVA 25. Wrist Cameran tunnistamia keskipisteitä*

Tunnistusta testattiin liikuttelemalla pakkausta eri asentoihin ja kappaleiden tunnistusarvoksi saatiin 94 - 98 pistettä sadasta. Tässä vaiheessa työtä haluttiin myös ottaa huomioon tunnistaako kamera avainaukot, jos avaimet ovat sijoitettu paikoilleen. Toisin sanoen kamera ei saa tunnistaa avainaukkoa johon avaimia on jo sijoitettu. Huomattiin, että tunnistus ei toimi halutulla tavalla vaan kameran säätöjä täytyi muokata. Muokkauksen jälkeen tunnistus saatiin toimimaan halutulla tavalla (kuva 26).



*KUVA 26. Havainnekuva toimivasta kappaleiden tunnistuksesta, jossa kamera ei tunnista jo täytettyjä avainaukkoja*

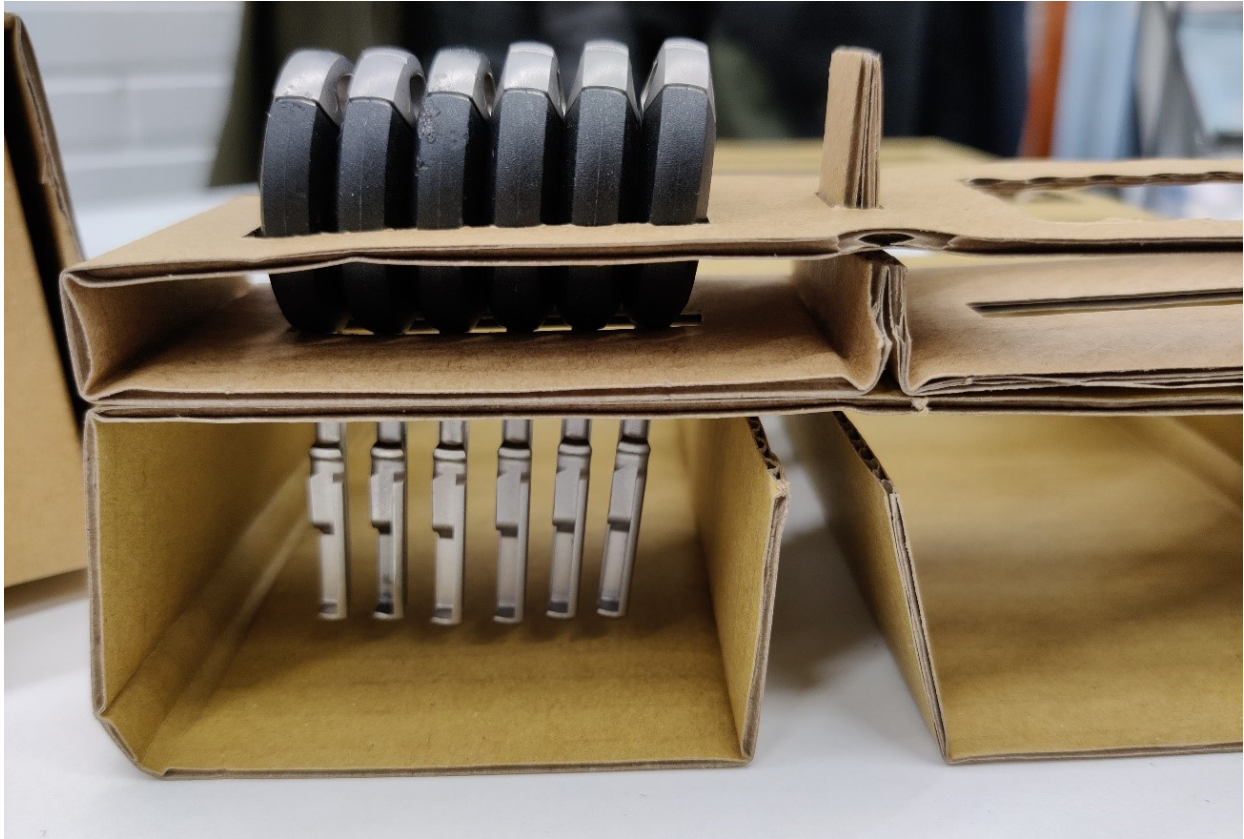
Työssä testattiin myös väritunnistuksen käyttöä tunnistuksessa, jolla saataisiin lisätunnistusta kuvaamiseen, mutta kyseistä työkalua ei tässä vaiheessa työtä koettu tarpeelliseksi. Kameraa yritettiin myös opettaa tunnistamaan jokaisen avaimen paikka erikseen, mutta kuvan tarkkuuden heikentyessä ja tunnistusalueen pienentyessä ajatuksesta luovuttiin (kuva 27).



*KUVA 27. Avaimen yksittäisen paikantunnistuksen kokeilua*

Työvaiheen varsinaista testausta aloittaessa tarttuja laitettiin asettamaan oikeita avaimia pakettiin liikeharjoittelujen sijaan. Avaimia asettaessa huomattiin, että myyntipakkauksen tukipahvi on liian matala avaimien tukevaan asettamiseen. Pakkausta täytyisi muuttaa vielä lisää. Myyntipakkauksen alemmaa tukipahvia taitettiin kulmista hieman lisää, vanhan

taitoksen vierestä, jolloin siitä saatiin korkeampi ja avaimien mekaaniset avainosat roikkumaan ilmaan (kuva 28). Taitoksen ansiosta avaimet voitiin asettaa pakkaukseen tukevammin ilman pelkoa niiden keikahtamisesta kyljelleen.



