



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Samuli Snåre

Robottisolun mekaniikkasuunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

4.6.2019

Tekijä Otsikko	Samuli Snåre Robottisolun mekaniikkasuunnittelu
Sivumäärä Aika	40 sivua + 6 liitettä 4.6.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneensuunnittelu
Ohjaajat	Yliopettaja Jyrki Kullaa Pääsuunnittelija Gustav Honkanen
<p>Insinööriä tehtiin yhteistyössä MTC Flextek Oy Ab:n kanssa. Työn tarkoituksena oli tuottaa tarvittavat suunnitelmat ja dokumentaatiot käyttövalmiin robottisolun komponenttien tilaukseen ja valmistukseen. Työssä keskityttiin suunnittelun kannalta tärkeisiin yksityiskohtiin ja valintoihin. Suunnittelussa käytettiin CAD-ohjelmistoa ja dokumentit tallennettiin yrityksen PDM-järjestelmään. Suunnittelutyössä noudatettiin yrityksen työmalleja ja robottisolun vaatimia standardeja.</p> <p>Projektin päätavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa asiakkaalle valmis robottisolu elintarviketeollisuuteen. Asiakkaalla oli tarve saada ihmiselle raskas työvaihe automatisoitua. Solun tehtävänä oli purkaa tuotteita laatikoista, tarroittaa ne ja järjestellä ne uudelle kuormalavalle.</p> <p>Työkierron toteutuksessa käytettiin kahta robottia, jotka toimivat yhteistyössä keskenään. Suunnittelua vaativia osa-alueita projektissa olivat työkalut, pöydät, suojalaitteet, sekä solun layout. Robottien työkaluille tehtiin rasi-laskennat, ja tarvittaessa osille tehtiin lujuuslaskennat. Osto-osat oli mitoitettava tarpeen mukaisiksi.</p> <p>Projektin tavoitteessa onnistuttiin ja robottisolun komponenteista saatiin luotua hankintaan tarvittavat dokumentit. Valmistettavat osat lähtivät valmistukseen ja muut komponentit tilaukseen. Robottisolua aletaan käyttöönottamaan, kun kaikki osat ovat saapuneet MTC Flextekin tuotantotiloihin.</p>	
Avainsanat	Robottisolu, teollisuusrobotti, FANUC, mekaniikkasuunnittelu

Author Title	Samuli Snåre Designing a Robotic Cell
Number of Pages Date	40 pages + 6 appendices 4 June 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Product Design
Instructors	Jyrki Kullaa, Principal Lecturer Gustav Honkanen, Lead Mechanical Design Engineer
<p>This Bachelor's thesis was assigned by MTC Flextek Oy Ab. MTC Flextek is a Finnish company that sells and designs industrial robot systems. This thesis was carried out as one of the company's projects for a client. All the parts and assemblies were designed with a CAD-program and saved in the company's PDM archive. All the mechanical designs comply with MTC Flextek's own regulations and the international standards.</p> <p>The task was to design all the mechanical components for a complete industrial robot system. The client wanted to automate one of their monotonous operations that does not need to be performed by a human worker. The cycle consisted of unpacking the products, putting new stickers on them and reorganizing the products on a new pallet.</p> <p>The robot cell was executed with two FANUC industrial robots. Tools, tables and purchased components needed to be designed and chosen. Some parts required strength calculations and the robot tools needed stress calculations as well. All the purchased components had to be dimensioned to fit the purpose.</p> <p>As a result, the project was completed successfully and all the desired documents were produced. All the components were ordered and the installation of the robot cell can be started when the components arrive.</p>	
Keywords	Industrial robot, robot cell, FANUC, mechanical engineering

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	MTC Flextek Oy Ab	2
3	Robottiikka teollisuudessa	3
3.1	Käyttökohteet	3
3.2	Yleiset robottityypit	5
3.2.1	Nivelvarsirobotti	5
3.2.2	SCARA-robotti	6
3.2.3	Rinnakkaisrakenteiset robotit	6
3.2.4	Lineaariset robotit	6
3.3	Tarraimet ja työkalut	7
3.4	Turvalaitteet	7
4	Suunnitteluun käytetyt ohjelmistot	10
5	Robottisolun alustava suunnittelu	11
5.1	Työkappaleet	11
5.2	Nykyinen työmenetelmä	12
5.3	Automatisoidun työkierron määrittely	12
5.4	Robottien valinta	13
5.4.1	M-710iC/45M	14
5.4.2	LR Mate 200iD	15
5.5	Kappaleen paikoitus	16
5.6	Layout	17
5.7	Robottisolun ostokomponentit	19
5.7.1	Kuljettimet	20
5.7.2	Tarratulostinapplikaattori ja viivakoodinlukija	20
5.7.3	Pahvipuristin ja käärintäkone	21
5.7.4	Kamera ja laser	21
6	Robottien työkalujen suunnittelu	22

6.1	Hitausmomenttien aiheuttaman rasituksen laskeminen	22
6.2	LR Maten avaajatyökalu	24
6.3	M710 imukuppitarttuja	26
7	Pahvilaatikoiden avauspöydän suunnittelu	28
7.1	Hitsattu runkorakenne	29
7.2	Lattiakiinnitys	30
7.3	Laatikon tartuntamekanismit	31
8	Suojalaitteiden suunnittelu	33
8.1	Suoja-aidat	33
8.2	Valoverhot	34
8.3	Hätäpysäyttimet	36
9	Yhteenveto	37
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. M-710iC/45M Tekniset tiedot	
	Liite 2. LR Mate 200iD Tekniset tiedot	
	Liite 3. Piab B75XP Tekniset tiedot	
	Liite 4. Sylinterin valintataulukot	
	Liite 5. Piab BX52P Tekniset tiedot	
	Liite 6. Axelent turvaetäisyydet	

Lyhenteet

CAD	<i>Computer Aided Design</i> , tietokonetta hyödyntäen tapahtuva suunnittelutyö. CAD-ohjelmiston käyttäminen helpottaa suunnittelutyön visualisointia ja simulointia kolmiulotteisten mallien avulla.
FEM	<i>Finite Element Method</i> , lujuusopin elementtimenetelmä. Tarkasteltava kappale jaetaan pienempiin laskettaviin elementteihin, joiden avulla muodostetaan rakenteen laskentamalli.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> , kansainvälinen standardisoimisjärjestö.
PDM	<i>Product Data Management</i> , tuotetiedon hallintaympäristö, jossa säilytetään suunnitteluun liittyviä malleja, piirustuksia ja muita dokumentteja.
SFS	Suomen standardoimisliitto, SFS on ISO:n jäsen.

