



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Roni Halmesmäki & Henri Haavisto

KESTOMAGNEETTIEN LADONNAN AUTOMATISOINTI

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Roni Halmesmäki & Henri Haavisto
Opinnäytetyön nimi	Kestomagneettien ladonnan automatisointi
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	55
Ohjaaja	Mika Billing

Viime vuosina kestoplaneettityyppisten sähkömoottoreiden kysyntä ja menekki on lisääntynyt ja ennustetaan lisääntyvän myös tulevaisuudessa. Nykyiset valmistusmenetelmät ja -puutteet eivät mahdollista suurien määrien sarjavalmistusta. Tässä opinnäytetyössä kehitettiin kestoplaneettien asentamisen automaatiojärjestelmää.

Opinnäytteessä keskeisiä asioita ovat: perehtyminen kestoplaneettimoottoreiden kokoamiseen, tuotannon automatisointi, automatisoidun kokoonpanosolun suunnittelu, erinäisten solussa käytettävien komponenttien suunnittelu ja testaaminen.

Projektin aloitettiin ideoimalla erinäisiä metodeja tavaroiden liikutteluun ja asemointiin solussa. Seuraavaksi suoritettiin solun ”layoutin”, eli niin sanotun pohjapiirustuksen hahmotus. Kun layout oli hahmotettu, voitiin suorittaa solun ja sen komponenttien yksityiskohtaisempi suunnittelu. Projektissa testattiin magneettien asennusta harjoitusrootoriin. Testauskäytössä käytettävissä oli ABB:n IRB 1600 -robotisolu, johon valmistettiin sekä hankittiin komponentteja testauksia varten. Automaatiojärjestelmästä suunniteltiin 3D-malli, joka toimii mallina rakennettavasta asennussolusta.

Automaatiosolun pohjapiirre ja rakenteet olivat yksinkertaisia ja simulaatio oli onnistunut. Automaatiosolua voidaan pitää onnistuneena. Testisolussa suoritetuissa testeissä voitiin havaita muutoksia vaativia rakenteita. Testausolosuhteiden komponentteihin tehtiin parannuksia. Jatkokehityksessä tulisi yksityiskohtaisemmin perehtyä koneen integroimiseksi, sekä eri liimojen käyttöä tulisi tutkia.

ABSTRACT

Author	Roni Halmesmäki & Henri Haavisto
Title	Automation of permanent magnet installation.
Year	2020
Language	Finnish
Pages	55
Name of Supervisor	Mika Billing

For the past years, the demand and sales of the PM-motors have been rising and are assumed to keep rising in the future. Current manufacturing methods and framework will not allow high production volumes. In this thesis an automation system for the installation of permanent magnets will be developed.

The main points of the thesis were: familiarization to the PM-motor assembly, production automation, design of automated assembly cell and testing of various components used in assembly cell.

The project began by considering different methods for moving and positioning items in a cell. Next was to outline the layout of the cell. After the layout was outlined, a more detailed design of the cell and its components was performed. Tests were performed for magnet installation using an ABB IRB 1600 articulated robot solution. Components were manufactured and acquired to suit testing purposes. 3D-model, of the Automated assembly solution was designed, which would be used as an example for the genuine assembly solution.

The layout and the structure of the automated assembly solution was simple and the simulation performed successfully. The outcome of the Automated solution can be considered successful. The tests performed with the test solution, pointed out features which needed improvement. Improvements were performed to the components in the test solution. In the future development should consider more specifically the integration of the machine vision and different glue options for magnet assembly should be examined.

Keywords	Automated assembly, robotics, permanent magnet motor and simulation
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	8
2	PROJEKTIN TAUSTA.....	9
2.1	Tarkoitus ja tavoitteet.....	9
2.2	Organisaatio ja resurssit	9
2.3	Aikataulu	10
2.4	Riskit	12
2.4.1	Riskien tunnistus ja analysointi.....	12
2.5	Aiemmat tutkimukset	15
3	TEORIATAUSTA	16
3.1	Automaatio ja robotiikka.....	16
3.1.1	Robottisolun suunnitteleminen	17
3.2	Sähkömoottori	18
3.2.1	Kestomagneettitahtimoottori.....	18
3.3	Kestomagneettien käsittely automaattisessa kokoonpanossa.....	20
3.4	Valmistus ja materiaalit.....	21
3.4.1	Materiaalia lisäävä valmistus	22
3.5	Konenäkö.....	24
4	PROJEKTIN TOTEUTUS.....	26
4.1	Solun pääpiirteiden määrittely ja ideointi.....	26
4.2	Testaussolun lähtökohdat	28
4.2.1	Robotin tarttuja	28
4.2.2	Magneettien erittely ja robotilla noutaminen	29
4.2.3	Magneetin napaisuuden tunnistaminen.....	29
4.3	Kokoonpanosolun mallinnus	30
4.3.1	Roottorin asemointi.....	31
4.3.2	Liiman käyttö magneettien asennuksessa	31
4.3.3	Simuloiminen	31

5	PROJEKTIN TUOTOKSET	34
5.1	Testaussolu	34
5.1.1	Robotin tarttuja	34
5.1.2	Magneettien syöttölipas	38
5.1.3	Ladonnan vaiheet	39
5.2	Automaatiosolun 3D-malli	44
5.2.1	Kuljetin ja kääntöpöytä	44
5.2.2	Konenäön soveltaminen roottorin asemointiin	45
5.2.3	Magneettien liimaus	48
5.2.4	Valmis 3D Solu	48
6	LOPPUPÄÄTELMÄT JA POHDINTA	53
6.1	Tuotosten arviointi	53
6.2	Projektin kulku	53
6.2.1	Riskien toteutuminen	53
6.3	Kehitysideat	54
	LÄHTEET	55

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Työhön osallistuneet henkilöt.....	10
Taulukko 2. Alustava aikataulu	11
Taulukko 3. Päivitetty aikataulu	12
Taulukko 4. Opinnäytetyön riskit	13

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

ABB	Asea Brown Boveri
IRB	Industrial Robot
PM	Permanent magnet (kestomagneetti)
CAD	Computer aided design (tietokoneavusteinen suunnittelu)
Siemens NX	3D-suunnitteluohjelmisto
I/O	Input/Output (ohjausignaali sisään/ulos)
RobotStudio	ABB:n robotiikkaohjelmisto
Tarttuja	Robotin päätyökalu
Filamentti	3D-tulostuslanka
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene (akrylinitriilibutadienistyreeni)
PLA	Polylactic acid (polylaktidi)
FDM	Fused Deposition Modeling

1 JOHDANTO

Sähkömoottorien käyttö on yleistynyt huomattavasti viimeisen vuosisadan aikana. Laajentuneet sähkönjakelu verkostot mahdollistavat sähkömoottoreiden entistä monipuolisemman käytön. Sähkömoottoreiden monikäyttöisyys ja sovellettavuus erilaisiin käyttöympäristöihin on lisännyt sen suosiota. Sähkömoottorien sekä sähkönvarastointimethodien kehittyminen, tarjoaa sähkömoottoreille uusia käyttötapoja muun muassa ajoneuvoteknologian saralla.

Lisääntyvä kysyntä sähkömoottorien markkinoilla luo sähkömoottorien valmistajille tarpeen suurentaa tuotantokapasiteettia. Tuotantomäärien kasvattaminen edellyttää toimenpiteitä tuotannon toimintatapojen, tuotantovälineiden ja tuotantotilojen kehittämiseksi. Erityisesti yksitoikkoisissa töissä, on siirrytty yhä enemmän käyttämään robotteja ja muita automaattisia laitteita.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus suunnitella automatisoitu kokoonpanosolu, keskomagneettien asentamiselle sähkömoottorin roottoriin. Jotta samalla linjalla voidaan sulavasti valmistaa useita roottorimalleja, tulee solun suunnittelussa kiinnittää huomiota sen modulaarisuuteen, eli toisin sanoen, kuinka joustavasti solun toiminnassa pystyttäisiin siirtymään erikokoisten roottorien ja magneettien välillä.

2 PROJEKTIN TAUSTA

Tässä luvussa käydään läpi, miksi tämä projekti tehdään, mihin sillä pyritään, keitä projektissa on mukana. Käymme läpi projektin lähtökohdat, aikataulua sekä pyrimme tunnistamaan riskit.

2.1 Tarkoitus ja tavoitteet

Tarkoituksena oli suunnitella automaattisesti toimiva järjestelmä, jossa magneettien asentaminen roottoriin onnistuu. Magneettien asentaminen on aiemmin toteutettu käsityönä. Magneettien asentaminen käsin vaatii kuitenkin paljon työtunteja, jonka takia suurten volyyymien magneettimoottorien valmistaminen on ollut hidasta. Tästä syystä magneettien asentamiseen lähdettiin kehittämään automaattisesti operoivaa solua.

Opinnäytetyössä tavoitteena oli suunnitella 3D-mallinnusohjelmalla automaattisesti operoiva kokoonpanosolu, jossa voitaisiin simuloida kestromagneettien asentaminen roottoriin. Tavoitteena oli myös kehittää aiemmasta tutkimusprojektista saatua prototyypisolu, jotta magneetin automatisoituasentaminen voitaisiin käytännössä testata.

2.2 Organisaatio ja resurssit

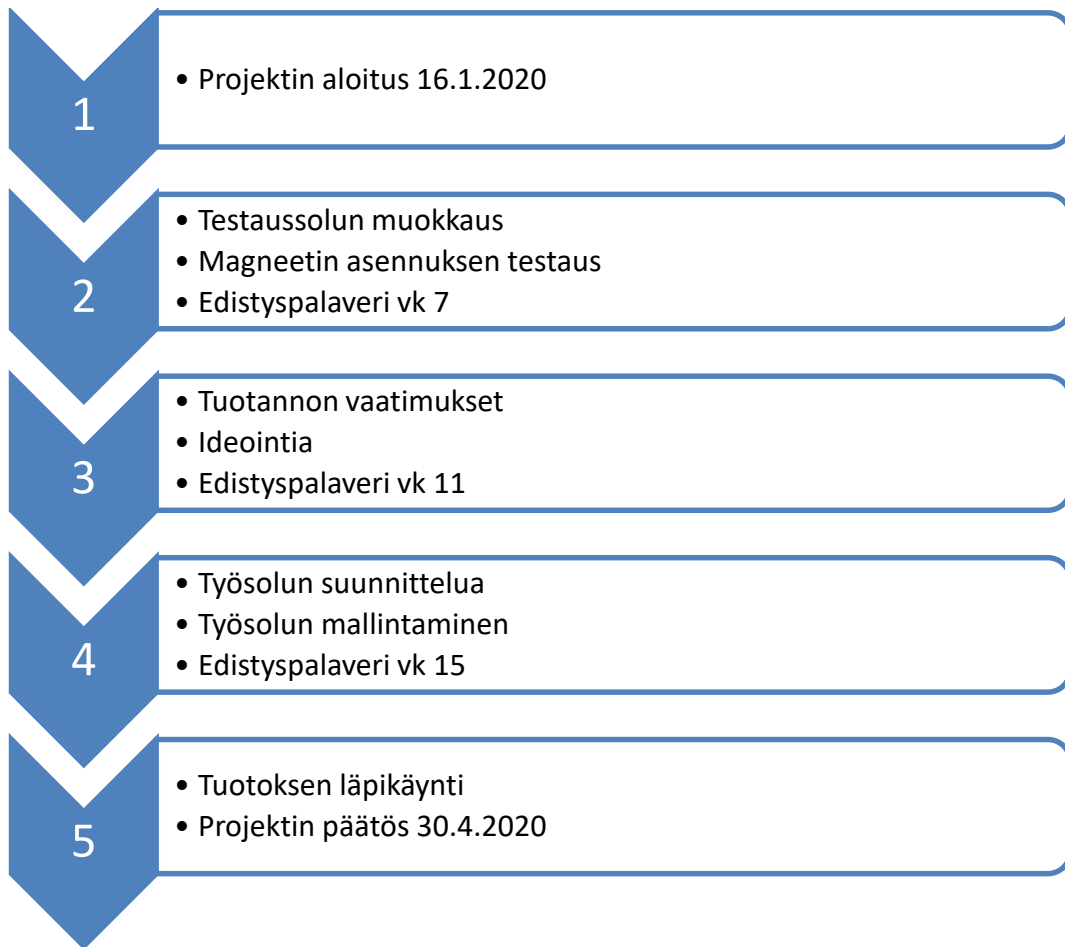
Projektin aloituspalaverissa määriteltiin työn tilaajan kanssa alustavat henkilöt, jotka ovat osallisina projektissa ja mikä on kunkin henkilön rooli projektissa (Taulukko 1.).

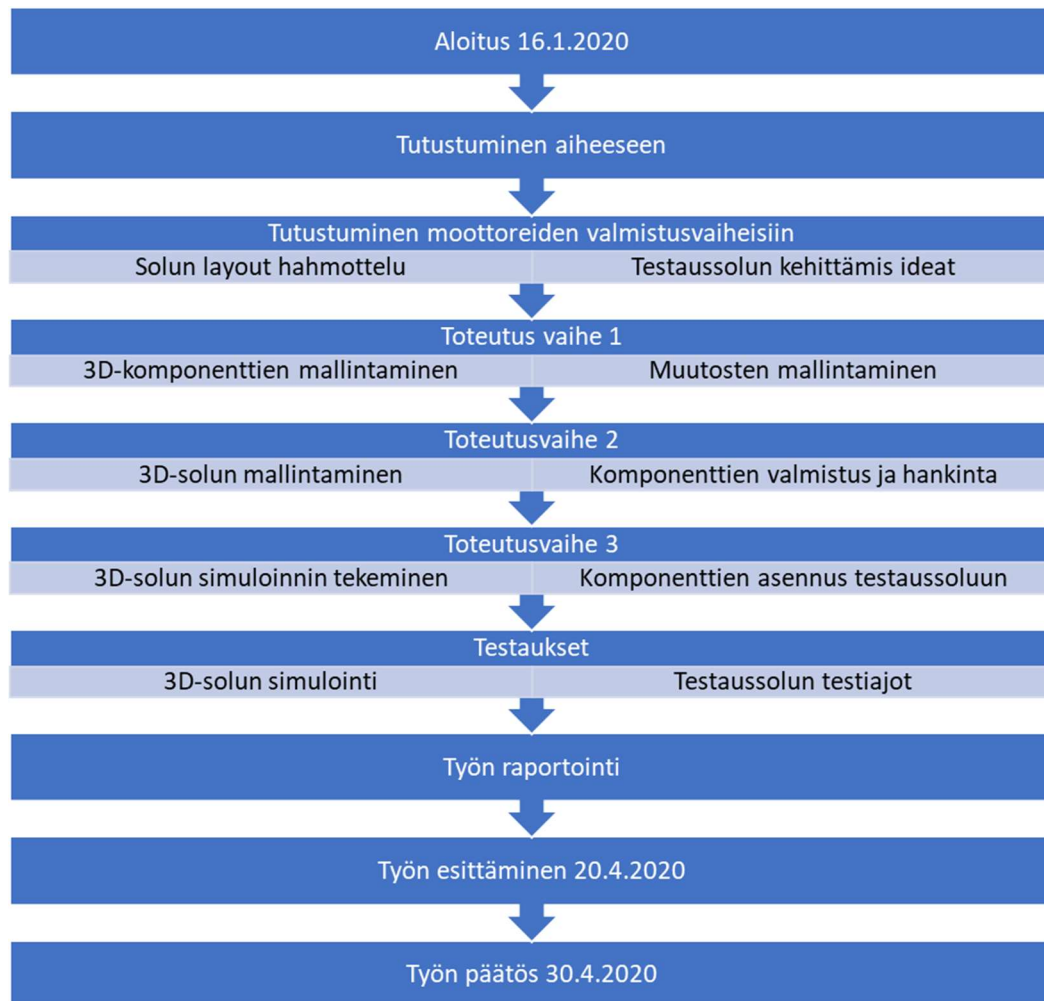
Taulukko 1. Työhön osallistuneet henkilöt.

Nimi	Asema	Edustettava taho
Henri Haavisto	Opinnäytetyön suorittaja	VAMK
Roni Halmesmäki	Opinnäytetyön suorittaja	VAMK
Mika Billing	Opinnäytetyön valvoja	VAMK
Johan Kalander	Työn tilaaja	ABB
Aki Alanen	Työn valvoja	ABB
Jouni Ikäheimo	Ohjeistaja	ABB

2.3 Aikataulu

Projektin virallinen aloituspäivämäärä on 16.1.2020 ja sen suunniteltu päättymispäivä on 30.4.2020. Projektisuunnitelmaan alustavasti luotu aikataulu, päätettiin projektin aloitustilaisuudessa uudelleen jäsentää. Alustavasti Työvaiheet oli jaksotettu vain ajallisesti, mutta uudessa suunnitelmassa työvaiheet jaettiin työsuorittajien kesken siten, että kummallakin työsuorittajalla oli selvästi omat tehtävät ja vastualueet. Alun perin seurantalavereja oli tarkoitus pitää kuukauden välein, mutta työn tilaajan kanssa sovimme seurantalavereja pidettäväksi kerran viikossa (Taulukko 2.), (Taulukko 3.).

Taulukko 2. Alustava aikataulu.

Taulukko 3. Päivitetty aikataulu.

