



Topias Jokinen

Pneumaattisen monikäyttötarraimen suunnittelu ja toteutus robottisoluun

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

8.3.2026

Tiivistelmä

| | |
|-----------------------|--|
| Tekijä: | Topias Jokinen |
| Otsikko: | Pneumaattisen monikäyttötarraimen suunnittelu ja toteutus robottisoluuun |
| Sivumäärä: | 32 sivua + 2 liitettä |
| Aika: | 8.3.2026 |
| Tutkinto: | Insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma: | Konetekniikka |
| Ammatillinen pääaine: | Koneautomaatio |
| Ohjaaja: | Timo Junell |

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa pneumaattinen monikäyttötarrain robottisoluuun. Monikäyttötarrainta käyttäen robottikäsivarren ja kaksikaraisen automaattisorvin välistä yhteistyötä voidaan tehostaa. Tämä ratkaisu tehostaa sorvattavien kappaleiden tuotantoa nopeuttamalla valmiiden kappaleiden siirtoa sorvista ja uusien aiheiden tuomista sorviin. Työn tarkoituksena oli toteuttaa tarttujen kiinnitys robottiin. Lisäksi työssä käsiteltiin tarttujen ohjausta robotin käyttöliittymän avulla.

Työn suunnitteluvaiheessa tarvittavien uusien komponenttien mahdollisia toteutustapoja arvioitiin, jotta voitiin suunnitella tarttujen kiinnitysmekanismi, leukojen geometria sekä mahdolliset robotin tarvitsemat lisälaitteet ohjausta varten. Parhaiksi arvioituja kiinnitystapoja mallinnettiin 3D-mallinnusohjelmistolla. 3D-mallin pohjalta valmistettiin prototyyppi 3D-tulostinta käyttäen ja näin varmistettiin mallinnettujen osien soveltuvuus käyttötarkoitukseensa. Myös tarttujen sormien suunnittelu ja valmistus toteutettiin samaa 3D-mallinnusohjelmistoa ja -tulostinta käyttäen. Toteutusvaiheessa valmistettiin tarttujen lopullinen kiinnitysjärjestelmä ja testattiin tarttujen toiminta. Tarttijat toimivat halutulla tavalla, kun niitä testattiin sormien kanssa sekä ilman.

Avainsanat: Teollisuusrobotit, tarraimet, 3D-mallinnus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Topias Jokinen
Title: Design and Implementation of a Multipurpose Pneumatic Gripper for a Robotic Cell
Number of Pages: 32 pages + 2 appendices
Date: 8 March 2026

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisor: Timo Junell

The goal of this thesis was to design and implement a pneumatic multi-purpose gripper for a robotic cell. The collaboration between an industrial robot arm and an automatic lathe could be enhanced via the use of said multi-purpose gripper. This solution streamlines the production of workpieces by expediting the transfer of workpieces to and from the lathe. The purpose of the thesis was also to implement the attachment of the grippers to the robot arm and the required controls in the robot's interface.

During the planning phase of the thesis, different implementations of the required new components were assessed so an attachment mechanism for the grippers could be designed, along with the geometry of the jaws and possible attachments for controlling the whole. The attachment methods deemed best were modelled with 3D-modeling software, and a prototype based on the 3D-model was created via 3D printing. This made it possible to ensure all the different components were compatible with one another before any actual manufacturing was done. The fingers used by the grippers were also created using the same 3D-modelling software and -printer.

In the implementation phase, the final attachment mechanism was manufactured, and the functionality of the grippers was tested. The grippers were tested with and without fingers attached, working in the desired manner in both cases.

Keywords: Industrial robots, grippers, 3D-modeling

Sisällys

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Robottisolut | 2 |
| 2.1 | Robottisolut ja robotit | 2 |
| 2.2 | Robottien ohjelmointi | 4 |
| 3 | Robottitarttijat | 6 |
| 4 | Kaksipäisen tarttujan toteutus | 13 |
| 4.1 | Robottisolun esittely | 13 |
| 4.2 | Kaksipäisen tarttujan suunnittelu | 17 |
| 4.3 | Tarttujan valmistaminen | 23 |
| 4.4 | Testaus ja käyttöönotto | 26 |
| 5 | Yhteenveto | 29 |
| | Lähteet | 31 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1: Tarraimien kiinnityksen tekninen piirustus | |
| | Liite 2: Tarraimen sormen tekninen piirustus | |

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen kampuksen konepajalaboratorioon. Laboratoriossa on käytössä CNC-sorvi robottisolussa ja solun robotti palvelee CNC-sorvia. Robotin avulla sorvin valmistama kappale voidaan poimia tarttujaa käyttäen ja samalla asettaa uusi työkappale sorviin työstettäväksi.

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa monikäyttötarrain, jota käyttäen robottikäsi- ja kaksikaraisen automaattisorvin välistä yhteistyötä voidaan tehostaa. Tämä ratkaisu tehostaisi sorvattavien kappaleiden tuotantoa nopeuttamalla valmiiden kappaleiden siirtoa sorvista ja uusien aihoiden tuomista sorviin. Työn tarkoituksena oli myös toteuttaa tarttujien kiinnitys robottiin sekä tarttujien ohjaus robotin avulla ja työkappaleen käsittely tarttujilla, jotta robotti pystyy palvelemaan automaattisorvia. Työstä rajattiin pois tarttujan tuotantokäytön testaus.

Työn suunnitteluvaiheessa tarvittavien uusien komponenttien mahdollisia toteutustapoja arvioitiin, jotta voitiin suunnitella tarttujien kiinnitysmekanismi, leukojen geometria sekä mahdolliset robotin tarvitsemat lisälaitteet ohjausta varten. Parhaiksi arvioituja kiinnitystapoja mallinnettiin 3D-mallinnusohjelmistolla. Mallinnus tehtiin ohjelmistolla, jonka avulla tuotettiin piirustukset ja valmistukseen käytettävät tiedostot. 3D-mallin perusteella valmistettiin prototyyppi käyttäen 3D-tulostinta, ja näin varmistettiin mallinnettujen osien soveltuvuus käyttötarkoitukseensa. Myös tarttujien sormien suunnittelu ja valmistus toteutettiin samaa 3D-mallinnusohjelmistoa sekä -tulostinta käyttäen. Toteutusvaiheessa valmistettiin tarttujien lopullinen kiinnitysjärjestelmä ja testattiin tarttujien toiminta, tehtiin tarvittavat korjaukset sekä arvioitiin mahdollisia jatkokehitys- ja parannusvaihtoehtoja.

2 Robottisolut

2.1 Robottisolut ja robotit

Robottisoluja käytetään valmistavassa ja kokoonpanoteollisuudessa tehostamaan työvaiheita sekä parantamaan turvallisuutta. Robottisolujen käytöllä voidaan myös parantaa tuotannon laatua vakioimalla työvaiheita, näin vähentäen mahdollisia tuotantovirheitä. Robottisolujen automaatioaste vaihtelee: joissakin tapauksissa robottisolu voi työskennellä kokonaan ilman valvontaa itsenäisesti ja joissain tapauksissa valvova henkilö osallistuu työskentelyyn robotin ohella. (Khatib & Siciliano 2016: 1386.)

Teollisuusrobotteja käytetään erilaisissa hitsaustehtävissä, kuten pistehitsauksessa ja kaarihitsauksessa. Muita käyttökohteita ovat esimerkiksi plasmaleikkaus, hionta ja kiillotus sekä jäysteenpoisto. Kappaleiden siirtäminen, kokoonpano ja maalaus ovat myös tyypillisiä teollisuusrobottien käyttökohteita. (Khatib & Siciliano 2016: 1393–1404.)

Teollisuusrobotin rakenne vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan, mutta kiinteästi paikallaan pysyvien nivelvarsirobottien osalta tyypillinen kokoonpano koostuu mekaanisista tukivarsista ja nivelistä, ohjaukseen käytettävistä servomootoreista ja niihin liittyvistä antureista, ohjausyksiköstä ja mahdollisesta käsiohjaimesta. Tukivarret liikkuvat toisiinsa nähden joko jonkin suoran suuntaisesti tai suoran ympäri: suoran suuntaista liikettä kutsutaan lineaariseksi liikkeeksi ja ympäri kiertävää liikettä kutsutaan kiertoliikkeeksi. Robotilla voi olla useita niveliä, jotka vaikuttavat sen liikeratoihin ja vapausasteiden lukumäärään. Vapausasteita voi enimmillään olla kuusi: eteen, taakse, ylös, alas, sivulle, sekä pyörintäliike suuntien ympäri. (Niemelä & Välimäki 2023: 118.)

Teollisuusrobottisolun turvallistamisen periaatteet on määritelty kansainvälisissä EU-direktiiveissä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY) ja turvallisuusalan standardeissa (SFS-EN ISO 10218-2 2025). Varsinaisen robottisolun turvallisuuden lisäksi on huolehdittava ympäristössä liikkumisen turvallisuudesta esimerkiksi turva-aitoja käyttäen. Myös varsinaisen robotin työtilan

valvonta on varmistettava, mukaan lukien käytettävien työkalujen ja lisälaitteiden turvallisuus.

Robottisolua suunniteltaessa ja rakennettaessa täytyy huomioida robottisolun operointiin ja turvalliseen käyttöön liittyviä periaatteita ja käytäntöjä. Tämän vuoksi esimerkiksi kaapeloinnin asennus, turvalliset liikkumisalueet sekä huolto- paikkojen sijainnit on määriteltävä. (SFS-EN ISO 10218-2 2025: 37.) Esimerkiksi jos robotin työskentelyalueelle on ihmiseltä rajoittamaton pääsy, täytyy arvioida, kuinka vakavia vaurioita törmäys robotin kanssa voi aiheuttaa ja kuinka niitä voidaan minimoida. Yksinkertainen tapa minimoida vaurioita on rajoittaa robotin liikenopecta. Kuitenkin, kuten kirjassa *Teollisuuden robotiikka* (2023: 113) kuvataan, kevyitä pahvilaatikoita siirtelevän lavaussolun turvallistaminen on huomattavasti yksinkertaisempaa kuin terävää työkalua käyttävän jäysteenpois- torobotin.

Robotin koko voi myös vaikuttaa sen turvallistamiseen. Suuren robotin törmäyk- sessä voi hitaillakin nopeuksilla aiheutua merkittäviä vahinkoja, joten sen kanssa työskennellessä täytyy rajoittaa ihmisen pääsyä samaan tilaan. Vaarati- lanteiden välttämiseksi käytetään myös antureita, jotka tunnistavat, kun ihminen on liian lähellä robottia, ja lähettävät sille pysäytyssignaalin. Robotin suuren koon takia turva-alueiden täytyy myös olla laajoja tai robotin tulee liikkua tar- peeksi hitaasti, jotta se voidaan pysäyttää turvallisesti ja ajoissa tarpeen tullen. (SFS-EN ISO 10218-2 2025: 75.)