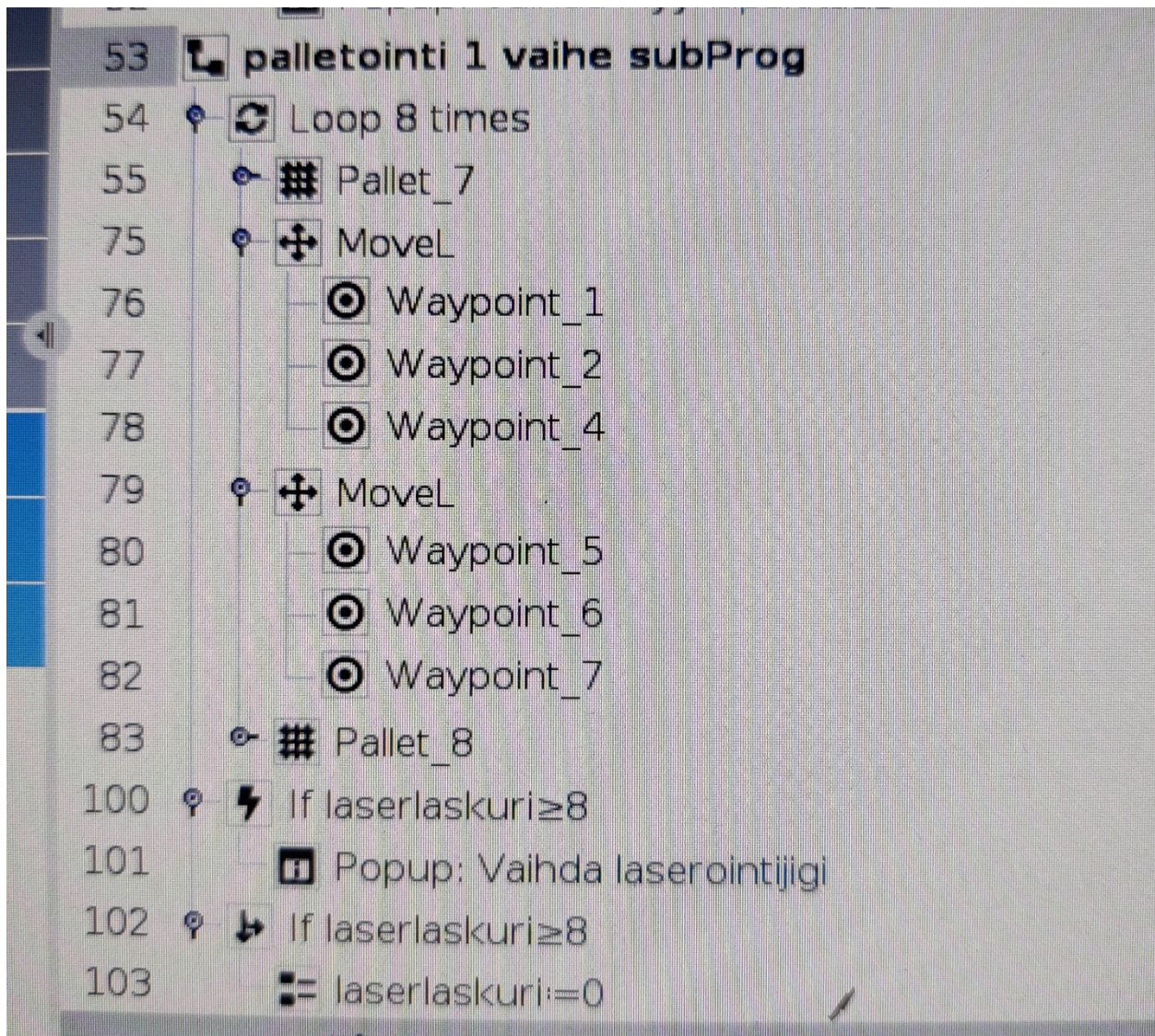
*KUVA 28. Avaimet aseteltuna muokattuun tukipahviin avainliuskan kanssa*

Muokkauksien jälkeen luotiin ohjelma, jossa robotti poimii avaimia tunnistemerkintä-jigistä ja asettaa avaimia myyntipakkauksen avainaukkoihin. Tässä vaiheessa työtä ei vielä kajottu varsinaisen ohjelman luomiseen, vaan haluttiin tutkia avaimien asettumista myyntipakkaukseen. Testausohjelman pyöriessä voitiin seurata avaimien asettumista myyntipakkaukseen ja havaita mahdollisia virheitä. Palletointiohjelman aloituspisteen kohdistaminen valittuun referenssipisteeseen täytyy olla tarkka, jotta robotti kykenee pakkaamaan avaimet tarkasti. Mikäli palletointiohjelman aloituspiste on liikaa sivussa referenssipisteestä, robotti ei pakkaa avaimia oikeaan kohtaan avainaukkoa. Tämä myös toistuu jokaisen avainaukon kohdalla. Aloituskohdan ja referenssipisteen hyvällä kohdistuksella voitiin kuitenkin välttää kyseinen ongelma. Lopputuloksena voitiin todeta robotin pakkaavan avaimia myyntipakkaukseen onnistuneesti.

## 7.2 Kokonaisuuden yhdistäminen ja testaus

Robottisolun eri osatoimintojen yhdistäminen aloitettiin asettamalla modifioitu myyntipakkaus työpöydälle robotin kuvanottopisteen alapuolelle. Viereen työpöydälle kiinnitettiin 12-paikkainen tunnistemerkintä-jigi sekä toinen 8-paikkainen muokattu tunnistemerkintä-jigi kuvaamaan avainpalettia. Aluksi työkokonaisuudesta jätettiin oikeat kynnet ja avaimet pois, koska haluttiin testata ohjelmakokonaisuutta.

Varsinaisen ohjelman rakentaminen aloitettiin asettamalla ohjelmapuuhun Loop-komento. Kaikki Loop-komennon alla tapahtuvat komennot toistuvat niin monta kertaa kuin Loop-komentoon on määritetty. Tässä tapauksessa Loop-komennon arvoksi määritettiin 8, koska tunnistemerkintä-jiginä toimi 8-paikkainen pelkistetty tunnistemerkintä-jigi. Loop-komennon alle luotiin kaksi palletointiohjelmaa: Depalletizing (Pallet\_7), jossa robotti purkaa avaimet avainpaletista, ja Palletizing (Pallet\_8), jossa robotti asettaa avaimet tunnistemerkintä-jigiin. Palletointiohjelmien väliin lisättiin muutamat liikeradat kuvaamaan NFC-testiä ja kontaktilanka-testiä. Ohjelmavaihe tallennettiin aliohjelmaksi, jota voidaan kutsua ja muokata tarpeen tullen. (Kuva 29.)