2.4 Riskit

Projektin alussa pohdittiin mahdollisia riskejä, jotka saattavat vaikuttaa projektin edistymiseen negatiivisella tavalla. Riskien tunnistamisen jälkeen ne analysoitiin, eli määriteltiin riskien suhteelliset seuraukset ja todennäköisyys. Riskien analysoinnin pohjalta tehtiin tarvittaessa toimenpiteitä riskien vaikutuksen minimoimiseksi.

2.4.1 Riskien tunnistus ja analysointi

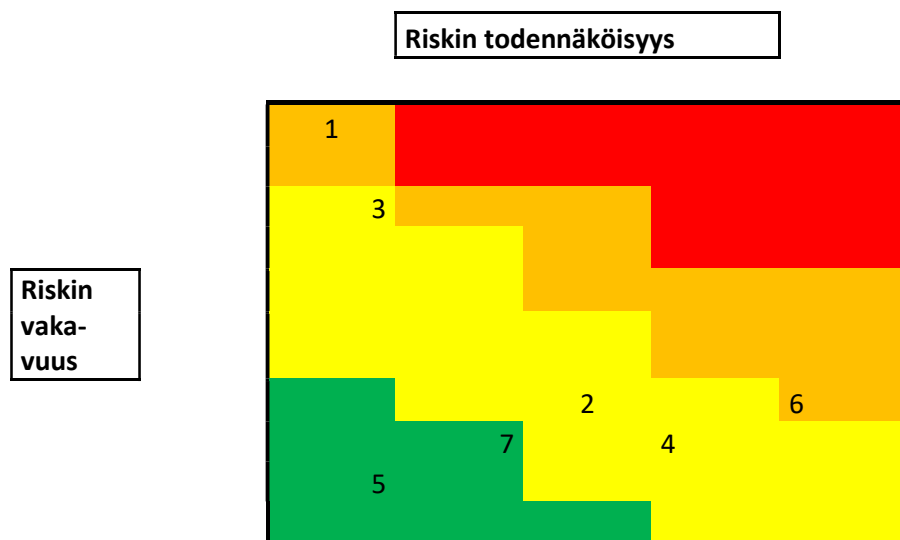
Riskien tiedostaminen, jotka toteutuessaan saattavat haitata projektin onnistumista. Arviointi riskin toteutumisesta, riskin vaikutuksesta sekä mahdollisia syitä riskin toteutumiselle (Taulukko 4.).

Taulukko 4. Opinnäytetyön riskit.

#	Riskin nimi	Riskin mahdollinen aiheuttaja	Riskin todennäköisyys asteikolla 1-5. (1=Pieni, 5=Suuri)	Riskin vaikutus asteikolla 1-5. (1=Matala, 5=Merkitävä)
1	Opinnäytetyöntekijän vakava sairastuminen/tapaturma	Tartunta sairastuminen, vapaa-ajan tapaturma	1	5
2	Hankittavien komponenttien viivästyminen	Hankittavat komponentit toimitetaan kaukaa ja monien eri toimittajien välityksellä.	3	3
3	Työskentelytilojen käytön estyminen	Tulipalo, josta aiheutuu haittoja tilojen käytölle. Koulujen sulkeutuminen epidemian vuoksi	1	4
4	3D-mallien suunnittelussa tapahtuneet virheet	Inhimillinen virhe.	3	2
5	Tietokoneen tai siihen liittyvän laitteen hajoaminen	Käytettävien laitteiden ikääntyminen.	1	1

6	Testaus-solussa testattavissa komponenteissa ilmenevät ongelmat	Virheet suunnittelussa. Virheet valmistusmateriaaleissa. Virhe valmistuksessa	5	3
7	Ongelmat komponenttien valmistukseen käytettävissä laitteissa	Laitteiden väärinkäyttö. Huoltotoimenpiteiden laiminlyöminen. Laitteiden ikääntyminen.	2	2

Riskimatriisissa on visuaalisesti aseteltu riskit vaikutuksen ja todennäköisyyden mukaan (riskit numeroitu Taulukon 3 mukaisesti), (Kuva 1.).



Kuva 1. Riskimatriisi.

2.5 Aiemmat tutkimukset

Työn tilaaja on teettänyt Vaasan ammattikorkeakoululla, syksyllä 2019 kestopagneettien automatisoituun asentamiseen tutkimusprojektin. Tutkimustyötä oli toteuttamassa Roni Halmesmäki ja Henri Haavisto, eli samat henkilöt kuin tämän opinäytetyön suorittajat. Tutkimusprojektissa oli suunniteltu erinäisiä komponentteja, joilla magneettien asentaminen voitaisiin suorittaa ABB:n IRB 1600 -robotilla.

3 TEORIATAUSTA

Projektin teoreettisessa kehyksessä käydään läpi projektiin liittyviä aiheita ja niiden merkitystä työssä. Työhön liittyviksi avainaiheiksi listattuna: automaatio, robotiikka, sähkömoottorit (erityisesti kestopagneettitahtimoottorit) sekä valmistus ja materiaalit. Näiden pohjalta tiedonhankintaa varten kerättiin kirjallisuutta aiheisiin liittyen, joista pystyttiin hankkimaan hyödyllistä tietoa projektin toteutukseen.

3.1 Automaatio ja robotiikka

Automaatiolla tarkoitetaan mm. tietokoneiden ja mekaanisten laitteiden avulla itsestään toimivaa järjestelmää. Järjestelmän toimivuus perustuu ohjelmointiin, jonka rajoissa järjestelmä suorittaa itsenäistä päätöksentekoa ja käyttää sille annettuja toimilaitteita. Robotit ovat keskeisessä roolissa, kun puhutaan tuotannon automatisoinnista. Niiden joustavuus monenlaisiin tehtäviin on syy, miksi niitä usein hyödynnetään. IFR:n (International Federation of Robotics) määritelmä robotista: ”Automaattisesti ohjattu, uudelleenohjelmoitava, monikäyttöinen käsittelylaite, jolla on kolme tai useampia uudelleenohjelmoitavia akseleita (vapausasteita), jotka voidaan sijoittaa kiinteästi paikalleen tai liikkuviksi teollisuuden automaatiosoveluksissa”. Tiettyjen tuotantovaiheiden automatisoinnilla voidaan saavuttaa useita hyötyjä. (Billing 2017)

Kun puhutaan automatisoidusta robottisolusta, usein tulee mieleen vain itse robotin käsivarsi, joka toteuttaa liikkeitä. Kyseessä on kuitenkin yhdessä toimiva kokonaisuus, jossa jokaisella komponentilla on oma tärkeä rooli ja, jota ilman automatisointi ei toimi kunnolla. Käsivarren lisäksi robottijärjestelmä sisältää ohjausjärjestelmän, anturit/aistimet, työkalu, oheislaitteet, liitännät, huomattava määrä kaapelointia jne. (Kuivanen 1999)

Automatisoinnilla saavutettavia hyötyjä:

- Tuotantokapasiteetin nostaminen
- Epäergonomisten ja vaarallisten vaiheiden poistaminen
- Tuotteiden tasalaatuisuus
- Joustavuus kysynnän mukaan

- Kannattavuuden nostaminen.

3.1.1 Robottisolun suunnitteleminen

Robottisolun suunnittelussa ensiksi tulee tietää, mihin käyttöön ja minkälaisiin olosuhteisiin solu tullaan tekemään. Oikeanlaisen robotin valinta perustuu pääasiassa käsiteltävien esineiden kokoon, massaan sekä vaadittavaan tarkkuuteen. Alimitoitetulla robotilla, ei pystytä käsittelemään kappaleita tai sen ulottuvuus voi olla riittämätön. Vastaavasti ylimitoitettu robotti ei myöskään ole kannattava. Ylimitoitettun robotin haittapuolina ovat pääsääntöisesti suuremmat hankintakustannukset, suurempi tilan vaade, suurempi energian hukka sekä massan aiheuttama hitausmomentti, jonka seurauksena yleisesti pienet liikkeet ovat hitaampia kuin pienen robotin. Robotin valinnassa tulee kiinnittää huomiota ympäristöön, johon se tullaan sijoittamaan. Ympäristön kannalta haasteita saattavat aiheuttaa pöly/lika, lämpötilat sekä tilan tarve.

Robotin valinnan pohjalta voidaan lähteä suunnittelemaan muita solussa tarvittavia komponentteja. Yleisesti robottisolussa on robotin lisäksi laite, jolla kappaleita tuodaan robotille ja siirretään eteenpäin (esimerkiksi kuljetin). useata työkalua tarvittaessa on työkaluja varten oltava pidikkeet. Kappaleiden asemoimiseksi tulee olla tarvittavat laitteet (joko kiinteä paikoitus tai tunnistimien avulla toteutettu).

Kun robottisolun pääpiirteet ovat määritetty, voidaan aloittaa robottisolun mallin luominen. Robottisolun mallintamiseen löytyy tietokoneohjelmia, joissa onnistuu kolmiulotteisesti luomaan mallin robottisolusta. Mallinnusohjelmissa on valittavana erityyppisiä robotteja, joista voidaan valita halutun tyyppinen, jonka ympärille solu halutaan mallintaa. Mallinnusohjelmissa voidaan visuaalisesti luoda erilaisia laitteita ja rakenteita osaksi robottisolua. Mallinnusohjelmien avulla voidaan tarkastella robotin ulottuvuutta, tilan tarvetta sekä luoda erilaisia variaatioita mahdollisista soluratkaisuista. Robottisolun, mallintamiseen soveltuvia ohjelmia ovat muun muassa: RobotStudio, RoboGuide, Visual Component ja Robo DK.

Mallin valmistuttua soluun voidaan luoda simulaatio, jolla voidaan visuaalisesti esittää robottisolun toimintaa. Simulointi edellyttää, että komponenteille luodaan

tarvittavat toiminnot, jotta ne saadaan toimimaan halutulla tavalla. Solun laitteiden ja robotin ohjaimen välille tulee luoda I/O-suhteet, koska koko solun toimintaa ohjataan yleisesti robotin ohjainyksikön välityksellä. I/O:n välityksellä liikutetaan signaalien avulla käskyjä ja tietoa solussa tapahtuvista liikkeistä. Robotille luodaan ohjelma, jossa ohjataan paitsi robotin omia liikkeitä myös muita laitteita robottisolussa.

3.2 Sähkömoottori

Sähkömoottori on moottori, jolla sähköenergia saadaan muutettua mekaaniseksi energiaksi. Sähkömoottorin toiminta perustuu magneettikentän muodostamiseen ja sen säätelyyn. Sähkömoottoreiden pääkomponentteina toimivat staattori ja roottori, staattoriksi kutsutaan sähkömoottorin passiivista eli paikallaan pysyvää komponenttia ja roottoriksi kutsutaan moottorin aktiivista eli liikkuvaa osaa. Perinteisesti roottori pyörii staattorin sisällä, mutta on myös olemassa moottoreita, joissa roottori on sijoitettu staattorin ympärille. Moottorissa käytettävä sähköenergia syötetään staattoriin, joka luo magneettikentän. Magneettikentän vaikutuksesta, roottori pyrkii kääntymään magneettivoimien mukaisesti. Kun magneettikentän napaisuutta vaihdellaan taajuuden avulla, saadaan roottori pyörimään.

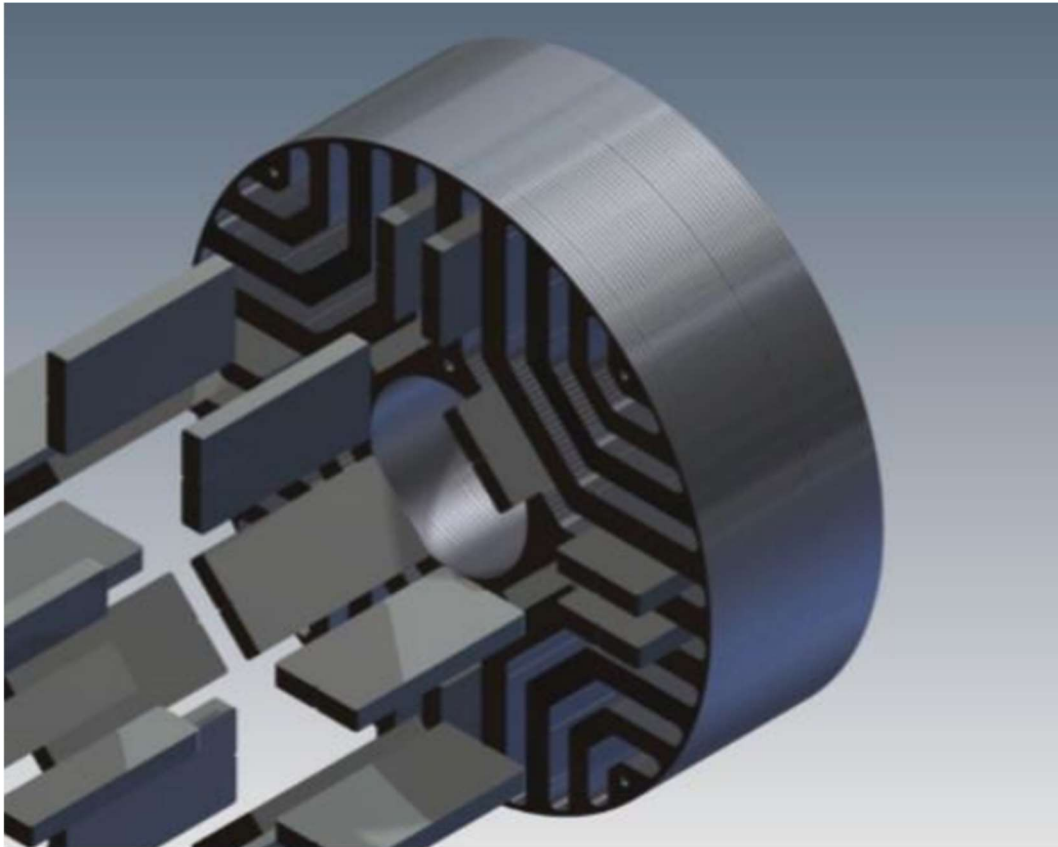
Tietyt sähkömoottorityypit ja generaattori muistuttavat rakenteellisesti hyvin paljon toisiaan. Tiettyjä sähkömoottorityyppejä voidaan käyttää myös generaattorina, jolloin sillä voidaan kerätä mekaanisesta liikkeestä sähköenergiaa talteen. (Hietalahti 2011, 97–110)

3.2.1 Kestomagneettitahtimoottori

Kestomagneettitahtimoottoreiden etuna verrattaessa perinteisiin epätahti-induktiomootoreihin on hyvä vääntömomentti laajalla kierrosnopeusalueella sekä parempi hyötysuhde. Suurta vääntömomenttia ja hidasta pyörimisnopeutta vaativissa olosuhteissa on epätahtimoottorilla käytettävä vaihteistoa/välityssuhteen muuttajaa, vastaavissa tapauksissa on pystytty jättämään välityssuhteen muuttaminen pois, kun moottoriksi on valittu kestopomagneettitahtimoottori. Kestomagneettitahtimoottorin käyttämiseen tarvitaan taajuusmuuttaja.

Kestomagneettintahtimoottori toimii niin sanotusti tahdissa, mikä tarkoittaa, että roottorissa oleva magneettikenttä ja staattoriin luotava pyörivä magneetti kenttä synkronoituvat toisiinsa. Tämän ansiosta roottori pyörii aina yhtä nopeasti kuin staattorin luoma magneettikenttä, eikä niiden välille aiheudu jättöä, joka käytännössä aiheuttaa energianhukkaa ja heikentää hyötysuhdetta. Kestomagneettimoottoreissa ei synny kuparihäviötä, koska roottorin magnetoimiseksi ei käytetä virtaa, tämä on pää syytä sille, miksi tahtimoottoreissa on parempi hyötysuhde kuin epätahtimoottoreissa.

Kestomagneettimoottoreiden roottoreissa magneetit voivat olla asennettu roottorin pinnalle tai upotettu roottorin sisään. Kummallakin rakenteella on omat vahvuutensa ja siksi käyttötarkoitus yleensä määrittää kumpi roottorirakenne on ominaisuuksiltaan parempi. Koska projektin toteutusvaihe koskee upottamalla asennettujen magneettien roottorirakenteita, tulemme keskittymään niihin suurelta osin. (Heikkilä 2002, 1–14)

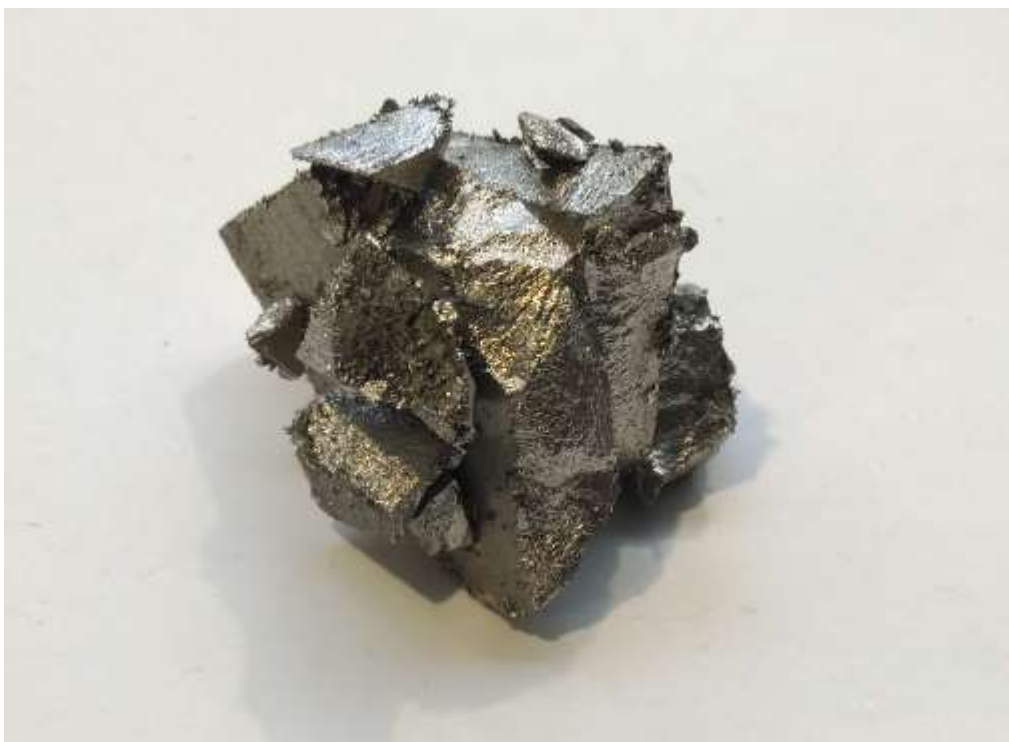


Kuva 2. Havainnollistava kuva upotettavatyypisistä magneettiroottorista, sekä magneeteista.