1 Johdanto

Teollisuusrobotti on automaattisesti ohjattava ja uudelleenohjelmoitava monikäyttöinen laite, jolla on vähintään kolme ohjelmoitavaa akselia (SFS-EN ISO 10218-1 2011). Teollisuusrobotti on tehokas työkalu yrityksen kilpailukyvyyn kasvattamiseksi. Tuotannosta tulee joustavampaa ja tehokkaampaa, kun yksinkertaiset työtehtävät automatisoidaan robotin hoidettavaksi. Laatu paranee ja materiaalihukka pienenee, sillä robotti hoitaa työkiertonsa aina samalla tavalla ja ihmiskykyä tarkemmin. Monesti roboteilla korvataan ihmiselle liian yksitoikkoiset, haastavat, vaaralliset tai epäergonomiset työt, jolloin työntekijät voidaan ohjata mielekkäämpiin tehtäviin ja työhyvinvointi edistyy.

Tämä insinööriyö suoritetaan yhteistyössä MTC Flextek Oy Ab:n kanssa. Projektin tavoitteena on toimittaa elintarviketeollisuuden yritykselle robottisolun, joka purkaa tuotteita pahvilaatikoista ja uudelleen järjestee ne. Asiakasyritys ja käsiteltävä tuote jätetään opinnäytetyössä nimeämättä salassapitosyistä. Robottisolun kattaa standardin SFS-EN ISO 10218-1 (2011) mukaan robotit ja niiden työkalut, sekä kaikki muut robottisolun toimintaan liittyvät laitteet ja anturit. Projektin pääasiallisena tavoitteena on korvata ihmisen tekemä yksitoikkoinen laatikoiden avaus robotilla, ja viedä asiakasyrityksen toimintaa nykyaikaisempaan ja tehokkaampaan suuntaan.

Insinööriyö rajautuu robottisolun mekaniikkasuunnitteluun ja tarvittavien valmistusdokumentaatioiden luomiseen. Työssä keskitytään käsittelemään olennaisia suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ja rajataan pois yksittäisiin komponentteihin kohdistuvaa tarkastelua. Suunnittelu suoritetaan MTC Flextekin vakiomallien ja kansainvälisten standardien mukaisesti, järjestelmällisesti, sekä tuttuja työkaluja apuna käyttäen. MTC Flextek on Fanucin yhteistyökumppani, joten solu suunnitellaan ja toteutetaan Fanucin robottien ympärille.

2 MTC Flextek Oy Ab

MTC Flextek Oy Ab on suomalainen teollisuuden koneita ja palveluita markkinoiva yritys, joka tarjoaa laajan valikoiman robotiikkaa, työstökoneita, ruiskuvalukoneita sekä niiden oheislaitteita. Yritys räätälöi asiakkaan toiveiden mukaisia kokonaisuuksia kilpailukykyisempään tuotantoon. Automaattioratkaisut parantavat koneiden käyttöastetta mahdollistamalla miehittämättömän tuotannon. MTC Flextekillä työskentelee 85 ammattitaitoista osaajaa kymmenellä eri toimipisteellä Suomessa. Suomen pääkonttori sijaitsee Pirkkälässä ja robotiikan toimipiste Nurmijärvellä. Yrityksellä on tytäryhtiö Baltiassa.

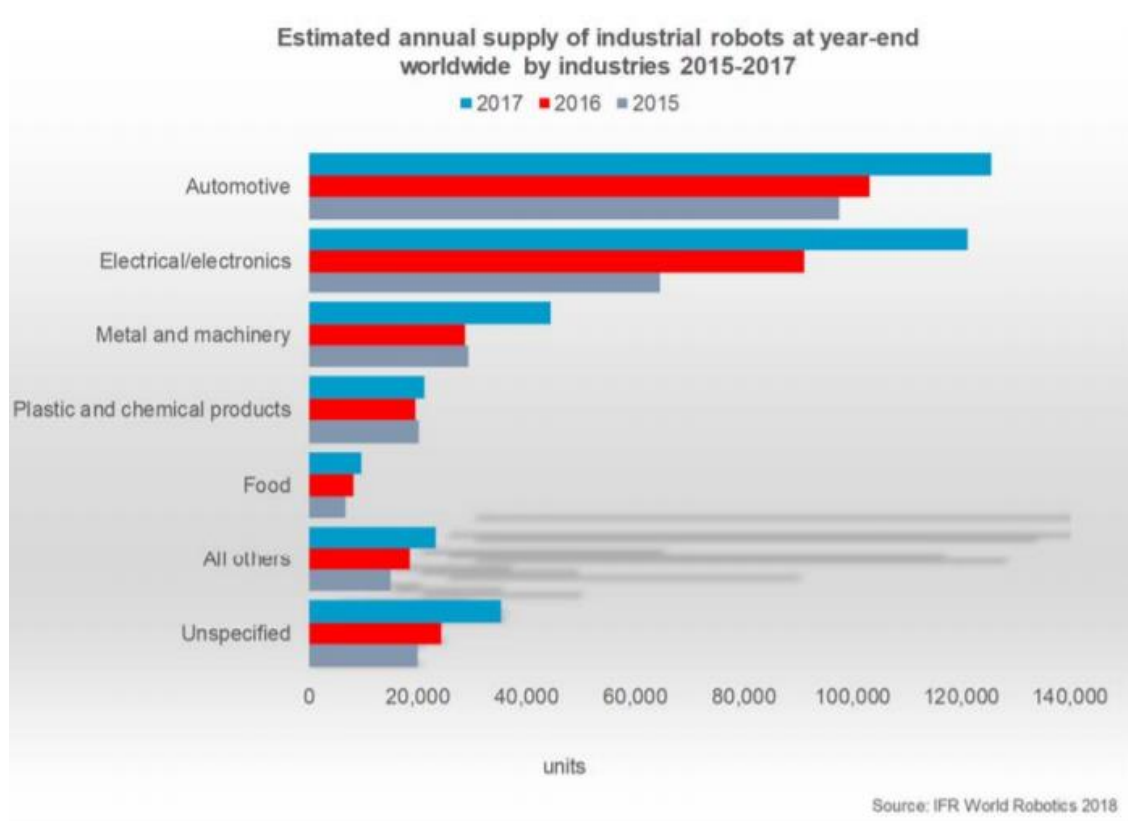
MTC Flextek on kokenut tekijä robotiikan automaattioratkaisuissa. Yrityksellä on yli 2 000 toimitetun robottiratkaisun kokemus 1980-luvulta lähtien. Haastavia tuotekehitysprojekteja on toimitettu lukuisille eri toimialoille. MTC Flextek on japanilaisen robottivalmistaja Fanucin yhteistyökumppani. Fanuc lukeutuu yhdeksi maailman suurimmista teollisuusrobottien toimittajista. Heidän robottivalikoimansa koostuu yli sadasta mallista, mikä mahdollistaa niiden hyödyntämisen monipuolisesti erilaisissa teollisuuden käyttökohdeissa. Fanucilla on hallussaan maailman vahvin robotti, jonka käsittelykyky on 2 300 kg. Tätä robottia on hyödynnetty myös MTC Flextekin toimittamissa raskaan kaluston automaattioratkaisuissa.

