Tampereen ammattikorkeakoulu

Konepalvelusolun esisuunnittelu

Lasse Keränen

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2022

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Koneautomaatio

KERÄNEN, LASSE:
Konepalvelusolun esisuunnittelu

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Joulukuu 2022

Tuotantoprosessien ja työmenetelmien jatkuva kehittäminen on tärkeä osa yrityksen kilpailukykyä robotisoinnin ja automatisoinnin yleistyessä valmistavassa teollisuudessa. Opinnäytetyössä käsitellään muoviteollisuuteen suunnatun robottisolun esisuunnittelun vaiheet ja esitetään työn toimeksiantajalle toteuttamiskelpoisia ratkaisuja.

Esisuunnittelu sisältää vaatimustenmäärittelyn, toiminnankuvauksen, layout suunnittelun ja simuloinnin, alustavat komponenttivalinnat, kommunikaatioväylien suunnittelun ja mekaniikan hahmottelun. Suunnittelun lähtökohtana oli 6-akselisen Fanuc R-2000iD/165FH -teollisuusrobotti, asiakkaan ja myyntisopimuksen asettamat vaatimukset sekä projektin alkuvaiheessa suoritetut layoutin lasermittaukset.

Työn lopussa arvioidaan esisuunnittelun tuloksia toimeksiantajan ja asiakkaan näkökulmasta. Lisäksi kuvataan ja pohditaan toimeksiantajan mahdollisuuksia hyödyntää työn tuloksia varsinaisten suunnitteluprosessien tukena. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi JTA Connection Oy.

Asiasanat: teollisuusrobotti, robotisointi, robottisolu, esisuunnittelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Machine Automation

KERÄNEN, LASSE:
Robot Cell Preliminary Design

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 5 pages
December 2022

Continuous development of production processes and work methods is an important part of a company's competitiveness as robotization, and automation become more common in the manufacturing industry. The thesis describes the stages of the preliminary design of a robot cell aimed for the plastics industry, including the presentation of feasible solutions to the client of the thesis, who was JTA Connection Oy.

Preliminary design of a robot cell includes requirements definition, function description, layout design and simulation, preliminary component selections, communication design and preliminary design of mechanics. The design is based on the 6-axis Fanuc R-2000iD/165FH industrial robot, the customer's requirements and the requirements set by the sales contract, as well as the laser measurements of the layout performed at the beginning of the project.

At the end of the thesis, the results of the preliminary design are evaluated from the perspective of the client and the end-customer, and how the results are used to support the actual planning processes.

Key words: industrial robot, robotization, robot cell, preliminary design

SISÄLLYS

1 JOHDANTO ... 7
1.1 Työn esittely ja tavoitteet ... 7
1.2 Nykytilanne ... 8
1.3 JTA Connection Oy ... 9
2 TEOLLISUUSROBOTIT ... 10
2.1 Robottien ominaisuudet ... 10
2.2 Robottisolu ... 11
3 VAATIMUSTENMÄÄRITTELY ... 12
3.1 Toiminnalliset vaatimukset ... 12
3.2 Mekaaniset vaatimukset ... 13
3.3 Käsiteltävät kappaleet ... 13
3.4 Solun toiminnankuvaus ... 14
3.4.1 1-vaiheinen työkierto ... 15
3.4.2 2-vaiheinen työkierto ... 16
4 ESISUUNNITTELU ... 18
4.1 Robotti ... 18
4.1.1 Robotin valinta ... 18
4.1.2 Kontrolleri ja sähkökaappi ... 19
4.2 Robotin ympäristö ... 21
4.2.1 Solun simulointi ja singulariteetti ... 21
4.2.2 Aluejako ja laitepositiot ... 22
4.2.3 Paineilma ja virransyöttö ... 24
4.3 Automaatio ... 25
4.3.1 Topologia ja väylät ... 25
4.3.2 Työstökoneen ja merkkaimen liityntä ... 26
4.3.3 Kappaleen merkkaus ... 26
4.3.4 PLC ja käyttöliittymä ... 27
4.3.5 Tuotetietokanta ... 29
4.3.6 Robotin toiminta ... 31
4.4 Mekaniikka ... 32
4.4.1 Tarttuja ... 32
4.4.2 Robotin jalusta ... 34
4.4.3 Kohdistus- ja kääntöasema ... 35
4.4.4 Lavakohdistimet ... 37
5 POHDINTA ... 38
LÄHTEET ... 40

LIITTEET 42
Liite 1. Fanuc R-2000iD/165FH esite 42
Liite 2. Fipa imulaatikko esite 1 (4) 43
Liite 3. Fipa imulaatikko esite 2 (4) 44
Liite 4. Fipa imulaatikko esite 3 (4) 45
Liite 5. Fipa imulaatikko esite 4 (4) 46

LYHENTEET JA TERMIT

ADS	Beckhoff Automationin kehittämä kommunikaatioprotokolla
CNC	Computerized Numerical Control, Tietokoneistettu numeerinen ohjaus
EtherCAT	Beckhoff Automationin kehittämä tiedonsiirtoväylä
G-koodi	CNC ohjelman ohjelmointikieli
HMI	Human-Machine Interface, käyttöliittymä
IO	Input/Output, tiedon siirtämistä eri komponenttien tai laitteiden välillä
Kenttäväylä	Teollisuudessa käytettävä tiedonsiirtoväylä
PLC	Programmable Logic Controller, Ohjelmoitava logiikka
Robottisolu	Teollisuusrobotin toimintaympäristö
TCP/IP	Tietoliikenneprotokolla
Teollisuuslogiikka	Teollisuuskäyttöön suunnattu ohjelmoitava logiikka
Verkkotopologia	Tietoverkon perusrakenne liitetyistä laitteista

1 JOHDANTO

Teollisuusrobotit ovat olleet jo pitkään osa teollisuutta jo 1960-luvun autoteollisuudesta alkaen ja viime vuosikymmenien kehitys on ollut huimaa. Robotiikan ja automaation kehitys näkyykin globaalissa markkina-arvossa, joka oli vuonna 2018 noin 42 645 miljoonaa dollaria ja odotetaan vuoteen 2024 mennessä kasvavan yli 180 000 miljoonaan dollariin. (Nilsén, 2020.) Markkina-arvosta voidaankin huomata, että yhä useampi yritys integroi erilaisia robottiratkaisuja omiin tarpeisiin ja myös pienemmät yritykset ovat huomanneet robotisoinnin hyödyt eri teollisuuden aloilla.

1.1 Työn esittely ja tavoitteet

Opinnäytetyössä käydään läpi robottisolun esisuunnittelun eri vaiheet. Esisuunnittelu sisältää layout suunnittelun, simuloinnin, alustavat komponenttivalinnat, mekaniikan hahmottelun, tuotetietokannan konfiguraation ja solun kommunikaatioväylien suunnittelun. Työn raportoinnissa ei huomioida koneturvallisuutta ja suunnitellun työstökoneliitynnän yksityiskohtia, eikä käydä läpi alustavia komponenttivalintoja kokonaisuudessaan.

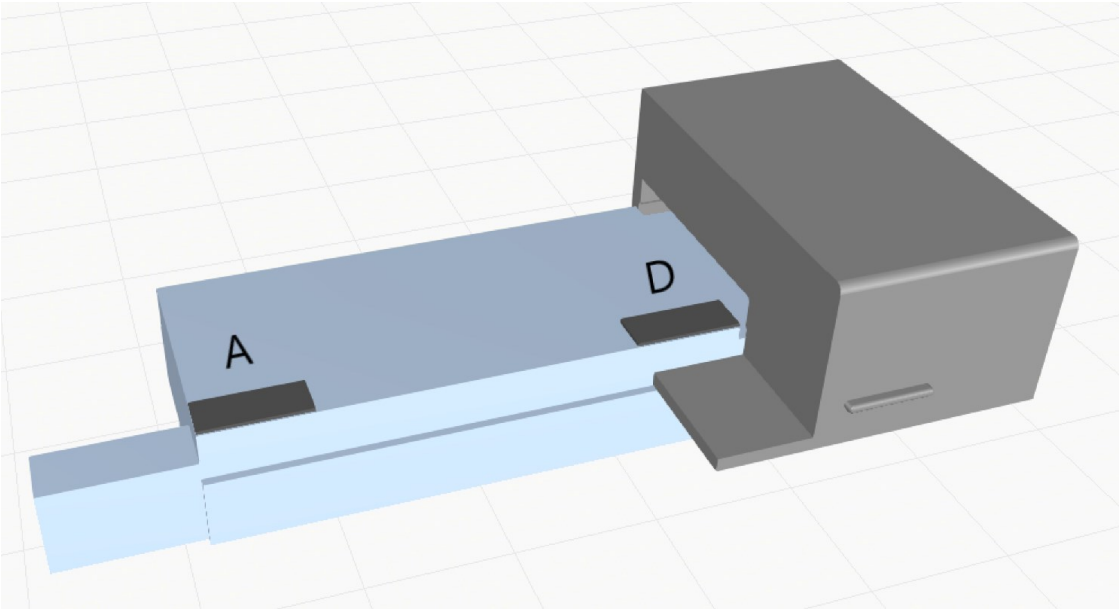
Tavoitteena oli laatia yritykselle esisuunnitteluraportti, jonka pohjalta yrityksen eri osastot tekevät oikeaan asiakasprojektin sähkösuunnittelun, mekaniikkasuunnittelun, PLC- ja robottiohjelmoinnin kuten myös käyttöliittymäsuunnittelun.

Robotisoinnin tavoitteena loppuasiakkaan kannalta on mahdollistaa työvoiman vapauttaminen vaativampiin työtehtäviin ja keventääkseen työntekijöiden fyysistä työkuormaa. Robotisoinnilla ei haeta varsinaisesti tuotannon tehostamista työkierron nopeutumisella ja robotin työskentely ei tule olemaan aikakriittistä. Robotisoinnin ansiosta henkilöresursseja saadaan vapautettua robottisolun operoimisen ohella vaativampiin työtehtäviin ja tuotannon muihin työvaiheihin, joka mahdollistaa suuremmat tuotantomäärät samalla työvoimalla.

1.2 Nykytilanne

Asiakkaalla ei ole entuudestaan yhtäkään robottisolua ja maailmalla yleistyvän robotisoinnin vuoksi on mielenkiintoa karsia yksi jatkuvaa fyysistä kuormitusta aiheuttava työvaihe tuotannosta pois. Kyseessä on työstökoneeseen kappaleiden asetus ja työstettyjen kappaleiden purku, joka on nykyisenään työhyvinvoinnin ja henkilöstöresurssien optimoinnin kannalta erittäin epäedullinen ratkaisu. Tämän vuoksi asiakas on tilannut JTA Connectionilta ensimmäisen robottisolun avaimet käteen periaatteella.

Tuotannossa on käytössä SCM Accord 25 FX 5-akselinen CNC työstökone, jossa on alipainepöytä kahdella imualueella, vasen puoli A ja oikea puoli D (kuva 1). Koko pöydän leveydeltä liikkuva portaali sisältää työstöpään ja kykenee työstämään yhtä imualuetta kerralla.



KUVA 1. Työstökoneen 3D malli

Yrityksen isompi työstökone on varustettu imukuppinostimella, mutta itse asetus ja kappaleen poisto vaatii edelleen operaattoria. Opinnäytetyötä koskeva pienempi työstökone varustellaan robotilla. Nykyiset koneoperaattorit tulevat saamaan koulutuksen robottisolun operointiin.

1.3 JTA Connection Oy

Työn toimeksiantajana toimi JTA Connection Oy, joka on tamperelainen teollisuusautomaatioyritys. Yrityksen päätoimialueena on asiakkaan tarpeisiin räätälöidyt automaatioratkaisut, kuten robottisolut ja kokoonpanolinjastot. Yrityksen markkina-alue on maailmanlaajuinen ja jatkuvasti kasvava yritys, työllistäen tällä hetkellä yli 125 henkilöä. (JTA Connection 2022.)

2 TEOLLISUUSROBOTIT

2.1 Robottien ominaisuudet

Teollisuusrobotti määritellään standardin ISO 8373:2021 mukaan itsenäisesti liikkuvaksi ja toimivaksi käsittelylaitteeksi, jolla on vähintään kolme ohjelmoitavaa akselia. Robotti voi olla kiinteästi kiinnitetty tai liikuteltavissa erinäisiä teollisuusautomaation käyttökohteita varten. Robotti sisältää aina ohjainlaitteen, käyttöliittymän ja manipulaattorin. Teollisuusrobotit eivät jäljittele ihmismäistä ulkomuotoa, vaikka voivatkin toistaa ihmisille tyypillisiä käsiliikkeitä.