Robotteja ja tarttujia on toimintaperiaatteeltaan ja rakenteeltaan erilaisia. Tämän takia on tärkeää jo suunnitteluvaiheessa selvittää, kuinka painavia ja minkä ko- koisia kuormia robotilla tullaan käsittelemään. (Hesse ym. 2007: 1.) Robotti ei koskaan kuljeta vain ja ainoastaan jotakin tiettyä kappaletta kuormanaan, vaan se kuljettaa niitä tarttujan sekä tarttujan kiinnityksen painon ja koon lisäksi, mistä syystä tarttujat ja niiden kiinnitys tulee mitoittaa sopivaksi. Mikäli tarttujat ja kiinnitys on mitoitettu siten, että robotti on pelkästään niiden kanssa jo ääri- rajoillaan, ei kyseistä robottia voida käyttää työskentelyyn, sillä se ei jaksaa liikuttaa suunniteltua kokonaisuutta ja robotin moottori todennäköisesti rikkoutuisi, jos

käyttöä pakotetaan liikaa. Jos esimerkiksi käytössä on robotti, jonka painoraja on kymmenen kilogrammaa, ja sen käyttöön mitoitetaan tarttujakiinnitysyhdistelmä, jonka yhteispaino on kahdeksan kilogrammaa, robotilla voidaan turvallisesti nostaa ja liikuttaa vain korkeintaan kahden kilogramman kappaleita. (SFS-EN ISO 10218-2 2025: 30.)

Euroopan unionin konedirektiivi 2006/42/EY:n mukaan jokaisella markkinoilta löytyvällä koneella tai koneyhdistelmällä tulee olla valmistaja, joka on vastuussa siitä, että kone täyttää direktiivissä määritetyt vaatimukset. Valmistajaksi voidaan määritellä joko koneen tai konejärjestelmän valmistanut yritys, sen edustaja, maahantuoja tai jälleenmyyjä. Direktiivin vaatimusten mukaan on kuitenkin olennaista, että on jokin taho, joka ottaa vastuun myytävästä koneesta. (Niemi & Välimäki 2023: 93.) Konedirektiivissä on myös vaatimuksia, joita koneen valmistajan tulee noudattaa, jotta rakennettava kone on turvallinen ja sopiva käyttötarkoitukseensa. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen allekirjoittamalla valmistaja vakuuttaa, että kone täyttää sitä koskevat terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Allekirjoittamisen jälkeen tuotteelle voidaan antaa CE-merkintä (Conformité Européenne, suom. Eurooppalainen vaatimustenmukaisuus) ja se voidaan tuoda markkinoille. Mikäli robottisolu on suunniteltu ja rakennettu standardien mukaisesti, sen kanssa ja ympäristössä työskentelyn ja huolto- sekä korjaustoimenpiteiden suorittamisen pitäisi sujua ilman vaaratilanteita ja ongelmia. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY: 12.)

2.2 Robottien ohjelmointi

Ennen kuin robotti voidaan ottaa käyttöön, tarvitaan käyttötarkoitukseen sopivien ohjelmistojen suunnittelu, toteutus ja testaus. Ennen käsiohjaimia ja tietokonepohjaista ohjelmointia käytettiin yleisesti niin sanottua johdattamalla ohjelmointia, jossa robottia käsin liikuttelemalla määriteltiin eri liikkeiden liikeradat. Robotti pystyi toistamaan sille annetut liikkeet instrumenttinauhurin avulla, joka pystyttiin yhdistämään robotin toimilaitteiden säätöpiireihin ja nauhaa pystyttiin kelaamaan eri nopeuksilla, jotta haluttu liikenopeus saavutettiin. Nykypäivänä alkuperäinen johdattamalla ohjelmointi ei ole enää juurikaan käytössä

käsiohjainten ja tietokonepohjaisen ohjelmoinnin yleistymisen myötä. (Niemelä & Välimäki 2023: 231.)

Nykyään käytetään myös opettamalla ohjelmointia, joka on lähtöisin johdattamalla ohjelmoinnista: robotin käsivarsi viedään joko käsin tai ohjaimen avulla haluttuun paikkaan, ja sen paikkatiedot voidaan tallentaa muistiin. Robotille luodussa ohjelmassa pystytään sitten viittaamaan tallennettuihin paikkoihin ja asentoihin, joita robotti voi käyttää liikeratojen määrittelyssä. (Khatib & Siciliano 2016: 1409–1410.) Opettamalla ohjelmoinnin etu johdattamalla ohjelmointiin nähden on se, että robotin liikeratoja voidaan muokata tarvittavien liikeratojen mukaan ja muutosten tekeminen on varsin nopeaa ja yksinkertaista. (Niemelä & Välimäki 2023: 231.)

Näiden lisäksi on myös olemassa etäohjelmointia. Etäohjelmoinnilla tarkoitetaan sitä, kun robottia ohjelmoidaan virtuaalisesti tuotannon ulkopuolella pysäyttämättä sitä: tämä helpottaa huomattavasti uusien tuotantosolujen ja tuotteiden käyttöönottoa. Etäohjelmointia käytetään myös sellaisissa tilanteissa, joissa opettamalla ohjelmointi ei ole mahdollista. Etäohjelmoinnissa voidaan hyödyntää pelkkää tekstiä, jota robotti ymmärtää, kuten myös malleja ja muototietoja, joiden pohjalta saadaan ohjelmoitua haluttuja liikeratoja tarkasti etänä. (Niemelä & Välimäki 2023: 232.)

Ennen kuin ohjelmaa voidaan varsinaisesti lähteä rakentamaan, robotille täytyy ensin määrittää tehtävää varten tarvittavat paikoituspisteet. Yksinkertaisella pick-and-place-robotilla nämä voivat olla esimerkiksi aloitus/kotipiste, lähestymispiste kappaleen poimintaa varten, kappaleen poimintapiste, lähestymispiste kappaleen pudottamista varten ja pudottamispiste. Näiden pisteiden avulla voidaan sitten rakentaa ohjelma, jota robotti osaa toteuttaa. (Niemelä & Välimäki 2023: 233.)

Robotille annetun ohjelman lisäksi robottia voidaan myös ohjata käsiohjaimen avulla. Käsiohjainta voidaan käyttää ohjelmoinnin aikana robotin paikoittamiseen kuten myös erinäisten toimintojen koestamiseen. Ohjain sallii myös robotin

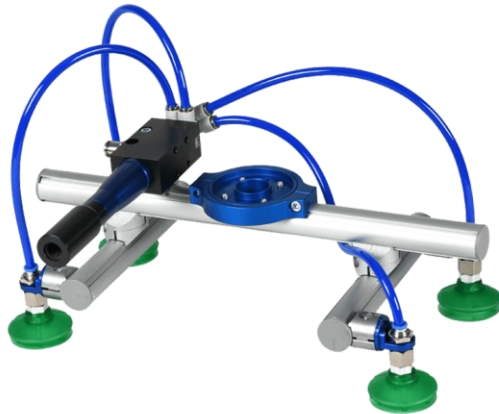
liikuttamisen vikatilanteessa takaisin turvalliseen asentoon. (Niemelä & Välimäki 2023: 122.)

Robotti ei tunne ympäristöään, vaan tarvitsemansa paikoituspisteet tallennetaan robotin koordinaatistoon. Näin se pystyy paikantamaan esimerkiksi työkappaleen hakupaikan ja työkoneen sijainnin. Myös robotin työkalulle on oma koordinaatistonsa, jonka avulla robotti kykenee hahmottamaan työkalun tarkan sijainnin muuhun ympäristöön nähden. (Niemelä & Välimäki 2023: 123–128.)

3 Robottitarttujat

Tarttujat voidaan luokitella tarttumiseen käytettävän mekanismin tai voiman mukaan. Kaksi tavallisesti käytettyä perustyyppiä ovat jäykkäsormiset tarttujat ja pehmeäsormiset tarttujat. Tarttuminen voidaan saada aikaan esimerkiksi käyttäen puristusta, alipainetta, magneetteja, neuloja tai liimapintoja (Hesse ym. 2007: 19).

Alipainetarttujia käytetään silloin, kun mekaanisen tarttujan käyttö on hankalaa. Toisin kuin mekaaninen tarttuja alipainetarttuja ottaa työkappaleesta kiinni tyyppillisesti vain yhdeltä puolelta imukuppien avulla. Näiden etu on se, että ne ovat yleensä pehmeitä, joten ne eivät naarmuta työkappaletta sitä liikuttaessa (Hesse ym. 2007: 176). Imukupit eivät kuitenkaan sovellu kaikkiin tilanteisiin, joissa saatettaisiin haluta käyttää alipainetarttujaa, sillä ne vaativat tartuntapinnan, joka on tasainen, sileä ja puhdas, jotta alipaine saataisiin luotua (Hesse ym. 2007: 224). Kuvassa 1 on esimerkki erään valmistajan imukuppeja käyttävästä alipainetarttujasta.



Kuva 1. Imukuppeja käyttävä alipainetarttuja (AutomationDirect).

Mikäli kuitenkin halutaan käyttää alipainetartuntaa tilanteessa, jossa imukuppien käyttö ei onnistu, on myös olemassa pesusienimäisiä tarttuvia, joissa alipaine voidaan ohjata halutulle tartunta-alueelle. Niin sanotun pehmeän tartunnan lisäksi alipainetarttujen etuna on myös se, että niissä on vähän liikkuvia osia ja niiden rakenne on yksinkertainen, mikä tekee niistä luotettavia. Tällaisten tarttujen huonona puolena on se, että virran, eli tässä tapauksessa paineen, katkessa liikutettava kappale putoaa. Alipainetarttumat ovat myös herkkiä pölylle, joka voi tukkia järjestelmän tai vähentää tarttumisvoimaa oleellisesti. (Niemelä & Välimäki 2023: 207–209.)

Magneettitarttuvia voidaan käyttää silloin, kun käsitellään magneettisista materiaaleista tehtyjä työkappaleita. Työkappaleella on kuitenkin oltava tarpeeksi suuri tartunta-alue, sillä ilmaraon kasvaessa magneettikenttä heikkenee, mikä tarkoittaa sitä, että magneettitarttuja ei aina ole paras vaihtoehto edes magneettisille kappaleille varsin rajallisen voiman vuoksi. Magneettitarttujalla tartunta tapahtuu nopeasti, mutta jäännösmagnetismi voi hidastaa irrotusta. Sähkömagneetilla magneettikentän suuntaa voidaan muuttaa, mikä nopeuttaa irrotusta. Sähkömagneetit tosin lämpenevät käytössä, joten niiden käyttö tulee suunnitella huomioiden mahdollinen lämpötilan vaikutus. (Niemelä & Välimäki 2023: 209.) Kuvassa 2 on esitetty erään valmistajan magneettitarraimia teollisuuskäyttöön.