(MTC Flextek Oy yritysesittely.)

3 Robotiikka teollisuudessa

3.1 Käyttökohteet

Robotiikan suurimmat hyödyntäjät maailmalla löytyvät auto- ja elektroniikkateollisuudesta (kuva 1). Autoteollisuus työllistää suuren määrän robotteja, koska robottilinjat ovat suuria ja yhtä työvaihetta voi olla suorittamassa useampi robotti. Autokorien osat ovat painavia ja vaikeita ihmisten käsiteltäviksi. Vuosien 2008/2009 talouskriisin jälkeen autoteollisuudessa on tehty isoja investointeja tuotantoon, ja se heijastuu myös robottien myyntiin.

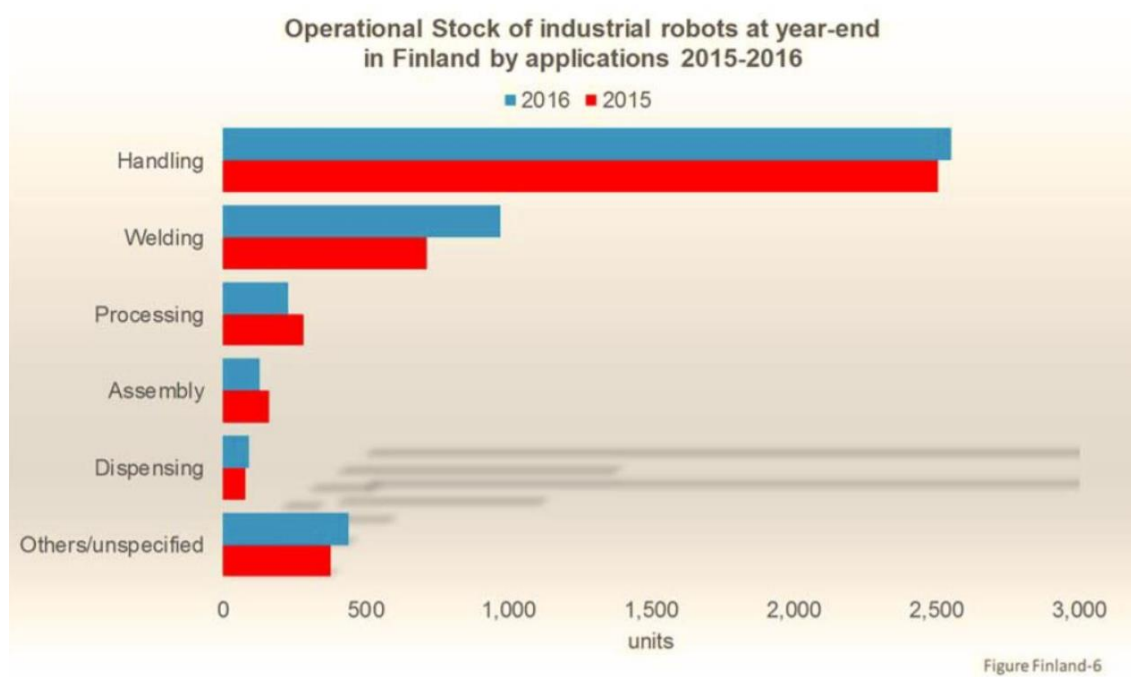


Kuva 1. Robottien jakautuminen eri teollisuuden alojen välillä (Executive summary world robotics 2018 industrial robots 2018).

Lähes samoissa luvuissa autoteollisuuden kanssa tulee elektroniikkateollisuus. Elektroniikkatuotteiden kasvava kysyntä on pakottanut tuotannon kehittymistä automaation alueella. Akkujen, piirilevyjen ja näyttöjen valmistus on vaatinut nopeampaa tuotantoa ja

enemmän robotteja. Tyypillisiä elektroniikkateollisuuden robottisovelluksia ovat kokoonpanosolut, joissa robotilta vaaditaan tarkkuutta ja nopeutta. Komponentit ovat pieniä ja tahtiajat lyhyitä. Elektroniikkateollisuuden tuotanto sijaitsee lähes kokonaan Aasiassa (Executive summary world robotics 2018 industrial robots 2018).