Robotit voidaan jakaa eri kategorioihin mekaanisten ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen perusteella (kuva 2). Yleisimmät robotit ovat a kohdan mukaisia 6-akselisia kiertyvänivelisiä teollisuusrobotteja, mutta nykypäivänä on yleistymässä myös pienemmät yhteystyörobotit. Kiertyvänivelisissä roboteissa on etuna laaja toimintasäde, hyvä tarkkuus ja kaikki vapausasteet ovat kiertyviä. (Robot Mechanisms, 2013.)

KUVA 2. Erilaisia robottityyppejä (Albalasie, A, 2016)

Muita robottityyppejä on mm. kohdan b mukainen sylinterimäinen robotti yhdellä suorakulmaisella ja kahdella lineaarisella akselilla, kohdan c Scara robotti kahdella kiertyvällä ja yhdellä lineaarisella akselilla kohdan d suorakulmainen robotti suorakulmiomaisella työalueella ja kohdan e rinnakkaisrakenteinen Delta robotti. (Albalasie, A, 2016.)

Työstökoneen palvelussa tarvittavan ulottuman vuoksi tähän työn käyttötarkoitukseen soveltuu kuitenkin ainoastaan teollisuusrobotti, jotka monipuolisuutensa vuoksi soveltuvat hyvin mm. hitsaus-, maalaus-, pakkaus-, lavaus-, konepalvelu- ja kokoonpanokäyttöön. Muilla roboteilla ei saada tarvittavia liikeratoja tehtyä, jotta robottisolun sisällä saataisiin suoritettua kaikki tarvittavat toimenpiteet.

2.2 Robottisolu

Robottisolu tarkoittaa kokonaisuutta, joka sisältää yhden tai useamman robotin, robottikontrollerin, mahdolliset työstökoneet, lisälaitteet ja turvalaitteet. Robotti on robottisolun keskeisin tekijä, joka suorittaa työtehtäviä yhtenä osana isompaa kokonaisuutta solun sisällä. Robottisolut yleensä myydään kokonaisuutena avaimet käteen periaatteella, eli asiakkaan toiveiden ja vaatimusten mukaan valmis kokonaisuus käyttöönotettuna sisältäen operaattorikoulutukset.

Kuvasta 3 nähdään, että robottisolu on robotin oma työalue, jonka sisällä tekee jatkuvasti toistettavia toimenpiteitä ja on suojattu ulkopuolisilta henkilöiltä. Työvaiheita robotisoimalla voidaan nostaa tehokkuutta, lisätä työtunteja, vapauttaa työntekijöitä vaativampiin työtehtäviin, minimoi henkilöriskeistä aiheutuvia katkoksia ja maksimoidaan työstökoneiden tarjoama tuotantokapasiteetti. (JTA Connection 2022.)

KUVA 3. Robottisolun havainnekuva (JTA Connection 2022)

3 VAATIMUSTENMÄÄRITTELY

Solun esisuunnittelu tehtiin projektin alussa asetettujen toiminnallisten ja mekaanisten vaatimusten mukaisesti. Vaatimustenmäärittely on tehty laaditun myyntisopimuksen mukaan ja myöhemmin käytyjen projektin aloituspalavereiden mukaisesti. Vaatimuksissa on myös huomioitu tuotannon työntekijöiden ehdotukset. Vaatimukset ovat esitetty toimeksiantajan ja asiakkaan luottamuksellisuusasiat huomioiden.

Esisuunnittelun alkuvaiheeseen kuuluu myös asiakkaan luona suoritetut lasermittaukset, joiden perusteella laaditaan solulle varatusta alueesta 3D-malli myöhempää layout simulointia varten.

3.1 Toiminnalliset vaatimukset

Robottisolulle asetetut toiminnalliset vaatimukset ovat seuraavanlaiset:

- Käyttöliittymässä on sisäänrakennettu tuotehallinta, joka sisältää tuotenumeron alle tallennettavat tuoteparametrit, korjausarvot ja kommenttikentän.
- Käyttöliittymältä valittavissa 1- tai 2-vaiheinen työkierto.
- Robotti puhdistaa työstöpöydän paineilmalla, ennen jokaista työstöä.
- Tartunta ja jättöpisteiden parametriset korjausarvot käyttöliittymässä.
- Kappaleiden merkkaus asiakkaan toimittamalla laitteella.
- Solun autonominen toiminta siihen asti, että aihiolavalla ei ole enää työstämättömiä kappaleita.
- Layout suunnittelussa huomioitava riittävä tila työstökoneen operoimiseen ilman robotin avustusta.
- Aihiolavalle voidaan asettaa 40 kappaletta, joiden asetelma ilmoitetaan käyttöliittymään.
- Työstettyjen kappaleiden ladonta valmislavalle.
- Työstöpöydän alipaineen odotusaika ja kappaleen asettamisen uudelleenyritysten määrä säädettävissä käyttöliittymältä.
- Uudelleenyritysten täyttyessä kappale viedään hylkylavalle ja aihiolavalta haetaan uusi kappale työstöön.

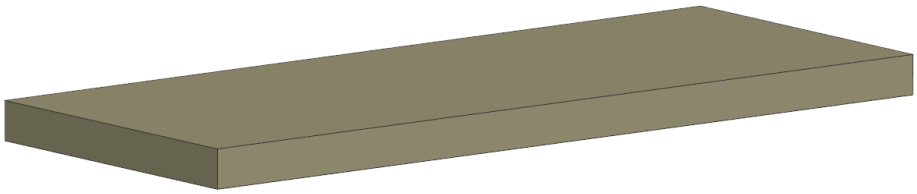
3.2 Mekaaniset vaatimukset

Robottisolulle asetetut mekaaniset vaatimukset ovat seuraavanlaiset:

- Kappaleen riittävä painaminen työstöpöytää vasten.
- Robotin tulee käsitellä leveydeltään 200–550 mm ja pituudeltaan 600–1400 mm muovilevyjä, paksuudeltaan maksimissaan 50 mm.
- 2-vaiheinen työkierto sisältää kappaleen käännön kääntöasemassa.
- Kappaleiden kohdistus ennen työstöpöydälle asetusta.
- Tarttujan riittävä tartunta myös työstettyihin kappaleisiin.
- Kohdistus/kääntöaseman koko ja sijoittelu, ei tule viedä tarpeettoman paljon tilaa.

3.3 Käsiteltävät kappaleet

Työstettävät kappaleet ovat nailon, eli polyamidista valmistettuja levyjä, joka lukeutuu teknisiin muoveihin. Kuva 4 kuvastaa työstämätöntä aihiolevyä. Nailon tarjoaa erittäin hyvän kulutuskestävyyden yhdistettynä korkeaan vetolujuuteen, iskunkestävyyteen ja kestää erinomaisesti kuumenemista ja hankausta (Laminated Plastics, 2022). Näiden ominaisuuksien ansiosta nailon soveltuu hyvin kulutusosiksi, kuten esimerkiksi kulutuslevyiksi. Suunnittelussa ei ole kuitenkaan erityisesti keskitytty juuri kyseiseen materiaaliin, sillä robotin tulee kyetä käsitellä myös tarpeen vaatiessa muita muovilaatuja.



KUVA 4. 3D-havainnekuva kappaleesta

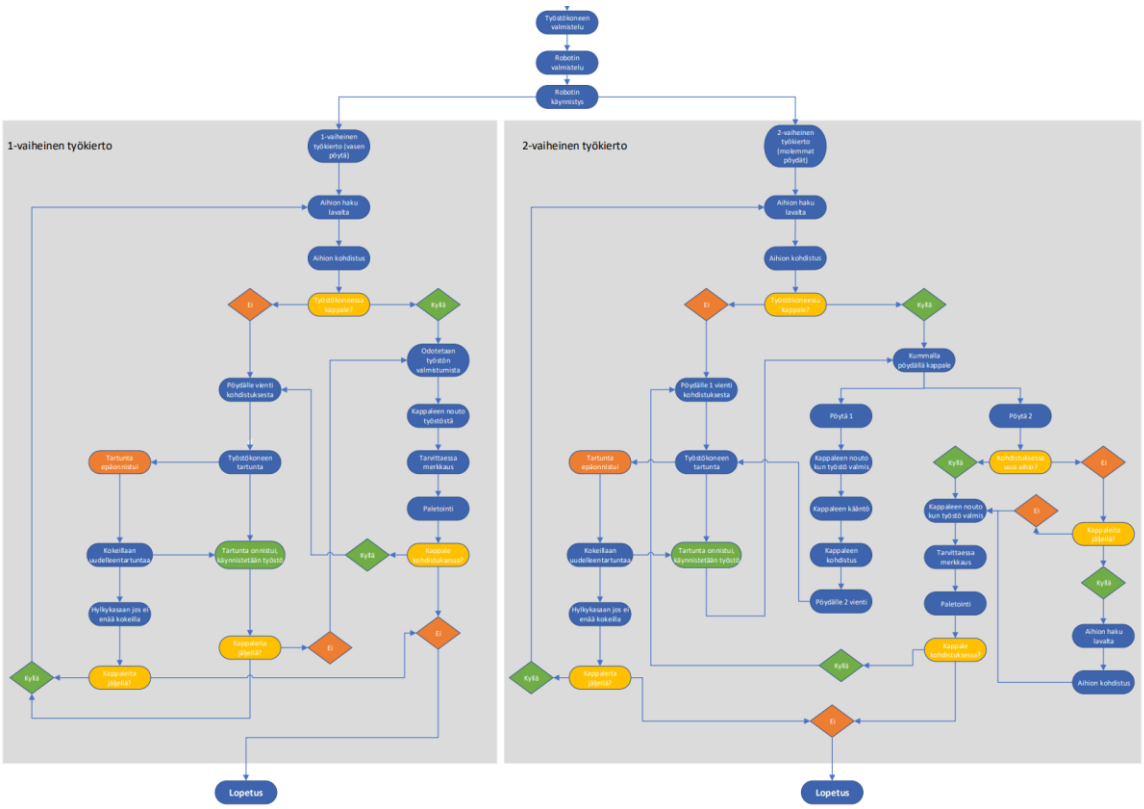
Työstämättömän levyn haittapuolena on sisäiset jännitteet ja liukkaat pinnat. Suunnittelussa on huomioitu levyjen pituus 600–1400 mm ja leveys 200–550 mm. Tämä asetti omat ongelmansa tarttujan osalta, sillä kevyt kappale painaa ainoastaan muutaman kilon ja painavin kappale noin 40 kg. Myös kääntö- ja kohdistusaseman mekaniikka vaati erityishuomioita, sillä solulle varattu tila oli erittäin rajallinen ja pisimpien kappaleiden kääntö vaatii paljon tilaa.

Tarttujan suunnittelussa tuli huomioida valmiin kappaleen työstetyt pinnat. Työstön jälkeen pinnan korkeuksissa voi olla vaihteluita ja joihinkin kohtiin työstetään myös aukkoja. Perinteiset imukupit tuli unohtaa sen vuoksi, sillä työstettävät alueet voivat olla missä kohtaa tahansa. Tässä tulisi ongelmaksi myös alipaine ejektoreiden vaatima ilman määrä. Kappaleiden käyryyden vuoksi täytyi ottaa esisuunnittelussa huomioon mekaaniset painimet, sillä osa kappaleista vaatii robotin painamisen työstöpöytää vasten.

3.4 Solun toiminnankuvaus

Robottisolulla on kaksi erilaista työkiertoa, 1-vaiheinen ja 2-vaiheinen työstö, joka tarkoittaa työstetäänkö kappaleesta ainoastaan yksi puoli vai molemmat. Tämä tieto tulee parametrina käyttöliittymältä ja on suuressa roolissa robotin tehtävien valintaan.

Työkierto alkaa laaditun vuokaavion mukaisesti (kuva 5) aina työstökoneen valmistelulla, jolloin operaattori valitsee oikean työstöohjelman ja varmistaa, että koneessa ei ole kappaletta ja portaali on parkkiasemassa robotin ohjaamaa työkiertoa varten. Tämän jälkeen tuodaan soluun uusi aihiolava, tyhjennetään valmiiden kappaleiden lava, valitaan robottisolun käyttöliittymästä oikea tuote ja käynnistetään robotti. Robotille ohjelmoidaan myös erilaisia aliohjelmia, esimerkiksi työstöpöydän puhdistaminen tarttujan alipainesuuttimilla, hylkykappaleiden käsittely ja kappaleiden merkkaus. Työkierto päättyy, kun aihiolava on tyhjä ja viimeinen kappale on haettu työstöstä ja viety valmiiden kappaleiden lavalle.