3.3 Kestomagneettien käsittely automaattisessa kokoonpanossa

Kestomagneettien käsittely automaattisessa kokoonpanossa aiheuttaa useita erilaisia haasteita ja erityisjärjestelyitä automatisoinnin toteutuksessa. Magneetteja käsiteltäessä joudutaan ottamaan huomioon paljon sellaisia asioita, joihin ei normaalisti kiinnitetä huomiota niinkään. Merkittävimpiä haasteita aiheuttaa magneetin tuottamat veto- ja hylkimisvoimat ja niiden hallitseminen. Magneettien tuottamat voimat vaikuttavat suoraan myös robotin kuormaan ja eri toimilaitteiden tarkkuuteen. Pahimmillaan voi aiheutua magneettien hallitsemattomia tartuntoja ja rikkoutumisia. Vetovoimien vuoksi joudutaan heti karsimaan iso osa eri materiaalivaihtoehtoista suunnitellessa automaattisen kokoonpanon toimilaitteita. Huomioon täytyy ottaa myös magneettien hauraus niitä käsiteltäessä ja tehdessä toimilaitteiden materiaalivalintoja.

Tehokkaiden kestromagneettien käsittelyssä on aina vaaransa. Erilaisia vaaroja tai haittoja voi aiheutua niin koneille, kuin ihmisillekin. Tehokkaat magneetit voivat olla erittäin hauraita ja alttiita murtumille riippuen magneetin materiaalista. Magneetti murtuessaan voi aiheuttaa todella teräviä ja pieniä kappaleita. Kappaleiden poistaminen ja siivoaminen on haasteellista, sillä ne tarttuvat lähes joka paikkaan ja sotkua voi syntyä ympäriinsä. Nämä sirpaleet esiintyessään aiheuttavat suurta harmia ja ongelmia kokoonpanon eri vaiheissa. Sirpaleet voivat muun muassa häiritä kokoonpanolinjan omia toimilaitteita aiheuttamalla jumituksia tuotantokappaleiden kulussa tai vaikkapa aiheuttaa valheellista anturidataa. Samat sirpaleet voivat aiheuttaa myös ihmiselle suoraan harmia. Lisäksi voimakkaiden magneettien hallitsemattomat tarttumiset voivat aiheuttaa puristumisia ja lujalla nopeudella lentäviä kappaleita. (Kuva 3.).



Kuva 3. Särkynyt magneetti ja sen aiheuttamia sirpaleita.

3.4 Valmistus ja materiaalit

Projektissa on pyritty hyödyntämään jo olemassa olevia valmiita komponentteja mahdollisuuksien mukaan. Monet projektin komponenteista on kuitenkin jouduttu

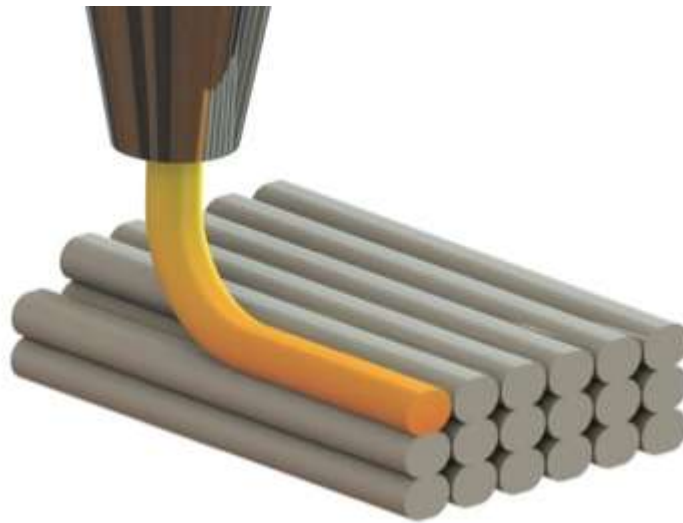
suunnittelemaan ja valmistamaan itse. Kuten esimerkiksi adapterit, kiinnikkeet ja itse magneettia käsittelevät kappaleet, joihin ei löydy tämänkaltaisessa erikoistapauksessa valmiita ratkaisuja. Valmiita komponentteja, joita hyödynnettiin projektissa robotin lisäksi oli, Feston-sylinterit ja niiden anturit, tarraimen runko, ja polaarisuustunnistimen rakentamisessa tarvittava elektroniikka.

Magneettien vetovoiman vuoksi toimilaitteiden materiaalien tulee olla antimagneettista, jotta vältetään ylimääräisiltä veto- ja hylkimisvoimilta. Pois karsiutuu välittömästi normaalisti suositut, edulliset ja kestävät metalliset vaihtoehdot. Vaihtoehtoiksi jää mm. antimagneettiset metallilaadut kuten alumiinit ja osa ruostumattomista laaduista. Vartenotettava ja edullinen vaihtoehto on eri muovilaadut toimilaitteissa, jotka käsittelevät magneetteja. Suurin osa muoveista ei pysty tarjoamaan yhtä hyviä lujuusominaisuuksia kuten suosituimmat metallit, mutta muoveilla pystytään saavuttamaan muita hyödyllisiä ominaisuuksia. Tietyt muovilaadut voivat olla erittäin hyvin kulutusta kestäviä ja näin säilyttää pidempään vaaditun tarkkuuden magneetin asennusprosessissa. Lisäksi muovit ovat hyvin ystävällinen materiaali käsitellessä magneetteja. Magneetit ovat kohtuullisen hauraita kappaleita ja ne saa helposti murenemaan tai halkeamaan. Tästä syystä muovi on oiva materiaalivalinta varsinkin magneetin kanssa kosketuksessa olevassa kappaleessa.

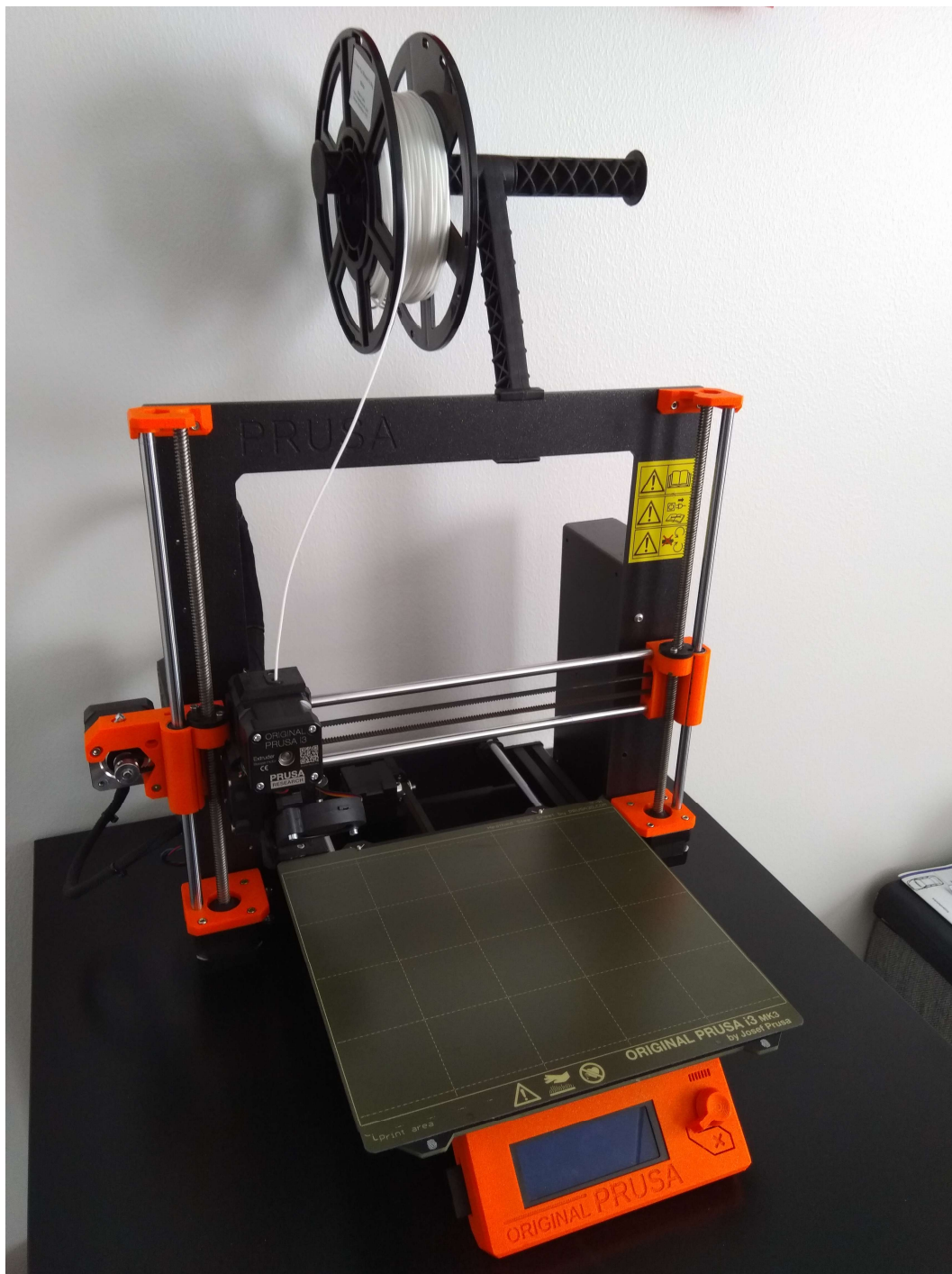
3.4.1 Materiaalia lisäävä valmistus

Materiaalia lisäävä valmistus on menetelmä, jossa materiaalia lisätään kerros kerrokselta 3D-mallin pohjalta. Menetelmästä käytetään yleisesti nimeä 3D-tulostus. 3D-tulostamisesta on olemassa useita eri muotoja, joista suosituin ja edullisin on materiaalin pursotusmenetelmä. Tarkemmin sanottuna FDM-menetelmää. Kyseisessä menetelmässä tulostusmateriaali (filamentti) lämmitetään sulaan tilaan ja pursotetaan suuttimen läpi ohuena nauhana. Filamentti on yleensä kelalle käärittyinä, josta sitä syötetään suuttimelle. Tätä kyseistä muotoa hyödynnettiin kappaleiden valmistuksessa. Menetelmän parhaita puolia on nopeat prototyypit, edullisuus (harrastetason tulostimet), useat materiaalivaihtoehdot, kappaleiden riittävät mekaaniset ominaisuudet, jne. Käytössä oli kolmen eri valmistajan tulostimia eri hintaluokista. Pääosin käytössä oli Prusa i3 MK3 -tulostin, jonka hinta on n. 750–1 000

€. Tällä tulostimella valmistettiin valtaosa PLA kappaleista. ABS kappaleet valmistettiin Ultimaker 3 -tulostimella, jonka hinta on n. 3 000 €. Käytössä oli myös huomattavasti arvokkaampi Markforged Mark Two hinnalta n. 20 000 €. Jokaisella tulostimella sai aikaiseksi hyvää jälkeä, mutta eniten teknisiä ongelmia kohdattiin arvokkaimman Mark Two -tulostimen kanssa. Tämän vuoksi suunniteltuja hiilikuituvahvisteisia tarttujan sormia ei saatu valmiiksi. (Kuva 4.), (Kuva 5.) (Hirvonen 2019)



Kuva 4. Havainnekuva pursotusmenetelmästä, jota käytetyt tulostimet hyödyntävät.



Kuva 5. Käytössä ollut Prusa i3 MK3 -tulostin, jolla PLA-kappaleet tulostettiin.

3.5 Konenäkö

Konenäköllä tarkoitetaan sitä, kun laitteistoon on yhdistettynä kamera, jolla voidaan ottaa kuvia havainnoitavasta ympäristöstä/kohteesta, josta laite pystyy ohjelmallisesti tekemään havaintoja ja ratkaisuja kuvasta saadun tiedon pohjalta. Konenäön

keskeisimmät komponentit ovat kamera ja kuvankäsittelyohjelma. Kameralla otetaan kuva kohteesta, jota halutaan havainnoida. Kuva siirretään kuvankäsittelyohjelmaan, joka ennalta määriteltyjen parametrien avulla etsii kuvasta tiettyjä piirteitä. Konenäköä käytetään yleisimmin rutiinitehtävissä esimerkiksi lajittelu sovelluksissa, kappaleiden asemoinnissa, sarjanumeroiden lukemiseen tai muissa vastaavissa tehtävissä. Tekoälyn yleistyessä myös ajoneuvoissa, on konenäön käyttöä huomioitu myös ajoneuvokäytössä. Konenäkölaitteilla on useimmiten mahdollista tarkastella samanaikaisesti useampaa piirrettä, joka muuten vaatisi usean eri tunnistimen ja anturin käyttöä.

4 PROJEKTIN TOTEUTUS

Projekti aloitettiin tutustumalla työntilajalta saatuihin projektia koskeviin materiaaleihin ja tutkimuksiin. Hankittiin tietokirjallisuutta, jossa käsitellään työhön liittyviä aiheita, kuten sähkömoottoreita, niiden valmistusta sekä tuotannon automatisointia käsitteleviä julkaisuja. Magneettien automatisoituun asennukseen on tehty konseptityylinen tutkimusprojekti vuoden 2019 syksyllä, jonka pohjalta saatavilla oli materiaaleja sekä testattuja komponentteja, projektin edistämiseksi.

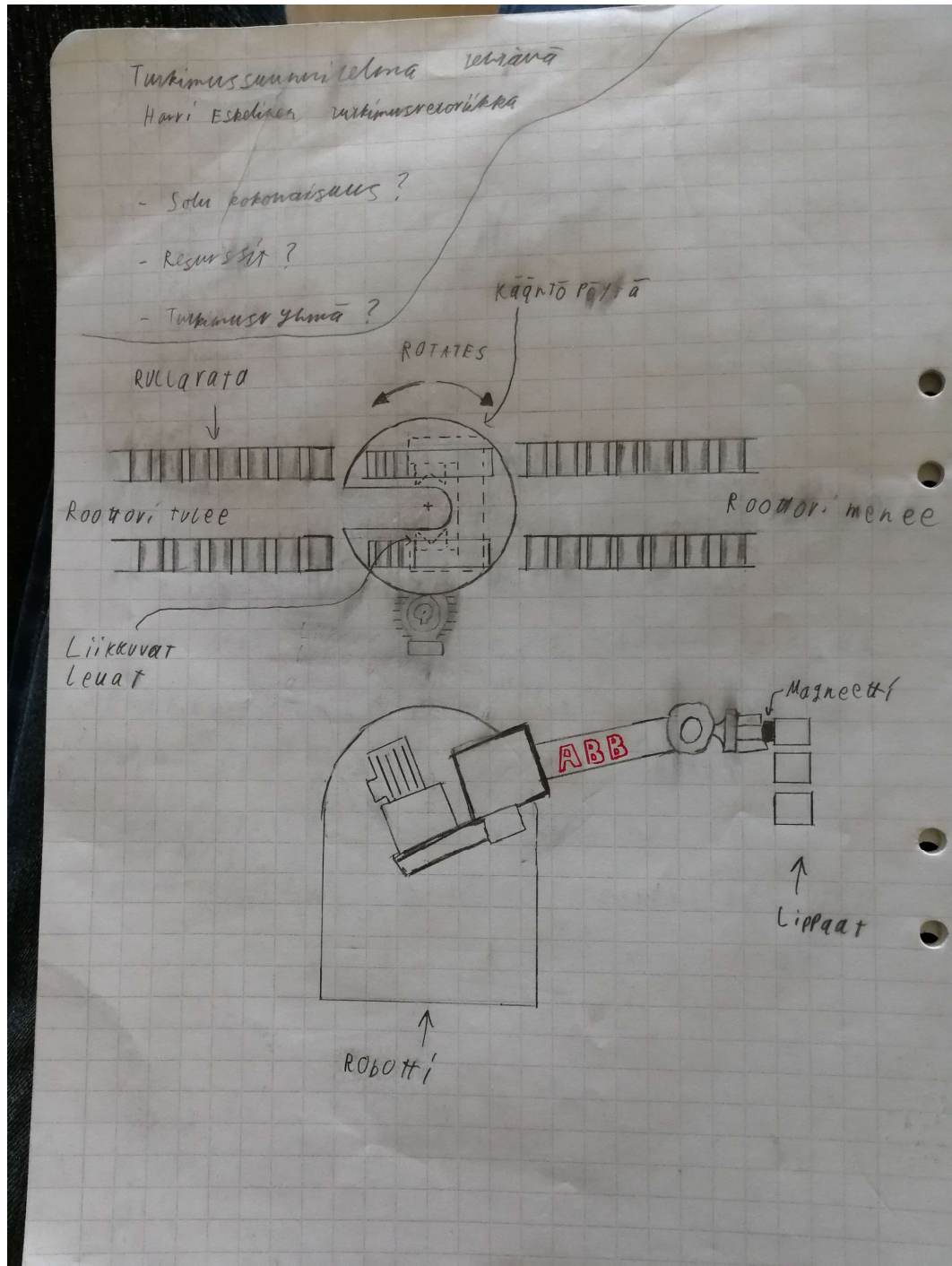
Kun projektin aihealueisiin oli tutustuttu, automaatioaluetta varten tehtiin layoutin sijoittamista ja hahmottelua koskevat suunnittelut. Alustavien suunnitelmien pohjalta, RobotStudio -ohjelmalla luotiin visuaalinen 3D-malli robottisolun komponenteista sekä simulaatio robottisolun toiminnasta. Konseptityöstä saatuja komponentteja tutkittiin, testattiin sekä niihin tehtiin tarvittavia muutoksia. Parannetuilla komponenteilla suoritettiin robottisolussa testauksia.