Kuva 2. Erikokoisia magneettitarraimia (Schmalz).

Jäykkäsorminen paineilmatarttuja on mekaaninen laite, jolla voidaan paineilman avulla nostaa ja liikuttaa kappaleita. Tarttumat voivat suunnata voiman kahdesta tai useammasta suunnasta, jolloin tarttuminen voi tapahtua ympyräkeskeisesti (radiaalitarttuja) tai sivusuunnassa lineaarisesti (lineaaritarttuja). Kuvissa 3 ja 4 on esimerkki sekä lineaari- että radiaalitarttujista. Paineilmatarttuja voidaan myös käyttää esimerkiksi sellaisissa prosesseissa, joissa käsitellään ihmisille haitallisia tai vaarallisia aineita ja materiaaleja (Khatib & Siciliano 2016: 1521–1522).



Kuva 3. Lineaaritarttuja (Robot System Products).



Kuva 4. Radiaalitarttuja (Robot System Products).

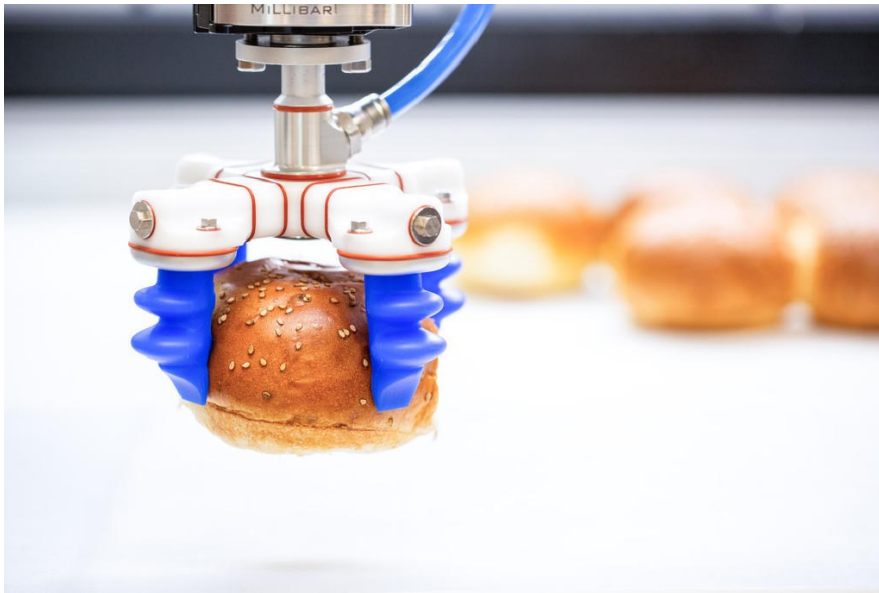
Joissakin tapauksissa ei joko voida käyttää edellä mainittuja tarttumistapoja tai sitten niitä ei tarvitse käyttää lainkaan. Esimerkiksi tekstiiliteollisuudessa ja jätteen lajittelussa voidaan hyödyntää neulatarttuja, jotka pystyvät poimimaan kappaleita lävistämällä niitä neuloilla (Hesse ym. 163–164). Kappaleen irrotus tapahtuu siten, että neulat vetäytyvät takaisin tarttujan sisään. Neulatarttijat soveltuvat hyvin esimerkiksi kuitukankaiden, vaahtomateriaalien sekä nahan käsittelyyn. (Hesse ym. 2007: 165–166.)

On myös mahdollista käyttää liimatarttuja, jotka tarttuvat kappaleeseen liimapinnan avulla. Näissä tarttujissa irrotus tapahtuu, kun robotti tekee yleensä joko taivuttavan tai pyörittävän liikkeen. Liimatarttujissa itse tarttumiseen on monia eri mekanismeja, kuten tarranauhojen hyödyntäminen, erilaiset liimat sekä jopa liskojen sormien tartuntapinnan jäljittely. Jälkimmäisessä hyödynnetään van der Waalsin voimia, jotka luovat leikkausvoiman, ja tartunta tapahtuu, kun mikrokuidut painetaan kappaleen pintaa vasten. (Cacucciolo ym. 2018: 23.) Kuvassa 5 on kaupallinen teollisuuskäyttöön suunniteltu neulatarttuja.



Kuva 5. FIPA:n valmistama neulatarttuja (FIPA).

Pehmeäsormisia tarttuvia voidaan käyttää, kun käsitellään esimerkiksi pehmeitä, hauraita tai epämääräisen muotoisia kappaleita. Kuten kuvassa 6 näkyy, pehmeäsormiset tarttuvat soveltuvat hyvin esimerkiksi pehmeiden elintarvikkeiden käsittelyyn (Hesse ym. 2007: 395). Tällaisissa tarttujissa voidaan käyttää jäykkien sormien sijaan esimerkiksi niin sanottuja ilmapallosormia, jotka kappaleeseen tarttuessaan pystyvät kiertymään sen ympärille luoden puristusvoimaa, jonka avulla kappaletta voidaan käsitellä. Tällaisten sormien puristusvoimaa voidaan säätää muuttamalla sormien ilmanpainetta. (Niemi & Välimäki 2023: 211.) Erilaisia polymeereistä valmistettuja muistivaahtoja voidaan myös soveltaa tähän tarkoitukseen (Hesse ym. 2007: 394).



Kuva 6. Pehmeäsorminen tarttuja, joka nostaa leivän puristamatta sitä kasaan (Schmalz).

Paineilmajärjestelmää suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon soveltuvin osin koneautomaatiota ja järjestelmiä koskevat turvallisuusstandardit: esimerkiksi jokaiselle eri energianlähteelle, kuten sähkölle, paineilmalle ja hydraulikalle, täytyy olla oma erillinen virrankatkaisu. Tämä mahdollistaa sen, että vikatilanteen ilmentyessä voidaan erottaa järjestelmän eri osat ja diagnosoida ongelma. Mikäli robottisolun tilassa työskentelee ihmisiä, robotin liikkeiden nopeutta tulee rajoittaa tarpeeksi, jotta tapaturmien mahdollisuus saadaan minimoitua. Tarttujen tarttumisvoima tulee myös säätää siten, että se riittää työkappaleen nostamiseen sen sijaan, että aina käytetään maksimivoimaa. Tarttujiin kohdistuva voima täytyy myös arvioida järjestelmän suunnitteluvaiheessa ja valita työnkuvaan soveltuvat tarraimet: liian pienille voimille suunnitellun tarraimen valinta voi johtaa tapaturmiin ja laite- sekä järjestelmärikkoihin ja pahimmassa tapauksessa henkilövahinkoihin. (ISO 10218-2 2025.)

Ennen kuin järjestelmän voi ottaa käyttöön, on tehtävä tarkastuksia ja testauksia, että kaikki on toimintakunnossa. Standardia ISO 4414 (2010: 38) lainaten, tähän sisältyy:

- a) Järjestelmien ja niiden komponenttien merkinnät vastaavat järjestelmän erittelyjä
- b) Komponenttien liitännät järjestelmässä ovat piirikaavioiden mukaisia
- c) Järjestelmä, mukaan lukien kaikki turvakomponentit, toimii oikein
- d) Ei ole kuuluvaa vuotoa poikkeuksena toiminnallinen ilmankulutus, kun järjestelmä on saatettu maksimipaineeseen, joka vastaa tarkoitetun käytön kaikkia olosuhteita; vuotoihin pneumaattisessa järjestelmässä olisi kiinnitettävä huomiota varsinaisissa asennusohjeissa.

Mikäli halutaan liikuttaa suuria ja painavia kappaleita tai ylipäättään tarvitaan suurta tartuntavoimaa, pneumaattisten tarttujien sijaan voidaan myös käyttää hydraulisia tarttuvia. Hydrauliset tarttuvat kykenevät tuottamaan jopa 1.65 kN tartuntavoimia, minkä takia niiden käyttö esimerkiksi yhteistyöroboteissa ei ole suotavaa, sillä tällaiset voimat voivat helposti aiheuttaa vaaratilanteita niiden läheisyydessä työskenteleville ihmisille (Hesse ym. 2007: 115). Vaikka hydrauliset tarttuvat luovat huomattavasti suurempia tartuntavoimia pneumaattisiin tarttuihin nähden, niiden työkierrot ovat kuitenkin hitaampia (Hesse ym. 2007: 333).

Pneumaattisen tarttujan valmistaja määrittelee yksityiskohtaisesti kunkin tarttujan ominaisuudet ja rajoitukset, jotka on huomioitava tarttujaa valittaessa. Tyyppillisiä valmistajan määrittelemiä ominaisuuksia ovat esimerkiksi tarttujan voima, omapaino, suositeltu maksimipaino liikuteltavalle kappaleelle, avautumis- ja sulkeutumisenopeus, tarttujan sormien maksimikoko ja -paino sekä tarttujan liikkeen toistettavuus. Valmistaja myös määrittelee tarttujille huoltovälin, joka usein mitataan toistojen määrällä: jonkin tarttujan huoltoväli voi olla kymmenen miljoonaa toistoa, kun taas toisen vain miljoona. (Omit: 3-finger self centering gripper, pneumatic – series PZP.)

Tarttuja on kuitenkin vain yksi osa kokonaisuutta, ja mekaaninen tarttuja ei pysty toimimaan ilman sormia. Sormet liikkuvat joko pneumaattisesti, hydraulisesti tai sähköisesti, ja ne liikkuvat joko kiertyvällä tai suoraviivaisella liikkeellä

(Ahamed ym. 2023: 1). Sormet voivat myös olla keskittäviä tai ei-keskittäviä. Keskittävät sormet pystyvät korjaamaan asemointivirheitä sulkeutuessaan, kun taas ei-keskittävät puolestaan tarttuvat siihen kohtaan kappaletta, missä se on tartuntahetkellä (Niemelä & Välimäki 2023: 204).

Sormiin voidaan lisätä anturointia, jonka avulla voidaan esimerkiksi lähettää tartauntaan liittyvää tietoa ohjaukselle. Sormissa voi olla myös niveliä, jotka voivat auttaa erilaisten muotojen käsittelyssä. Niiden avulla pystytään myös nostamaan kappaleita ilman puristusvoimaa tai vähäisellä puristusvoimalla. Tätä kutsutaan muotosulkeiseksi tartunnaksi (Hesse ym. 2007: 253). Muotosulkeista tartuntaa suositetaan silloin, kun käsitellään helposti hajoavia kappaleita, kuten esimerkiksi lasia (Hesse ym. 2007: 393).