KUVA 5. Robottisolun työkierrot

3.4.1 1-vaiheinen työkierto

Työkierrossa työstetään ainoastaan kappaleen yläpinta käyttäen työstökoneen imualuetta A, eli vasemmanpuoleista pöytää. D imualuetta ei käytetä ollenkaan.

Aloitus:

1. robotti hakee aihion lavalta
2. aihio käytetään uudelleentartunta-asemalla
3. robotti vie kappaleen työstökoneen vasemmalle pöydälle
4. robotti poistuu työstökoneen alueelta ja työstö alkaa.

Kierto:

1. robotti hakee uuden aihion lavalta ja vie uudelleentartuntaan
2. työstö valmistuu, robotti hakee valmiin kappaleen työstöstä
3. robotti vie kappaleen mahdolliseen merkkaukseen ja sitten lavalle
4. uudelleentartunnasta uusi aihio työstöön
5. robotti poistuu työstökoneen alueelta ja työstö alkaa
6. hypätään kierron alkuun, mikäli aihioita vielä lavalla, muuten siirrytään lopetukseen.

1. Lopetus
    1. Robotti toteaa, ettei aihioita ole enää poimittavana
    2. Työstökone tulee valmiiksi ja valmis kappale odottaa koneessa
    3. Robotti hakee valmiin kappaleen työstöstä
    4. Robotti vie valmiin kappaleen mahdolliseen merkkaukseen ja sitten lavalle
    5. Robotti palaa kotiasemaan ja työkierto päättyy

3.4.2 2-vaiheinen työkierto

Työkierrossa on käytössä molemmat imualueet. Kappale viedään ensin imualueelle A, vasemmalle pöydälle ensimmäisen puolen työstöä varten, tämän jälkeen robotti vie kappaleen kääntöasemaan, tarttuu uudelleen toisen puolen pinnalta ja vie uudelleenkohdistukseen. Toinen puoli työstetään aina D imualueella, eli oikeanpuoleisella pöydällä.

Aloitus:

1. robotti hakee aihion lavalta
2. aihio käytetään uudelleentartunta-asemalla
3. robotti vie kappaleen työstökoneen vasemmalle pöydälle
4. robotti poistuu työstökoneen alueelta ja työstö alkaa.

Kierto:

1. robotti jää odottamaan työstön valmistumista
2. työstö valmistuu, robotti hakee kappaleen työstöstä
3. kappaleen kääntö kääntöasemalla
4. kappale käytetään uudelleentartunta-asemalla
5. robotti vie kappaleen työstökoneen oikealle pöydälle
6. robotti hakee uuden aihion, mikäli aihioita vielä lavalla, muuten siirrytään kohtaan lopetus
7. uusi aihio viedään uudelleentartunta-asemalle odottamaan
8. työstö valmistuu, robotti vie kappaleen mahdolliseen merkkaukseen ja sitten lavalle
9. uudelleentartunnasta uusi aihio työstöön
10. robotti poistuu työstökoneen alueelta ja työstö alkaa.

Lopetus:

1. robotti todennut, ettei aihioita ole enää poimittavana
2. työstökone tulee valmiiksi ja valmis kappale odottaa koneessa
3. robotti hakee valmiin kappaleen työstöstä
4. robotti vie valmiin kappaleen mahdolliseen merkkaukseen ja sitten lavalle
5. robotti palaa kotiasemaan ja työkierto päättyy.

4 ESISUUNNITTELU

Osiossa käsitellään esisuunnittelutyön tuloksia ja avataan suunnitteluprosessin aikana tehtyjä ratkaisuja. Esisuunnitteluprosessi jaettiin neljään selkeään osa-alueeseen, jotka ovat robotti, solun ympäristö, automaatio ja mekaniikka.

4.1 Robotti

Robottisolun esisuunnittelu aloitetaan aina vaatimusmäärittelyn perusteella tehtävällä robotin ja käytettävän kontrollerin valinnasta. Myöhemmin tehtävät ratkaisut perustuvat pitkälti robotin ominaisuuksien pohjalle.

4.1.1 Robotin valinta

Projektissa päätettiin hyödyntää jo toimeksiantajan varastossa olemassa olevaa Fanucin valmistamaa 6-akselista teollisuusrobottia R-2000iD/165FH (kuva 6), joka on uudistettu malli vanhasta edelleen myytävästä R-2000iC/165F mallista. Toisena vaihtoehtona tarkasteltiin vanhempaa mallia samasta robotista, joka on pääosin ominaisuuksiltaan sama malli.

Uudemman mallin suurin ero on ontto käsivarsi, joka mahdollistaa kaapeleiden ja letkujen sisäisen läpiviennin laipan lävitse. Tässä käyttötarkoituksessa kyseisestä ominaisuudesta ei saada merkittävää hyötyä, mutta pitkien toimitusaikojen projektin toteutuminen tiukan aikataulun mukaisesti oli mahdollista ainoastaan varastossa olevan robotin avulla.

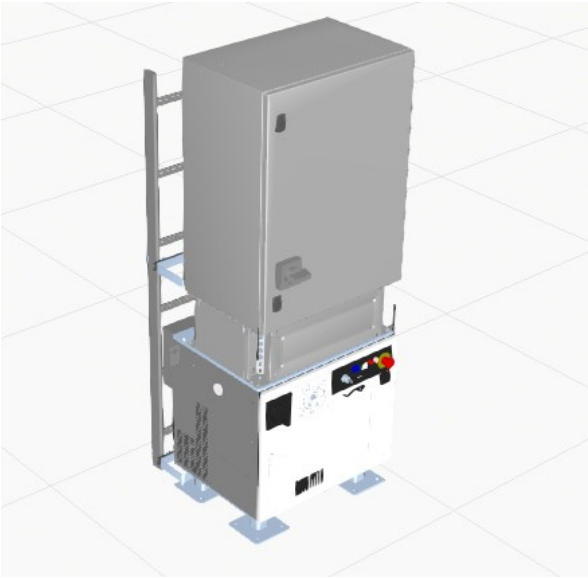
KUVA 6. R2000-iD/165FH teollisuusrobotti (Fanuc 2022a)

Robotti soveltuu mainiosti työstökoneen palveluun pitkän 2605 mm ulottuman ja 165 kg kappaleen käsittelykyvyn ansiosta, joka mahdollistaa molempien työstöpöytien vaivattoman käsittelyn (liite 1. Fanuc 2022). Suuren käsittelykyvyn ansiosta onnistuu tarvittaessa myös kappaleen painaminen työkalun mekaanisilla painimilla työstöpöytää vasten.

4.1.2 Kontrolleri ja sähkökaappi

Robotti tilattiin vakiona tulevalla Fanuc R-30iB PLUS A-tyypin kontrollerilla, eli ohjainlaitteella, joka on varustettu R-30iB Plus iPendant käsiohjaimella. Kontrolleri sisältää robotin käsivarren ohjauselektroniikan ja ohjelmiston. Ohjelmisto taas vastaa suoritettavista robotin ohjelmista, käsivarren servomoottoreiden, IO laitteiden ja muiden kontrolleriin kytkettyjen ulkopuolisten laitteiden ohjauksesta. (Fanuc 2022c).

Kontrollerin leveys on 600 mm, joka mahdollistaa Rittalin valmistaman kompaktisähkökaapin AX 1059.000 sijoittamisen ohjainlaitteen päälle (kuva 7). Solun sähkökaappi saa yksivaiheisen 4A 230VAC virransyötön robotin ohjainlaitteelta. Solun laitteet, kuten PLC, HMI paneeli ja toimilaitteet kuluttavat reilusti vähemmän virtaa, jolloin suuremmalle syötölle ei ole tarvetta.



KUVA 7. Kontrolleri ja CC1 sähkökeskus 3D-malli

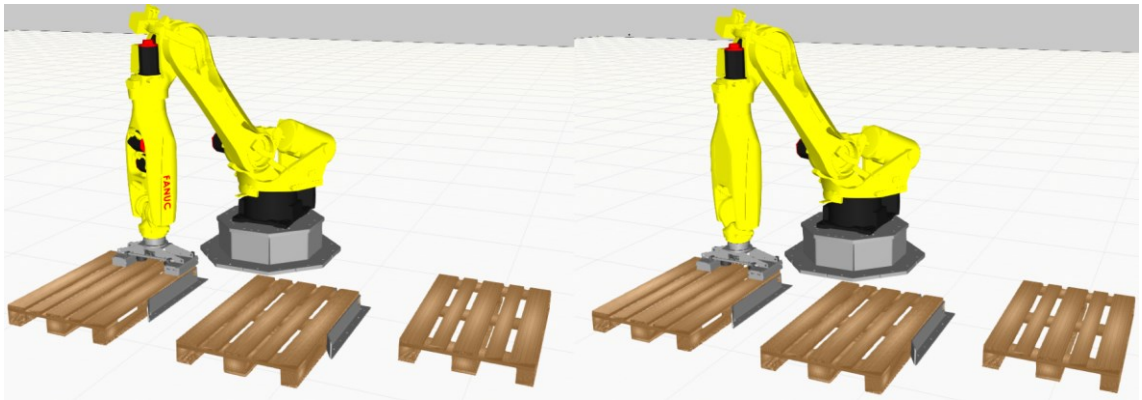
4.2 Robotin ympäristö

4.2.1 Solun simulointi ja singulariteetti

Robotin ympäristö, eli robottisolun layout simuloitiin Kuka.Sim Pro 3.1.2 ohjelmistolla, joka mahdollistaa robotin todellisten liikkeiden simuloimisen. Simulointiohjelmistoon lisätään 3D malli tarttujasta, kuten myös mallit mekaanisista komponenteista ja työstökoneesta. Layout simulointi on esisuunnittelun tärkein vaihe, sillä ulottumatarkastelu on tärkeimpiä tekijöitä mekaniikkasuunnittelun kannalta. Simuloimalla saadaan selville oikeanlainen tarttujan rakenne, robotin asennuskorkeus, mekaniikan sijoittelu ja esimerkiksi lavapaikkojen sijoittelu.

Tarkastelussa on tärkeää käydä läpi kaikki alueet tarttujan kanssa, jotta käy ilmi mahdolliset singulariteetit robotin liikkeissä, joka tarkoittaa robotin akseleiden linjautumista samansuuntaisiksi siten, että lineaarisen liikkeen suoritus ei ole enää mahdollista. Tyypillisimmät singulariteetit ovat ranne, kyynärpää ja olkapää singulariteetit (Robot Mechanisms, 2013).

Simuloinnissa kävi ilmi singulariteetti ranteessa lavapaikoilla 1 ja 2 alkuperäisellä layout kokoonpanolla. Kuvan 8 vasemmasta robotista huomataan, että akseli 4 on kääntyneenä 180 astetta oikeaan robottiin verrattuna. Tämä johtuu akseleiden 4 ja 6 linjautumisesta samansuuntaisiksi (Robot Mechanisms, 2013). Robotti ei siis voi suorittaa onnistunutta lineaarista liikettä.



KUVA 8. Vasemmalla singulariteetti, oikealla normaalitilanne

Ratkaisuna singulariteettiin lavoja siirrettiin hieman kauemmas toisistaan, eli kauemmas robotin keskilinjasta. Lavoja siirrettiin myös jalustasta 100 mm kauemmas, tämä ratkaisi ongelmat singulariteetin osalta. Yleisenä ratkaisuna on sijoittaa solun laitteet ja tehdä liikepisteet sellaisiin paikkoihin, missä singulariteettia ei ilmene.

Kyynärpää singulariteetissa akselit 2 ja 3 on samansuuntaisia ja olkapää singulariteetissa tyypillisesti robotin ranteen keskipiste on akselin 1 yläpuolella. Singulariteettien käytökset eivät kuitenkaan ole yleispäteviä, vaan niiden ilmenemiseen vaikuttaa akselien lukumäärä ja robotin rakenne (Robot Mechanisms. 2013).

Kaikissa tilanteissa singulariteettia ei voi välttää, silloin on hyvä suunnitella liikeradat esimerkiksi hieman kiertäen, muutoin liike voi olla erittäin raju robotin 4 ja 6 akseleille varsinkin, jos robotti kannattelee tarttujassa isompaa kuormaa. Huolellisesti tehty layout simulointi voi säästää ongelmilta myöhemmässä vaiheessa.