4.1 Solun pääpiirteiden määrittely ja ideointi

Solun suunnittelun yhteydessä käytiin tutustumassa moottoritehtaalla moottorien valmistuksen työvaiheisiin. Käsien ladottaessa roottori tavallisimmin magnetoidaan vasta, kun roottori on asetettu staattorin sisälle ja ennen kuin päätykilvet asennetaan paikalleen. Roottori pystytään magnetoimaan myös ennen kuin se asennetaan staattoriin.

Päätettiin lähteä miettimään ratkaisua, jossa roottori magnetoitaisiin ennen kuin se asennetaan staattoriin. Tarkoitus oli, että magneettien asennus tapahtuisi roottorin akseloinnin jälkeen. Roottori on akselia asetettaessa, akseli pystysuunnassa. Roottori viedään akseloinnin jälkeen sorvaukseen ja käännetään vaaka-asentoon.

Aloitimme layoutin suunnittelemisen kynällä paperille, jotta pystyimme hahmottelemaan nopeasti erilaisia variaatioita solun asettelusta (kuva 6.).



Kuva 6. Käsin piirretty hahmotelma automaattisolun layoutista.

4.2 Testaussolun lähtökohdat

Käytössämme oli Vaasan ammattikorkeakoulun robottilaboratoriossa sijaitseva ABB:n IRB 1600 -robottisolu. Robotti solussa on mahdollista suorittaa testauksia erinäisille laitteille ja komponenteille. Testaussoluun **ei ollut tarkoitus** rakentaa kokonaista automaatiojärjestelmää, vaan tarkoitus oli testata magneettien asentamista roottoriin käytössämme olevalla robotilla. (Kuva 7.).



Kuva 7. Käytössä ollut testaussolu Technobothnian tiloissa.

4.2.1 Robotin tarttuja

Robotin tarttujassa lähtökohtana oli tutkimusprojektista saatu tarttujakokonaisuus. Tarttujassa olevilla sormilla magneetit oli tarkoitus hakea ja asettaa roottorin uran suulle. Tarttujan toisena osana, on paineilmasylinterillä toimiva työntölaite, jolla magneetti työnnetään roottorin uran pohjalle. Sormet suoriutuivat magneettien käsittelystä hyvin, joskin niiden kiinnittäminen tarttujan runkoon symmetrisesti oli hieman ongelmallista. Sormiin suunniteltiin ohjausurat, jotta ne asettuvat aina sym-

metrisesti runkoon. Myös sormien ulkomuotoja pyöristeltiin ja niiden valmistus pyrittiin optimoimaan siten että vältetään materiaalin hukkaukselta ja saatiin valmistusaika minimoitua. Työntölaitteella magneettia ei saatu työnnettyä uran pohjalle.

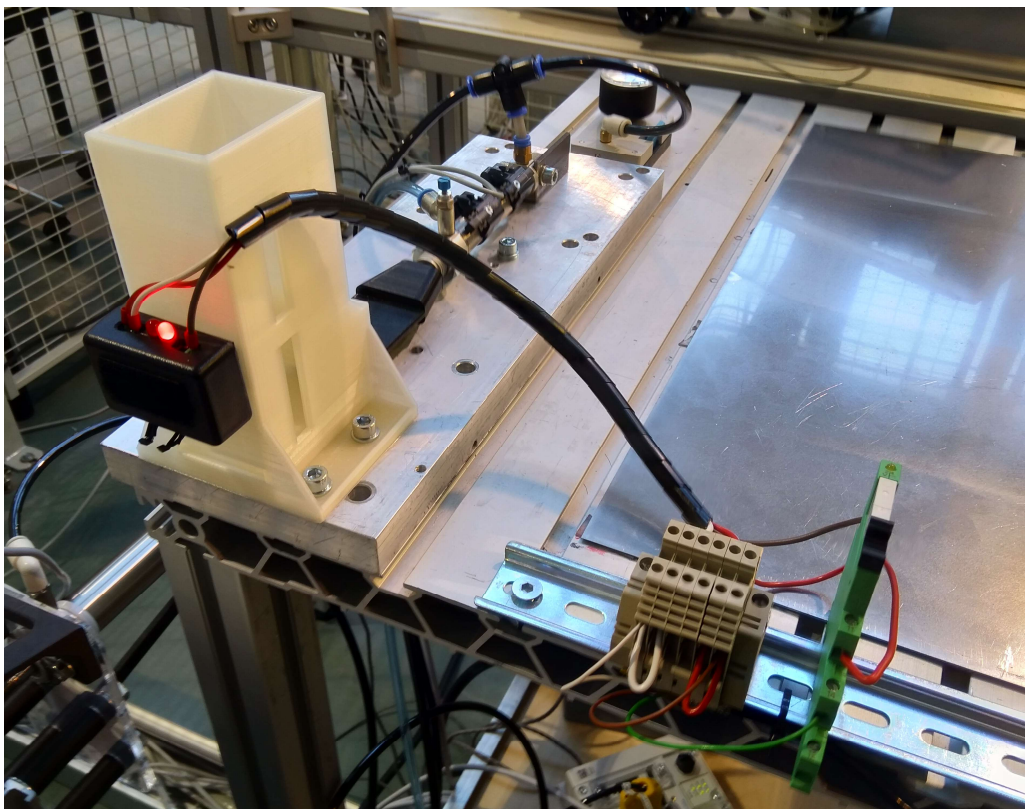
Sormet ovat tarttujan keskeisimmät komponentit. Sormet suorittavat itse työkappaleeseen eli magneettiin tarttumisen. Niitä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon tietyt vaatimukset, joita syntyy magneetteja käsitellessä. Materiaalivaatimukselta perusmateriaalin tulee olla antimagneettista, jotta magneetit eivät tahdotta pyrkisi tarttumaan sormiin. Tämä puolestaan sulkee pois monia magneettisia metallilaitteita. Huomioon tulee ottaa myös materiaalin jäykkyys tarkkuuden kannalta, jotta magneetin tuottama vetovoima ei aiheuta vääntymää ja tätä kautta epätarkkuutta magneettien ladontavaiheessa. Materiaalin on oltava myös tarpeeksi kulutusta kestävä, jotta vaadittu tarkkuus säilyy.

4.2.2 Magneettien erittely ja robotilla noutaminen

Magneettien syöttämiseksi robotille on suunniteltu syöttölipas aiemmin toteutetussa tutkimusprojektissa. Syöttölipas toimii siten, että magneetit syötetään pinoina lippaan sisälle. Lippaan alareunaan on tehty aukko, josta mahtuu kerrallaan yksi magneetti tulemaan ulos. Aukon vastakkaiselle seinälle on sijoitettu paineilmasylinteri, jonka avulla magneetti saadaan työnnettyä aukosta ulos, josta se voidaan noutaa robotilla.

4.2.3 Magneetin napaisuuden tunnistaminen

Magneettien asennuksessa on erittäin tärkeää, että **jokainen magneetti** asennetaan siten että magneetin napaisuus osoittaa oikeaan suuntaan. Mikäli yksikin magneetti on asennettu roottoriin väärin, on riski, että moottori on käyttökelvoton. Magneetin napaisuuden tunnistukseen on tutkimusprojektissa kehitelty laite, jolla pystytään mittaamaan magneetin napaisuuden suunta. Magneetin napaisuuden tunnistimeen on rakennettu signaalilähdöt, jotka voidaan kytkeä robotin sisääntuloihin. Täten robotti voidaan ohjelmoida, automaattisesti määrittämään magneetin asennussuunnan, tunnistimelta saadun tiedon mukaan. (Kuva 8.).



Kuva 8. Magneetin napaisuuden tunnistin paikoillaan.

4.3 Kokoonpanosolun mallinnus

Kokoonpanosolun mallintamiseen käytössä oli ABB:n tuottamaa RobotStudio-ohjelma. RobotStudiassa pystytään luomaan virtuaalinen hahmotelma automaatiojärjestelmästä, luomaan liikeratoja robotille ja simuloimaan solun toimintaa. RobotStudio on yhteensopiva ABB:n Robottien kanssa, jonka ansiosta RobotStudiolla luodot/simuloidut ohjelmat pystytään käyttämään ABB:n robotilla ohjatussa robottisolussa.

Yksittäisten solun komponenttien mallintamiseen käytettiin Siemens NX CAD-ohjelmaa. RobotStudio-ohjelmassa onnistuu yksinkertaisten komponenttien mallintaminen, mutta monimutkaisempien rakenteiden mallintamisessa on käytettävä osien mallintamiseen paremmin soveltuvaa ohjelmaa. Tästä syystä komponenttien mallintamisessa käytössä oli Siemensin NX CAD -ohjelmaa.

4.3.1 Roottorin asemointi

Tutkimusprojektissa roottori on ollut asemoituna 3-leuka pakkaan, joka on kiinnitettyä testaussolun pöytään. Tämä ratkaisu on toimiva, kun testataan magneetin asentamista roottoriin, mutta roottorien vaihto olisi tällä tavoin hidasta, joten tarkoituksena on kehittää parempi ratkaisu tuotantoversioon. Tuotannon jouhevuuden kannalta on tärkeä ottaa huomioon, missä vaiheessa roottori voidaan tai koska sen magnetointi on optimaalisinta suorittaa. Roottorien käsittelyyn solussa suunniteltiin erilaisia ratkaisuja, kuinka roottorien siirto soluun ja solusta pois olisi nopein ja helpoin toteuttaa. Tärkeää on, ettei tässä vaiheessa jouduttaisi käyttämään henkilötyötä siirtelyyn, koska tämä vähentää automaattiosolun kokonaisyötyä.

Roottorin asemoinnin lisäksi tulee ottaa huomioon, missä asennossa urat ovat robottiin nähden. Tähän alustavasti etsittiin ratkaisua fyysistä paikoitustyökalua tai konenäkölaitetta käyttäen.

4.3.2 Liiman käyttö magneettien asennuksessa

Magneettien pysyminen urassa on tavattu varmistaa käyttämällä magneettien asennuksessa liimaa. Liiman käyttäminen robotilla edellyttää, että liimasta ei saa aiheutua haittaa robotin toiminnalle. Tästä syystä liimausvaiheessa tulee ottaa huomioon, että liimaa ei tulisi päästää kosketuksiin robotin liikkuviin osiin. Myös liimat, jotka aktivoituakseen vaativat erinäisiä toimenpiteitä, olisivat soveliaampia automaatiojärjestelmiin.

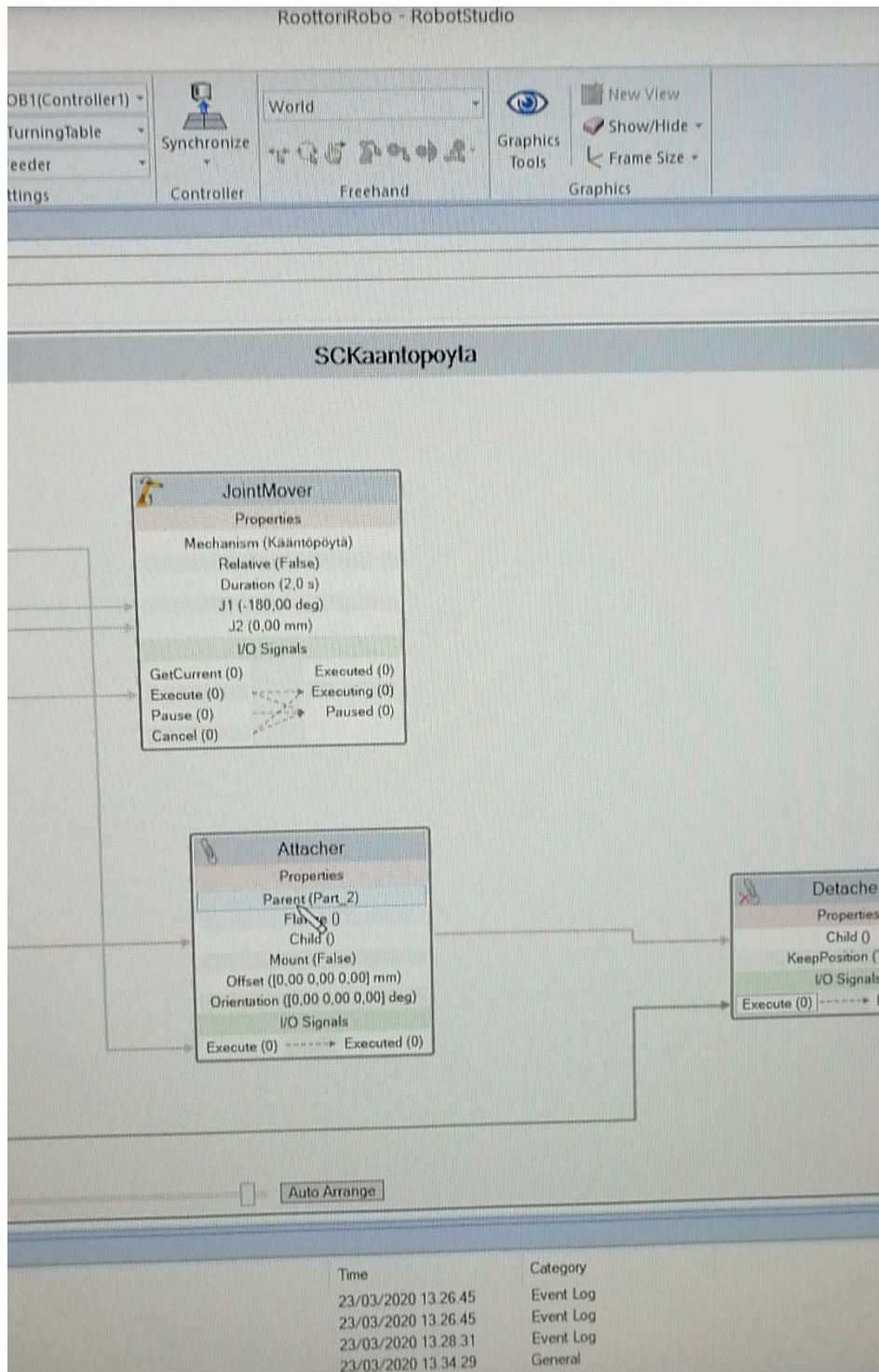
4.3.3 Simuloiminen

Robottisolun mallintamisen jälkeen ohjelmoitiin simulaatio robottisolulle. Ennen kuin NX:llä mallinnetuilla laitteilla pystyttiin suorittamaan simulointia, tuli komponenteille määrittellä kinematiikka, nivelliikkeiden rajat sekä ohjelmoida tarvittavat toiminnot. Komponenteille luotiin nivellykset ja liikeradat käyttämällä Create Mechanism -työkalua. Esimerkiksi robotin tarraimen nivellykset tehtiin siten, että tarraimen runko on passiivinen osa ja tarraimen sormet sekä työntölaite ovat liikuvia niveliä. Nivelten määrittelyn jälkeen määriteltiin liikkeiden suunnat ja raja-arvot.

Jotta mallinnetuilla laitteilla pystyttiin fyysisesti vaikuttamaan muihin komponentteihin, täytyi luoda toiminnot ja riippuvuudet laitteille. Nämä voitiin luoda RobotStudioissa käyttämällä Smart Component -työkalua. Seuraavaksi testasimme yksikerrollaan jokaisen yksittäisen komponentin toiminnot. Komponenttien ohjaus toteutetaan yleensä robottisolussa robotin ohjainlaitteen kautta, tässä vaiheessa emme kuitenkaan olleet vielä tehneet I/O-suhteita laitteiden välille, joten testasimme toiminnot manuaalisesti kytkemällä ohjaussignaaleja päälle ja pois.

Yksittäisten komponenttien testauksien jälkeen, rakennettiin I/O-suhteet komponenttien ja ohjainlaitteen välille, jotta solun kokonaisvaltainen ohjaaminen pystyttiin suorittamaan robotin ohjainlaitteen avulla. Seuraavaksi määritettiin liikkeiden paikoitukset robotille. Lopuksi luotiin ohjelma robottisoluun, jotta solu saatiin ope- roimaan kokonaisuutena ja voitiin simuloida solun toimintaa. Viimeiseksi suoritettiin vielä hienosäädöt robotin liikkeille ja muille solussa tapahtuville toimille, jotta kappaleiden läpimenoajat saatiin mahdollisimman pieniksi ja saadaan hyödynnettyä solun suorituskykyä maksimaalisesti.