Suomessa robotiikkaa on selkeästi eniten hyödynnettyä tuotteiden käsittelyyn (kuva 2). Käsittelyssä suosittuja kohteita ovat koneiden palvelusolut, tuotteiden käsittelysolut sekä pakkaussolut.



Kuva 2. Robottien käyttökohteet suomessa 2015–2016 (Teollisuusrobottilastot 2016).

Toinen suosittu käyttökohde roboteille suomessa on hitsaus. Roboteilla suoritettu hitsaaminen on tarkkaa ja tehokasta. Railon seurantalaitteistoilla robotit pystyvät suorittamaan tarkkaa hitsaamista, vaikka työkappaleessa olisikin geometrisia poikkeamia.

3.2 Yleiset robottityypit

Ei ole olemassa yhtä robottia, joka toimisi jokaiseen sovellukseen. Robottien käyttökohdeet vaihtelevat, ja sen takia roboteilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia. Robotit voidaan jakaa eri robottityyppeihin rakenteen ja ominaisuuksien perusteella. Kuvassa 3 on esitelty tyypillisiä rakenteita roboteille.



Kuva 3. Yleisiä robottityyppejä: vasemmalta oikealle lineaarinen robotti, rinnakkaisrakenteinen robotti, SCARA-robotti ja nivelvarsirobotti (Five types of industrial robots and how to choose the best fit 2018).

Eri robottityyppien alta löytyy suuri valikoima erilaisilla nopeuksilla, voimilla ja ulottumilla varustettuja robotteja. Nivelvarsirobottien rakenne mahdollistaa niiden käyttämisen melkein mihin tahansa käyttökohteeseen, kun taas muiden robottityyppien rakenne rajoittaa kohteet monesti tarkemmin.

3.2.1 Nivelvarsirobotti

Nivelvarsirobotit ovat suosituin ja monipuolisin robottityyppi. Ne koostuvat yleensä kuudesta akselistä ja ulottuvat lähes täydellistä palloa muistuttavalle alueelle toisen akselinsa ympärille. Akselit nimetään tyypillisesti numeroilla yhdestä kuuteen. Ensimmäinen akseli pyörittää robotin pohjarunkoa ja kuudes akseli työkalun kiinnitystä. Valmistajat jaottelevat malleja toisistaan suurimpien käyttöhalkaisijoiden ja käsittelykykyjen perusteella. Nivelvarsirobotit voidaan myös asettaa lattiaan kiinnitettävälle robottiradalle,

jolloin niiden työskentelyaluetta saadaan laajennettua. Robottirata koostuu johteista ja johteilla liikkuvasta robottikelkasta. Nivelvarsirobotteja pystytään hyödyntämään melkein kaikissa käyttökohteissa, mutta erityisen hyviä ne ovat esimerkiksi hitsaus-, palvelu-, pakkaus- ja käsittelysoluissa. Moniakseliset robotit ovat hyviä investointikohteita, sillä ne voidaan usein tulevaisuudessa valjastaa uusiin käyttökohteisiin monipuolisten liikeratojen ansiosta.

3.2.2 SCARA-robotti

SCARA-roboteilla on perinteisesti neljä vapausastetta. Kolme kiertyvää vapausastetta ja yksi lineaarisesti ylös/alas liikkuva vapausaste. SCARA-robottien etuja ovat nopeat liikkeet ja kevyt, mutta tukeva rakenne. Hyviä käyttökohteita ovat erilaiset kokoonpanotehtävät. SCARA-robotit ovat suosittuja elektroniikkatuotteiden kokoonpanoissa, koska niillä on hyvä tarkkuus ja nopeat liikkeet.

3.2.3 Rinnakkaisrakenteiset robotit

Rinnakkaisrakenteiset robotit on usein asennettu roikkumaan työalustan yläpuolelle. Ne toimivat kolmesta pisteestä lineaarisesti liikkuvilla laipoilla. Työalue on yleensä rajoitetulla tasolla. Etuja ovat liikkeiden nopeus ja tarkkuus. Rinnakkaisrakenteiset robotit ovat erittäin hyviä käsittelyrobotteja. Konenäköön yhdistettynä ne voidaan asettaa esimerkiksi kuljettimen yläpuolelle suorittamaan nopeaa ja tarkkaa tuotteiden käsittelyä. Rinnakkaisrakenteisia robotteja käytetään myös kokoonpanotehtävissä.

3.2.4 Lineaariset robotit

Lineaarirobotit ovat monesti isoja ja yksinkertaisia liikkeiltään. Niitä kutsutaan myös portaaliroboteiksi. Ne liikkuvat lineaarisesti johteilla X, Y, Z-suunnissa. Tukevan rakenteen ansiosta niitä voidaan hyödyntää isoilla alueilla ja raskaille kappaleille. Yleisiä kohteita ovat esimerkiksi tuotteiden käsittely ja koneiden palvelu. Lineaarirobotteja voidaan käyttää myös pitkien saumojen liittämiseen hitsaamalla tai liimaamalla, sillä niiden rakennetta ja työaluetta voidaan helposti jatkaa tarpeen mukaan.

3.3 Tarraimet ja työkalut

Tarrain on yleinen työkalu, jota käytetään robotiikassa kappaleiden liikuttamiseen. Tarraintyökalun tartuntamenetelmä valitaan työkappaleen ominaisuuksien perusteella. Työkappaleen vaihteleva koko, materiaali, massa ja vaihteleva asema voivat aiheuttaa ongelmia tarttumisessa. Yleisiä tartuntamenetelmiä ovat paineilmalla, hydraulikalla ja sähkömoottoreilla toimivat kaksi- tai kolmileukaiset tarraimet, alipainetta hyödyntävät imukuppitarttujat, sekä magneettitarttujat. Tartunnassa voidaan hyödyntää työkappaleen muotoja, jolloin toimilaitetta ei aina edes tarvita. Työkappaleisiin voidaan myös asentaa erillinen nollapisteadapteri, jos kappaleen muoto tai rakenne ei salli muita tartuntamenetelmiä. Adapterille sopiva vastakappale asennetaan robotille, jolloin kappaleesta saadaan varma ja paikoitettu ote. Joskus on myös parempi tehdä muutoksia itse työkappaleeseen paremman tarttumisen saavuttamiseksi. Tarrain on hyvä varustaa oikeanlaisella anturoinnilla, jotta robotti saa signaalin onnistuneesta tartunnasta.