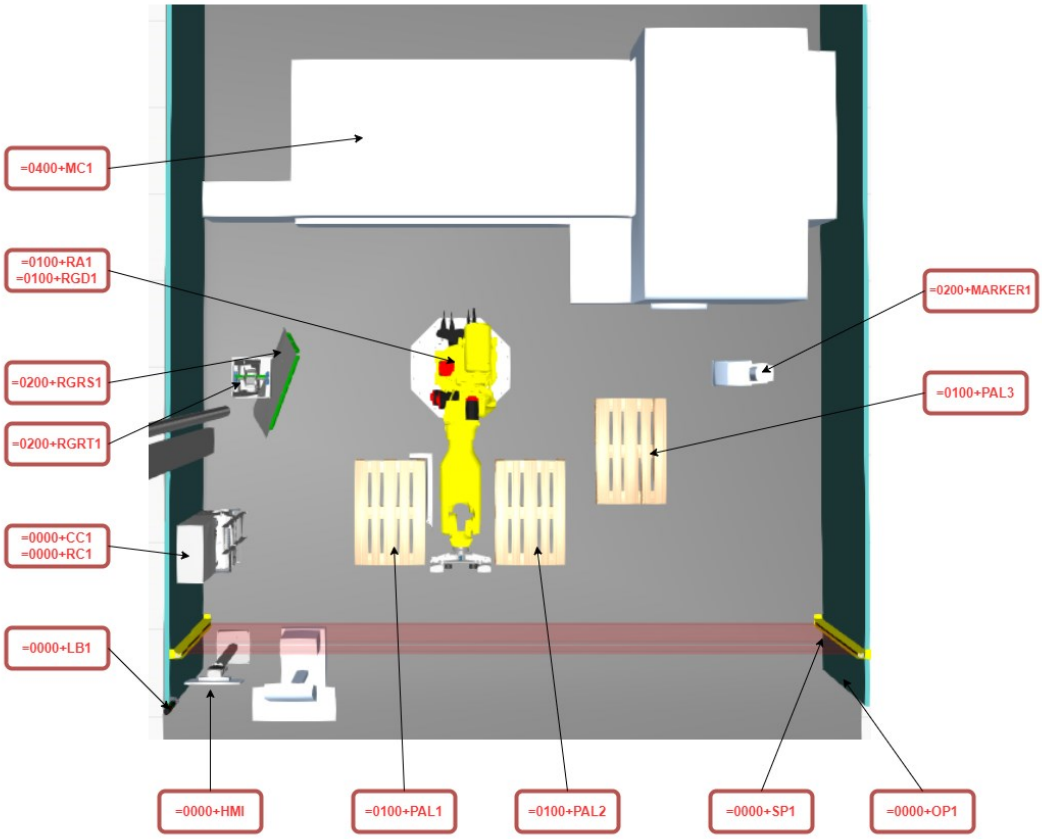
4.2.2 Aluejako ja laitepositiot

Esisuunnittelussa lajiteltiin robottisolun laitteet tiettyihin alueihin ja nimettiin laitteet yrityksen käyttämän nimeämiskäytännön mukaisesti. Esisuunnittelun nimien mukaan tehdään varsinaisessa suunnittelussa mm. solun PLC ohjelmointi ja sähkökuvat. Solun laitteet on jaettu tiettyihin taulukon 1 mukaisiin alueisiin.

TAULUKKO 1. =0000 – Alueet

=0000	General
=0100	Lava-alue
=0200	Robotti-alue
=0300	Varalla
=0400	Työstökone alue

Kuvassa 9 on mallinnettu yleislayout solusta. Nuolilla on ilmoitettu eri alueisiin kuuluvat laitteet positiokohtaisesti nimeämiskäytäntöjen mukaisesti (taulukko 2). Soluun on sijoitettu laitteet, kuten merkkain ja lavapaikat ulottumatarkastelun perusteella. Osa sijoituspaikoista on taas sovittu asiakkaan kanssa, kuten esimerkiksi HMI paneelin, valomajakan ja sähkökaapin sijoitus.



KUVA 9. Solun layout

TAULUKKO 2. =0000 – 0400 Alueiden positiot

=0000+CC1	Solun pääkeskus
=0000+HMI1	HMI paneeli
=0000+V1	Huoltolaite
=0000+LB1	Valomajakka
=0000+SP1	Valoverho
=0000+OP1	Nappikotelo
=0100+PAL1	Palettipaikka aihioille
=0100+PAL2	Palettipaikka valmiille kappaleille
=0100+PAL3	Palettipaikka hylkykappaleille
=0200+RC1	Robottikontrolleri
=0200+RA1	Robotin käsivarsi
=0200+RGD1	Robotin työkalu
=0200+RGRS1	Uudelleentartunta-asema
=0200+RGRT1	Kääntöasema
=0200+MARKER1	Merkkauslaite
=0400+MC1	Työstökone

4.2.3 Paineilma ja virransyöttö

Asiakkaan tulee varmistaa riittävä paineilmansyöttö huoltolaitteelle vähintään 7 barin paineella. Huoltolaitteeksi valittiin yrityksen vakiokomponenteista hyväksi todettu Feston MSB6-1/2:C4:J2:F1:D13-WP (kuva 10) monipuolisuuden vuoksi. Laitteessa on painevalvonta ja huoltolaitteen paineen ohjaus saadaan turvalogiikan ohjattavaksi. Esimerkiksi hätäseis-tilanteessa katkaistaan huoltolaitteen ohjaussignaali, jolloin solun paineilma katkeaa.

KUVA 10. Huoltolaite (Festo 2022)

Robottisolun sähkönsyötöksi edellytetään 3x400V 16A, joka riittää robotille ja solun laitteille ja jättää varaa mahdollisille tulevaisuuden muutoksille. Solun CC1 sähkökaapille tuleva 230 VAC, 4 A yksivaihevirta robottikontrollerilta konvertoidaan 24 V DC jännitteeksi sähkökaappiin asennettavalla Phoenix Contactin valmistamalla 10 A virtalähteellä malliltaan TRIO-PS-2G/1AC/24DC/10.

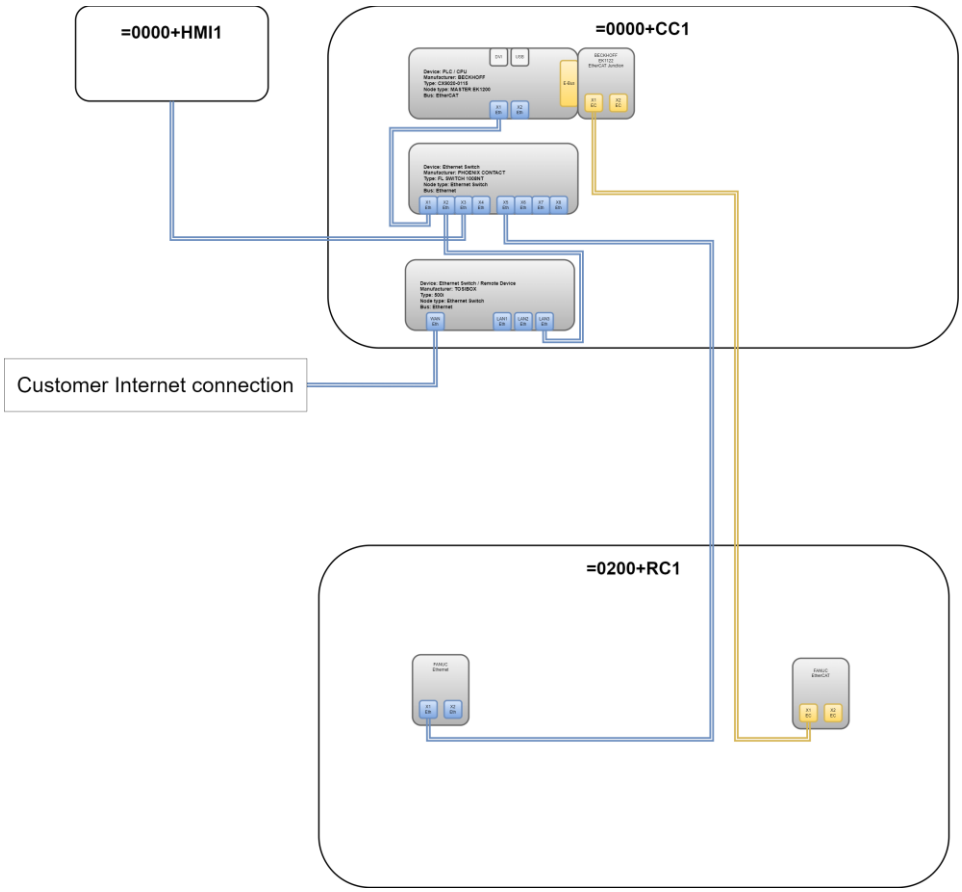
Esisuunnittelu ei sisällä muita sähkö- ja pneumatiikkakomponentteja, sillä niiden valinnat ja tilaukset sisältyvät esisuunnittelun jälkeiseen sähkö- ja pneumatiikkasuunnitteluun.

4.3 Automaatio

Esisuunnittelussa valittiin automaatiosuunnittelussa käytettävät väylät ja laaditaan sen perusteella graafinen verkkotopologia. Automaatio aihealueeseen kuuluu myös liitynnän laatiminen eri laitteisiin, käytettävän PLC kokoonpanon laatiminen ja käyttöliittymän ominaisuuksien hahmottelu.

4.3.1 Topologia ja väylät

Solun käytettävät väylät (kuva 11) koostuvat Beckhoffin PLC:n E-Bus taustaväylästä, EtherCAT kenttäväylästä ja TCP/IP verkkoprotokollasta. Robotin ja PLC:n kommunikaatio tapahtuu EtherCAT väylän välityksellä. HMI käyttöliittymän ja PLC:n kommunikaatioon käytetään Beckhoffin ADS kommunikaatioprotokollaa, jolla siirretään eri TwinCAT laitteiden välillä prosessidataa (Beckhoff 2022c). ADS kommunikaatio tapahtuu TCP/IP kommunikaation välityksellä. Ethernet kytkimeen yhdistetään myös etäyhteyslaite ja robottikontrolleri.



KUVA 11. Väylätopologia

4.3.2 Työstökoneen ja merkkaimen liityntä

Työstökoneen ja merkkaimen liityntä tehdään kova IO:na, eli jokainen signaali kulkee omaa johdinta pitkin digitaalisena bittisignaalina, joka on joko nolla tai yksi. Tässä tilanteessa bittitieto tulee siitä, kulkeeko johtimessa jännite. Työstökoneesta puuttuu robottiliityntä, jonka vuoksi käytettävät tilatiedot otetaan robotin olemassa olevista ohjaus- ja anturisignaaleista. Ylimääräiset IO kättelyt mm. pöydän lataamisen suhteen tehdään työstöohjelmaan G-koodilla ohjaamalla työstökoneen PLC:n lähtöjä.

Merkkaimella on DB9 lisälaiteliitin, johon tehdään solun PLC:ltä kytkentä. Lähtökohtaisesti riittää ainoastaan käynnistyskäsky, mutta mikäli laite tukee, niin sieltä otetaan myös valmis signaali robotille. Muussa tapauksessa käytetään erikseen säädettävää odotusaikaa.

Jokainen PLC:n sisään- ja ulostulo kytketään releiden välityksellä, jotta IO saadaan potentiaalivapaaksi. Releet ovat tyypiltään NO (Normally Open), eli sulkeutuvilla koskettimilla. Robottisolun PLC:ltä lähtevä signaali kytkee releen, jonka virransyöttö tapahtuu työstökoneen omalta ohjainlaitteelta, eli releen ohjausvirta otetaan aina siltä laitteelta, jolle signaali on tulossa. Näin ollen vältetään mahdolliset potentiaalierojen aiheuttamat laiterikot, esimerkiksi tilanteessa, jossa työstökone ei käytä täsmälleen samaa jännitettä.