Toinen tartuntatapa, joka perustuu puristusvoimaan, on kitkasulkeinen tartunta. Kitkasulkeisessa tartunnassa hyödynnetään sormien ja kappaleen välistä kitkaa kappaleen liikuttamista varten. Kitkasulkeisessa tartunnassa täytyy ottaa tarttujan puristusvoima huomioon, sillä liian pieni voima tarkoittaa, että kappale putoaa tarttujan otteesta, ja liian suuri voima voi tarkoittaa sitä, että kappale hajoaa puristuksesta. (Khatib & Siciliano 2016: 972.)

4 Kaksipäisen tarttujan toteutus

4.1 Robottisolun esittely

Tässä työssä käytössä oleva robotti on ABB:n IRB 4600 M2004 teollisuusrobotti. Kyseistä mallia pystytään käyttämään esimerkiksi hitsaukseen, laitteiden kokoonpanoon sekä materiaalinkäsittelyyn. Laitteesta löytyy myös malleja, jotka soveltuvat puhdastilassa työskentelyyn. (ABB.) Kuvassa 7 on työssä käytetty robotti sekä automaattisorvi ympäristöineen.

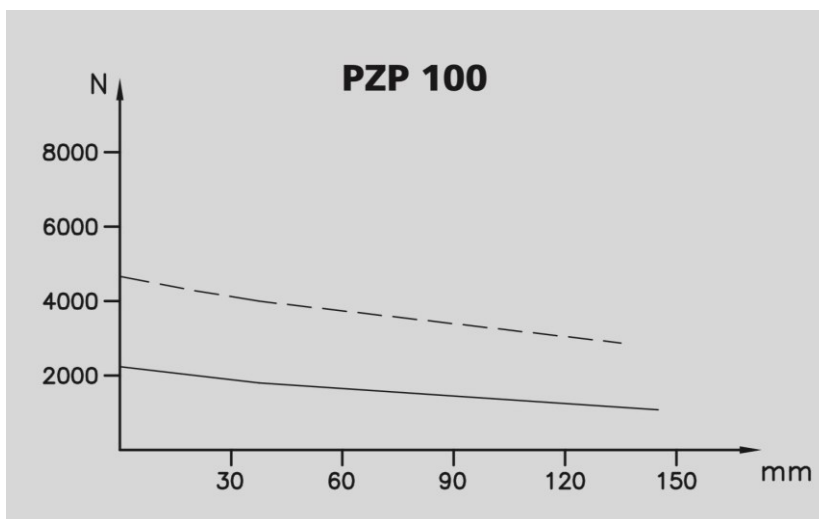


Kuva 7. ABB IRB 4600 -robotti sekä Mazak automaattisorvi.

Työssä oli käytettävissä italialaisen Omilin PZP 100-paineilmatarttuja, jota käytettiin kiinnityskappaleen suunnittelun pohjana. Tämän tarttujan tärkeimmät tekniset ominaisuudet on määritelty valmistajan tuotetiedoissa (Omil: 3-finger self centering gripper, pneumatic – series PZP):

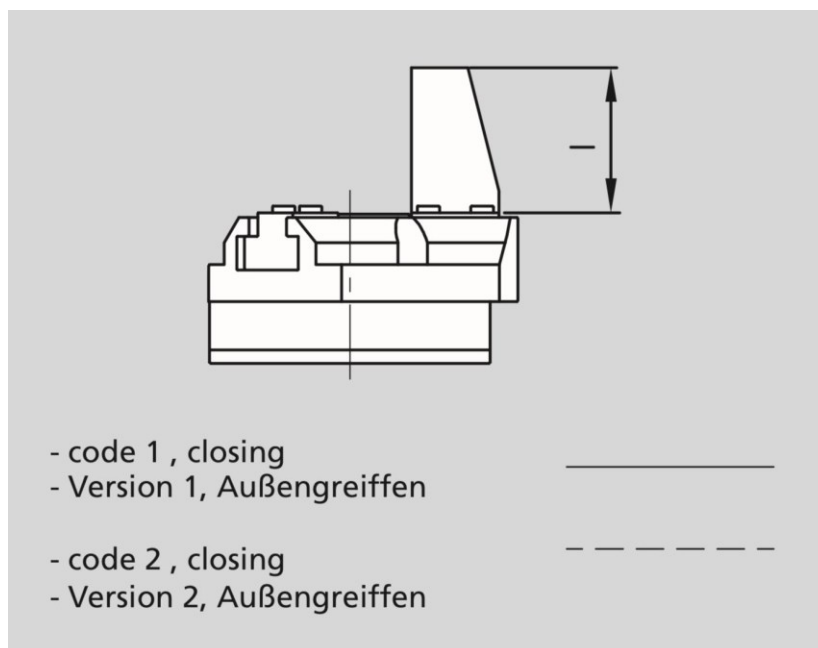
- Tarttujan paineilman käyttöpaine on välillä 2–8 bar ja paineilman tulee olla kuivaa ja suodatettu 10 μm suodattimella.
- Tarttujan liikkeen toistettavuus on 0,01 mm mitattuna 100 liikesykliä kohti.

- Tarttujan avautumis- ja sulkeutumisaika on 0,1 sekuntia.
- Tarttuja ei tarvitse kunnossapito- tai huoltotoimenpiteitä ensimmäisen 1,5 miljoonan liikesyklin aikana.

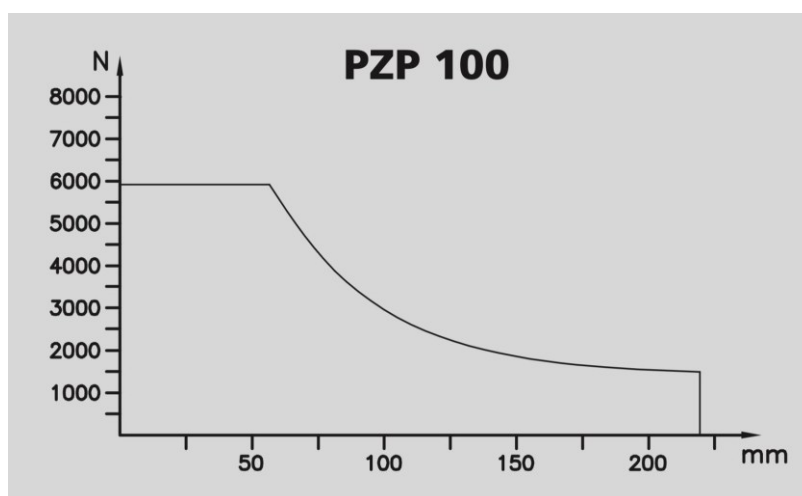


Kuva 8. Tarttujan sormen voima etäisyyden funktiona kiinnityspinnasta.

Tarttujan puristusvoima riippuu etäisyydestä tarttujan kiinnityspinnasta. Kuvassa 8 on esitetty PZP 100-tarttujan yhden sormen voima etäisyyden (eli sormen pituuden) funktiona. Kuvassa on kaksi käyrää, code 1 ja code 2, jotka vastaavat PZP-100 tarttujan kahta eri versiota. Röhmin, joka on toinen samanlaisen yhteensopivan tarttujan valmistaja, datalehden mukaan näillä koodeilla viitataan saman tarttujan kahteen eri malliin: mallissa 1 tartuntavoima on 2000 N, leukojen liike 10 mm ja suositeltu työkappaleen maksimipaino 10 kg. Mallissa 2 arvot ovat puolestaan 4000 N, 5 mm ja 20 kg. Kuvassa 9 on kaaviokuva tarttujan geometriasta sekä kuvaajissa käytetyt merkinnät.



Kuva 9. Kaaviokuva tarttujan geometriasta.



Kuva 10. Tarttujan toiminta-alue sormien pituuden funktiona.

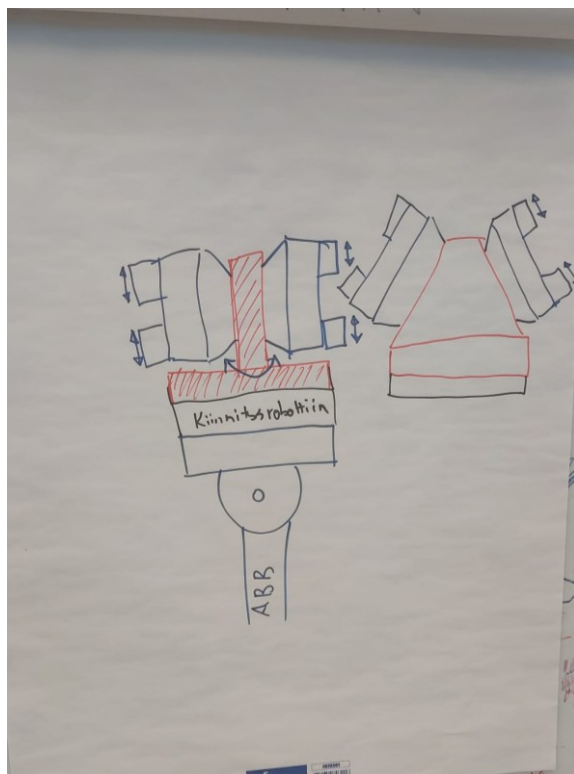
Kuvassa 10 on esitetty PZP 100 -tarttujan maksimitoiminta-alue tarttujan sormien pituuden funktiona. Tässä on huomattava, että maksimivoima lasketaan valmistajan ohjeiden mukaisesti kaikkien tarttujan sormien tuottaman voiman yhteenlaskettuna voimana. Tässä tapauksessa on kyseessä kolmisorminen tarttuja, joten maksimivoima on kolme kertaa yksittäiseen sormeen kohdistuva voima.

Suunnittelun kannalta on myös huomioitava, että valmistajan ilmoittama tarttujan avautumis- ja sulkeutumisaika ei sisällä paineilmajärjestelmän, antureiden tai ohjausjärjestelmien viiveitä. Tämän vuoksi nämä viiveet on huomioitava erikseen tarttujan oman viiveen lisäksi.