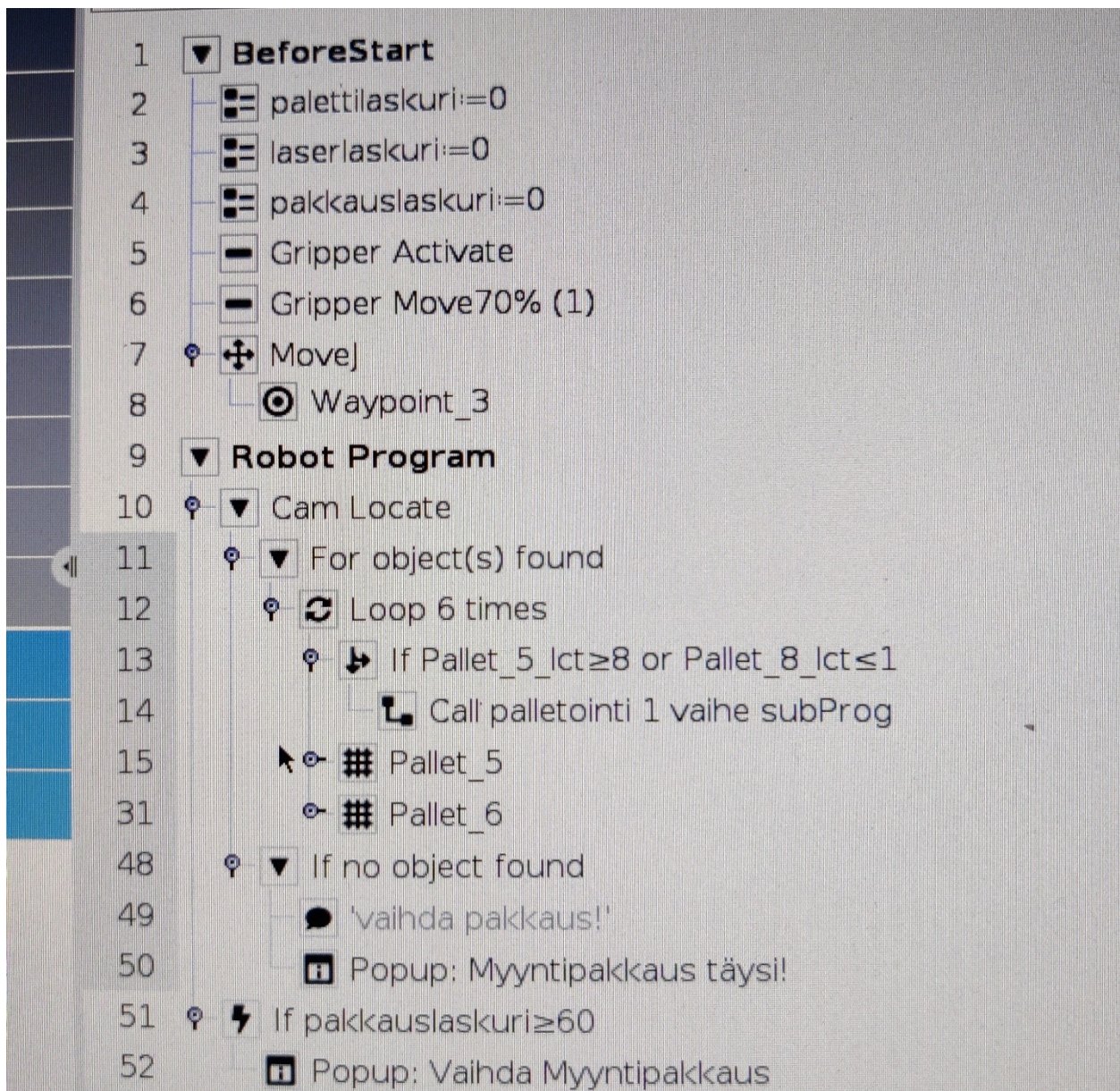


KUVA 29. aliohjelman runkorakenne ohjelmapuussa

Seuraavana vaiheena avattiin tyhjä ohjelmapuu samalla, johon alettiin muodostamaan avaimien myyntipakkaukseen asettelua. Tätä ennen kuitenkin ohjelman alkuun lisättiin BeforeStart-osio, johon laitettiin muun muassa tarttujan aktivointi, tarttujan leukojen alkuasento ja aloituspiste ohjelmalle, josta robotti lähti liikkeelle. Varsinaiseen ohjelmaosioon määritettiin Cam Locate, jonka sisällä koko ohjelma toistuu. Cam Locate on komento, joka luotiin kuvan määrittämistä varten ja se sisältää myös osion mihin määritetään seuraavat toimet kappaleiden tunnistamisen jälkeen.

Cam Locateen oli määritetty kuvanottopiste ja tarvittavat parametrit kappaleiden tunnistusta varten aikaisemmassa työvaiheessa. Ohjelmapuuhun Cam Locaten alle asetettiin

Loop komento. Tässä työvaiheessa Loopin arvoksi asetettiin kuusi, koska konenäkökamera oli määritetty löytämään yhden avainaukon referenssipiste, johon on tarkoituksena asettaa kuusi avainta. Loopin alle ohjelmaan asetettiin palletointiohjelma depalletizing (Pallet\_5), jossa puretaan avaimia tunnistemerkintä-jigistä, ja toinen palletointiohjelma palletizing (Pallet\_6), jossa asetellaan avaimia myyntipakkaukseen. Robotti käy siis ottamassa kuvan myyntipakkauksesta, jonka jälkeen se alkaa viemään avaimia tunnistemerkintä-jigistä myyntipakkaukseen ja toistaa palletointiohjelmia kuusi kertaa. (Kuva 30.)