4.3.3 Kappaleen merkkaus

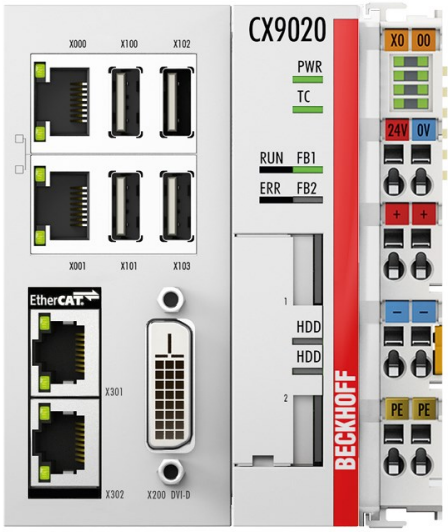
Kappaleiden tuotenumeroiden merkintään käytettävä pistemerkintälaite sijoitetaan jalustalle kiinteään asennuspisteeseen. Robotti tuo kappaleen HMI käyttöliittymältä määritettyyn pisteeseen ja lähettää käynnistyssignaalin laitteelle. Robotti odottaa merkkauksen valmistumista ja vie kappaleen sen jälkeen valmislavalle.

Merkkaimen piikin kohdalle opetetaan robotilla yksi piste, johon tuodaan kappale offset komennoilla X, Y ja Z suunnissa, eli liikutaan offset käskyjen verran pois suhteessa opetettuun pisteeseen. Piste on pöydän alustan tasossa ja kohdistettu

X ja Y suunnissa piikin keskipisteeseen. Offset koordinaatit tulevat kappaleen mitoista ja operaattorin syöttämästä merkkauspositiosta kappaleen pinnalla. Pienimmillä kappaleilla joudutaan myös tehdä kappaleeseen offset tartunta työstöpöydältä noutaessa, eli esimerkiksi kahden imulaatikon sijaan tartutaan ainoastaan yhdellä imulaatikolla. Tämä johtuu siitä, sillä tarttuja ei mahdu tulemaan merkkaimen sisäpuolelle.

4.3.4 PLC ja käyttöliittymä

Projektiin valikoitui PLC:ksi Beckhoff CX9020-0115 (kuva 12) teollisuuslogiikka, jonka etuja on Windows pohjainen käyttöjärjestelmä, joka mahdollistaa helpon integraation myös muihin ohjelmistoihin ja hyvä hinta-laatusuhde verrattuna esimerkiksi Siemensin logiikoihin. Kyseinen PLC kuuluu yrityksen käyttämiin vakiokomponentteihin. Beckhoffin logiikka tarjoaa vaivattoman yhteyden robottiin suoraan EtherCAT kenttäväylän välityksellä ja PLC on nopea ja helppo käyttöönottaa (Beckhoff 2022d).



KUVA 12. CX9020 PLC (Beckhoff 2022d)

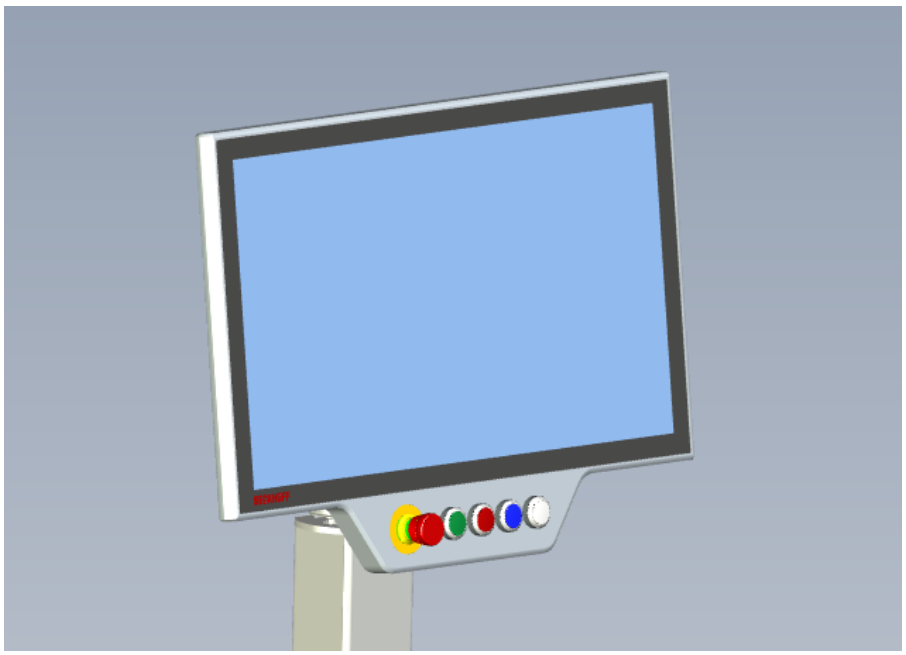
Taulukon 3 mukaisesti PLC kokoonpanoon kuuluu turvalogiikka, EtherCAT laajennus, lisenssiterminaali, digitaaliset IO kortit, kuten myös turvalogiikan IO kortit. Tulojen ja lähtöjen määrät on laskettu robottisoluun tulevien laitteiden vaatimien kytkentöjen perusteella ja osa IO liitännöistä jää varalle mahdollisia tulevaisuuden muutoksia varten.

TAULUKKO 3. Beckhoff PLC kokoonpano

Määrä	Tuote
1 kpl	CX9020-0115 Basic CPU Module CX9020
1 kpl	EL6070 License key terminal
1 kpl	EL6910 TwinSAFE Logic
2 kpl	EL1918 8-channel digital input terminal, TwinSAFE, 24 V DC
2 kpl	EL2904 16-channel digital output terminal, TwinSAFE, 24 V DC
3 kpl	EL1809 16-channel digital input terminal, 24 V DC
2 kpl	EL2809 16-channel digital output terminal 24 V DC
1 kpl	EL9410 Power supply terminal for E-bus, 24 V DC, 2 A
1 kpl	EL9110 Power supply terminal with diagnostics, 24 V DC
1 kpl	EL2008 8-channel digital output terminal 24 V DC
1 kpl	EK1122 2-port EtherCAT junction
1 kpl	EL9011 Bus end cap

PLC ja käyttöliittymän paneeli PC on yhteydessä keskenään TCP/IP tiedonsiirtoprotokollan välityksellä, eli yleisesti puhuttuna pakettipohjaiseen lähiverkkoratkaisuun pohjautuen Ethernet liitynnällä. Varsinainen HMI käyttöliittymän ja PLC:n kommunikaatio tapahtuu Beckhoffin ADS (Automation Device Specification) kommunikaatioprotokollan välityksellä, joka on TCP/IP protokollan ylemmällä tasolla toimiva siirtokerros (TCP/IP; Beckhoff 2022c).

HMI käyttöliittymän paneelitietokoneena käytetään JTA Connectionin vakiokomponentteihin kuuluvaa Beckhoff CP3724-1600-0020 paneelia (kuva 13). Paneeli on räätälöity malli siltä osin, että siihen on lisätty erillinen nappikotelo, omavalmiste lattiaan kiinnitettävä tukijalka ja kiinnikepaketti.



KUVA 13. Beckhoff paneelitietokoneen 3D-malli

Paneelitietokone soveltuu monipuolisesti erilaisiin käyttöympäristöihin alumiinisen IP65 suojausluokitellun koteloinnin ansiosta ja on luokiteltu toimimaan jopa 45 °C lämpötiloissa ja suuri 24” kosketusnäyttö tarjoaa erinomaisen käytettävyyden (Beckhoff 2022e).

4.3.5 Tuotetietokanta

Robottisolun tarjoukseen sisältyi tuotetietokanta, joka päätettiin tehdä SQLiten avulla, sillä kyseinen tietokanta on erittäin kevyt, nopea integroida ja käsittelee nopeasti tässä projektissa tarvittavan datan. Itse tietokanta tulee olemaan ainoastaan yksi tiedosto, jota on helppo muokata tarpeen vaatiessa. HMI paneeli ei tule vaatimaan asennettavia ohjelmia, sillä HMI kykenee lukea ja kirjoittaa suoraan tietokantaan C-kielellä tehtävällä laajennusosalla (SQLite 2022).

TAULUKKO 4. Tietokannan parametrit

Muuttuja	Datatyyppi	Kuvaus
sProductNumber	String	Tuotenumero
nPartLength	Real	Kappaleen pituus (mm)
nPartWidth	Real	Kappaleen leveys (mm)
nPartThickness	Real	Kappaleen paksuus (mm)
bStackDirection	Bool	Paletointisuunta (pitkä/lyhyt sivu)
nPalletRows	Integer	Kasojen lukumäärä
nPalletPieces	Integer	Kappaleiden kokonaismäärä
nCycleMode	Integer	Työkierron tyyppi
bSuctionFeet	Bool	Tassut käytössä/ei käytössä
nFeetHeight	Integer	Tassujen korkeus
fTableACorrectionX	Real	Pöydän A tartunnan X suunnan korjaus
fTableACorrectionY	Real	Pöydän A tartunnan Y suunnan korjaus
fTableACorrectionZ	Real	Pöydän A tartunnan Z suunnan korjaus
fTableDCorrectionX	Real	Pöydän D tartunnan X suunnan korjaus
fTableDCorrectionY	Real	Pöydän D tartunnan Y suunnan korjaus
fTableDCorrectionZ	Real	Pöydän D tartunnan Z suunnan korjaus

Esisuunnittelussa laadittiin Taulukon 4 mukainen lista käytettävistä PLC muuttujista, joita käytetään tietokannassa. Muuttujanimet on nimetty Beckhoffin nimeämiskäytännön mukaisesti, josta on tullut yleisesti käyttöön otettu tapa yrityksessä. Muuttujan nimi aloitetaan aina pienellä kirjaimella olevalla etuliitteellä, jonka jälkeen tulee muuttujan nimi isolla alkukirjaimella (Beckhoff 2022a).

Datatyypeissä esimerkiksi ”s” tarkoittaa stringiä, eli merkkijonoa. Integer tyyppinen muuttuja alkaa taas liitteellä ”n”, joka taas tarkoittaa kokonaislukua, jonka suuruus voi olla -32768–32767. Numeroarvojen tallennuksessa käytetään sen vuoksi erilaisia datatyyppejä, sillä esimerkiksi tuotteen pituus on aina kokonaisluku, toisin kuin taas offset korjain voi olla desimaaliluku. Boolean tietotyyppi taas ilmaisee totuusarvoa, tosi tai epätosi. Tällä voidaan esimerkiksi ilmaista, että kappaleen asettamiseen käytettävät tassut on asennettu, tai ei ole asennettu (Beckhoff 2022b).

4.3.6 Robotin toiminta

Robotti kommunikoi solun PLC:n kanssa EtherCAT väylän välityksellä, jonka yli robotti saa ohjaussignaalit, tuoteparametrit ja koordinaatit. Robotti taas välittää PLC:lle tietoa robotin tilasta. Robotin toiminta on ns. ”Pick and Place” tyylistä, eli kappale aina haetaan jostain ja viedään toiseen paikkaan PLC:ltä tulevien tehtävänumeroiden (taulukko 5) mukaisesti. Mikäli esimerkiksi on kyseessä 1-vaiheinen työstö ja työstöpöydälle on asetettu kappale, näillä tiedoilla PLC lähettää robotille tehtävänumeron 100, jolloin robotti noutaa uuden kappaleen aihiolavalta ja jättää sen kohdistuasemaan. Robotti palaa tämän jälkeen kotiasemaan odottamaan uutta tehtävää, joka olisi seuraavaksi 210, kappaleen nouto työstöstä ja viedään valmiiden kappaleiden lavalle.

TAULUKKO 5. Robotin tehtävät

Tehtävänumero	Kuvaus
15	kotiutusohjelma
100	uusi kappale kohdistusasemaan.
110	kappale kohdistusasemasta työstöpöydälle A.
120	kappale työstöpöydältä A työstöpöydälle D.
210	kappale työstöpöydältä A lavalle 2.
220	kappale työstöpöydältä D lavalle 2.