Kääntöpöydälle määriteltiin Smart Componentin avulla toiminnot. Joint Mover -toiminnolla ohjataan niveliä eli tässä tapauksessa pöydän kääntöä ja leukojen asentoa. Attacher-toiminnolla 'child' kohtaan määritetty kappale kiinnittyy pöytään. Detacher-toiminnolla kappale vapautuu pöydästä (Kuva 9.).



Kuva 9. Toimintojen määrittely Smart Component -työkalulla.

5 PROJEKTIN TUOTOKSET

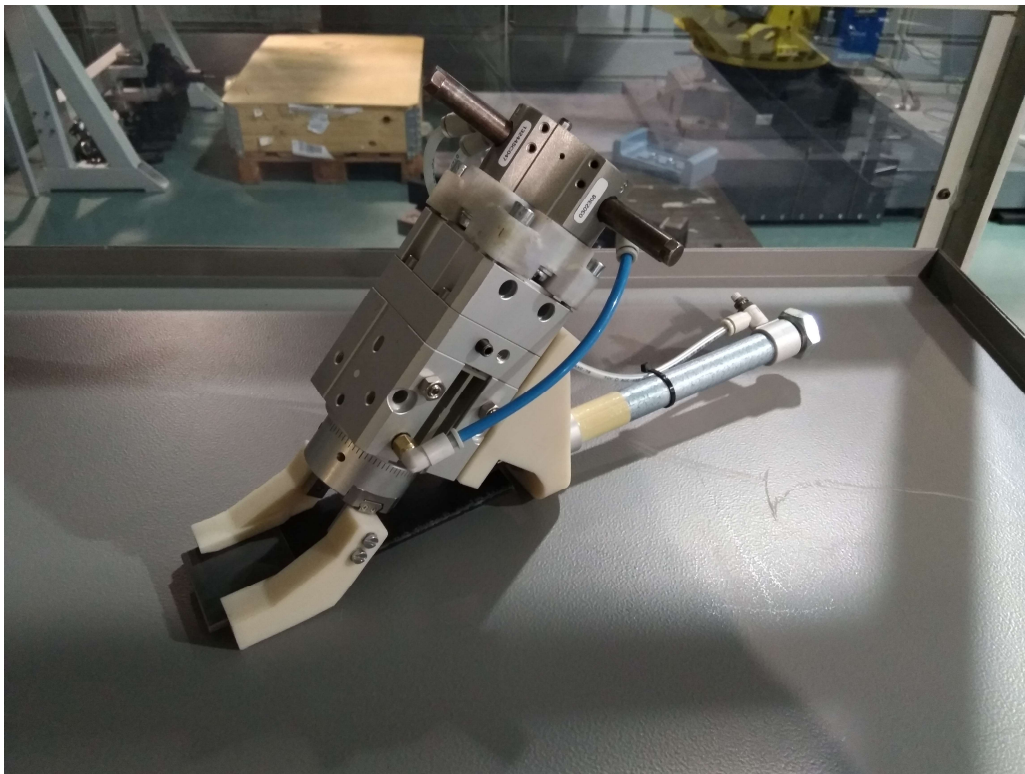
Tässä vaiheessa käydään läpi mitä kappaleita testisoluuun suunniteltiin, valmistettiin ja hankittiin. Joitakin komponentteja pystyttiin hyödyntämään aiemmasta tutkimusprojektista, sekä joihinkin tehtiin muutoksia. Tarkastellaan komponenttikohtaisesti, kuinka suoriuduttiin materiaalin valinnassa sekä valmistuksessa. Lopuksi tarkastellaan mallinnetun automaatiolosukokonaisuuden sekä simulaation magneettien asentamisesta.

5.1 Testaussolu

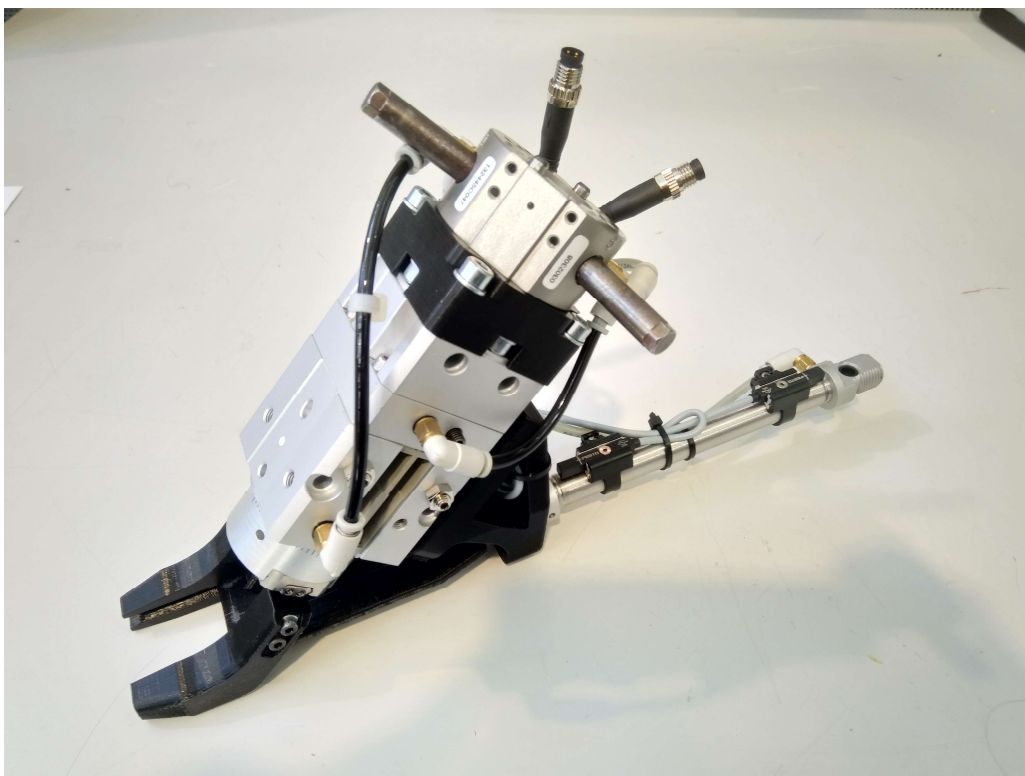
Käytössä on Vaasan ammattikorkeakoulun robottilaboratoriossa sijaitseva ABB:n IRB 1600 -robottisoluu. Robotti solussa on mahdollista suorittaa testauksia erinäisille laitteille ja komponenteille. Testaussoluun suoritettiin tarvittavia muutoksia, jotta testaukset saatiin suoritettua.

5.1.1 Robotin tarttuja

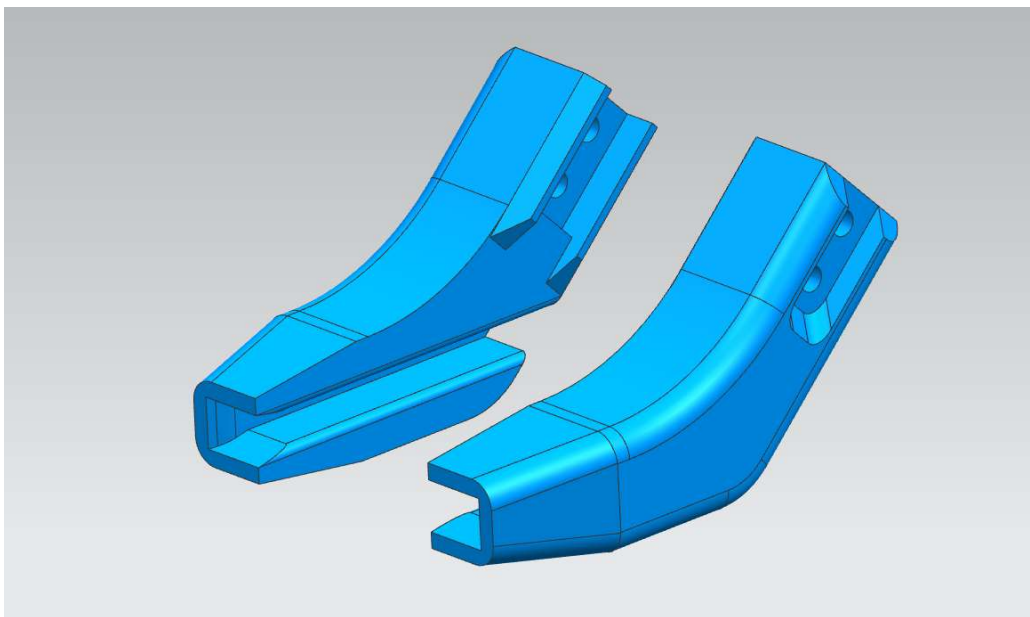
Tutkimusprojektin jälkeiselle versiolle robotin tarttujasta tehtiin lukuisia muutoksia ja parannuksia (Kuva 10.), (Kuva 11.). Ongelmia oli ilmennyt muun muassa sormien puutteellisessa kiinnityksessä, joka aiheutti epätarkkuutta magneetin käsittelyssä. Sormista tehtiin päivitetty versio, jossa koko sormesta tehtiin vankempi (Kuva 12.). Samalla joudutaan kiinnittämään huomiota myös sormien sirouteen, jotta ahtaisiin paikkoihin kuten roottorin magneettiurien luokse pääsy ei vaikeudu. Ylimääräisestä välyksestä päästiin eroon luomalla kiinnityskohtiin taskut lievällä ahdistussoviteella, jotka istuvat tukevasti tarttujan runkoon. Sormessa olevan magneettiuran välyys säädettiin paremmaksi aikaisemmin ilmenneen ahtauden vuoksi. Huolena oli, että sormien puristusvoima ei riitä voittamaan magneetin vetovoimaa, mutta puristusvoima osoittautui riittäväksi testauksien yhteydessä. ABS-materiaali korvattiin PLA:lla, jonka mekaaniset ominaisuudet ovat riittävät. (Kuva 13.). PLA on myös helpompaa tulostaa, käytössä olevalla kalustolla ja aikaiseksi saadaan osia paremmalla mittatarkkuudella.



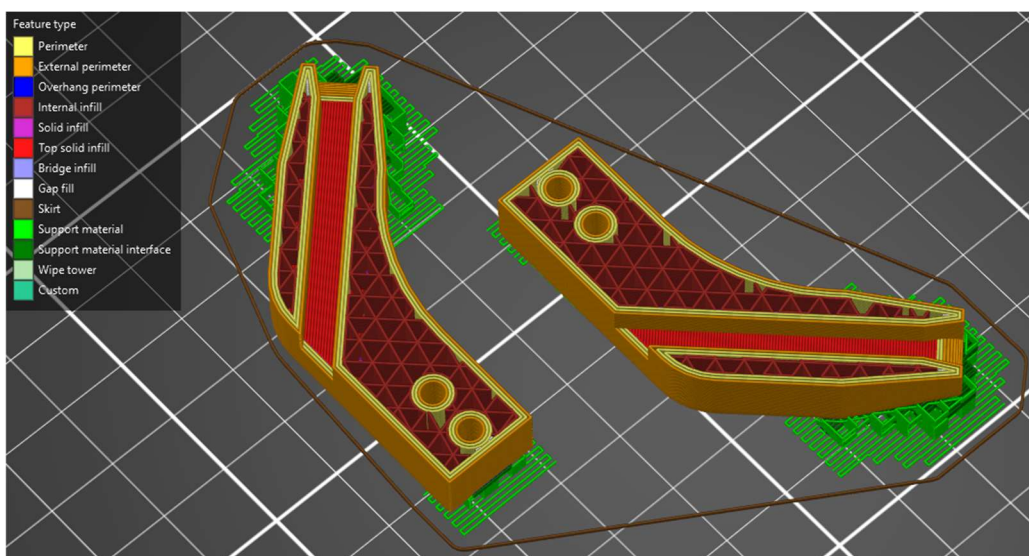
Kuva 10. Vanha tarttuja.



Kuva 11. Uusi päivitetty tarttuja.

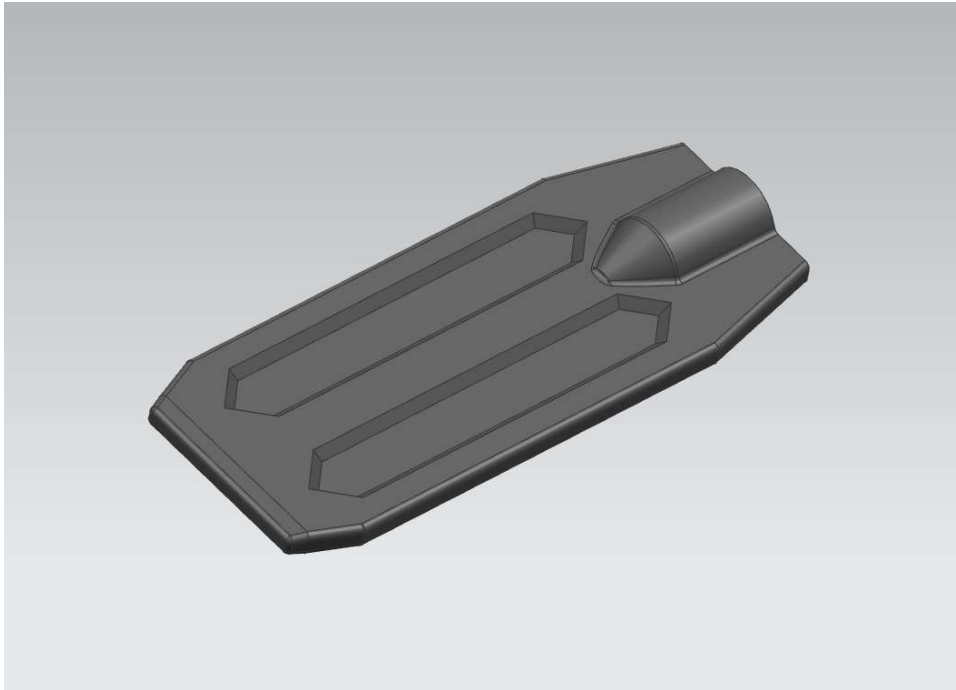


Kuva 12. Tarttujan sormien 3D-malli.

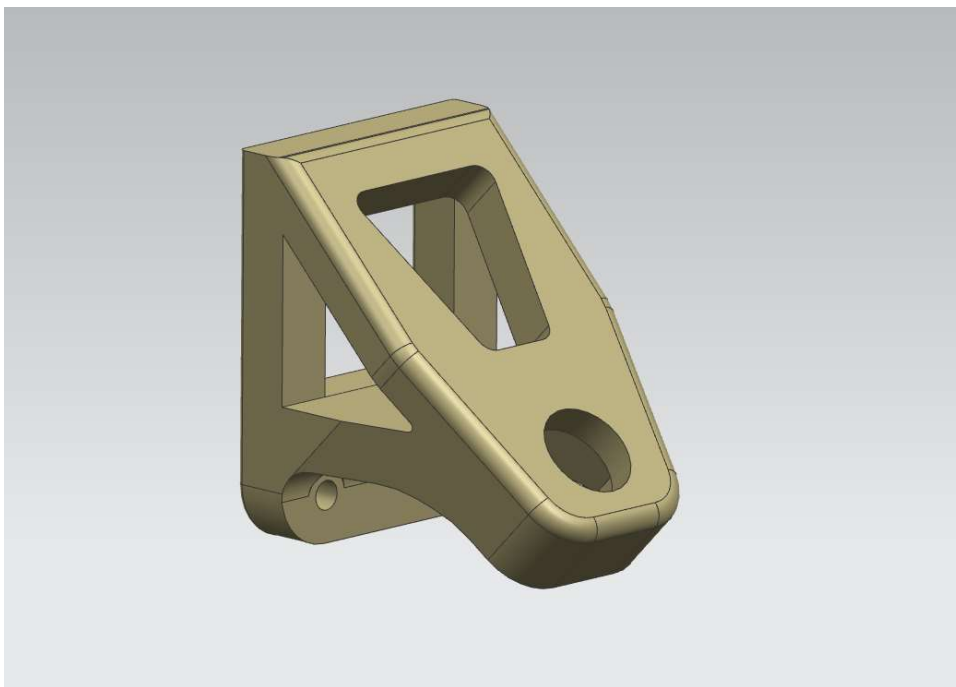


Kuva 13. Tarttujan sormien sisärakenne.

Työntökappaleen sylinteri vaihdettiin uuteen paineilmasylinteriin pidemmällä iskulla. Vanhan sylinterin iskunpituus osoittautui liian lyhyeksi, jolloin magneetteja ei pystytty asentamaan uran pohjalle asti. Uuteen sylinteriin pystyttiin lisäämään myös asentoanturit. Samalla työntökappale mitoitettiin uudelle sylinterille. Työntökappaleesta tehtiin vahvempi ja sen liikkuvuutta parannettiin (Kuva 14.). Myös sylinterin kiinnike mitoitettiin uusiksi ja tehtiin vahvemerkiksi (Kuva 15.).