4.2 Kaksipäisen tarttujan suunnittelu

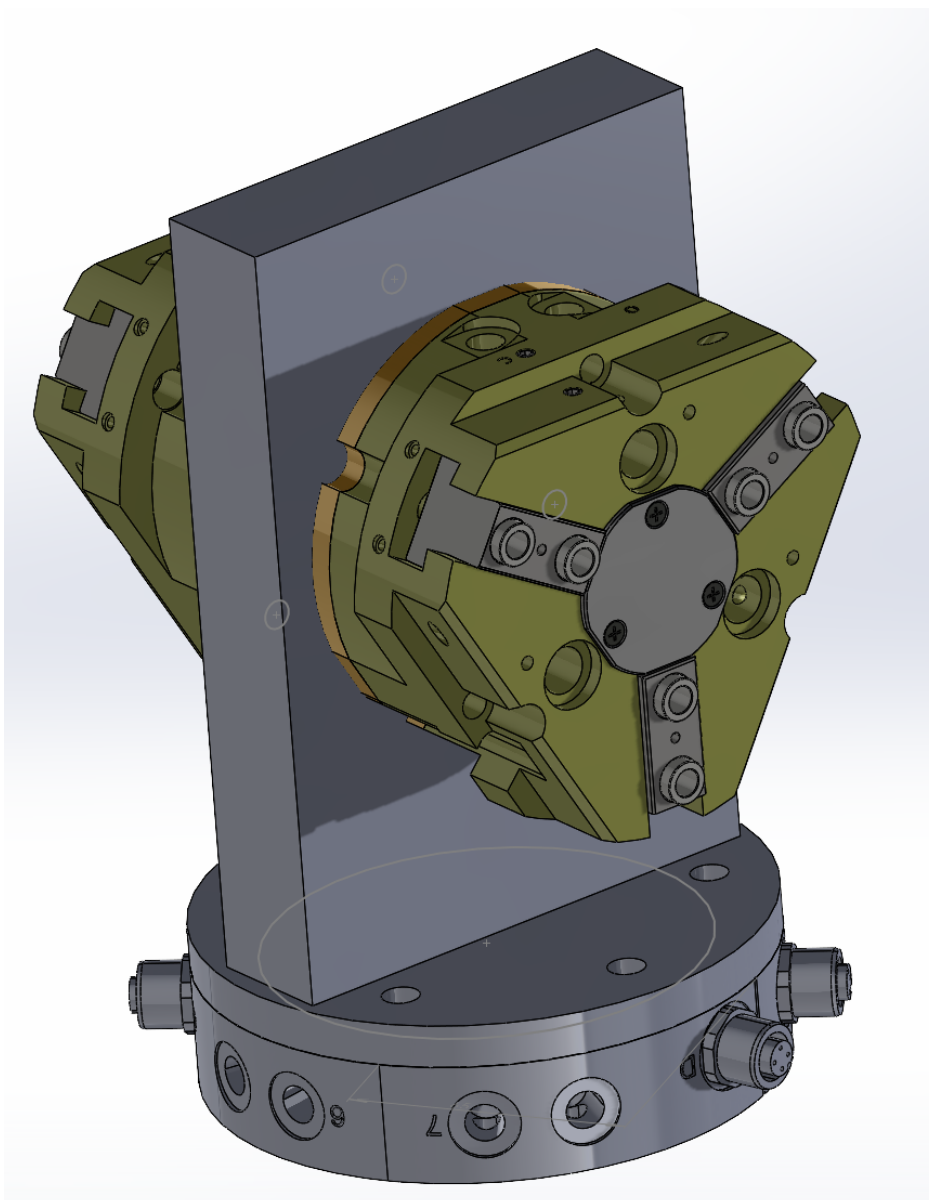
Suunnitteluvaiheessa laadittiin kahden tarraimen kiinnitykselle 3D CAD-malli. Mallilla pystyttiin varmistamaan, että mittasuhteet kappaleille ja kiinnityksille ovat oikeat. Kappaleiden yhteensopivuutta pystyttiin kokeilemaan 3D-tulostamalla kiinnityskappale ja tarkastamalla, kuinka hyvin se sopi yhteen robotin ja tarraimien kanssa.

Työn aluksi arvioitiin erilaisia tarttujien kiinnitystapoja ja geometrioita. Kaksi tunnistettua päävaihtoehtoa olivat ns. T-pala ja eräänlainen vino kiinnitys. Molemmissa kiinnityksissä kappaleen molemmilla puolilla olisi tarrain, ja T-palan ja vinon kiinnityksen ero on tarraimien kulmassa kiinnityslevyyn nähden. T-pala on yksinkertaisempi ja helpompi valmistaa mutta ei ehkä ergonomisin robotin liikkeiden kannalta. Vino kiinnitys on ergonomisempi, mutta tarraimien halutun kulman mukaan se on myös hieman monimutkaisempi, sillä suurempi kulma vaatii suurempaa pohjalevyä, mikä tarkoittaa sitä, että robotilla on vähemmän tilaa työskennellä sorvin sisällä. Näiden arviointien perusteella valittiin toteutettavaksi T-pala-tyyppinen tarttujien kiinnitystapa.



Kuva 11. Luonnoksia mahdollisista toteutustavoista.

Suunnitteluvaiheessa kappaleiden mallinnus toteutettiin 3D-mallinnusohjelmistolla. Ennen kuin varsinainen mallinnus voitiin aloittaa, tutkittiin jo valmiiksi markkinoilla olevia toteutustapoja kaksipäisille tarttujille sekä pohdittiin mahdollisia omia toteutustapoja. Kuvassa 11 on luonnos kahdesta eri toteutusvaihtoehdosta. Vasemmalla on pohjalevy, jonka avulla kappale saadaan kiinnitettyä työkaluliitântään, ja kohtisuorassa siihen nähden on toinen levy, johon sitten tarttuvat saataisiin kiinni. Kuvassa 11 oikealla olevassa luonnoksessa puolestaan tarttuvat kiinnitettäisiin kulmassa pohjalevyyn nähden.



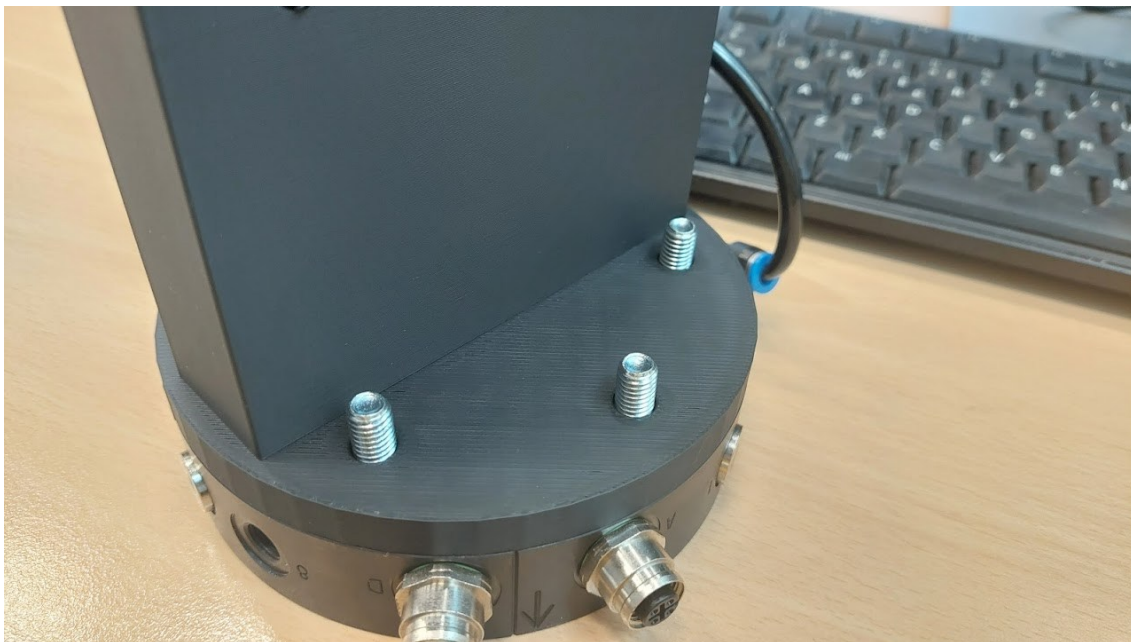
Kuva 12. Kaksipäisen tarraimen konsepti 100 mm tarttujilla.

Kuvassa 12 on 3D-malli, jossa käytettiin Robot System Productsin (RSP) TA100-8E työkaluliitintää neljällä M12 liittimellä sekä kahta OMIL:in 100 mm PZP itsekeskittyvää kolmisormitarttujaa. Välikappale on mallinnettu mahdollistamaan kahden tarttujan kiinnitys robottiin. Välikappaleeseen reikien koot ja välit on varmistettu valmistajan tuotedokumenteista sekä 3D-malleista: pohjalevyn reikien koko on M8, ja tarttujen kiinnityslevyn reikien koko on M6, ja niiden väli 77,9 mm. Lopullisen kiinnityksen tekninen piirustus löytyy työn lopusta liitteestä 1, josta voi myös nähdä kaikki käytetyt mitat.

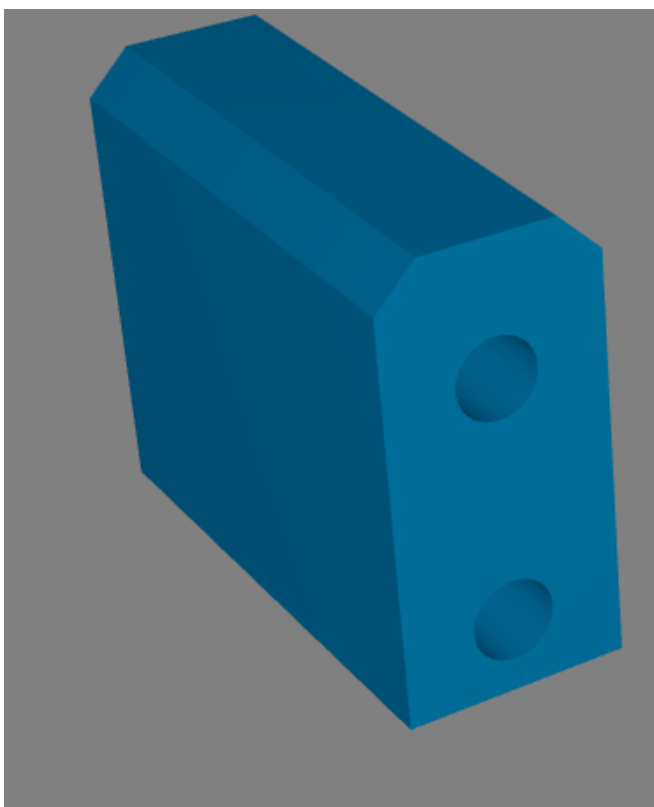
Kiinnityksen prototyyppi valmistettiin 3D-tulostamalla. Tulostimen oman soveluksen avulla pystyttiin leikkaamaan mallit tulostamista varten. Tulostamisen jälkeen tarkastettiin, kuinka yhteensopivia mallinnetut osat ovat lopullisessa toteutuksessa käytettävien osien kanssa. Kuvassa 13 on tulostettuna ensimmäinen versio kiinnityksestä, ja kuten kuvasta 14 voi nähdä, pohjalevyn tulostetut reiät sopivat hyvin työkalukiinnikkeen ruuvien kanssa. Seuraavaa versiota varten pohjalevyä kuitenkin paksunnettiin hieman, jotta ruuvit eivät jää törröttämään levystä.