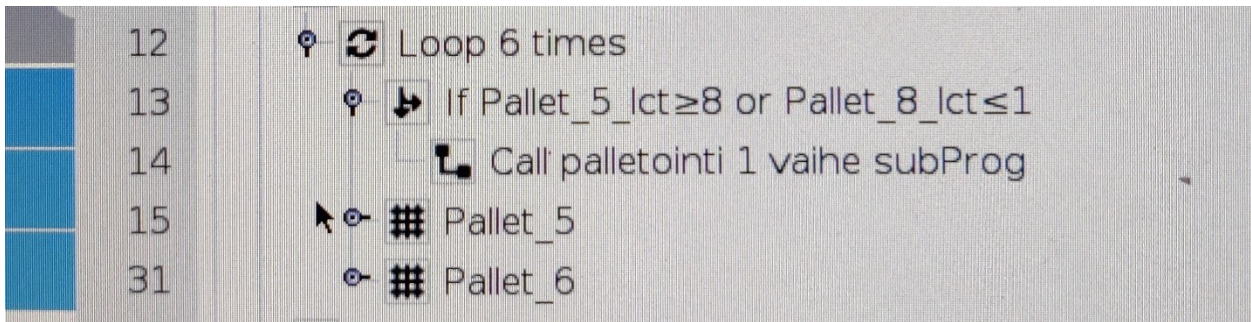


KUVA 30. Pääohjelman runkorakenne, jossa myös BeforeStart-osio

Cam Locaten sisään asetettiin myös if-komento, jossa määritettiin kutsumaan aikaisemmin luotu aliohjelma tietyin ehdoin. If-lauseen ehdoksi asetettiin

### **if Pallet\_5\_Ict $\geq$ 8 or Pallet\_8\_Ict $\leq$ 1**

eli pääohjelman Pallet\_5 palletointiohjelman laskurin (Pallet\_5\_Ict) arvo on suurempi tai yhtä suuri kuin kahdeksan tai aliohjelman Pallet\_8 laskuri (Pallet\_8\_Ict) on pienempi tai yhtä suuri kuin yksi. Jommankumman ehdon täytyttyä if-komento kutsuu tallennetun aliohjelman ja suorittaa sen aliohjelman Loopin määrittämien kertojen verran kerrallaan. Robotti siis täyttää avainpaletista kahdeksan kappaletta avaimia tunnistusmerkintä-jigiin sisältäen kaikki aliohjelman Loopin sisällä olevat komennot, jos jompikumpi tai kummatkin if-lauseen ehdoista täytyvät. (Kuva 31.)



*KUVA 31. Ohjelmassa toteutettu aliohjelman kutsuminen ehdoin*

Aliohjelman suorittamisen jälkeen robotti alkaa poimimaan tunnistusmerkintä-jigistä avaimia myyntipakkaukseen satunnaisesti valittuun avainaukkoon. Pakattuaan kuusi avainta robotti käy ottamassa uuden kuvan, jonka jälkeen vie vielä jäljelle jääneet kaksi avainta seuraavaan avainaukkoon. Kaikki kahdeksan avainta vietyään if-lauseen ehto  $\text{Pallet\_5\_Ict} \geq 8$  täyttyy, jolloin robotti aloittaa aliohjelman suorittamisen uudelleen. Aliohjelmassa robotti jatkaa Depalletizingia avainpaletista ja täyttää uudelleen tunnistusmerkintä-jigin, jolloin robotti on suorittanut kahdeksan kertaa aliohjelman Loopin mukaisesti, jolloin ohjelma kumpikaan ehto ei enää täyty ja robotti palaa jatkamaan pääohjelmaa.

If-komennon toiminnalle määritettiin myös toinen ehto  $\text{Pallet\_8\_Ict} \leq 1$ . Näin saatiin robotti heti ohjelman alussa siirtymään aliohjelman suorittamiseen, koska oletettaessa tunnistusmerkintä-jigi on tyhjä ohjelmaa käynnistäessä. Myös ohjelmassa käytetyn ehdon  $\text{Pallet\_5\_Ict} \geq 8$  tilalla voisi käyttää esimerkiksi  $=8$ , koska kun ehto kerran täyttyy alkaa robotti suorittamaan aliohjelmaa ja suorittaa sitä määrätyn Loopin mukaisten kertojen verran.



Ohjelmaan luotiin vielä lisäksi laskurit ja määritettiin Popup-ilmoitukset tietyin ehdoin. Popup-ilmoitusten tarkoituksena on ilmoittaa operaattorille, jos jokin paletti on tyhjä tai myyntipakkaus täysi. Lisäksi Popup-ilmoitukset pysäyttävät ohjelman suorituksen. Laskureiden alkuarvot määritettiin BeforeStart-osiossa nolliksi. Avainpaletille, tunnistemerkintäjigille ja myyntipakkaukselle luotiin omat laskurit, jotka laskevat paletista poimittujen avaimien määrää ja tallentavat arvot muuttujiin. Popup-ilmoituksia varten ohjelmaan luotiin if-lauseet, joissa määritettiin ehdot, joiden perusteella Popup-ilmoitukset ilmestyvät näytölle. avainpaletin Popupin ehdoksi määritettiin 12, tunnistemerkintäjigin Popupin ehdoksi kahdeksan ja myyntipakkauksen Popupin ehdoksi 60. Ehtojen täytyttyä Popup-ilmoitukset ilmoittavat tyhjästä paleteista ja jigeistä tai myyntipakkauksen täynnä olemisesta. Lisäksi, jos kamera ei tunnista kuvasta yhtään vapaata avainaukkoa, robotti ilmoittaa Popup-ilmoituksella myyntipakkauksen olevan täysi. (Kuva 32.)