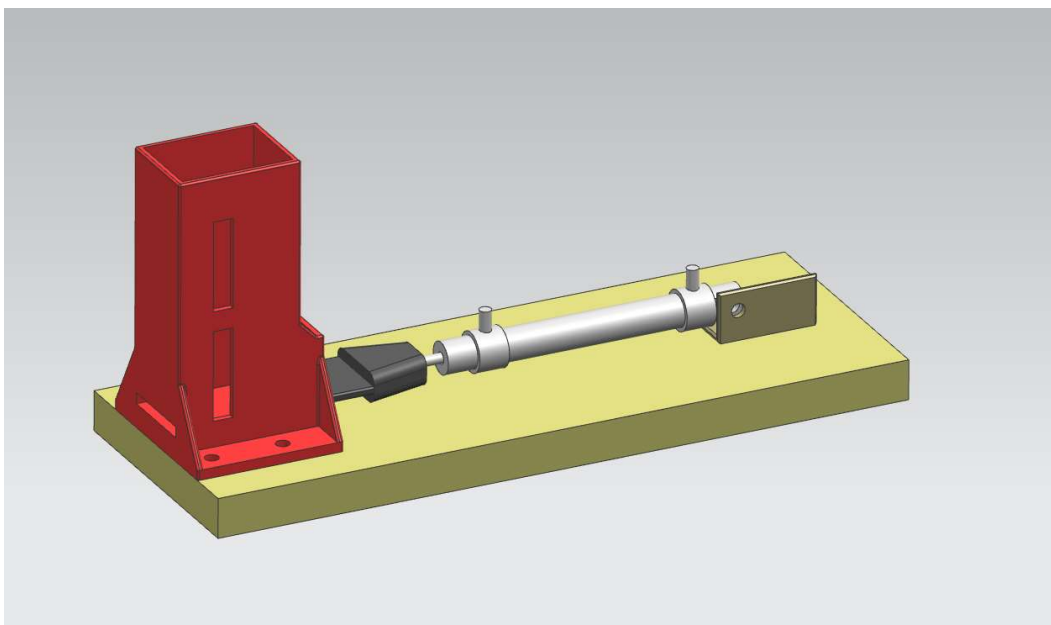
Kuva 14. Tarttujan työntökappaleen 3D-malli.



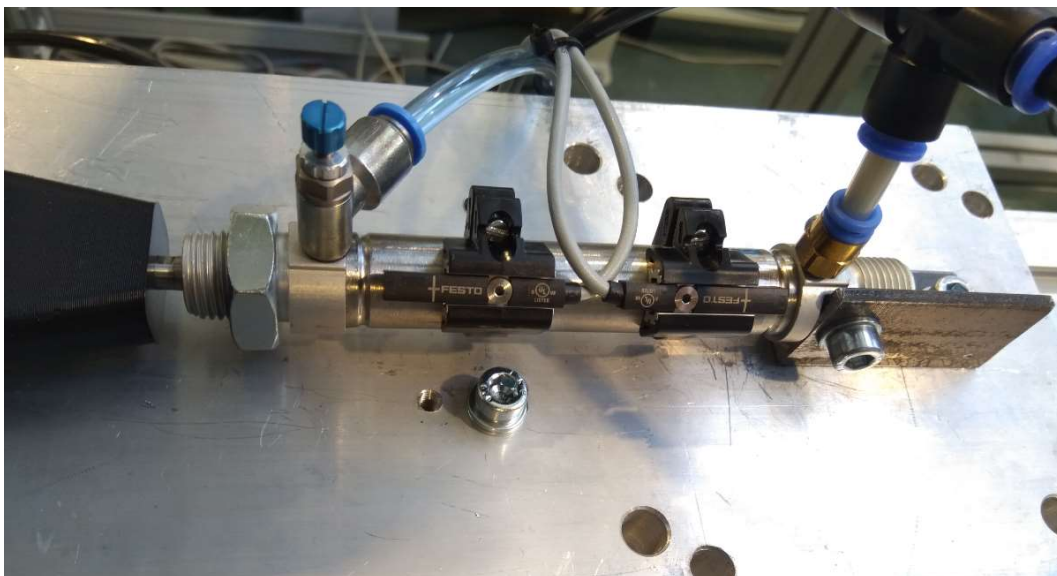
Kuva 15. Tarttujan sylinterin kiinnike.

5.1.2 Magneettien syöttölipas

Magneetti pinojen käsittelyyn oli tutkimusprojektin aikana kehitetty syöttölipas, jolla magneetit saatiin eriteltä siten että robotilla ne voitiin noutaa yksitellen asennettavaksi. Alustavassa versiossa lipas oli mitoituksiltaan suunniteltu käyttävän, erikokoisia magneetteja kuin tässä projektissa. Tästä syystä syöttölippaasta suunniteltiin Siemens NX:llä muunneltu versio, isompia magneetteja varten. Lipas valmistettiin 3D-tulostamalla aluksi ABS-muovista ja uusi päivitetty versio PLA-muovista. Syöttölippaan vanha 12 mm sylinteri vaihdettiin uuteen voimakkaampaan 16 mm paineilmasylinteriin. Magneettien erottamiseen tarvittava voima lisääntyy merkittävästi, kun magneetteja on useampi päällekkäin. Sylinteriin lisättiin myös asentoanturit molempiin päihin, jotta tiedetään varmuudella magneetin työnnön onnistuneen. Toimintaperiaate pysyi vastaavana kuin aiemmassa syöttölippaassa. (Kuva 16.), (Kuva 17.).



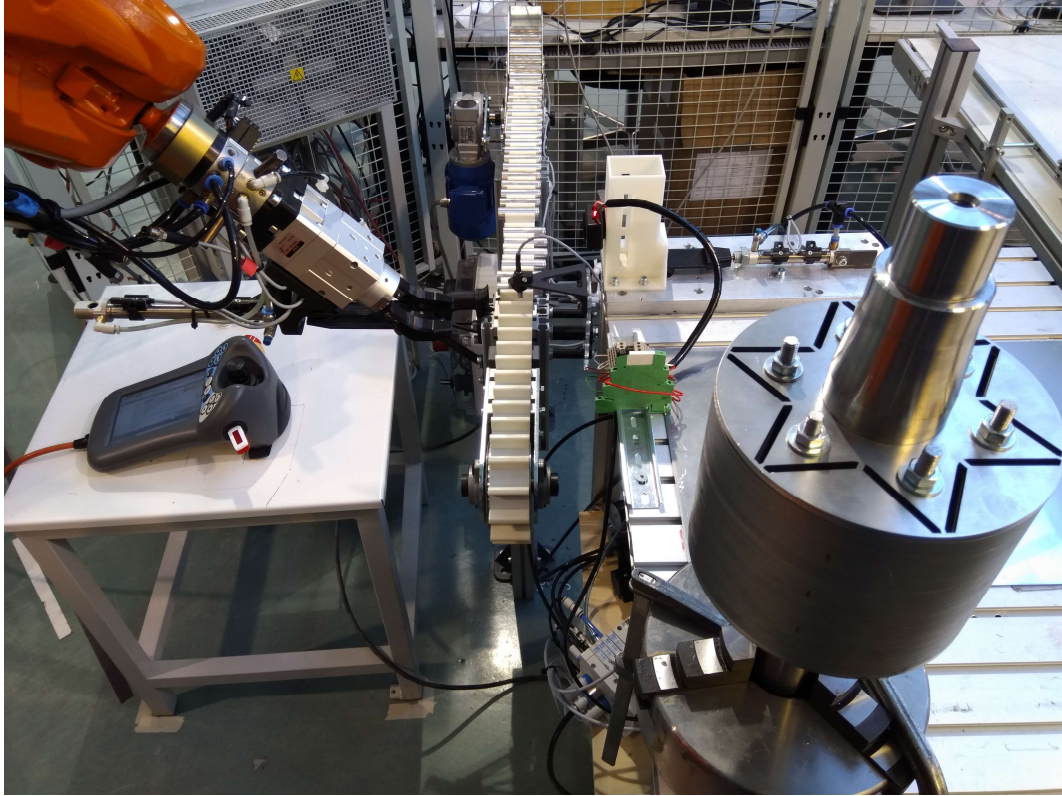
Kuva 16. Magneettien syöttölaite.



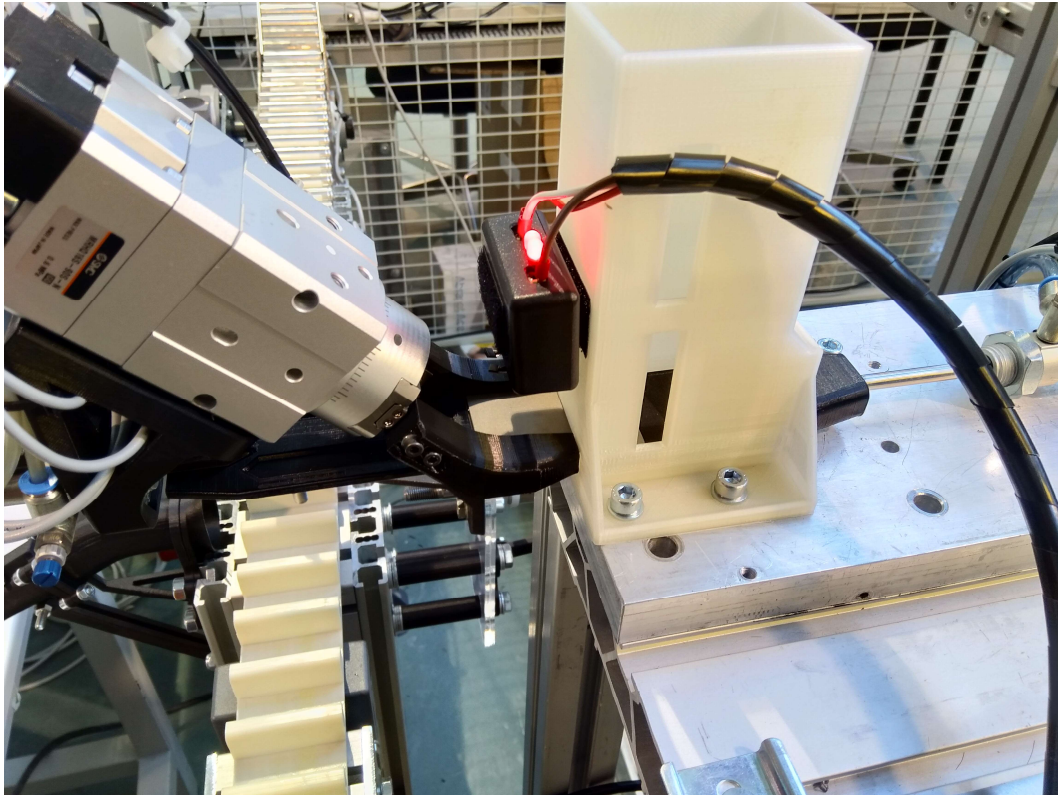
Kuva 17. Syöttölippaan sylinteri ja sen anturointi.

5.1.3 Ladonnan vaiheet

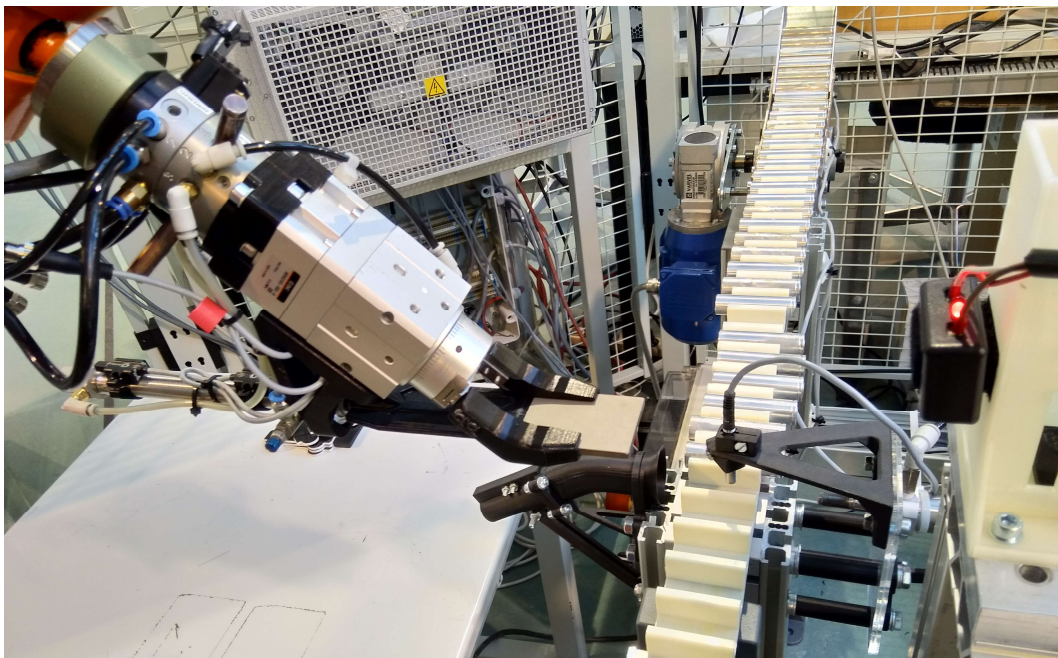
Ladontaprosessi alkaa magneetin noudolla (Kuva 18.). Robotin tarttuja siirtyy lip-
paan etupuolelle vastaanottamaan magneetin (Kuva 19.). Magneetti työnnetään pai-
neilmasyylinterillä tarttujan sormiin. Työnnön yhteydessä napaisuusanturin avulla
varmistetaan magneetin napaisuus ja tieto tästä kulkeutuu robotille. Anturin avulla
pyritään varmistamaan magneettien oikeanlainen asennus ja havaitsemaan virheti-
lanteet ajoissa. Onnistuneen noudon jälkeen magneetti siirretään oikean uran koh-
dalle (Kuva 21.). Magneetti asennetaan varovasti uraan paineilmasyylinterin avulla
(Kuva 22.).



Kuva 18. Ladonnan lähtötilanne.



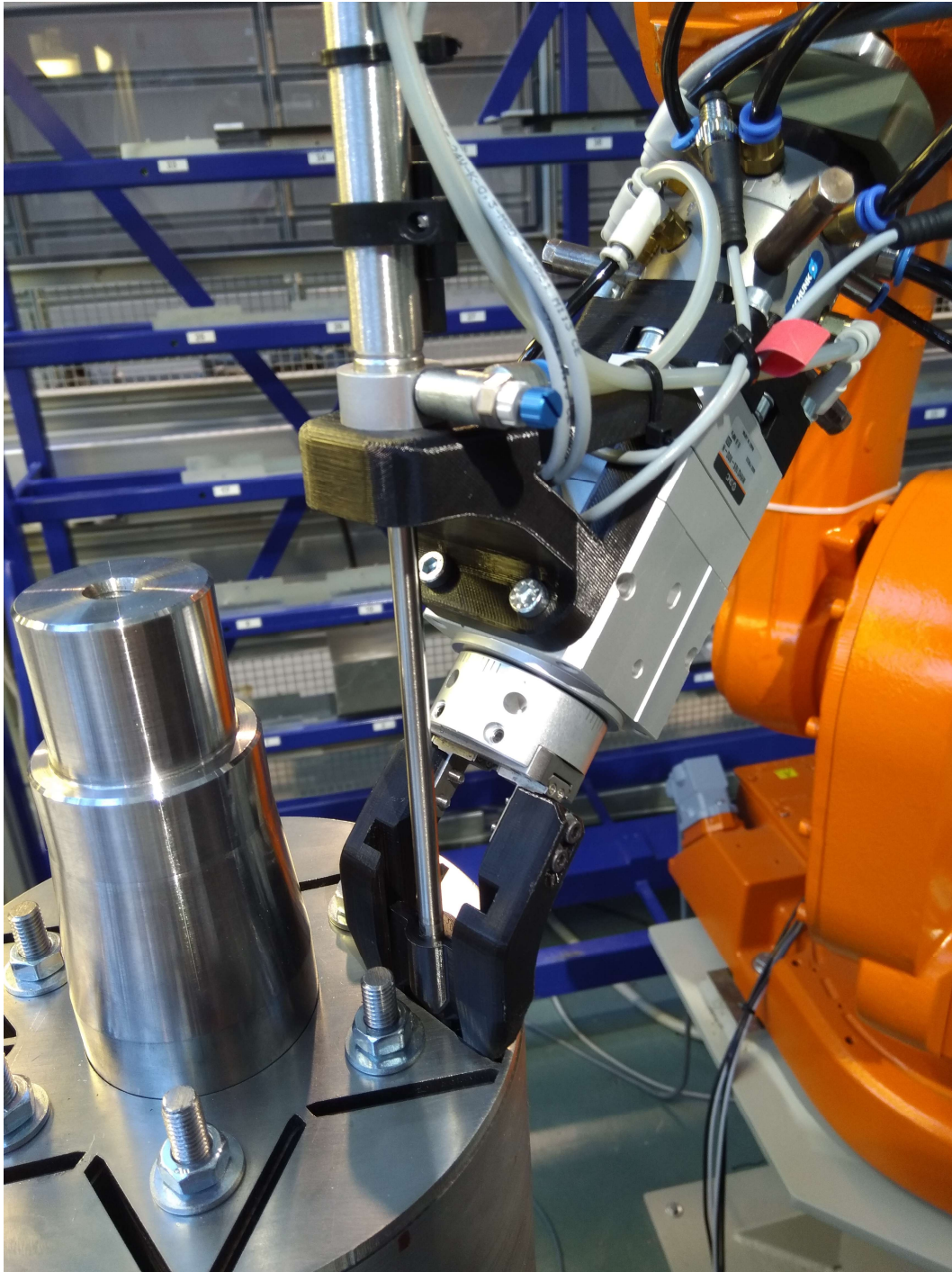
Kuva 19. Magneetin nouto ja napaisuuden tunnistaminen.