Kuva 13. 3D-tulostettu kiinnityksen ensimmäinen versio robotin tarttujille.

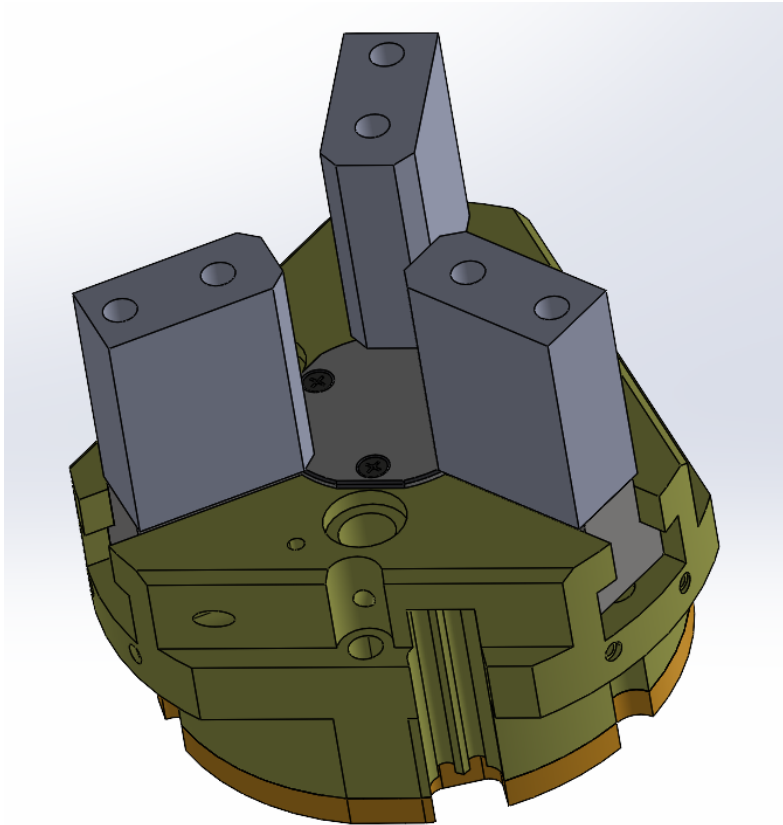


Kuva 14. Tulostettu kappale sopi hyvin yhteen RSP TA100-8E:n kanssa.



Kuva 15. Mallinnettu sormi valmiina tulostettavaksi leikkaussovelluksessa.

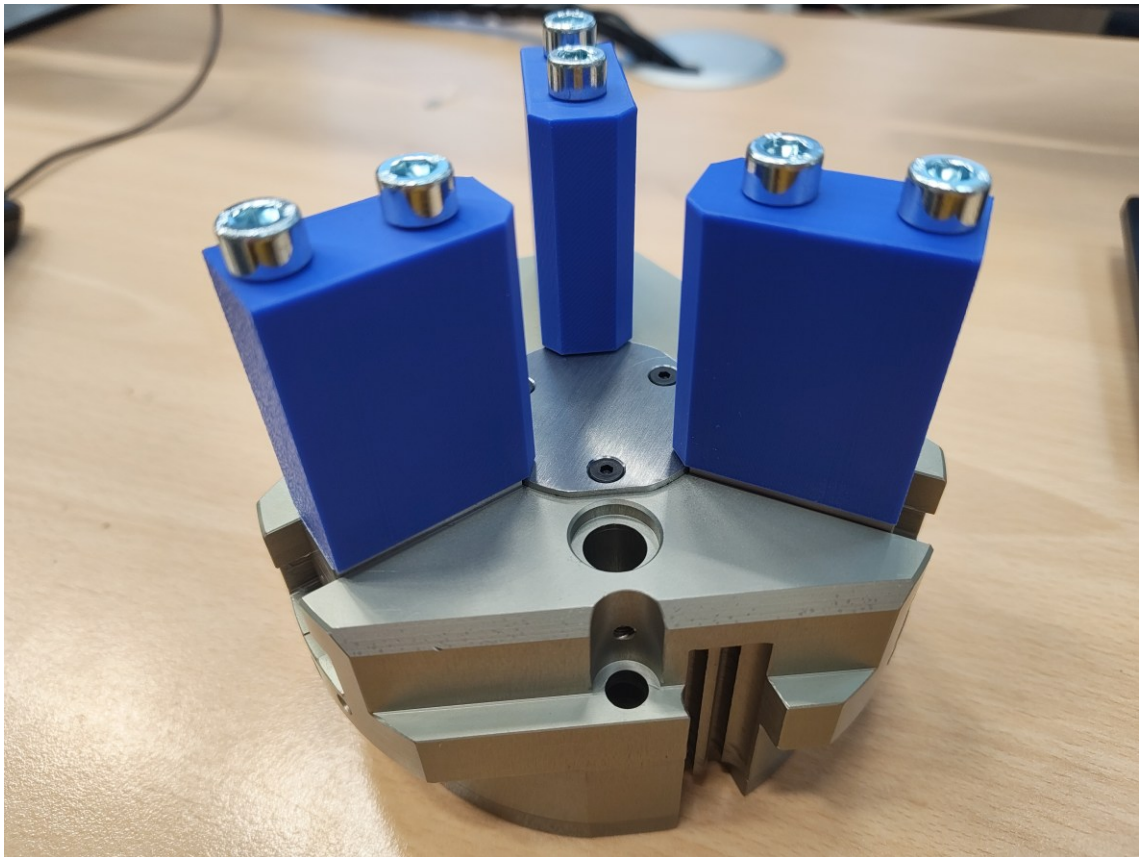
Tarttujaa varten täytyi myös mallintaa sormet. Robotin ja tarraimen käyttötarkoitusta varten parhaaksi vaihtoehdoksi todettiin jäykät sormet, jotka voivat ottaa työkappaleista kiinni. Tässä työssä sormet valmistettiin 3D-tulostamalla: kuvassa 15 näkyy sormien malli ennen tulostusta. Sormiin mallinnettiin M6-kokoiset reiät kiinnitystä varten, sillä molemmissa käytössä olevissa tarttujissa on sormien ja muiden työkalujen kiinnitystä varten tarkoitettuja M6-reiät. Sormiin myös mallinnettiin pienet viisteet tartuntapinnan kulmiin. Sormien mallinnus perustuu tarttujan valmistajan 3D-malliin. Tässä työssä käytettyjen sormien tekninen piirustus löytyy työn lopusta liitteestä 2. Valmistajan tietojen perusteella tehty malli testattiin ennen tulostusta ja varmennettiin tulostetun kappaleen avulla. Kuvassa 16 mallinnetut sormet on esitetty yhdistettynä tarttujan malliin.



Kuva 16. Mallinnetut sormet kiinnitettynä tarttujan malliin.

4.3 Tarttujan valmistaminen

Kahden tarraimen yhteinen kiinnitys valmistettiin alumiinista suunnitellun 3D-mallin mukaisesti. Tarraimet kiinnitettiin tähän osaan ja kumpaakin tarraimen kiinnitettiin 3D-mallinnetut ja -tulostetut sormet. Kuvassa 17 on Röhmin RZP-100 kolmisormitarrain, johon on kiinnitetty sormet. Tarrainten ohjaukseen tarvittavat paineilma-liitännät kytkettiin robotista käytettävissä olleilla liitännöillä, jotka mahdollistavat sormien ohjauksen.



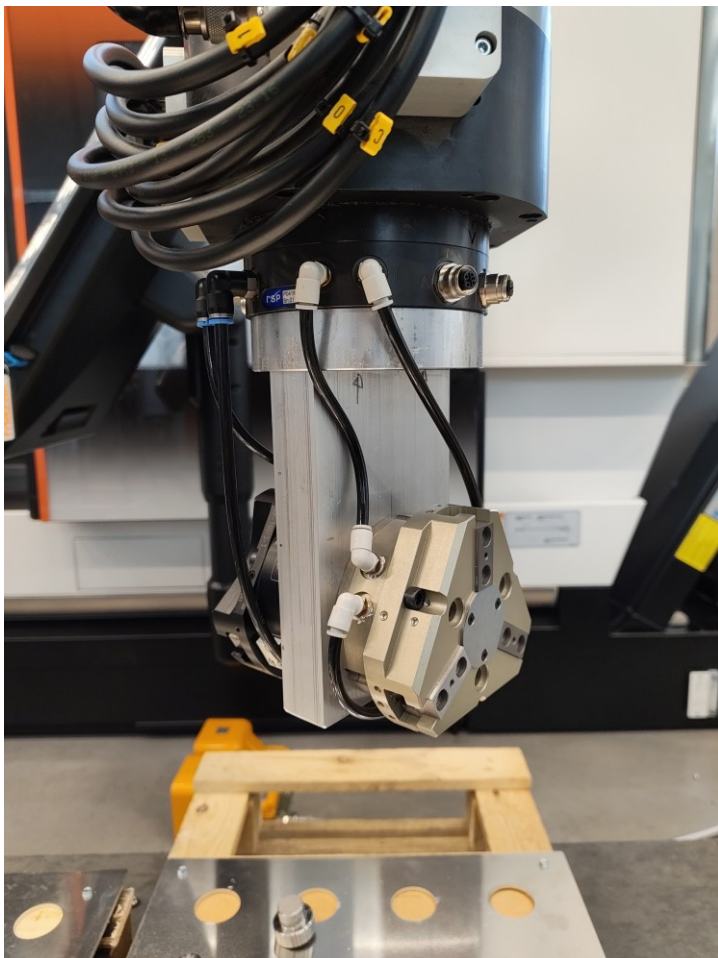
Kuva 17. 3D-tulostetut sormet kiinnitettynä tarraimen.

Kuvassa 18 on alumiinista valmistettu välikappale, johon on kiinnitetty molemmat tarraimet. Kuvassa näkyy myös paineilmaohjauksen kytkentä tarraimiin ja välikappaleeseen, jonka kautta paineilmaohjaus liitetään kokonaisuuteen. Kuvassa 19 on valmis kokonaisuus asennettuna robottiin ja lopulliset paineilmaohjaukset ovat myös paikallaan testauksen aloittamista varten. Kuvassa 20 on vielä yksityiskohta lopullisesta asennuksesta, johon on lisätty myös sormet.