*KUVA 32. Ohjelman alussa BeforeStart-osiossa määriteltyjä muuttujien lähtöarvoja*

Ohjelmakokonaisuutta yhdistettäessä ongelmaksi muodostui myös palletointiohjelmien määrien muistaminen. Robotin purkaessa avaimia esimerkiksi avainpaletista ja siirtyessä siitä avaimien asettamiseen myyntipakkaukseen robotti unohti avainpaletista poimittujen avaimien lukumäärän. Silloin robotti aloitti avainpaletin tyhjennyksen alusta ja edellisellä kerralla avainpalettiin jääneet avaimet unohtuivat paikoilleen. Palletointiohjelmien muisti-ongelmat ratkaistiin sijoittamalla kaikki ohjelmaosat Cam Locaten sisäpuolelle, jolloin kaikki työvaiheet tapahtuivat kuvan ottamisen jälkeen. Poissulkien BeforeStart-osio. Ongelman ratkaisun jälkeen voitiin todeta robotin suorittavan määrätty työvaiheet ja pakkaavan avaimet avainpaletilta myyntipakkaukseen näiden vaiheiden kautta.

## 8 JATKOKEHITYSIDEAT

Tähän osioon on koottu työtä tehdessä havaittuja jatkokehitysideoita solun käyttöönoton kannalta.

### 8.1 Avainpaletti

Avaimet tuodaan tuotantoprosessiin avainpaletilla. Nykyisessä käytössä olevassa avainpaletissa avaimet makaavat kyljelleen, jolloin niiden poimiminen paletista tällä kokoonpanolla on mahdotonta. Avaimet täytyisi poimia kahvaosasta, jotta kaikki työvaiheet voitaisiin toteuttaa irrottamatta otetta avaimesta. Testausvaiheessa avainpalettina käytettiin toista tunnistemerkintä-jigiä, jolla voitiin testata prosessin toimivuus testausvaiheessa. Työn toimisen kannalta avaimille täytyisi suunnitella kuitenkin uusi avainpaletti, jossa avaimet olisivat sijoitettuna pystyyn kahvaosa ylöspäin tai ainakin lähelle pystyasentoa. Myös avainpaletti täytyisi olla muotoiltu niin että se kyetään kohdistamaan työpöytään mahdollisilla kohdistimilla, mikäli kohdistimien käyttöön päädytään esimerkiksi konenäön sijasta.

### 8.2 NFC-testikortti

Työssä käytetty NFC-testikortti tulisi tulevaisuudessa yhdistää robotin ohjaimeen, jolloin saataisiin tieto robotille testin onnistumisesta tai epäonnistumisesta. Testin epäonnistuksessa robotti osaisi alkaa toimia määrättyjen toimien mukaan eteenpäin. Vastaavasti testin onnistuessa robotti tietäisi jatkaa prosessia.

### 8.3 Kontaktilanka-testi

Kontaktilanka-testiä tehdessä huomattiin robotin force-toiminnon hitaus prosessissa. testivaiheen nopeuttamisen kannalta voisi olla myös mahdollista toteuttaa vaihe pisteillä joihin robotti kiertyy Z-akselin ympärillä. Pisteiden täytyisi olla hyvin lähellä toisiaan, jotta robotti ei alkaisi vääntämään testisylinteriä vasten. Silloin robotti vain tekisi pienet ”nitkautukset” eri suuntiin. Testauksessa tarvittavien liikkeiden toteuttaminen tällä tavalla kuitenkin muodostaa riskin materiaalin väsymiselle pitemmällä aikavälillä, eikä siten ole oikea tapa toteuttaa testi. Kontaktilanka-testin vääntö osuus voisi olla myös mahdollista toteuttaa edellä mainitulla tavalla, jos itse testilaite jousitettaisiin tai sille tehtäisiin jokin muunlainen erillinen ei kiinteä asennus.

## **8.4 Jigien liikuttelu ja palletointi**

Työssä käytettävien jigien kohdistaminen juuri oikeaan paikkaan työpisteellä voi myös muodostua haasteeksi, mikäli työ päädyttäisiin ottamaan käyttöön. Jigit poistetaan aina paikaltaan ja vaihdetaan uusiin tai tyhjiin, jolloin niiden kohdistaminen oikeaan paikkaan vaatii lisälaitteita. Kohdistimena voisi toimia esimerkiksi kulmasta työntävä sylinteri, joka puskee jigien vastetta vasten oikeaan paikkaan.

Kohdistimen toiminta edellyttäisi tietenkin alustan pysymistä puhtaana, koska avaimia poimittaessa kyseessä ovat todella pienet toleranssit. Kohdistin voitaisiin myös kytkeä robotin ohjaimeen tai anturoida erikseen toimimaan automaattisesti jigien laskettaessa paikalleen.

Toinen vaihtoehto voisi olla konenäön yhdistäminen tähän vaiheeseen, jolloin konenäöllä voitaisiin tarkistaa jigien sijoitus työpöydällä ja robotti osaisi muokata liikkeet sen mukaan. Työssä käytetyn Robotiq Wrist Camera -kameran pienimmäksi tarkennusetaisyysdeksi ilmoitetaan 70 mm ja suurimmaksi resoluutioksi 2560 X 1920, eli 5 Mpx (20, s. 122). Ilmoitettujen arvon perusteella kameran tarkkuuden pitäisi riittää selvittämään jigien oikea sijainti pöydällä, mikäli kameralle kyetään opettamaan riittävän tarkka kohta jigistä.