Muita mahdollisia työkaluja roboteille on hitsauspistooli, ruuviväännin, liima-/maaliruisku, hiekkapuhallin, tai vaikka hiomalaikka. Roboteille on mahdollista soveltaa lähes mitä tahansa työkalua tarpeen mukaan ja yhdellä robotilla voi olla samaan aikaan useampi työkalu.

Tuotannon joustavuuden lisäämiseksi robotit varustetaan usein työkalunvaihtojärjestelmällä. Vaihtojärjestelmä mahdollistaa useamman työkalun käytön yhdellä robotilla, jolloin yhdellä robotilla voidaan mahdollisesti suorittaa useamman robotin työt. Aina työkalunvaihto ei kuitenkaan ole mahdollista, jos työvaiheiden tahtiaika on nopea. Työkalunvaihtojärjestelmä on myös oiva tapa mahdollistaa solun käyttö jatkossa lisätarttujia vaa-
tiville uusille kohteille.

3.4 Turvalaitteet

Robottisolun liittyy paljon turvallisuusriskejä, joita pyritään minimoimaan erilaisilla turvalaitteilla. Robottisolun turvalaitteiden valinta ja suunnittelu toteutetaan standardin SFS-EN ISO 10218-2 mukaisesti.

Layoutia suunniteltaessa on huomioitava hyvä näkyvyys kulkuaukkojen, turvakytkimien ja ohjausyksikön sekä vaara-alueen välillä. Robotin kuittauksen ja automaattisen kierron käynnistyksen tulee tapahtua vaara-alueen ulkopuolelta. Työkalujen ja työkappaleiden vaihtuessa alueiden rajat voivat muuttua, ja se on huomioitava layoutissa. (Kuivanen 1999: 170.)

Usein robottisolun rajataan fyysisesti suoja-aidoilla. Erilaisia suoja-aitoja on markkinoilla paljon, ja suoja-aita tulee valita sopivaksi käyttökohteen kanssa. Hitsaussolun kirkas valokaari ja hitsauksesta aiheutuvat kaasut sekä jäysteenpoistosolun lentävät partikkelit vaativat ympärilleen umpinaiset seinät suojelemaan ympäristöä. Jos robottisolussa tapahtuva työ ei aiheuta ympäristönsä erityisvaaroja, voidaan aitauksessa käyttää kuvan 4 mukaista verkkomateriaalia. Verkosta valmistettu aita on yleensä umpinaista edullisempaa.



Kuva 4. Verkkosuoja-aita (X-guard technical information).

Kaikkien robottisolun kulkuaukkojen tulee olla valvottuja. Kulkuoviin voidaan asentaa anturit, jotka välittävät robotille tiedon ovien asennosta. Jos ovi on lähellä robotin vaara-alueetta, siihen voidaan asentaa elektroninen suojalukko. Suojalukko estää oven avaamisen ennen robotin pysähtymistä.

Avoimia kulkuaukkoja robottisoluun voidaan valvoa valoverhoilla ja turvalaserskannereilla. Valoverho toimii lähettimen ja vastaanottimen avulla muodostaen suoraviivaisen yhteyden niiden välille. Vastaanotin lähettää ohjausyksikölle tiedon, jos valosäde katkeaa laitteiden välillä. Valoverhoissa käytetään infrapunavaloa, joka ei näy paljaalla silmällä. Turvalaserskannerit muodostavat kääntöpeilin avulla ympärilleen valvottavan alueen, joka on muodoltaan sektori. Sektorin säteiden pituudet ja niiden väliset kulmat vaihtelevat paljon eri mallien välillä. Skanneri mittaa alueelle tulevan objektin etäisyyttä valon kulkuajan perusteella. Yhdellä skannerilla voidaan valvoa kulkuaukkoja useammasta eri kulmasta. Skannerin avulla turva-alue voidaan jakaa vyöhykkeisiin sen mukaan, mitä lähempänä vaaraa liike tunnistetaan. Kaukana tapahtuva liike voi hidastaa robotin liikenopeuksia ja vasta lähemmäksi tullessa pysäyttää robotin liikkeen kokonaan.

Robottisolun ympäristön liikennettä voidaan tarkastella turvamatoilla tai turvakameroilla, jos muihin turvalaitteisiin ei voida luottaa. Turvamatot toimivat optisia turvalaitteita luotettavammin likaisessa työympäristössä. Turvamatot sijoitetaan robottisolun vaara-alueen ulkopuolelle. Ne välittävät ohjausyksikölle tiedon, kun niiden päälle astutaan. Turvamattojen aktivointi toteutetaan yleensä pneumaattisesti tai sähkömekaanisesti. Pneumaattinen turvamatto tunnistaa kasvavan paineen paineanturin kautta. Sähkömekaanisesti toteutetut turvamatot ovat pneumaattisia yleisempiä. Sähköllä aktivoituvat turvamatto koostuu sähköpiiristä, joka aukeaa tai sulkeutuu riittävän kosketuspaineen alla. Turvakameroita on markkinoilla vähän, ja niiden käyttö on harvinaisempaa. Turvakamerat toimivat samalla periaatteella kuin muutkin konenäköön perustuvat sovellukset tunnistuen videokuvalla tapahtuvat muutokset. Turvakameran avulla turva-alueiden paikat ja muodot voidaan valita vapaasti.

Luotettavasti toimiva hätäpysäytin on robottisolulle välttämätön suojalaite. Lisäksi robottisoluun voidaan asentaa valomajakka ilmoittamaan robotin tilasta, sekä varoituskylttejä muistuttamaan varovaisuuden noudattamisesta robottisolun läheisyydessä.