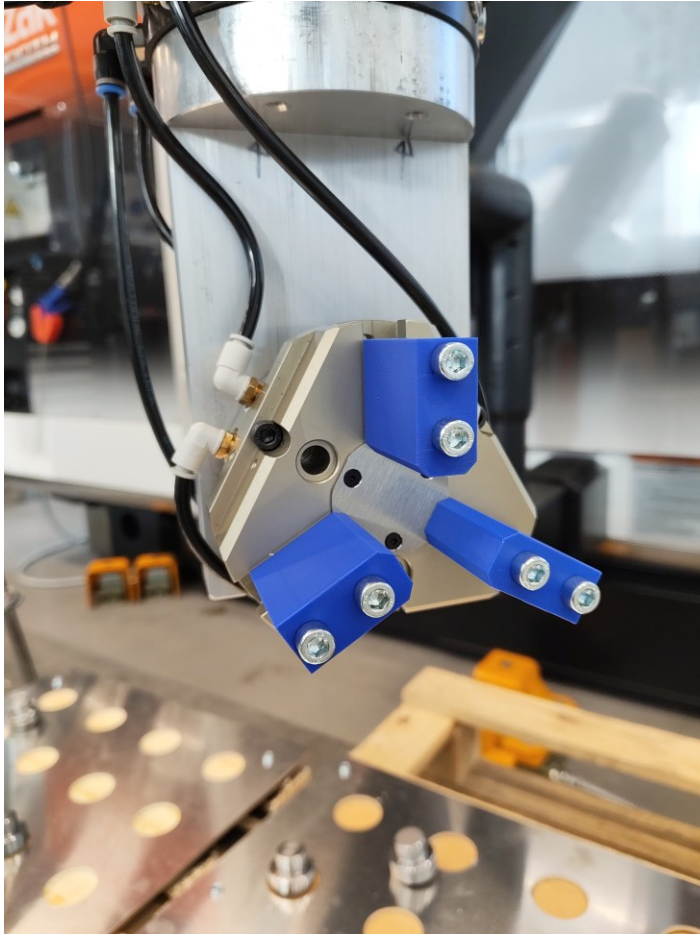
Välikappaleen ja tarrainten yhteispaino, sisältäen paineilmaliitännät sekä tarrainten sormet, on huomattavasti kevyempi kuin mitä robotti kykenee käsittelemään, joten käsiteltävien kappaleiden painoraja määräytyy tarttujien voiman perusteella.



Kuva 18. Tarrainten kiinnitys alumiiniseen välikappaleeseen.



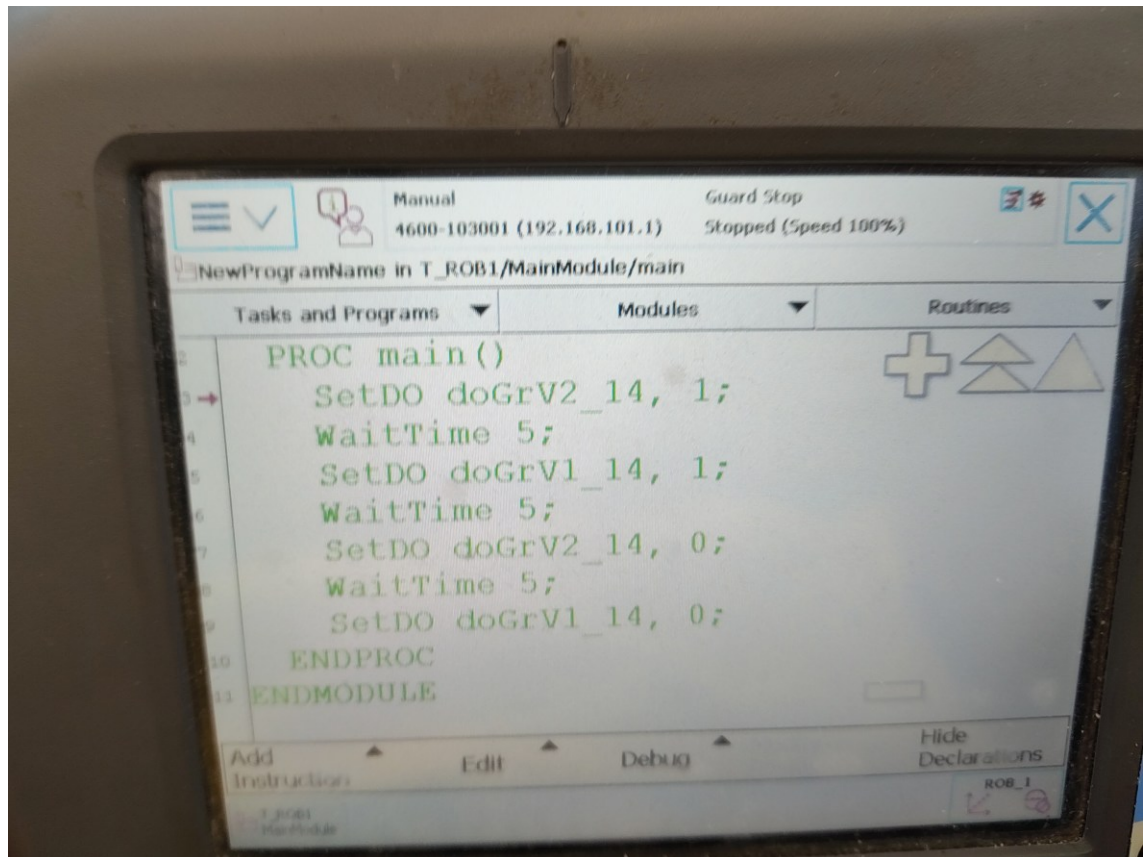
Kuva 19. Valmis kokonaisuus asennettuna robottiin.



Kuva 20. Yksityiskohta kokonaisuudesta, johon on lisätty sormet paikoilleen.

4.4 Testaus ja käyttöönotto

Työssä päädyttiin käyttämään pneumaattista ohjausta, koska suunniteltu kiinnitys on myös suunniteltu olemaan yhteensopiva RSP TA100-8E:n kanssa, jossa on valmiit paikat paineilmailiitännöille. Käytetyssä robotissa oli myös vapaita paineilmaventtiilejä käytettäväksi tähän tarkoitukseen. Vapaiden venttiilien toimivuutta myös kokeiltiin ennen kokonaisuuden asentamista robottiin. Kuvassa 19 näkyy kaksi tarrainta kiinnitettyinä alumiinista valmistettuun kiinnityskappaleeseen, joka on kiinni robotissa.



Kuva 21. ABB IRC5 -ohjain, jonka näytöllä näkyy koodi, jolla tarraimien ohjaus toteutettiin toisistaan riippumatta.

Robottiin oli kytkettynä ABB:n IRC5 -ohjain ohjausta varten. IRC5:een puolestaan oli kytkettynä FlexPendant -käsiohjain, jonka avulla robottia pystyttiin ohjelmoimaan sekä myös ajamaan käsin. IRC5:n dataa voidaan myös käsitellä RobotStudio-sovelluksella. Sovelluksen avulla käyttäjä pystyy esimerkiksi ohjelmoimaan robotille ohjelmia etäyhteyden kautta ja seuraamaan robotin toimintaa.

Laitetta ohjelmoidessa täytyi huomioida: mitä laitteen halutaan tekevän ja kuinka nopeasti ja tarkasti. RAPID:in avulla robotin liikkeitä ja liikeratoja voidaan ohjelmoida hyvin tarkasti sen omia koordinaatteja käyttäen. Kun molemmat tarttumat oli saatu kytkettyä laitteeseen, myös niiden liikkeitä pystyttiin ohjelmoimaan erikseen. Molemmat tarraimet kytkettiin omiin solenoidiventtiileihinsä ohjausta varten ja robotin dokumentaatio määritteli venttiilien nimet, joita voitiin käyttää ohjelmoinnissa.

Testauksessa varmistettiin kokonaisuuden toimivuus yksinkertaisella ohjelmalla joka varmisti, että tarraimet sekä niiden liitännät toimivat suunnitellusti:

- 1. tarraimen avaaminen ja sitä seuraava viive, jotta avaus toteutuu ja liike voidaan varmentaa.
- 2. tarraimen avaaminen ja vastaavanlainen viive varmennusta varten.
- Viiveen jälkeen molemmat tarraimet suljetaan.

Kuvassa 21 näkyy ohjaimen näytössä ohjelma, jota käyttäen molempien tarraimien ohjausta voitiin testata itsenäisesti. Testauksessa käytetty ohjelma on hyvin yksinkertainen, mutta sen avulla voitiin varmistaa, että kokonaisuus toimii suunnitellulla tavalla ja tarraimet kykenevät avautumaan ja sulkeutumaan itsenäisesti toisiinsa nähden. Molempien tarraimien turvasuunta paineilmaohjauksen puuttuessa on kiinni. Tämä tulee ottaa huomioon, kun tarkastellaan kappaleten liikuttamista kokonaisuuden avulla ja turvallista toimintaa erilaisissa tilanteissa.

Tätä työtä varten tarvittavat liikkeet olivat hyvin yksinkertaiset: haluttiin vain, että tarraimet pystyvät avautumaan ja sulkeutumaan itsenäisesti toisiinsa nähden. Tämä vaati kuitenkin sen, että molemmat tarraimet kytketään omiin solenoidiventtiileihinsä, jotka toimivat itsenäisesti. Robottiin kytkettyjen venttiilien toimivuutta sekä tuloja ja lähtöjä selvitettiin ennen kuin mitään kytkentöjä voitiin tehdä. Eri solenoidit todettiin toimiviksi ja lähdoistä löytyi niiden ohjauskomennot ja samalla myös niiden nimet ohjelman luomista varten. Kuvassa 21 on koodi, jota käyttäen molemmat käytössä olevat tarraimet pystyivät toimimaan itsenäisesti.

5 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa pneumaattinen monikäyttötarrain robottisoluun. Monikäyttötarrainta käyttäen robottikäsivarren ja kaksikaraisen automaattisorvin välistä yhteistyötä voidaan tehostaa. Tämä ratkaisu tehostaa sorvattavien kappaleiden tuotantoa nopeuttamalla valmiiden kappaleiden siirtoa sorvista ja uusien aihoiden tuomista sorviin. Työn tarkoituksena oli myös toteuttaa tarttujien kiinnitys robottiin sekä tarttujien ohjaus robotin käyttöliittymässä.