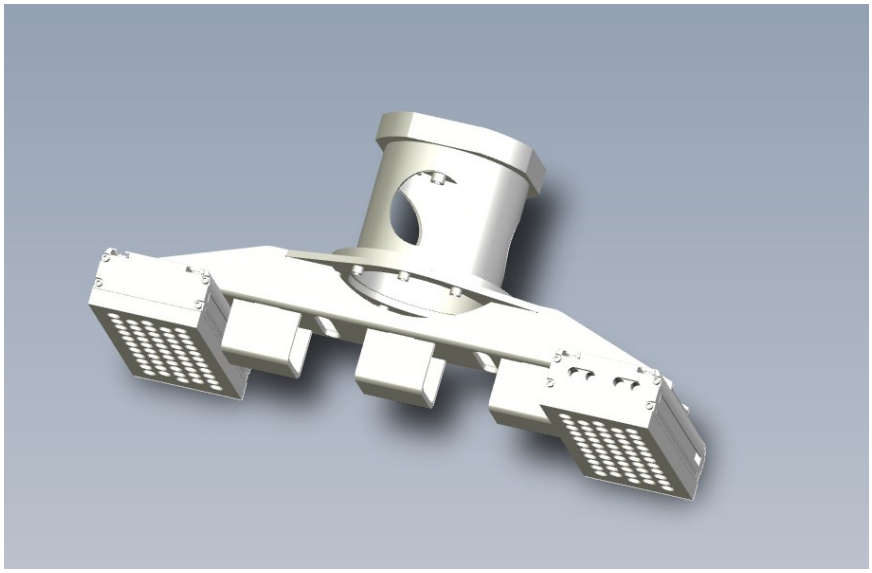
Uuden tehtävän aloitus alkaa aina parametrien lukemisella ja tehtävä voi sisältää useita aliohjelmia. Robotin suorittaessa tehtävää, robotti käskyttää suoraan mm. työstökonetta ja solun toimilaitteita PLC:n välityksellä.

4.4 Mekaniikka

4.4.1 Tarttuja

Esisuunnittelun layout simulointi alkaa aina mekaniikan osalta varhaisen tarttujan esisuunnittelulla. Tämä mahdollistaa ulottumatarkastelun ja liikeratojen simuloinnin kappaleiden kanssa. Esisuunnittelussa tehdään suurimmaksi osaksi oikean kokoinen tarttuja, mutta mekaaniset ratkaisut ja ulkomuoto saattaa myöhemmissä suunnitteluvaiheissa vielä muuttua. Esisuunnittelumallista puuttuu anturoinnit, puhalluslaitteet, IO terminaali ja venttiiliterminaali.

Tarttujaan valittiin kaksi kappaletta FIPA:n valmistamia 130x295 mm kokoisia imulaatikoita, jotka on sijoitettu toisistaan 350 mm päähän (kuva 14). Imulaatikot ovat sulkeutuvilla kuulaventtiileillä, joka mahdollistaa myös osittaisen tartunnan kappaleeseen siten, että siihen osuvat imukanavat sulkeutuvat. Kyseessä on FIPA:n pienin tämän mallisarjan imulaatikko, mutta imuvoima on nominaalioloissa 6 barin paineella jo 426 N yhdellä imulaatikolla (Liite 2. Fipa). Kaksi imulaatikkoa riittää käsittelemään myös painavimmat noin 40 kilogramman kappaleet ongelmitta.



KUVA 14. Tarttujan 3D-malli

Imulaatikko sisältää 53 kappaletta imukanavia ja vaahtomuovin paksuus on 20 mm (liite 4). Imulaatikko valittiin vaahtomuovilla helpon huollettavuuden ansiosta ja tarpeen vaatiessa imulaatikon valmistajalta saa tilattua uuden tartuntapinnan.

Kappaleiden mekaaninen painaminen alipainepöytää vasten tehdään mekaanisilla painimilla imulaatikoiden välissä. Vaahtomuovi painautuu suoritettujen testien mukaan noin 90-prosenttisesti kasaan omalla imuvoimalla, joten mekaanisten painimien korkeus täytyy säätää siten, että vaahtomuovia ei painateta robotilla kasaan enempää, sillä vaahtomuovi ei kestä tällaisia ulkoisia voimia.

Tarttujan laipan suunnittelussa on huomioitu, että voidaan hyödyntää robotin onttoa rakennetta (kuva 15) ja tuoda IO kaapeli ja paineilmaletku robotin laipan läpi. Letkut kulkevat robotin käsivarren sisällä muovista läpivientiä pitkin. Koska kyseessä on ensimmäinen toimitettava robotti kyseisellä laipalla, mekaniikkasuunnittelijan täytyy suunnitella esisuunnittelun jälkeisessä työvaiheessa robottiin soveltuva kiinnityslaippa.

KUVA 15. Robotin käsivarsi ja laippa

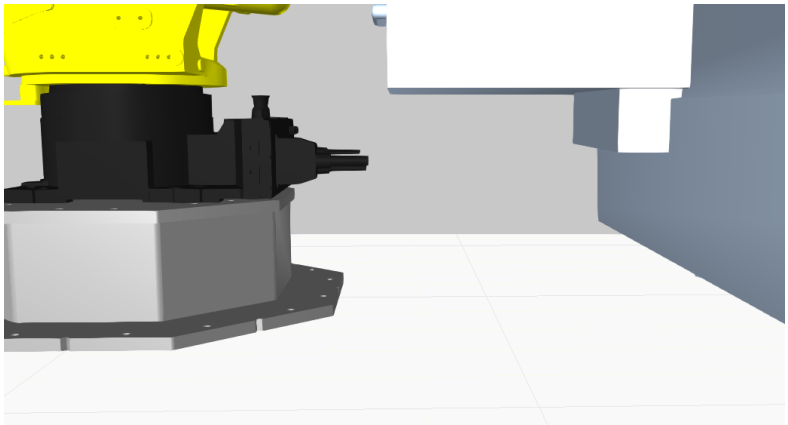
Tarttujaan lisätään kaksi alipaineanturia, joiden avulla valvotaan imulaatikoiden alipaine-ejektoreiden toimintaa ja kolmannella ultraäänianturilla seurataan, että kappale on edelleen tarttujassa kiinni. Näillä eliminoidaan riski, että robotti jatkaa toimintaa viallisella tarttujalla tai kappale on syystä tai toisesta pudonnut liikkeen aikana.

Tarttujaan valittiin Feston valikoimasta VTUG-18-SR8-S1T-Q12R-UL-Q10S-KKL+N4 venttiiliterminaali hyvän hinta-laatusuhteen vuoksi. Venttiiliterminaali sisältää 5 kpl 3/2 venttiilejä, jotka riittävät kaikkiin tarttujan tarpeisiin. Molemmille imulaatikoille ja kahdelle puhalluslaitteelle on kaikille oma venttiilinsä, viides venttiili jää varalle. 3/2 venttiilit soveltuvat käyttötarkoitukseen hyvin, sillä alipaine-ejektorit ja tarttujapuhallus vaatii jatkuvan paineilman toimiessaan, muussa tilanteessa venttiili kytkee paineilman pois päältä, esimerkiksi suljetulle keskiasennolle ei ole tarvetta.

4.4.2 Robotin jalusta

Layout simuloinnin ja robottitoimittajan datalehden mukaan pisin robotin ulottuma työstökoneen pöydille vaatii korkeudeltaan vähintään 350 mm korkean jalustan. R-2000iD/165FH robotin datalehden (liite 1) perusteella robotti saavuttaa pisimmän ulottuman akselin 5 kiertopisteen ollessa hieman akselin 2 keskipisteen yläpuolella. Ulottumatarkastelu tehtiin myös simuloimalla, simulointiohjelman etuna on se, että sinne voidaan lisätä oikea 3D malli tarttujasta, jolloin ulottumaa voidaan tarkastella tarttujan kanssa.

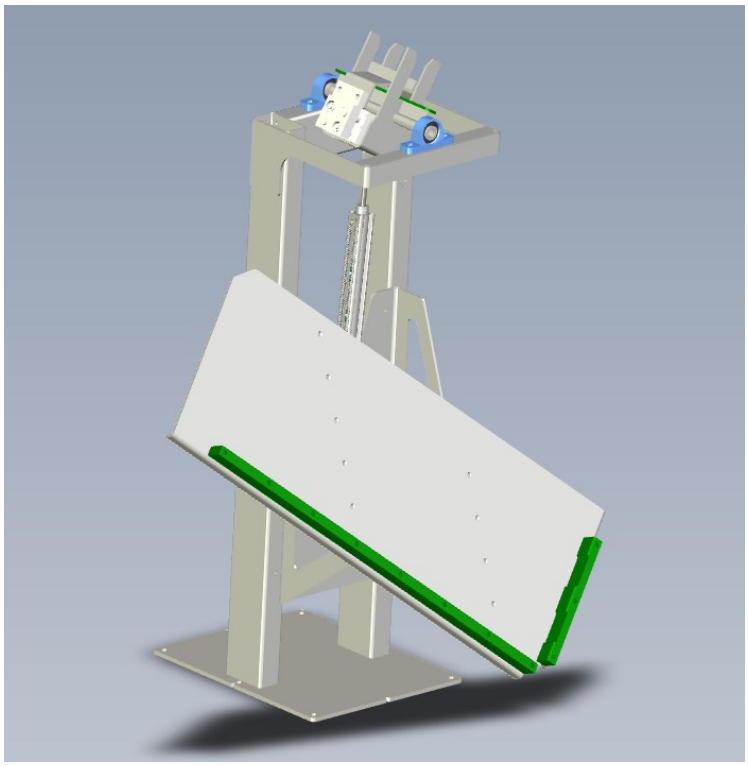
Optimaalisin jalustan korkeus olisi noin 400 mm, mutta työstökoneen portaalin vuoksi todettiin 300 mm jalustan olevan riittävä. Tämän syynä on se, että robotin jalustasta tulevien kaapeleiden ja portaalin alareunan väliin (kuva 16) tulee jäädä varmasti riittävä väli. Jalustan madaltuminen ei kuitenkaan vaikuttanut lopulliseen ulottumaan merkittävästi.



KUVA 16. Robotin sijoittelu simulaatiossa

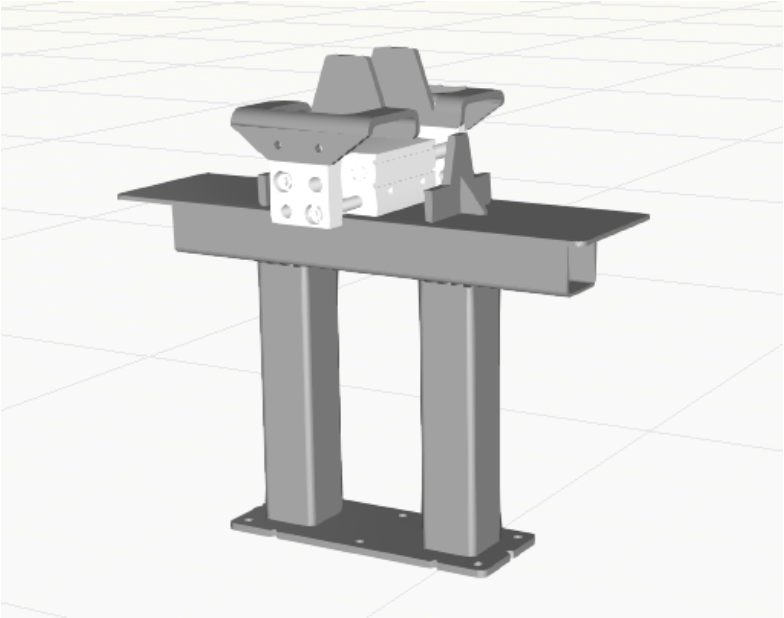
4.4.3 Kohdistus- ja kääntöasema

Toimeksiantajan mekaniikkasuunnittelija hahmotteli 3D mallin kohdistus- ja kääntöasemasta (kuva 17) esitietojen perusteella. Kappaleen kohdistus suoritetaan pudottamalla kappale, jonka oma paino kohdistaa kappaleen kohdistimen alakulmaa vasten. Mekaniikkasuunnittelu tulee varmistamaan varsinaisen mekaniikkasuunnittelun myötä riittävät kulmat, jotta kohdistaminen onnistuu jokainen kerta.