4 Suunnitteluun käytetyt ohjelmistot

Kaikki projektin suunnittelu ja mallinnus suoritettiin ranskalaisen Dassault Systèmesin valmistamalla Solidworks-ohjelmistolla. Solidworks on parametrinen 3D-mekaniikka-suunnitteluohjelmisto, josta löytyy tarvittavat työkalut osamallien, osakokoonpanojen ja valmistusdokumenttien laatimiseen. Parametrinen suunnitteluohjelman etuna on mallien helppo muokattavuus suunnittelun eri vaiheissa. Osamalleihin tehdyt muutokset päivittyvät automaattisesti piirustuksiin ja kokoonpanoihin, joissa osa esiintyy. Kaikki osat mallinnettiin tilavuusmalleina, jolloin niistä voidaan lukea fyysiset ominaisuudet. Tilavuusmallien ominaisuuksien avulla voidaan laskea tarvittavat lujuuslaskennat ja rasituslaskennat. Solidworksin käyttömahdollisuuksia voi laajentaa apuohjelmilla, kuten ohutlevy-suunnittelu-, simulaatio- tai sähkösuunnittelutyökaluilla (Tietoa Solidworksista). Komponenttien 3D-mallinnus on erityisen hyödyllistä robottien ulottuvuuksia ja rakenteiden rasituksia tarkastellessa.

Kaikki suunnitellut mallit ja kokoonpanot tallennettiin Solidworksin PDM:ään, eli tuotetiedon hallintajärjestelmään. Solidworks PDM toimii integroituna suunnitteluohjelmistoon, mikä mahdollistaa mallintamisen ja tuotetiedon hallinnan sulavan yhteistoiminnan. PDM-järjestelmä helpottaa suunnittelua ja suunnittelijoiden välistä yhteistyötä. Entuudestaan suunniteltuja komponentteja ja kokoonpanoja voidaan hakea järjestelmästä ja hyödyntää uudelleen tulevaisuuden projekteissa. Suunniteltujen osien uudelleenkäytämällä säästetään suunnittelutunteja. PDM-järjestelmään tallennettuja malleja voidaan käyttää hyödyksi myös ilman CAD-ohjelmistoa. Tämä mahdollistaa mallien hyödyntämisen muissa yrityksen osastoissa. Myynti voi käyttää mallien tietoja myynnin tukena ja projektipäällikkö voi seurata suunnittelun edistymistä järjestelmän kautta. PDM-järjestelmä helpottaa komponenttien hinta-arvion luomista ja osien tilaamista.

Työkaluista aiheutuvia rasituksia laskettiin Microsoft Excelin pohjalle tehdyllä laskurilla. Laskuriin saatiin tarvittavat tiedot CAD-mallien ominaisuuksista. Työkalujen rasituslaskenta on usein toistuva työvaihe, joten valmis laskuri nopeuttaa suunnittelun etenemistä.

5 Robottisolun alustava suunnittelu

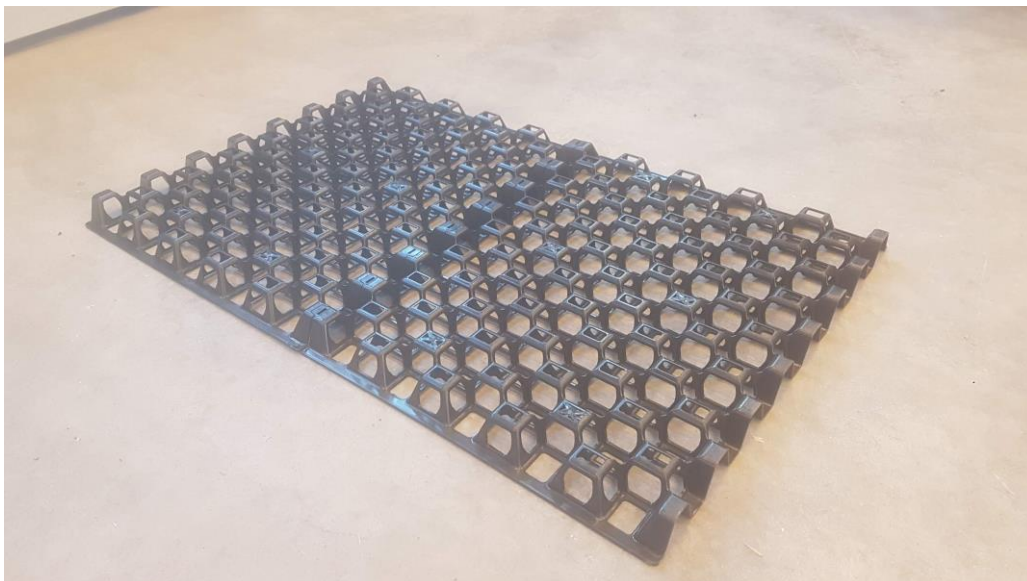
Suunnittelun osalta projekti jakautuu karkeasti neljään osaan. Alustavassa suunnitteluvaiheessa vertaillaan vaihtoehtoisia komponentteja ja päätetään yleinen linja solun laitteista. Suunnitteluvaiheessa solun komponentit suunnitellaan yksityiskohtaisemmin ja luodaan valmistusdokumentaatiot. Käyttöönottovaiheessa asennetaan laitteet, vedetään sähköt ja ohjelmoidaan robotit. Viimeinen vaihe on käyttövaihe, jossa tehtyä investointia pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti. (Kuivanen 1999: 93.)

Robottisolun suunnittelussa ajatustyöllä ja alustavalla suunnittelulla on suuri merkitys lopputuloksen kannalta. Alustavassa suunnittelussa valitaan sopivat robotit, jotka pitkälti määrittelevät layoutin, sekä tarttujien rakenteen. Alustava suunnittelu on tehtävä huolellisesti, sillä isoja muutoksia on vaikeampi toteuttaa projektin myöhemmissä vaiheissa.