Kuva 20. Magneetti noudettu ja sen siirto roottorin uralle.



Kuva 21. Magneetti lähellä roottorin uraa, johon se asennetaan.



Kuva 22. Sylinteri on työntänyt magneetin uraan.

5.2 Automaatiosolun 3D-malli

Automaatiojärjestelmään on mallinnettu myös komponentteja, joita ei ole valmistettu testattaviksi testaussolussa. Nämä komponentit eivät ole magneettien asettamisessa merkittävässä roolissa. Automaatiosolun 3D-malli:n alle liitetyissä kohdissa käydään läpi erikseen ne osa-alueet, joita ei testaussolussa käytetty, mutta tulisi tuotantoon rakennettavassa solussa liittää mukaan. Lopuksi katsotaan läpi solun mallia, simulaatiota ja sen toimintaa.

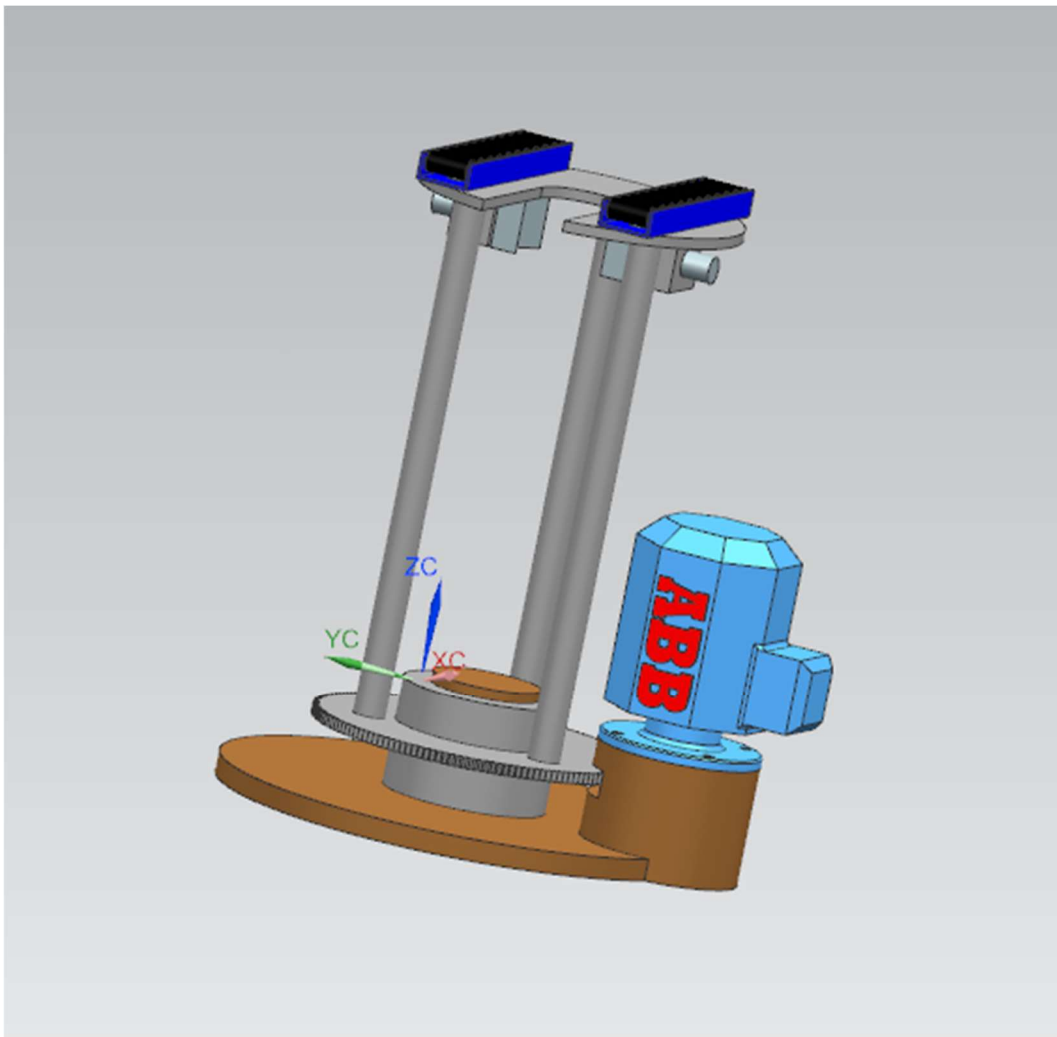
5.2.1 Kuljetin ja kääntöpöytä

Roottoria liikutetaan solussa rullakuljettimen avulla. Rullakuljettimeen on integroitu kääntöpöytä, siihen kohdalle missä magneettien asentaminen tapahtuu. Kääntöpöydän avulla roottori saadaan käänneltyä haluttuun asentoon, täten vältytään tilanteelta, ettei robotin käsivarren ulottuvuus olisi riittävä.

Kääntöpöytään on asetettu pöytäpinnan alapuolelle kaksi v-uraista leukaa, jotka liikkuvat lineaarisesti. Leuat kiristetään akselia vasten ennen kuin aloitetaan asentamaan magneetteja. Näin roottori saadaan pysymään tukevasti oikeassa kohdassa ja asennossa, koko asennuksen ajan (Kuva 23.).

Kääntöpöydän kääntäminen toteutetaan joko servo- tai askelmootorilla. Askelmootorissa hyvänä puolena on, että moottorin suorittama kääntö pystytään toteuttamaan hyvin tarkasti. Askelmootoria käytettäessä ei tarvita erillistä anturointia moottorin ohjaamiseen tai asennon seuraamiseen. Servo moottori on toimintaperiaatteeltaan lähes vastaava kuin askelmootori.

Erona askelmootorilla ja servomootorilla on se, kuinka moottorin asennon seuraaminen on toteutettu. Askelmootorissa liikkeen määrää seurataan moottorille syötettyjen pulssien määrää laskemalla, tässä ongelmana on, mikäli kääntöä ei saada todellisuudessa suoritettua liiallisesta kuormasta tai muusta syystä johtuen, askelmootori hukkaa sen todellisen paikkatiedon. Servomootorissa on tunnistimet, jotka seuraavat moottorin todellista asentoa. Tästä syystä servomootorin käyttöä voidaan pitää varmempana ratkaisuna.



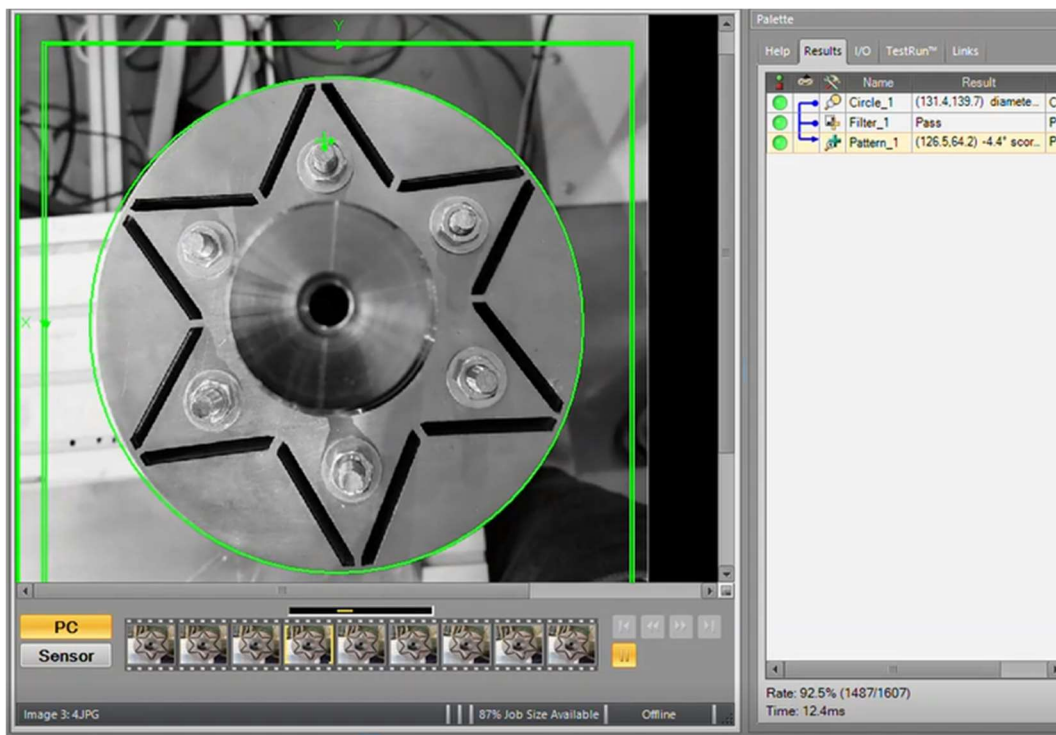
Kuva 23. Kuljettimen kääntöpöytä.

5.2.2 Konenäön soveltaminen roottorin asemointiin

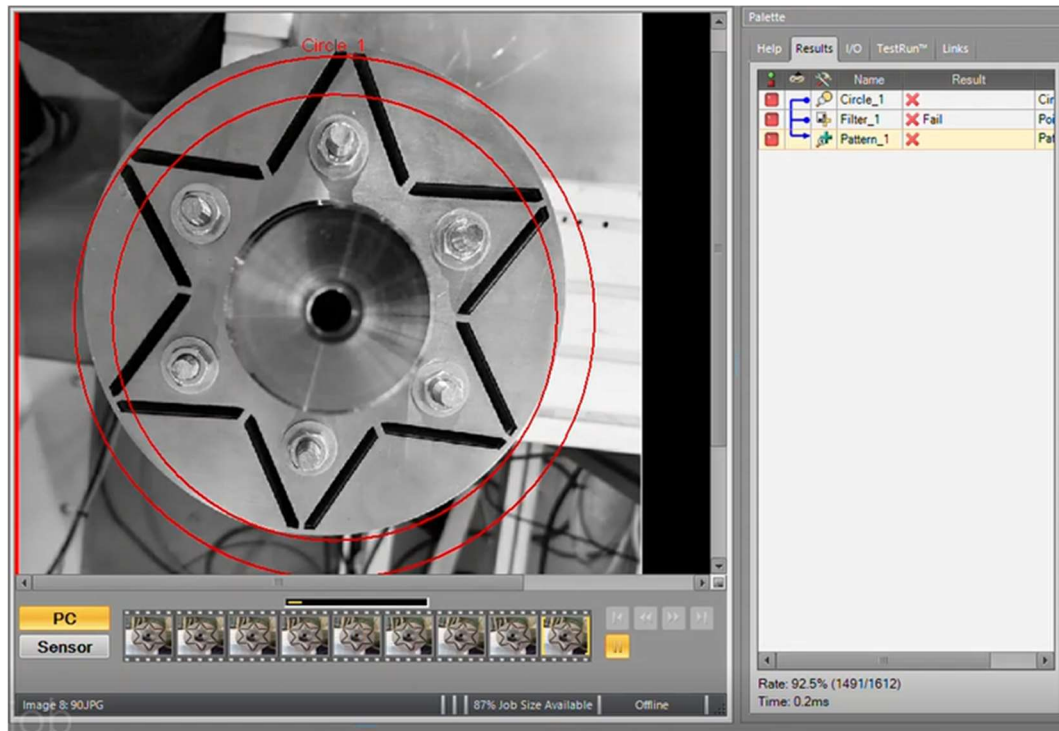
Roottorin asemoinnissa roottorin asentoa ja paikkaa seurattaisiin konenäkölaitteen avulla. Roottorit saapuvat magneettien asentamispisteeseen, kuljetinta pitkin ja urat ovat satunnaisessa asennossa robottiin nähden. Konenäön avulla seurataan roottorin urien asentoa sekä roottorin paikkaa.

Konenäön soveltuvuutta testattiin Cognex:n valmistamalla konenäkölaitteistolla. Laitteistoon määriteltiin parametrit, joiden avulla roottorista voitiin paikallistaa la-

dottavat urat. Tämän jälkeen laitetta testattiin ottamalla kuvia roottorista eri asennoissa ja tutkittiin konenäön kykyä löytää urat, sekä havaita, mikäli roottorin asennoinnissa oli tapahtunut virhe.



Kuva 24. Konenäköohjelmassa tarkasteltu kuva roottorin paikoituksesta (onnistunut paikoitus).



Kuva 25. Konenäköohjelmassa tarkasteltu kuva roottorin paikoituksesta (epäonnistunut paikoitus).

Roottorista on valittu alue, joka on kuvattu konenäöllä ja saatu tunnistettua roottorin urat. Kuvan keskellä oleva koordinaatisto osoittaa paikan, josta parametrien mukainen muoto on löydetty (Kuva 26.).



Kuva 26. Roottorin urien tunnistaminen konenäöllä.

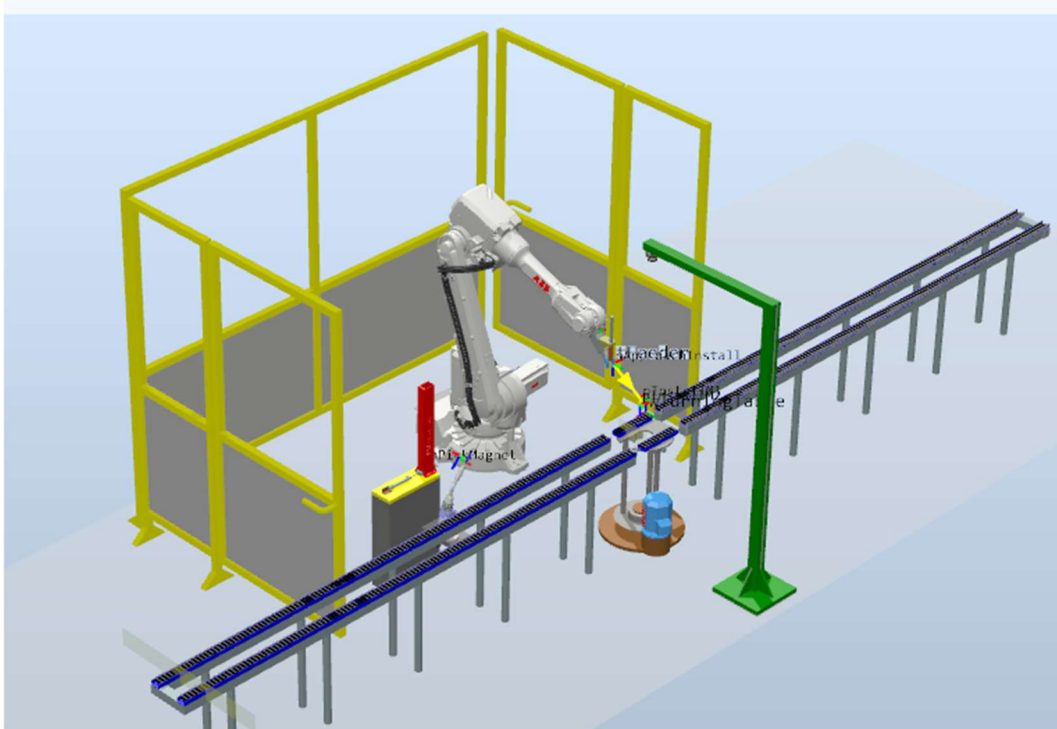
5.2.3 Magneettien liimaus

Tarkoituksena on, että magneettien asentamisessa käytettävä liima levitettäisiin magneetin pohjalle, ennen kuin se asennetaan roottoriin. Liiman annostelu toteutetaan joko sähköisesti tai pneumaattisesti toimivalla liiman annostelu laitteella, jotta robotilla saadaan hallittua liiman asettaminen. Käytettävän liiman tulee tässä tapauksessa olla sellainen, että se ei kovetu robotin käyttöolosuhteissa, muuten liiman käyttö saattaa aiheuttaa ongelmia tarttujassa olevien mekaanisten komponenttien toiminnassa.

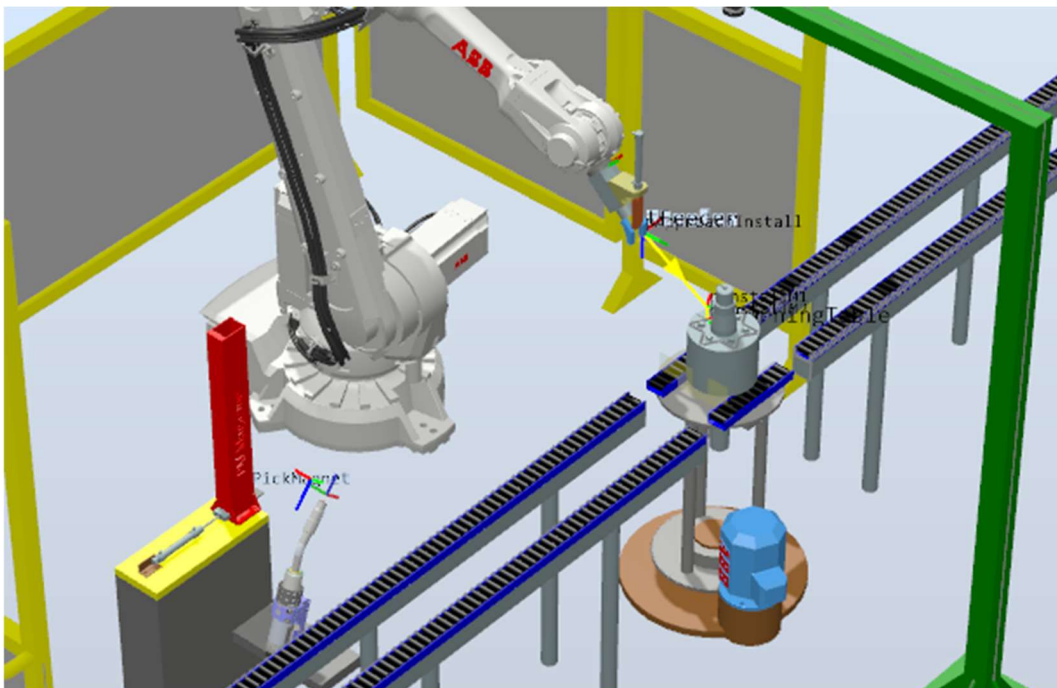
5.2.4 Valmis 3D-Solu

Kun solun mallinnus ja simulointi oli valmis, solu esiteltiin työn tilaajalle sekä opinäytetyön valvojalle. Työn tilaaja voi halutessaan tämän pohjalta viedä suunniteltua solua kohti käytännön toteutusta tai mahdollista jatkokehitystä.