Työkokonaisuudessa käytettävä suurempi tunnistamerkintä-jigi, jonka toimintaan ei työssä kajottu, ja jonka sisälle pienemmät tunnistamerkintä-jigit asetetaan, voi aiheuttaa ongelmia jigien välyksien kanssa. Suurempi tunnistamerkintä-jigi täytyisi testata pienemmillä jigeillä ja tarkastella mahdollisia välyksiä ja jigien asettumista suurempaan jigisiin poimintatarkkuuden vuoksi. Työvaiheessa voisi soveltaa konenäköä tai harkita jigien asettamista pääjigien sisälle pysyvästi. Myös pääjigien asettaminen laserointikoneeseen voitaisiin toteuttaa joko robotilla työntämällä koneeseen, jolloin robotti ikään kuin työntäisi jigien kaukaloa tai liukuhihnaa pitkin sisälle laserointikoneeseen. Myös laserointikoneesta löytyvän kaapelin kytkentää suuremman tunnistamerkintä-jigien ja laserointikoneen välillä pitäisi pohtia tässä vaiheessa.

## **8.5 Myyntipakkaus ja siihen pakkaaminen**

Myyntipakkauksen tukipahvin aukot saattavat tukkeutua riippuen avainliuskojen asennoista pakkauksen sisällä. Tukipahvissa olevia aukkoja täytyy suurentaa jokaiseen pak-

kaukseen, jolloin avainliuskat sopivat pakkaukseen oikeille kohdille. Vaihtoehtoisesti pakkauksesta ja avainliuskoista on saatava tiiviimmät, etteivät liuskat pääse heilumaan sisällä ja tukkimaan tukipahvin aukkoja. Tällöin konenäköä ei tarvittaisi ja myyntipakkaus voitaisiin kohdistaa oikealle kohdalle kohdistimilla. Myös alla olevaa tukipahvia täytyisi korottaa noin 5 mm, jolloin avaimien mekaaninen avainosa ei pääsisi osumaan myyntipakkauksen pohjaan. Tällöin robotin on helppo asettaa avaimet myyntipakkaukseen ja avaimet eivät asetu vinoon, vaan jäävät roikkumaan avainliuskasta. Tukipahvin korottaminen voi myös johtaa muutoksiin itse päälaatikossa, esimerkiksi koko myyntipakkauksen korottamiseen.

## **8.6 Tarttujan kynnet**

Työn käyttöönoton kannalta myös tarttujan kynsiä täytyisi jatkokehittää. Työssä käytetyt kynnet ovat 3D-tulostettuja ja niiden valmistus tarkkuus on kyseenalainen. Tulevaisuudessa kynnet voitaisiin mallintaa suoraan avaimen pinnasta ja koneistaa metallista. Tällöin kynsistä saataisiin tarkasti juuri avaimeen istuvat, kestävät ja taipumattomat. Nykyisiä kynsiä käyttäessä kynnet taipuivat ja pyrkivät katkeamaan herkästi.

## **8.7 Ohjelmointi**

Robotin ohjelma oli testausvaiheessa melko karkea. Työn tarkoituksena oli testata olisiko kokonaisuus mahdollinen suorittaa robotilla. Ohjelmaa voitaisiin parantaa vielä paljon ja lisätä siihen tarvittavia lisätoimintoja. Ohjelman jatkokehitysideoita voisivat olla

- tartunnan valvonta, jolla tarkistetaan tarttujan tartunta avaimeen
- laskureita tarkistamaan ja laskemaan avaimia, esimerkiksi kokonaismäärien laskenta ja palettien tyhjeneminen
- liikeratojen ja nopeuksien optimoiminen, kun layout on valmis
- aliohjelmat ja niiden kutsuminen ehdoin, esimerkiksi virhetilanteissa toimiminen
- virhetilanteessa toiminta
- turvallisuustoimet ja työalue
- robotin soveltaminen muihin tehtäviin ohjelman vaihdolla.

## 9 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin, olisiko robotin soveltaminen avainvalmistusprosessiin mahdollista. Jokainen työvaihe testattiin erikseen ja niistä rakennettiin pääkokonaisuus. Avaimet täytyi poimia ensin avainpaletilta, ja sen jälkeen robotti siirsi avaimen NFC-testiin, josta avain jatkoi matkaansa edelleen kontaktilankatestiin. Kontaktilankatestissä avaimen kohdistettiin hieman vääntöä, jolloin saadaan mahdollisimman todenmukainen tulos testistä. Tämän jälkeen avain asetellaan tunnistemerkintä-jigiin ja avaimet tunnistemerkittiin laserilla. Merkitsemisen jälkeen avaimiin tehtiin mahdollinen ohjelmistopäivitys ja ne pakattiin myyntipakkaukseen.

Työn alkupuolella tehtiin päätös käyttää sormitarttujaa ja suljettiin muut vaihtoehdot pois, jolloin avaimesta ei tarvinnut irrottaa otetta missään vaiheessa. Tartuntakohdaksi valittiin avaimen kahvaosa sen käytännöllisyyden takia, jolloin kaikki työvaiheet kyettiin suorittamaan mahdollisimman pienillä muutoksilla. Kahvaosasta saatiin myös paras ote avaimesta, ja kahvassa olevaa aukkoa käytettiin otteen parantamiseen.

Ensimmäistä työvaihetta tehdessä tultiin pian siihen tulokseen, että avainpalettia täytyi muuttaa. Avaimet olivat paletissa kyljellään, ja niiden poimiminen oli mahdotonta tarttujalla. Testauksessa avainpaletin tilalla käytettiin tunnistemerkintä-jigiä, jossa avaimet olivat valmiina pystyasennossa, jolloin kyseinen työvaihe onnistuttiin testaamaan.

NFC-testivaiheessa testikortin suojamuovi-jigi poistettiin, jotta avain olisi mahdollista laskea antennin päälle kyljelleen irrottamatta otetta avaimesta. Tilaajalta saadun tiedon mukaan testikortin antenni kykenisi lukemaan avaimen tunnistesirun vielä 5 - 6 mm etäisyydeltä. Avaimen lukuominaisuuksia testattiin toimivalla NFC-testauskortilla, jolloin todettiin yhteyden toimivan tarttujan kynsien kanssa.