5.1 Työkappaleet

Ensisijaisena työkappaleena oli asiakasyrityksen valmistama tuote, sekä sen varastointiin tarvittava laatikko. Laatikko on valmistettu pahvista ja tuote on kääritty muoviin. Laatikon ulkomitat ovat 28,5 x 19 x 37,5 cm. Tuote painaa 20 kg ja on ulkomitoiltaan laatikkoa pienempi. Tuotteella on siis tilaa liikkua laatikon sisällä. Suunnittelua helpottavana tekijänä oli, että solussa ajettiin vain yhtä vakiomittaista kappaletta.

Käsiteltyjä tuotteita pinotaan kerroksittain kuormalavalle. Toisena työkappaleena solussa tulee liikuttaa valmiiden kerrosten väliin tulevaa välilevyä. Välilevy tukee tuotteista muodostuvaa tornia. Levy on valmistettu muovista ja painaa 2,7 kg. Se on 79,5 cm leveä ja 119 cm pitkä (kuva 5).



Kuva 5. Muovinen välilevy.

Levyssä on symmetrisesti toistuva muoto, minkä vuoksi siitä pystyttiin saamaan tukeva ote ilman liikkuvaa mekanismia. Levyt asetetaan soluun kuormalavalla, ja ne asettuvat lomittain pinoon toistensa päälle. Levyjen väliin jäävä rako on pieni, joten robotilta vaaditaan tarkkuutta poiminnassa.

5.2 Nykyinen työmenetelmä

Tuotteita säilytetään pahvilaatikoiden sisällä varastoituina. Operaattorit noutavat pahvilaatikot varastosta pumppukärryillä ja purkavat ne käsin kuormalavalle. Tuotteisiin kiinnitetään tarrat ja tyhjtä laatikot viedään kierrätyspisteelle. Yhdellä kuormalavalla varastoidaan 40 laatikkoa, joiden yhteismassa on 800 kg. Työvaihe on ihmiselle erittäin raskas, epäergonominen ja yksitoikkoinen. Tästä syystä työvaihe halutaan tulevaisuudessa suorittaa robotilla.

5.3 Automatisoidun työkierron määrittely

Alkuperäisen työkierron pohjalta listattiin tarvittavat työvaiheet, ja sovitettiin ne roboteilla toteutettavaan muotoon.

- Operaattori noutaa varastosta täyden kuormalavan ja toimittaa sen robottisoluun varatulle paikalle. Soluun tuodaan myös tyhjä lava, jolle valmiit puretut ja tarroitetut tuotteet pinotaan. Kolmannella lavalla tuodaan valmiiden kerrosten väliin asetettavat muoviset välilevyt.
- Ensimmäinen robotti kuvaa täyden lavan ja paikoittaa laatikot.
- Robotti noutaa laatikon ja tunnistaa sen viivakoodinlukijalla.
- Laatikko toimitetaan seuraavalle pisteelle, jossa mekaaninen pöytä paikoittaa ja lukitsee laatikon paikoilleen.
- Toinen robotti leikkaa laatikon kannen auki veitsellä.
- Ensimmäinen robotti noutaa tuotteen paketista, kiinnittää siihen uuden tarran ja siirtää sen tyhjälle lavalle.
- Täysien kerrosten välissä robotti asettaa välilevyn paikoilleen.
- Toinen robotti työntää tyhjän pahvin ulos solusta jätekuljettimelle, joka vie pahvin viereiseen huoneeseen kierrätettäväksi.
- Solu toistaa kiertoa, kunnes kaikki tuotteet on koottu lavalle noutovalmiuteen.

5.4 Robottien valinta

Robotti on aina mitoitettava käyttökohteeseen sopivaksi. Fanucilla on laaja valikoima erilaisia nivelvarsirobotteja, joten jokaiseen tehtävään löytyy sopiva robotti. Robotilta täytyy löytyä tarvittavat käsittelykyvyt ja nopeudet, sekä ulottuvuudet eri asennoissa. Moneksi ylimitoitettu ulottuma ja käsittelykyky ei ole tarpeen, ja usein siitä on vain haittaa. Pitkällä ulottumalla varustettu robotti ei välttämättä pääse pisteeseen lähellä runkoaan, ja suurella käsittelykyvyllä toimiva robotti liikkuu moninkertaisesti kevyempää versiota

hitaammin. Jokaisella robotilla on yksilölliset kinemaattiset rajoitukset. Akselien kiertymien rajoitukset ja runkorakenteiden pituudet määrittelevät työalueen. Joissain käyttökohteissa voidaan tarvita erityisellä rakenteella valmistettu robotti, jonka akselien kiertymät mahdollistavat laajemman työskentelyalueen. Robotti voidaan myös asentaa seinälle tai ylösalaisin, tarvittavan työalueen saavuttamiseksi.

5.4.1 M-710iC/45M

Solun päätoimiseksi robotiksi valittiin Fanucin M-710iC/45M (kuva 6). Robotilla on 45 kg:n käsittelykyky, joka jättää 20 kg painavan kappaleen jälkeen 25 kg pelivaraa tarttujan massalle (liite 1). Tämä malli on nopea liikkeissään, ja sillä on suuri 2 606 mm:n ulottuma. Se sopii hyvin järjestelmään, jossa yhdellä robotilla on suoritettava useita toimenpiteitä. M-710-sarjan robotit sijoittuvat pienten ja keskikokoisten robottien luokkaan Fanucin tarjonnassa.



Kuva 6. Fanuc M-710iC/45M.

Robotti itsessään painaa 570 kg ilman lisävarusteita. Robotti kiinnitetään lattiaan ankkuripulteilla, ja sen asennus vie vähän lattian pinta-alaa.

5.4.2 LR Mate 200iD

Toisena robottina solussa päädyttiin käyttämään LR Mate 200iD-robottia (kuva 7). LR Mate on Fanucin pienimpiä robotteja. Se painaa vain 25 kg ja on kooltaan noin ihmisen käsivarren kokoinen. Tämän robotin suurimpia etuja ovat sen pieni koko ja nopeat liikkeet. LR Mate on helppo asentaa myös vaikeisiin paikkoihin sen alhaisen painon ja pienen asennuspinta-alan ansiosta.