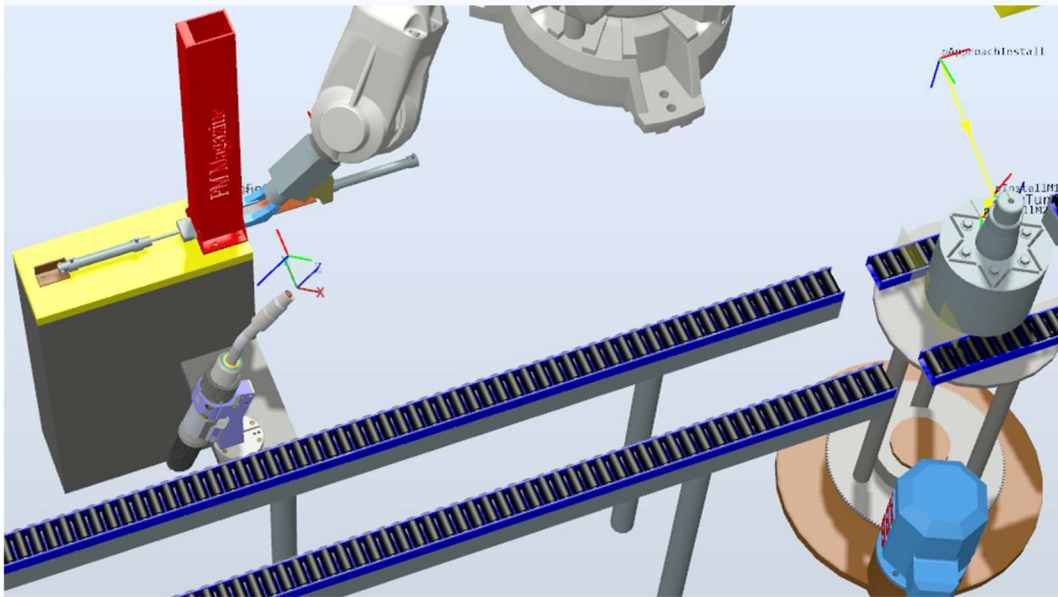
Magneettien asennus tapahtuu seuraavasti: 1. Roottori tuodaan kuljettimella kääntöpöydälle. 2. Kääntöpöydässä olevilla leuoilla tartutaan roottorin akselista kiinni, jotta roottori ei pääsisi liikkumaan asennuksen aikana. 3. Robotti noutaa tarraimella magneetin lipaasta, jonka yhteydessä olevalla anturilla tarkastetaan magneetin napaisuus. 4. Magneetti viedään liimauslaitteelle, jossa sen pohjaan levitetään ohut kerros liimaa. 5. Magneetti viedään roottorin uran suulle ja tarraimen integroitu työntölaite työntää magneetin uranpohjalle. Tämän jälkeen toistetaan vaiheet 3,4 ja 5, kunnes ensimmäiset urat on täytetty ja tämän jälkeen roottoria käännetään, jotta voidaan latoa seuraavat urat. Kun kaikki urat on täytetty, roottori siirtyy kääntöpöydältä kuljetinta pitkin pois solusta (Kuva 27.), (Kuva 28.), (Kuva 29.), (Kuva 30.), (Kuva 31.), (Kuva 32.), (Kuva 33.).



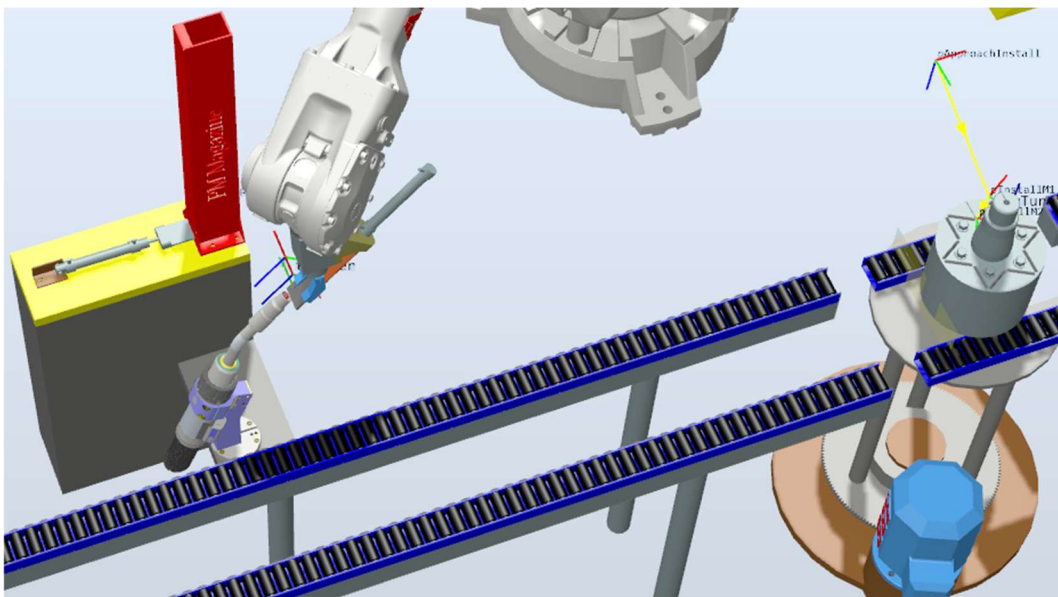
Kuva 27. RobotStudiolla mallinnettu solu.



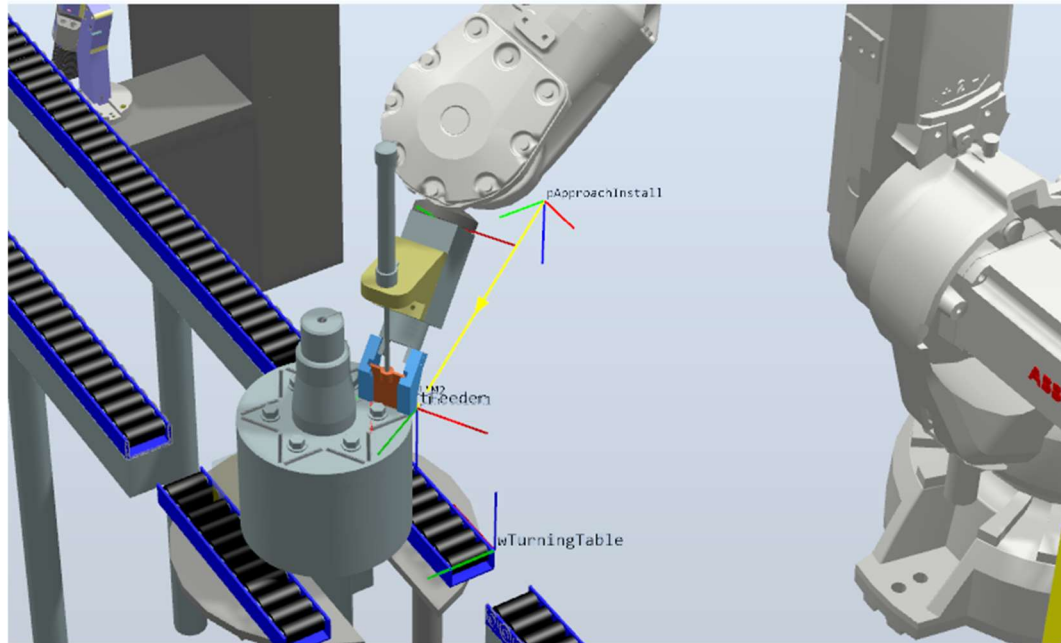
Kuva 28. Roottori kääntöpöydällä.



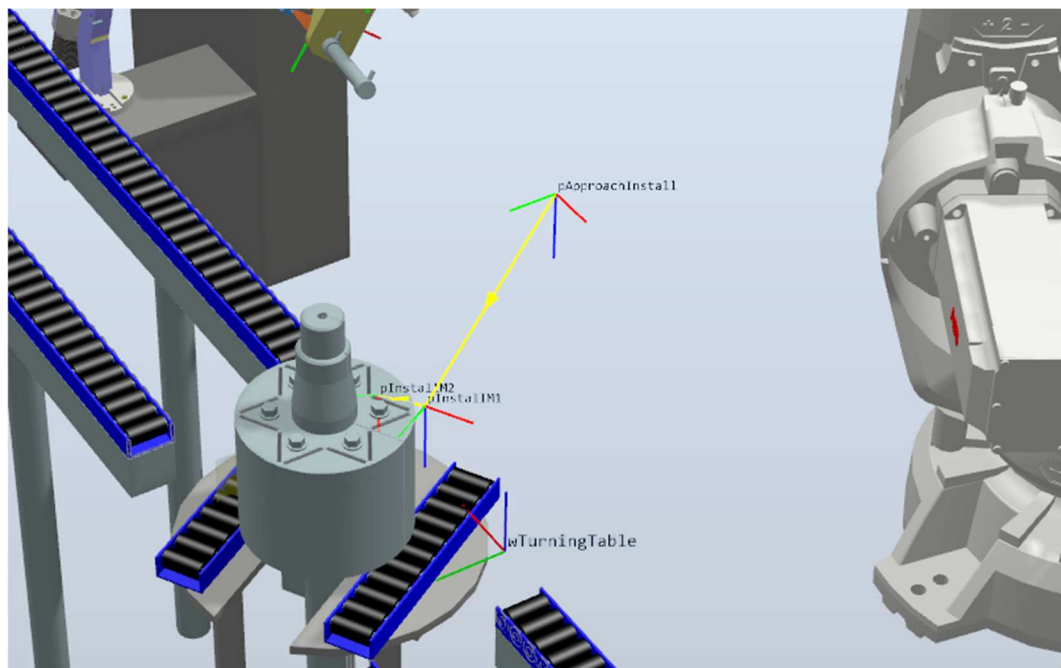
Kuva 29. Robotti noutamassa magneettia.



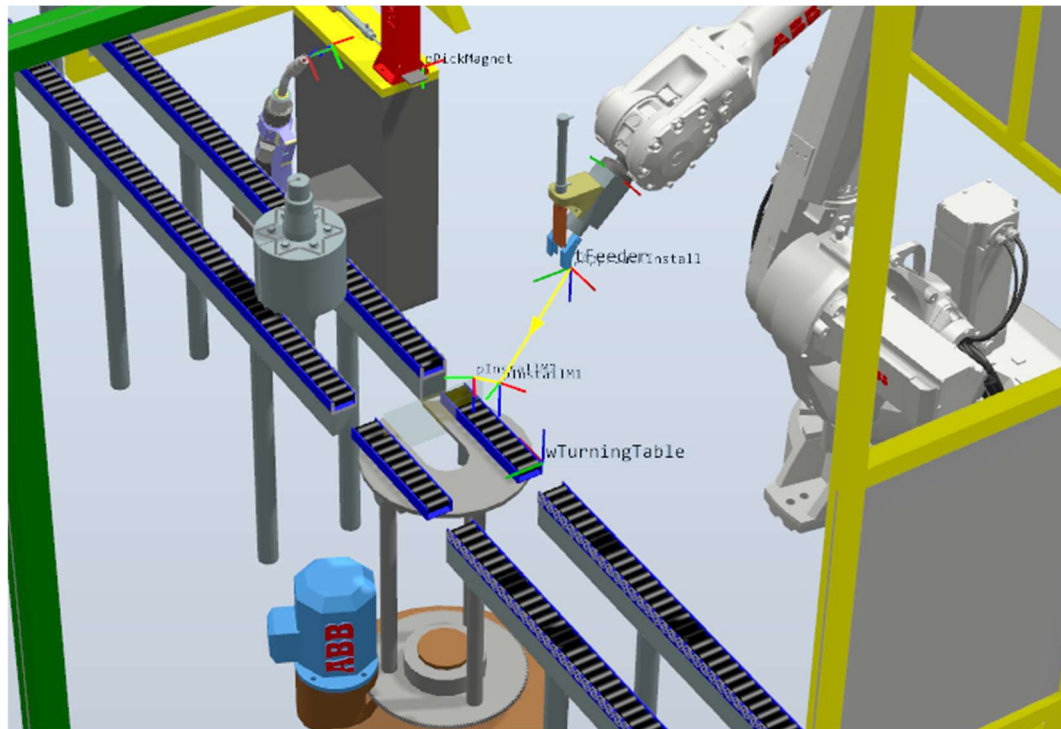
Kuva 30. Liiman levitys magneetin pohjaan.



Kuva 31. Magneetti työnnetään uraan.



Kuva 32. Roottoria käännetään ladontojen välillä.



Kuva 33. Roottori lähtee valmiina kuljetinta pitkin pois.

6 LOPPUPÄÄTELMÄT JA POHDINTA

6.1 Tuotosten arviointi

Onnistunut mallinnus/simulaatio RobotStudio-ohjelmalla automaatiojärjestelmästä, jossa nähdään kuinka magneettien ladontatyövaihe kokonaisuutena tapahtuisi. Automaatiojärjestelmän simulaatiota tehtäessä, käytössä oli useita ennestään tuntemattomia työkaluja, joiden käyttö vaati harjoittelua. Lisäksi aikaiseksi saatiin monipuolinen ja toimiva testaussolu. Solulla testattiin järjestelmien yhteensopiavuutta ja suoritettiin ladonnan vaiheet onnistuneesti. Järjestelmän suunnittelussa onnistuttiin mielestämme kiitettävästi.

6.2 Projektin kulku

Aikataulussa pysyttiin, joskin projektin vaiheiden aikataulutusta jouduttiin hieman muuttamaan projektin aloituspalaverissa. Projektin tiedonkulku oli työn suorittajien ja valvojien välillä hyvää ja vaivatonta. Vastuualueiden ja tehtävien jako oli selkeä.

Työn tavoitteet olisi kannattanut jakaa useampaan pienempään tavoitteeseen, jolloin työn seuranta ja aikatauluttaminen olisi voitu toteuttaa täsmällisemmin. Tällä tavoin, mikäli projektin edistymisessä olisi ongelmia, ne voitaisiin havaita mahdollisimman nopeasti ja ratkaista.

6.2.1 Riskien toteutuminen

Projektin varrella seuraavat riskit kävivät toteen:

1. Työskentelytilojen käytön estyminen.

Projektin edistymiselle haasteita aiheutti se, että COVID-19 -viruspandemian takia koulun tilojen käyttämistä rajoitettiin, mutta ei kuitenkaan kokonaan estetty.

2. Ongelmat komponenttien valmistukseen käytettävissä laitteissa.

Tarkoituksena oli valmistaa osa 3D-tulostettavista osista hiilikuituvahvisteella. Tähän tarkoitukseen soveltuva tulostin oli projektin aikana käyttökelpoton ja nämä komponentit jouduttiin valmistamaan ilman hiilikuituvahvistetta.

6.3 Kehitysideat

Seuraavaksi tutkittavana voidaan pitää eri vaihtoehtoja magneettien asennuksessa käytettäväksi liimaksi, sekä erinäisiä tapoja toteuttaa liiman tuominen magneetteihin tai roottoriin. Tämä siitä syystä, että tavallisia hapen kanssa reagoivia liimoja käytettäessä robotin tarraimen läheisyydessä, on riski, että liimaa joutuu tarraimen mekaanisiin osiin ja aiheuttaa ongelmia niiden toiminnassa.

Konenäön käyttöön tarkempi perehtyminen, erityisesti siihen kuinka konenäön ja robotin välinen tiedonsiirto toteutettaisiin. Myös erinäisiä konenäkölaitteisto vaihtoehtoja tulisi tarkastella enemmän.

LÄHTEET

ABB AB. 2016. RobotStudio Courseware 6.05. Västerås, Sweden.

Billing, M. 2017. Robotiikka [luentomateriaali] Robotics 2018. Vaasan ammattikorkeakoulu.

Eskelinen, H. 2014. Tutkimusmetodiikan perusteet. Tekniikan alan oppikirja. Hansaprint Oy. Vantaa. Tammertekniikka.

Heikkilä, T. 2002. Permanent magnet synchronous motor for industrial inverter applications -analysis and design.

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja Sähkökoneet. Hansaprint Oy. Vantaa. Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.

Hirvonen, O. Teknologiat [luentomateriaali] Lisäävä valmistus 2019. Vaasan ammattikorkeakoulu.

Kuivanen, R. 1999. ROBOTIIKKA. Suomen robotiikkayhdistys ry. Tampere. Talentum Oyj/MetalliTekniikka.