Kontaktilankatestiä tehdessä käytettiin robotin voimanohjaus-toimintoa, jolla simuloitiin avaimen kohdistuvaa vääntöä. Avain asetettiin testisylinteriin ja sitä käännettiin kummallekin puolelle kontaktin varmistamiseksi. UR 10 e -sarjan robottien force-voimanohjaustoiminto oli kohtalaisen hidas, kun kyse on pienistä voimista. Avaimen saatiin kohdistettua edestakaiset vääntöliikkeet ja voitiin todeta testin olevan onnistunut.

Avaimien asettelu tunnistemerkintä-jigiin ja niiden poimiminen jigistä toteutettiin UR 10 e -sarjan robottien valmiilla palletointiohjelmalla. Näin vältettiin suuri määrä lisäkoodin kirjoittamista. Avaimet aseteltiin jigiiin Robotiq Hand-E -tarttujalla, johon oli asennettu oma-valmisteiset kynnet. Tarttujan kynnet oli suunniteltu ja valmistettu avaimen poimimiseen kahvaosasta.

Ohjelmistopäivitys toteutettiin samalla lailla kuin NFC-testin tekeminen. Avainta käytettiin lukulaitteen päällä, jolloin uusi ohjelmistopäivitys latautui sisään avaimen NFC-yhteyden välityksellä. Ohjelmistopäivityksen ja NFC-testin samankaltaisuuden vuoksi ohjelmistopäivitys jätettiin vähemmälle huomiolle tässä opinnäytetyössä.

Avaimien asettaminen myyntipakkaukseen aiheutti aluksi vaikeuksia myyntipakkauksen moniosaisen rakenteen vuoksi. Myyntipakkaukseen tehtiin testeissä muutoksia leikkaamalla tukipahvien aukkoja suuremmiksi, jolloin avainliuskat eivät enää tukkineet avaimien asettamisaukkoja. Tukipahvien laajennuksen ansiosta myyntipakkaukseen voitiin laskea avaimia robotilla konenäön avustuksella ja tunnistaa oikeat referenssipisteet robotille. Myyntipakkauksen alemman tukipahvin korkeutta muutettiin avaimien paremman asettamisen vuoksi. Jos myyntipakkauksen sisempien pahvien toleranssit muutettaisiin tarkemmiksi, ei konenäkökameraa tarvitsisi prosessi käyttää.

Ohjelmakokonaisuuden yhdistäminen toteutettiin rakentamalla avainpaletista poimiminen tunnistemerkintä-jigiin omana aliohjelmalla, jota kutsutaan parametrein pääohjelmassa. Avainpaletille ja tunnistemerkintä-jigille luotiin omat työkappalekoordinaatit helpottamaan kokonaisuuden rakentamista. Aluksi ohjelmakokonaisuus näytti toimiva halutulla tavalla, mutta robotin toimintaa seurattaessa huomattiin avainten lukumäärien eron tuovan haasteen. Avaimia pakattiin 12-paikkaisesta avainpaletista 8-paikkaiseen tunnistemerkintä-jigiin ja siitä edelleen 60-paikkaiseen myyntipakkaukseen. Haaste muodostui siitä, että robotin täytyi aina muistaa edellisen palletointiohjelman siirrettyjen avainten lukumäärä siirryttäessä suorittamaan seuraavaa palletointiohjelmaa. Robotin pakatessa avaimia myyntipakkaukseen sen täytyi siis keskeyttää pakkaaminen aliohjelman suorittamisen ajaksi ja jatkaa pakkaamista aliohjelman jälkeen samasta kohtaa.

Ohjelman pyörähtäessä ympäri ja alkaessa alusta robotti kävi ottamassa ohjelman mukaisesti kuvan ja unohti aikaisemman referenssipisteen. Referenssipisteen unohduttua

robotti ei muistanut enää, mihin edellisen kierroksen pakkaaminen jäi, vaan aloitti prosessin alusta ohjelman mukaisesti. Ongelma ratkaistiin asettamalla kaikki robotin muut toiminnot Cam Locate -osion sisäpuolelle, jolloin kyettiin rakentamaan ohjelma ilman välissä tapahtuvaa kuvan ottoa. Ylimääräisen kuvan oton jäätyä pois, robotti kykeni muistamaan aikaisemmat paikat.

Aliohjelmaan lisättiin kevennetyt version NFC-testistä ja kontaktilanka-testistä, jotka robotti suoritti aina avainpaletista tunnistemerkintä-jigiin palletoinnin välissä. Lopuksi ohjelmaan luotiin laskurit laskemaan jokaisen paletin tai jigien avainmääriä. Popup-ilmoitukset luotiin ilmoittamaan joko avainten loppumisesta tai myyntipakkauksen täyttymisestä.

Lopputuloksina voidaan tuoda ilmi robotin olevan soveltuva avainvalmistusprosessiin tiettyin muutoksin. Vaadittavia muutoksia ovat avainpaletin muotoilu ja myyntipakkauksen muokkaaminen sekä parantaminen. Myös kontaktilankatestin suorittamiseen vaaditaan ohjaavaa osaa. Tunnistemerkintä voidaan suorittaa työssä esitetyllä tavalla, mutta vaihe vaatii lisätestejä suuremman tunnistemerkintä-jigin kanssa. NFC-testi ja ohjelmistopäivitys voidaan suorittaa nykyisellä tavalla ja osilla. Käytettävien tarttujan kynsien tartuntapinnat täytyy olla juuri tarkoitukseen suunnitellut ja valmistetut.

Opinnäytetyö onnistui mielestäni hyvin, ja työssä onnistuttiin todentamaan robotin käytön olevan mahdollista avainvalmistusprosessissa. Työssä ehdottomasti eniten aikaa veivät tarttujan kynsien suunnittelu ja testaus sekä muiden tarvittavien jigien ja nippeleiden kehittäminen. Myös ohjelmakokonaisuuden yhdistäminen aiheutti haasteita, joista selvittiin esimerkiksi tietoa ja testaamalla eri variaatioita. Oma osaamiseni kehittyi valtavasti robotin ohjelmoinnissa, 3D-mallinnuksessa ja sähköteknisissä haasteissa. Opinnäytetyössä käytetty minulle entuudestaan tuntematon Robotiq Wrist Camera -kamera ja sen käyttö tulivat tutuksi. Ennen projektia osasin robotiikasta perusteet, joiden sisältö koostui lähinnä muutamasta luennosta ja parista laboriokerrasta. Opinnäytetyön jälkeen tunnen olevani paljon syvemmin aihetta osaava suunnittelija ja robotiikan osaaja.