Työn suunnitteluvaiheessa tarvittavien uusien komponenttien mahdollisia toteutustapoja arvioitiin, jotta voitiin suunnitella tarttujien kiinnitysmekanismi, leukojen geometria sekä mahdolliset robotin tarvitsemat lisälaitteet ohjausta varten. Parhaiksi arvioituja kiinnitystapoja mallinnettiin 3D-mallinnusohjelmistolla. 3D-mallin pohjalta valmistettiin prototyyppi 3D-tulostinta käyttäen ja näin varmistettiin mallinnettujen osien soveltuvuus käyttötarkoitukseensa. Myös tarttujien sormien suunnittelu ja valmistus toteutettiin samaa 3D-mallinnusohjelmistoa ja -tulostinta käyttäen.

Toteutusvaiheessa valmistettiin tarttujien lopullinen kiinnitysjärjestelmä ja testattiin tarttujien toiminta. Toteutuksessa yhdistettiin valmistetut sormet molempiin tarttujiin sekä tarttumat yhteiseen alumiinista valmistettuun kiinnityskappaleeseen. Tämä kiinnityskappale liitettiin vastaavasti työssä käytettyyn käsivarsirobottiin. Tarttujien ohjaus toteutettiin käyttäen pneumaattista ohjausta, jota varten robotin paineilmaohjaukset yhdistettiin erikseen molempiin tarttujiin. Tarttujien avautuminen tapahtui ohjaamalla paineilman työpaine tarttujiin ja vastaavasti tarttumat sulkeutuivat työpaineen loppuessa. Näin tarttujien turvasuuntana paineilman katketessa on tarttujien sulkeutuminen, jotta esimerkiksi sähkökatkon aikana mahdollinen kannossa oleva työkappale ei putoa. Ohjauksen toimintaa testattiin robotin ohjauuskonsolia käyttäen, jonka kautta voitiin antaa molemmille tarttujille erikseen ohjaukomentoja paineilman avulla.

Tämä työ keskittyi monikäyttötarraimen ja sen perusohjauksen toteutukseen. Jatkokehityksenä tätä toteutettua monikäyttötarrainta voidaan soveltaa

erilaisten kappaleiden käsittelyyn ja siten testata yhteistyötä automaattisorvin kanssa erilaisilla kappaleilla. Kappaleiden käsittelyssä voidaan käyttää nyt valmistettuja tarttujien sormia, mutta riippuen käsiteltävien kappaleiden koosta, muodosta ja painosta, voidaan valmistaa myös erilaisia sopivampia sormia. Esimerkiksi sormien muotoilulla ja pituudella on käytännön sovelluksissa merkitystä ja siksi jatkokehityksenä voidaan valmistaa erityyppisiä sormia, joita voidaan yhdistää käytettyihin pneumaattisiin tarttajiin. Tässä työssä valmistetut tarraimien sormet valmistettiin 3D-tulostusta käyttäen PLA-muovista. Muita mahdollisia sormien materiaaleja ovat esimerkiksi alumiini, mikäli halutaan sormissa olevan kova tarttumispinta tai sitten sormiin voidaan kiinnittää tarttumiskitkan lisäämiseksi esimerkiksi kumiset tyynyt.

Laajempi jatkokehitys monikäyttötarraimen suhteen voisi liittyä siihen, millaisia antureita yhdistetään monikäyttötarraimen ja teollisuusrobotin muodostamaan kokonaisuuteen ja näiden soveltaminen myös muihin kappaleiden käsittelytehtäviin.

Lähteet

ABB Robotics. 2013. Operating manual: Introduction to RAPID. E-kirja. ABB.

ABB Robotics. 2025. Product specification: IRB 4600. E-kirja. ABB.

Ahamed, Sheikh Iqbal; Ahmed, Helal Uddin; Hernandez, Jaime; Rulik, Ivan; Rahman, Mohammad H.; Sanjuan, Javier; Sunny, Samiul Haque & Zarif, Ishrak Islam. 2023. Current Designs of Robotic Arm Grippers: A Comprehensive Systematic Review. Teoksessa Di Gregorio, Raffaele (ed.). Kinematics and Robot Design V, KaRD2022, s. 67–99. Basel: MDPI.

Cacucciolo, Vito; Floreano, Dario; Shea, Herbert & Shintake, Jun. 2018. Soft Robotic Grippers. Advanced Materials Vol. 30, Issue 29.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY. 2006.

Finger Grippers mGrip. Verkkoaineisto. Schmalz. <<https://www.schmalz.com/en/products/vacuum-technology-for-automation-301607/vacuum-components-301608/area-gripping-systems-and-end-effectors-306363/finger-grippers-312388/finger-grippers-mgrip-405170>>. Luettu 23.11.2025.

Hesse, Stefan; Monkman, Gareth J.; Schunk, Henrik & Steinmann, Ralf. 2007. Robot Grippers. E-kirja. Wiley.

IRB 4600. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-4600>>. Luettu 21.7.2025.

Khatib, Oussama & Siciliano, Bruno. 2016. Springer Handbook of Robotics. E-kirja. Springer.

Magnetic Grippers SGM-HP/-HT. Verkkoaineisto. Schmalz.

<<https://www.schmalz.com/en/products/vacuum-technology-for-automation-301607/vacuum-components-301608/special-grippers-306034/magnetic-grippers-306055/magnetic-grippers-sgm-hp-ht-306089>>. Luettu 22.11.2025.

Needle grippers GR04.711. Verkkoaineisto. FIPA. <<https://fipa.com/en-BY/product/needle-grippers-gr04-711>>. Luettu 21.10.2025.

Niemelä, Marketta & Välimäki, Kari (toim.). 2023. Teollisuuden robotiikka. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

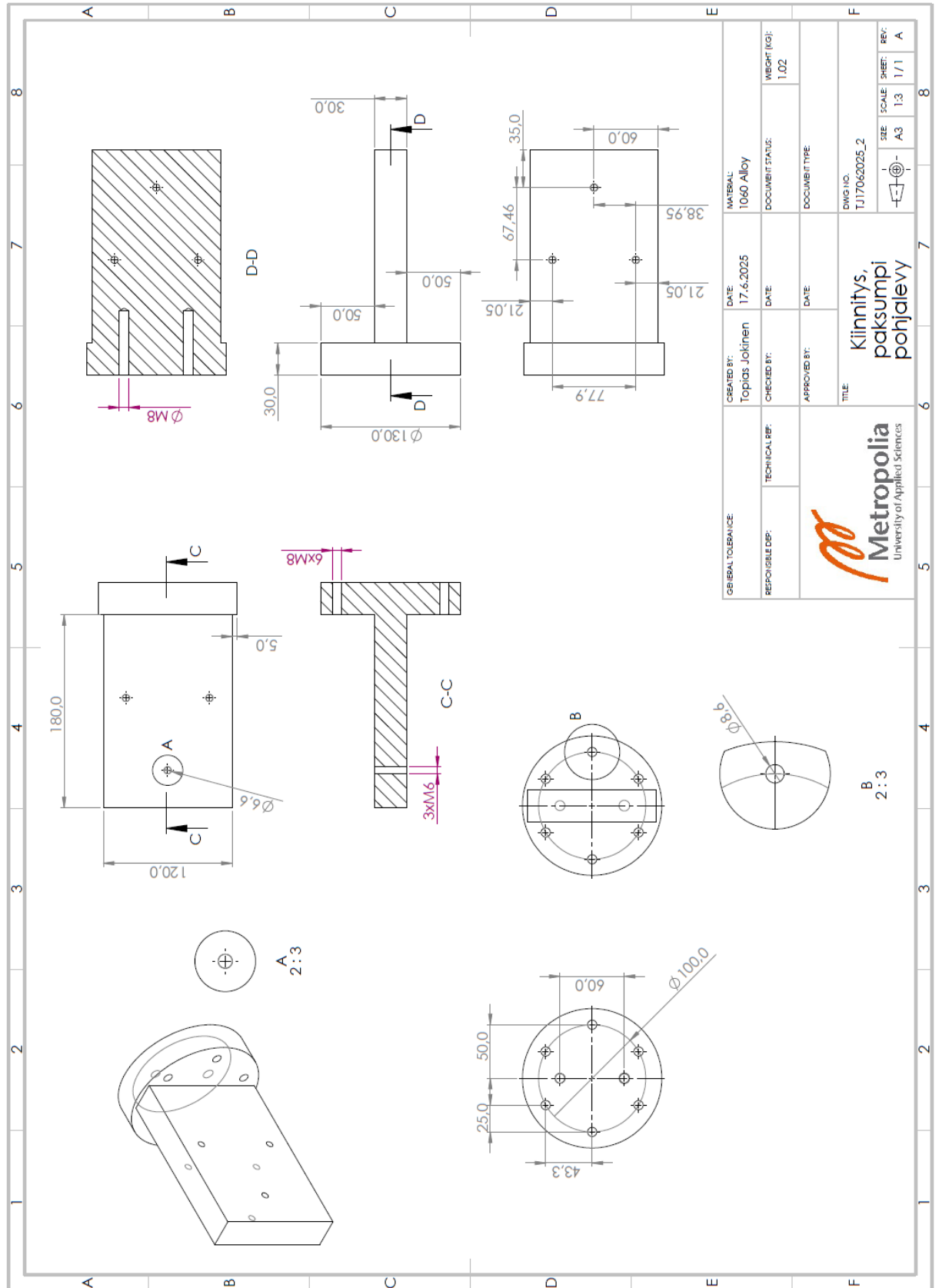
Omil Gripping Systems and Automation. 3-finger self centering gripper, pneumatic – series PZP. Datalehti. Omil.

SFS-EN ISO 10218-2:2025. Robotiikka. Teollisuusympäristössä käytettävien robottijärjestelmien turvallisuusvaatimukset. 2025. Osa 2: Robottijärjestelmät, robottisovellukset ja robottikennojen integrointi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 4414. Pneumaattinen tehonsiirto. 2011. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Vacuum Gripper Advantages. Verkkoaineisto. AutomationDirect. <<https://library.automationdirect.com/vacuum-gripper-advantages/>>. Luettu 22.11.2025.

Liite 1. Tarraimien kiinnityksen tekninen piirustus.



| | | | |
|-------------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|
| GENERAL TOLERANCE | CREATED BY: Topias Jokinen | DATE: 17.6.2025 | MATERIAL: 1060 Alloy |
| RESPONSIBLE DEP: | TECHNICAL REP: | APPROVED BY: | WEIGHT (KG): 1.02 |
| | | | DOCUMENT STATUS: |
| | | | DOCUMENT TYPE: |
| | | TITLE: Kiinnitys, paksumpi pohjalevy | |
| | | DWG NO. TJJ7062025_2 | |
| | | | SIZE SCALE SHEET REV: A3 1:3 1/1 A |

Liite 2. Tarrainen sormen tekninen piirustus.