KUVA 17. Uudelleentartunta-asema 3D-malli

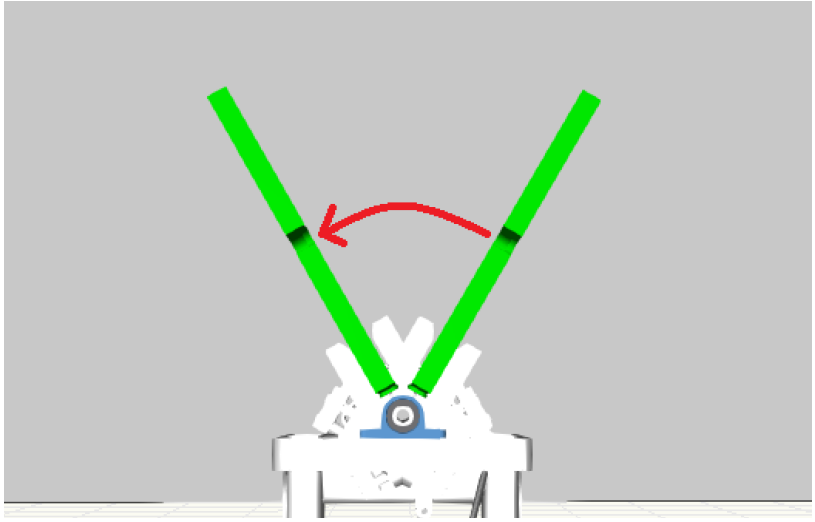
Kappaleen kääntö oli hieman hankalampi toteuttaa. Alkuperäisen suunnitelman mukaan kappaleen kääntö tehdään siten, että kappale jätetään tarttujasylinteriin kiinni kuvan 18 mukaisesti siten, että robotti jättää kappaleen 90 asteen kulmassa kiinni aseman oikealta puolelta ja noutaa kappaleen vasemmalta puolelta.



KUVA 18. Alkuperäisen kääntöaseman 3D-malli

Imulaatikoiden testailun myötä kävi ilmi, että imulaatikoiden mekaanisen kuulaventtiilirakenteen vuoksi 90 asteen kulma on ehdoton maksimi käännön suhteen. Tässä kulmassa on kuitenkin huomattavana riskinä se, että kuulaventtiilit saattavat päästää ohivirtausta venttiilistä läpi, jolloin imuvoiman heikentymisen vuoksi kappale saattaa irrota tarttujasta.

Imulaatikoiden rakenteen vuoksi mekaniikkasuunnittelija suunnittelu kääntöaseman uusiksi. Uudessa mallissa kappale jätetään 30 asteen kulmaan kääntöaseman pystysuorasta linjasta, sylinterillä tartutaan kappaleesta ja toisella sylinterillä siirretään kappaletta 60 astetta vasempaan suuntaan kuvan 19 mukaisesti, jolloin robotilla saadaan yhtäläinen tartunta kappaleesta, mutta eri puolelta.



KUVA 19. Kappaleen kääntö sylinterillä

Samalla kääntö- ja kohdistusasema yhdistettiin aikaisemmin esitetyn kuvan 17 kaltaiseksi solussa käytettävän tilan säästämiseksi. Uusi kappaleenkääntö mekanismi osoittautui simuloinnin myötä erittäin toimivaksi ratkaisuksi.

4.4.4 Lavakohdistimet

Solun materiaalivirta toteutetaan 3 eri lavapaikalla. Ensimmäinen lava on aihiokappaleille, toinen lava työstetyille kappaleille ja kolmas lava hylkykappaleille, joiden työstö ei onnistunut.

Kappaleiden poiminnat ja jätöt tehdään parametrisesti robotilla opetettavan koordinaatiston mukaisesti, jonka vuoksi lavat täytyy kohdistaa solussa oikeaan kohtaan. Muutoin robotti ei osaa poimia kappaleita oikeasta kohdasta. Kohdistaminen tehdään L muotoisilla lavakohdistimilla, joita on käytetty jo aikaisemmin toteutetussa projektissa onnistuneesti.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksina saatiin toimeksiantajalle ja asiakkaalle ratkaisut, jotka täyttävät työn alussa esitetyt vaatimukset. Joustavat ja mekaanisesti yksinkertaiset ratkaisut mahdollistavat myös tulevaisuuden muutostyöt. Tarttuja soveltuu kaikille muovilaaduille ja jokaiselle asiakkaan tuotteelle erinomaisen imuvoiman ansiosta, kappaleenkäsittelyasema taas mahtuu pieneen tilaan ja sisältää mekaniikaltaan yksinkertaiset ja luotettavat ratkaisut. Robottisolusta laadittiin toiminnankuvaus, jonka mukaisesti voidaan kehitellä robotin ohjelmat. Automaation esisuunnittelussa taas on valikoitu käytettävät väylät, pääasialliset sähkökomponentit ja laadittu IO taulukot eri laitteiden välisistä kommunikaatioista. Layout suunnitelma on asiakkaan hyväksymä ja siinä on huomioitu jo simuloimalla tehty ulottumatarkastelu. Käyttöliittymäsuunnitteluun liittyvä käytettävän tietokannan valitseminen ja muuttujalistan luominen nopeuttaa käyttöliittymäsuunnittelijan työtä huomattavasti.

Jatkokehityskohteina esisuunnittelun aikana kävi ilmi, että levyn läpi työstettävät reiät tyhjennetään myöhemmässä työvaiheessa, jolloin tulevaisuudessa on mahdollisuus lisätä robotisoitu työvaihe, jossa poistetaan irtopalat kappaleesta. Tällaisten kappaleiden käsittely on mahdollista imulaatikkotarttujan ansiosta, sillä imulaatikoiden pinta-ala tarjoaa riittävän pidon myös alueilta missä imuventtiilit ei saa ollenkaan tartuntaa kappaleesta. Työvaihe olisi mahdollista suorittaa jopa samalla robotilla vaihtamalla työkalua, joka tosin vaatisi jälkikäteen asennettavaa työkaluvaihtajaa.

Robottisolu on asiakkaan ensimmäinen, jonka vuoksi keskityttiin operointia helpottaviin ratkaisuihin ja mekaniikan viemään tilaan, jotta mahdollistetaan työstökoneen manuaalinen operointi. Työ ei ole aikakriittistä, vaan prioriteettina on helpottaa operaattoreiden fyysistä työkuormaa ja keskittyä luotettavaan robotin toimintaan ja tarkkaan kappaleiden asettamiseen työstöpöydille. Robotisointi myös vapauttaa henkilöstöresursseja operoinnin ohella muihin tärkeämpiin työtehtäviin.

Opinnäytetyö saavutti tavoitellut lopputulokset tarjoten toimeksiantajalle toteutuskelpoiset ratkaisut automaatio-, mekaniikka ja sähkösuunnittelun tueksi. Esisuunnitteluraportti toimitettiin asiaankuuluville suunnitteluosastoille ja huolellisesti laadittu raportti varmisti käyttökelpoiset ratkaisut. Työn tulokset ovat hyödynnetty täysimääräisesti asiakasprojektin suunnittelussa.

Työssä esitettyjä tuloksia voidaan myös hyödyntää tulevaisuuden projekteissa robotiikan yleistyessä ja onnistunut tarttujamalli soveltuu muidenkin, kuin muovilevyjen vaivattomaan käsittelyyn. Robotiikan ja automatisoinnin globaalin markkina-arvon perusteella vastaavanlainen robottiratkaisu on tulevaisuudessa hyvin mahdollinen. Nykypäivänä teollisuusrobottien halventuneiden hintojen ja tuotantokustannuksien nousun vuoksi myös pienemmät teollisuusyritykset ovat alkaneet integroimaan erilaisia robotiikka- ja automatisointiratkaisuja tuotannon eri vaiheisiin.

LÄHTEET

Albalasie, A. 2016. Modelling, kinematics, dynamics and control design for under-actuated manipulators. Opinnäytetyö.

Beckhoff. 2022a. Indentifiers for variables and instances. Dokumentaatio. Luettu 14.11.2022. https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/12073947403.html&id=

Beckhoff. 2022b. Data types. Dokumentaatio. Luettu 24.11.2022. https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tc3_plc_intro/2529399691.html&id=

Beckhoff. 2022c. TwinCAT 3 ADS. Verkkosivu. Luettu 24.11.2022. https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/automation/twincat/tc1xxx-twincat-3-base/tc1000.html

Beckhoff. 2022d. CX9020 Embedded PC. Käyttöohje. Luettu 15.11.2022. https://download.beckhoff.com/download/document/ipc/embedded-pc/embedded-pc-cx/cx9020_en.pdf

Beckhoff. 2022e. CP37xx-1600 Multi-touch Panel PC. Käyttöohje. Luettu 12.11.2022. https://download.beckhoff.com/download/document/ipc/industrial-pc/CP37xx-1600en.pdf

Fanuc. 2022a. R-2000iD/165FH. Verkkosivu. https://www.fanuc.eu/fi/en/robots/robot-filter-page/r-2000-series/r-2000id-165fh

Fanuc. 2022b. R-2000iD/165FH. Esite. https://www.fanuc.eu/fi/en/robots/robot-filter-page/r-2000-series/r-2000id-165fh

Fanuc. 2022c. R-30iB Maintenance Manual (B-83195EN 02). Luettu 18.11.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

Festo. Air preparation combination unit MSB6. https://www.festo.com/us/en/p/air-preparation-combination-unit-id_MSB6/

Fipa. Area gripper FSG. Esite. https://assets.fipa.com/products/datasheet/bds_fipa-flaechengreifer-fsg-dichtschaum/DataSheet-BDS_FIPA-Flaechengreifer-FSG-Dichtschaum_en_Master.pdf

Laminated Plastics. Nylon. Datalehti. https://laminatedplastics.com/nylon.pdf

Nilsén, F. 2020. Robotiikan ja automaation tulevaisuus sekä standardisointi Suomessa. Hitsaus Tekniikka 1/2020, 2-3.

Standardi ISO 8371.2021. Robotics. Luettu 14.11.2022. https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en

JTA Connection. 2022. Verkkosivu. https://www.jtaconnection.fi/

Lammle, T. 2018. TCP/IP. Indianapolis: Sybex.

Lenarcic, J., Bajd, T. & Stanišić, M. 2013. Robot Mechanisms. Dordrecht: Springer Netherlands.

SQlite. n.d. Documentation. Verkkosivu. Viitattu 3.10.2022.
http://www.sqlite.org/draft/docs.html

Liite 1. Fanuc R-2000iD/165FH esite

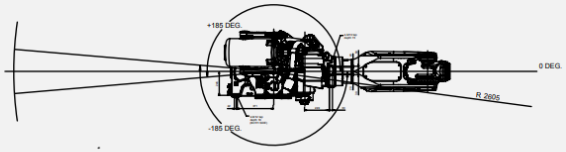
R-2000*i*D/165FH

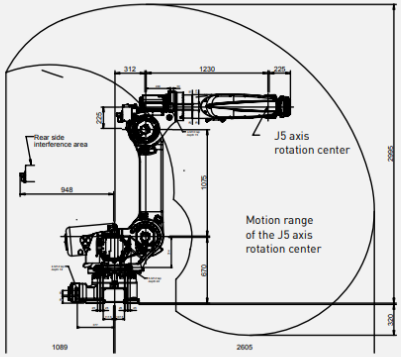
Max. load capacity at wrist: **165 kg**

Max. reach: **2605 mm**

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range (°)						Maximum speed (°/s)						J4 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)	J5 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)	J6 Moment/ Inertia (Nm/kgm²)
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
6	± 0.05*	1130	370	140	234	420	250	420	130	110	115	175	170	280	1000/122	1000/122	620/100

Working range





Robot	**R-2000*i*D/165FH**
Robot footprint [mm]	678 x 536
Mounting position Floor	●
Mounting position Upside down	-
Mounting position Angle	-
Controller	**R-30*i*B Plus**
Open air cabinet	-
Mate cabinet	○
A-cabinet	●
B-cabinet	○
*i*Pendant Touch	●
Electrical connections	
Voltage 50/60Hz 3phase [V]	380-575
Voltage 50/60Hz 1phase [V]	-
Average power consumption [kW]	2.5
Integrated services	
Integrated signals on upper arm In/Out	8/8
Integrated air supply	2
Environment	
Acoustic noise level [dB]	-
Ambient temperature [° C]	0-45
Protection	
Body standard/optional	IP54
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67

● standard ○ on request - not available ( ) with hardware and/or software option *Based on ISO9283

 Technical information subject to changes without prior notice. All rights reserved. ©2020 FANUC Europe Corporation

Vacuum gripping systems | Area gripper FSG

Area gripper with sealing foam

Area gripper with sealing foam

Product notes

> For automated handling of individual products or product layers without changing grippers
> Low noise emissions for a pleasant working environment
> With built-in ejectors or with connection to a central vacuum supply
> With check valves or flow reduction
> The sealing foam can be replaced quickly, non-destructively and without residues
> Area grippers with check valves are suitable for swivel/tilt movements up to less than 90°
> Equipped with vacuum gauge 91.005 as standard
> Other sealing foams (height, shape) on request