## LÄHTEET

1. Paristoton digitaalinen avain. 2017 - 2021. Avain K10S.3. iLOG Ltd. Saatavissa: [https://www.iloq.com/fi/single\\_product/avain-k10s-3/](https://www.iloq.com/fi/single_product/avain-k10s-3/). Hakupäivä 27.3.2021.
2. Tietoa meistä. 2017 - 2021. iLOQ Ltd. Saatavissa: <https://www.iloq.com/fi/yritys/tieto-meista/>. Hakupäivä 4.11.2020.
3. SFS-EN ISO 8373:2012(en). 2005. Robots and robotic devices. ISO. Saatavissa: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:v1:en>. Hakupäivä 2.12.2020.
4. Industrial Robots. 2020. Main benefits of robot investments. IFR. Saatavissa: <https://ifr.org/industrial-robots>. Hakupäivä 15.4.2020.
5. What Are The Main Parts Of An Industrial Robot?. 2021. RobotWorx. Saatavissa: <https://www.robots.com/faq/what-are-the-main-parts-of-an-industrial-robot>. Hakupäivä 13.4.2021.
6. Teollisuusrobotti. 2020. Määritelmiä. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Teollisuusrobotti>. Hakupäivä 12.4.2021.
7. Industrial Robot Functionality and Coordinate System. Coordinate systems of the robot-cell. INLEARC. Saatavissa: <https://www.tthk.ee/inlearcs/industrial-robot-functionality-and-coordinate-systems/>. Hakupäivä 15.5.2021.
8. Vapausaste (mekaniikka). 2015. Wikipedia. Saatavissa: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Vapausaste\\_\(mekaniikka\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Vapausaste_(mekaniikka)). Hakupäivä 15.1.2021.
9. Unraveling Degrees of Freedom and Robot Axis: What does it mean to have a multiple axis pick and place or multiple axis robot?. 2020. Motion Controls Robotics. Saatavissa: <https://motioncontrolsrobotics.com/unraveling-degrees-of-freedom-and-robot-axis-what-does-it-mean-to-have-a-multiple-axis-pick-and-place-or-multiple-axis-robot/>. Hakupäivä. 15.5.2021.
10. Industrial Robot Functionality and Coordinate System. Industrial robot configuration and basic parameters. INLEARC. Saatavissa: <https://www.tthk.ee/inlearcs/industrial-robot-functionality-and-coordinate-systems/>. Hakupäivä 15.5.2021.



11. SCARA. 2017. Wikipedia. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/SCARA>. Hakupäivä 11.1.2021.
12. Gonzalez, Carlos 2016. What's the Difference Between Industrial Robots? MachineDesign. Saatavissa: <https://www.machinedesign.com/markets/robotics/article/21835000/whats-the-difference-between-industrial-robots>. Hakupäivä 3.3.2021
13. Robot Types. 2001. Robot Welding. Saatavissa: <http://www.robot-welding.com/robots.htm>. Hakupäivä 2.3.2021.
14. Cylindrical Robots. 2020. MWES ITAR Compliance. Midwest Engineered Systems. Saatavissa: <https://www.mwes.com/cylindrical-robots>. Hakupäivä 17.2.2021.
15. FANUC. 1987 - 2021. M-3iA/6A Delta Robot. FANUC America Corporation. Saatavissa: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/m-3ia-delta-robots/m-3ia-6a>. Hakupäivä 15.5.2021.
16. Hentula, Teemu 2017. Robotiikan laboratoriotöiden kehittäminen. Opinnäytetyö. Turku: Turun ammattikorkeakoulu, kone- ja tuotantotekniikka. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130304/Hentula\\_Teemu.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/130304/Hentula_Teemu.pdf?sequence=1). Hakupäivä 13.4.2021.
17. Hand-E Adaptive Gripper. 2021. Robotiq Inc. Product Sheet. Saatavissa: [https://blog.robotiq.com/hubfs/Product-sheets/Adaptive%20Grippers/Product-Sheet-HandE-Adaptive-Gripper-EN.pdf?\\_ga=2.186765101.488191190.1618433609-780077216.1612963240](https://blog.robotiq.com/hubfs/Product-sheets/Adaptive%20Grippers/Product-Sheet-HandE-Adaptive-Gripper-EN.pdf?_ga=2.186765101.488191190.1618433609-780077216.1612963240). Hakupäivä: 15.4.2021.
18. Universal Robots. 2009 - 2021. Universal Robots e-Series User Manual. Universal Robots A/S. Saatavissa: [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/105257/99405\\_UR10e\\_User\\_Manual\\_en\\_Global.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/ur-support-site/105257/99405_UR10e_User_Manual_en_Global.pdf). Hakupäivä 15.4.2021.
19. Pihkala, Juhani 2019. NFC – Älyä älypuhelimien. Saatavissa: <http://nfc-tunniste.weebly.com/>. Hakupäivä 7.4.2021.

20. Wrist Camera. 2021. Instruction Manual. Robotiq Inc. Saatavissa: [https://assets.robotiq.com/website-assets/support\\_documents/document/Wrist\\_20Camera\\_Instruction\\_20Manual\\_PDF\\_20210406.pdf?\\_ga=2.1706353.176924307.1618157207-780077216.1612963240](https://assets.robotiq.com/website-assets/support_documents/document/Wrist_20Camera_Instruction_20Manual_PDF_20210406.pdf?_ga=2.1706353.176924307.1618157207-780077216.1612963240). Hakupäivä 12.4.2021.