Technical data / Dimensions

Item no.	Valve type	Vacuum generation	Number of suction cells	Working pressure [bar (psi)]	Air consumption at 6 bar (87 psi) [Nl/min]	Suction power at 6 bar (87 psi) [Nl/min]	Nominal flow rate [Nl/min]	Suction force at nominal power [N]	Vacuum level [mbar (inHg)]	Weight [kg]	A [mm]	Ø G [mm]	H [mm]
FSG.VG130.295.5F20C2	Check valve	with integrated ejectors	53	4 - 6 (58 - 87)	200	700	--	426	-550 (-16.2)	2.6	295	--	--
FSG.VG130.434.5F20C2	Check valve	with integrated ejectors	83	4 - 6 (58 - 87)	200	700	--	688	-550 (-16.2)	3.3	434	--	--
FSG.VG130.572.5F20C3	Check valve	with integrated ejectors	113	4 - 6 (58 - 87)	300	1,050	--	909	-550 (-16.2)	3.8	572	--	--
FSG.VG130.711.5F20C4	Check valve	with integrated ejectors	143	4 - 6 (58 - 87)	400	1,400	--	1,150	-550 (-16.2)	4.5	711	--	--
FSG.VG130.849.5F20C4	Check valve	with integrated ejectors	173	4 - 6 (58 - 87)	400	1,400	--	1,391	-550 (-16.2)	5.2	849	--	--
FSG.VG130.988.5F20C5	Check valve	with integrated ejectors	203	4 - 6 (58 - 87)	500	1,750	--	1,633	-550 (-16.2)	5.6	988	--	--
FSG.VG130.1126.5F20C6	Check valve	with integrated ejectors	233	4 - 6 (58 - 87)	600	2,100	--	1,874	-550 (-16.2)	7	1,126	--	--
FSG.VG130.1265.5F20C6	Check valve	with integrated ejectors	263	4 - 6 (58 - 87)	600	2,100	--	2,115	-550 (-16.2)	7.4	1,265	--	--
FSG.PG130.295.5F20C2	Flow reduction	with integrated ejectors	53	4 - 6 (58 - 87)	200	700	--	426	-550 (-16.2)	2.6	295	--	--
FSG.PG130.434.5F20C2	Flow reduction	with integrated ejectors	83	4 - 6 (58 - 87)	200	700	--	688	-550 (-16.2)	3.3	434	--	--
FSG.PG130.572.5F20C3	Flow reduction	with integrated ejectors	113	4 - 6 (58 - 87)	300	1,050	--	909	-550 (-16.2)	3.8	572	--	--
FSG.PG130.711.5F20C4	Flow reduction	with integrated ejectors	143	4 - 6 (58 - 87)	400	1,400	--	1,150	-550 (-16.2)	4.5	711	--	--
FSG.PG130.849.5F20C4	Flow reduction	with integrated ejectors	173	4 - 6 (58 - 87)	400	1,400	--	1,391	-550 (-16.2)	5.2	849	--	--
FSG.PG130.988.5F20C5	Flow reduction	with integrated ejectors	203	4 - 6 (58 - 87)	500	1,750	--	1,633	-550 (-16.2)	5.6	988	--	--

FIPA GmbH Headquarters | Germany | Phone: +49 89 962489-0 | www.fipa.com | info@fipa.com
FIPA Inc. | USA | Phone: +1 919 6519888 | www.fipa.com | sales.us@fipa.com

FIPA challenge accepted

Vacuum gripping systems | Area gripper FSG

Area gripper with sealing foam

Technical data / Dimensions

Item no.	Valve type	Vacuum generation	Number of suction cells	Working pressure [bar (psi)]	Air consumption at 6 bar (87 psi) [Nl/min]	Suction power at 6 bar (87 psi) [Nl/min]	Nominal flow rate [Nl/min]	Suction force at nominal power [N]	Vacuum level [mbar (inHg)]	Weight [kg]	A [mm]	ØG [mm]	H [mm]
FSG.PG130.1126.5F20C6	Flow reduction	with integrated ejectors	233	4 - 6 (58 - 87)	600	2,100	--	1,874	-550 (-16.2)	7	1,126	--	--
FSG.PG130.1265.5F20C6	Flow reduction	with integrated ejectors	263	4 - 6 (58 - 87)	600	2,100	--	2,115	-550 (-16.2)	7.4	1,265	--	--
FSG.VG130.295.5F20T	Check valve	central vacuum supply	53	--	--	--	150	320	-300 (-8.9)	2.3	295	32.5	54
FSG.VG130.434.5F20T	Check valve	central vacuum supply	83	--	--	--	300	501	-300 (-8.9)	3	434	32.5	54
FSG.VG130.572.5F20T	Check valve	central vacuum supply	113	--	--	--	400	682	-300 (-8.9)	3.5	572	32.5	54
FSG.VG130.711.5F20T	Check valve	central vacuum supply	143	--	--	--	510	863	-300 (-8.9)	4.2	711	60	49
FSG.VG130.849.5F20T	Check valve	central vacuum supply	173	--	--	--	600	1,044	-300 (-8.9)	4.9	849	60	49
FSG.VG130.988.5F20T	Check valve	central vacuum supply	203	--	--	--	750	1,224	-300 (-8.9)	5.1	988	60	49
FSG.VG130.1126.5F20T	Check valve	central vacuum supply	233	--	--	--	850	1,405	-300 (-8.9)	6.6	1,126	60	49
FSG.VG130.1265.5F20T	Check valve	central vacuum supply	263	--	--	--	950	1,586	-300 (-8.9)	7	1,265	60	49
FSG.PG130.295.5F20T	Flow reduction	central vacuum supply	53	--	--	--	150	320	-300 (-8.9)	2.3	295	32.5	54
FSG.PG130.434.5F20T	Flow reduction	central vacuum supply	83	--	--	--	300	501	-300 (-8.9)	3	434	32.5	54
FSG.PG130.572.5F20T	Flow reduction	central vacuum supply	113	--	--	--	400	682	-300 (-8.9)	3.5	572	32.5	54
FSG.PG130.711.5F20T	Flow reduction	central vacuum supply	143	--	--	--	510	863	-300 (-8.9)	4.2	711	60	49
FSG.PG130.849.5F20T	Flow reduction	central vacuum supply	173	--	--	--	600	1,044	-300 (-8.9)	4.9	849	60	49
FSG.PG130.988.5F20T	Flow reduction	central vacuum supply	203	--	--	--	750	1,224	-300 (-8.9)	5.1	988	60	49
FSG.PG130.1126.5F20T	Flow reduction	central vacuum supply	233	--	--	--	850	1,405	-300 (-8.9)	6.6	1,126	60	49
FSG.PG130.1265.5F20T	Flow reduction	central vacuum supply	263	--	--	--	950	1,586	-300 (-8.9)	7	1,265	60	49

Hinweis

Die Saugkraft ist abhängig vom anzusaugenden Werkstück und der Vakuumerzeugung.
Für Typen mit integrierten Ejektoren kann der angegebene Vakuumgrad nur bei nichtdurchsaugenden Werkstücken erreicht werden.
Bei Typen mit externer Vakuumversorgung sind die Vakuumquelle und der Abstand zur Vakuumquelle für den Vakuumgrad und damit die Saugkraft entscheidend. Der angegebene Vakuumgrad und die angegebene Saugkraft dienen hier nur als beispielhaft Orientierung.
Durch den Einsatz verschiedener Vakuumerzeuger sind sowohl höhere, als auch niedrigere Vakuumgrade/Saugkräfte möglich.

FIPA GmbH Headquarters | Germany | Phone: +49 89 962489-0 | www.fipa.com | info@fipa.com
FIPA Inc. | USA | Phone: +1 919 6519888 | www.fipa.com | sales.us@fipa.com

FIPA challenge accepted

Vacuum gripping systems | Area gripper FSG

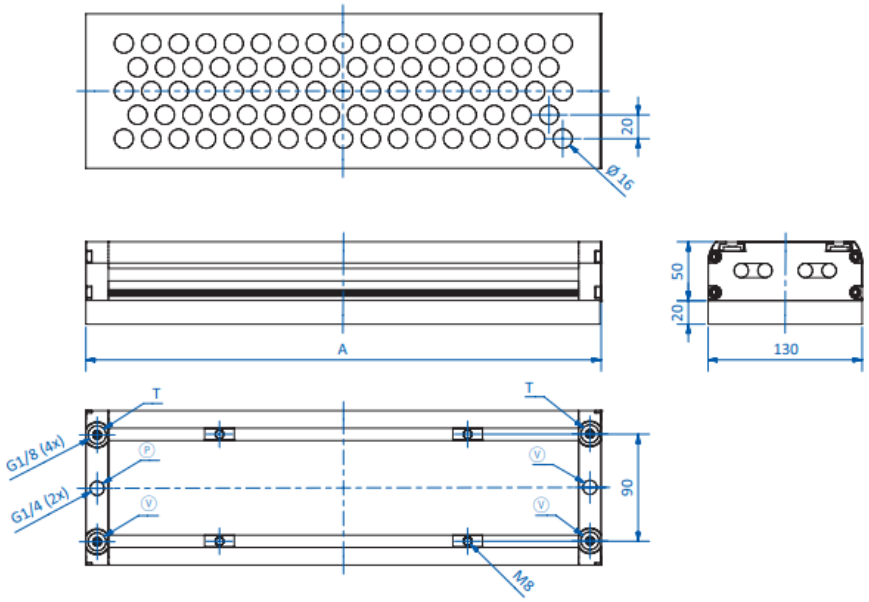
Area gripper with sealing foam

Optional accessories and spare parts

Optional accessories:
> Electronic vacuum switch with display GS02.001
> Electronic vacuum switch GS02.003
> Electronic vacuum and pressure switch 20.026
> Flange module for area gripper FSG.ACC130.0001
> Slot nut 1x M8 for area gripper FSG.ACC130.0002
> Optical sensor with sensor holder FSG.ACC130.0004

Spare parts:
> Spare foam length 295 mm FSG.ACC130.295.5F20
> Spare foam length 434 mm FSG.ACC130.434.5F20
> Spare foam length 572 mm FSG.ACC130.572.5F20
> Spare foam length 711 mm FSG.ACC130.711.5F20
> Spare foam length 849 mm FSG.ACC130.849.5F20
> Spare foam length 988 mm FSG.ACC130.988.5F20
> Spare foam length 1126 mm FSG.ACC130.1126.5F20
> Spare foam length 1265 mm FSG.ACC130.1265.5F20
> Ejector for area gripper FSG.ACC130.0003

Dimensions



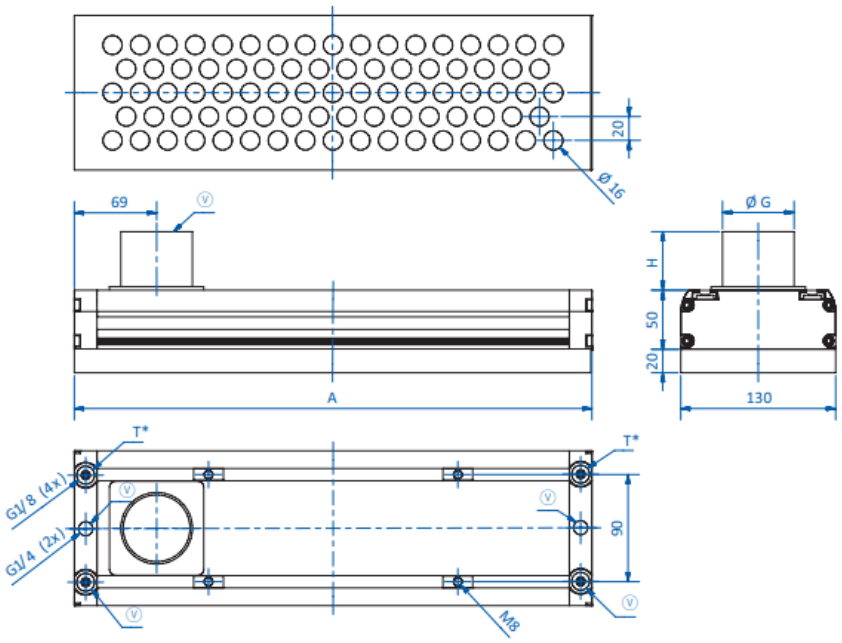
Vacuum generation with intigrated ejectors

P = Compressed air connection V = Vacuum connection T = Transfer line

Vacuum gripping systems | Area gripper FSG

Area gripper with sealing foam

Dimensions



Vacuum generation via central vacuum supply

Ⓟ = Compressed air connection Ⓥ = Vacuum connection * = Transfer line