Kuva 7. LR Mate 200 iD.

Liitteestä 2 nähdään, että robotin ulottuma on 717 mm ja käsittelykyky 7 kg. Käsittelykyky asetti työkalun suunnittelulle sen kriteerin, että robotilla on oltava työkalun liikuttamisen lisäksi voimaa leikata laatikkoa.

5.5 Kappaleen paikoitus

Robotin on saatava jotain kautta tieto käsiteltävän kappaleen sijainnista ja asennosta. Kappaleiden paikoitus voidaan suorittaa joko mekaanisesti ihmisen toimesta, taikka konenäön avulla. Mekaaninen paikoitus vaatii solun käyttäjältä enemmän työtä ja tarkkuutta, mutta nopeuttaa samalla robotin toimintaa. Konenäön etuna taas on robottisolun työkappaleiden vaivaton täydentäminen, sekä operaattorin tarkkuudesta aiheutuvien virheiden minimoiminen. Paikoitusmenetelmä valitaan usein kappaleen ominaisuuksien, sekä työkierron tahtiajan pohjalta.

Kappale voidaan paikoittaa mekaanisesti robotin tai operaattorin toimesta. Mekaanisessa paikoituksessa hyödynnetään kappaleen ominaisuuksia. Kappaleelle voidaan suunnitella paikoittava jigi, johon operaattori asettelee kappaleet ennen solun käynnistämistä. Kappale voidaan myös ajaa robotilla tunnettuun orientaatioon uudelleenpaikoitusasemassa, minkä jälkeen robotti uusii otteensa ja saa varmuuden kappaleen oikeasta asennosta. Tällaista työvaihetta voi tarvita esimerkiksi ennen ahion asettamista työstökoneeseen.

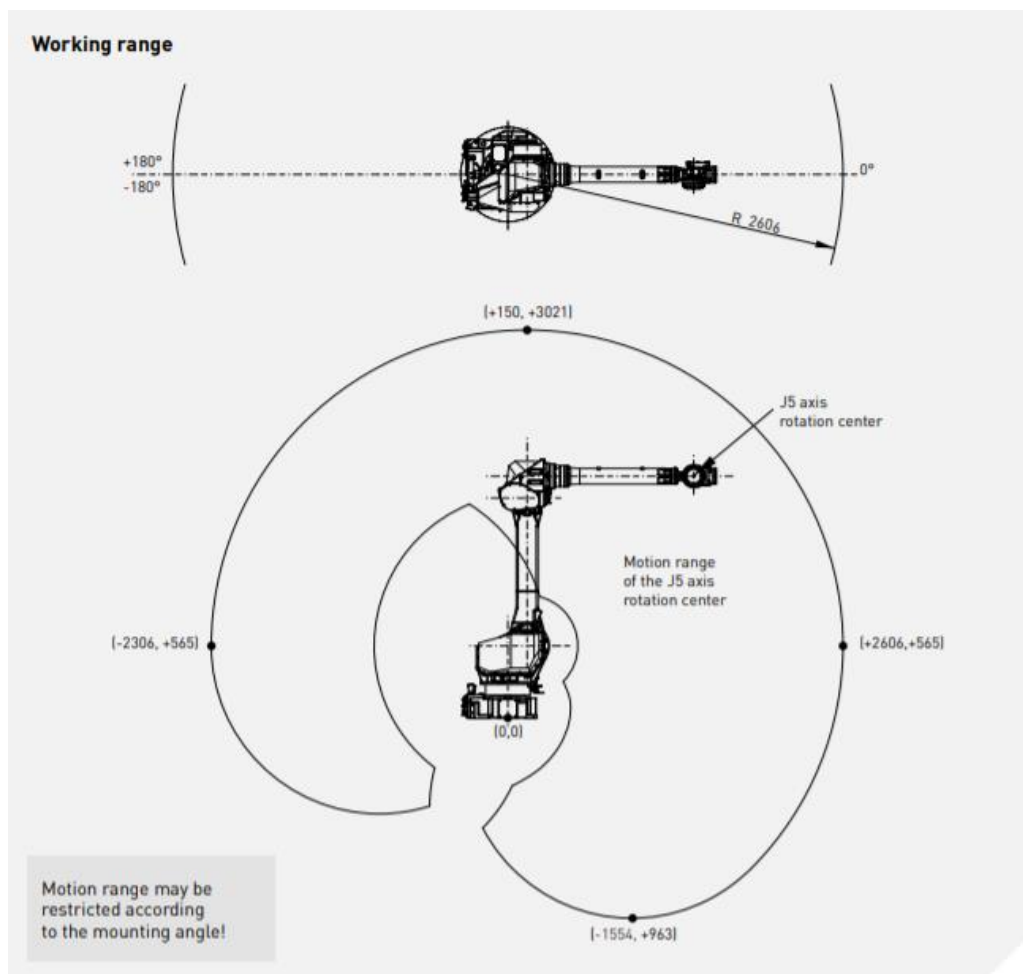
Työkappaleita voidaan paikoittaa myös kameran ja tietokoneen avulla. Tätä kutsutaan konenäöksi. Kameralla voidaan myös tunnistaa ajettava kappale koon, viivakoodin tai kappaleessa olevan tekstin perusteella. Näin solussa voidaan ajaa useita eri tuotteita ilman, että käyttäjä määrittää manuaalisesti jokaisen tuotteen järjestelmälle. Konenäön avulla voidaan valvoa kappaleen laatua ja tarkastaa mittoja. Konenäköratkaisulla säästetään tilaa solussa, kun mekaanisten paikoittimien tarve pienenee. Konenäkö vaatii tietokoneelta paljon laskentatehoa, ja konenäöstä onkin tullut kilpailukykyisempi vaihtoehto vasta laskentatehon kehityksen myötä. Oikeanlaisen valaistuksen suunnittelu ja toteuttaminen konenäköjärjestelmälle on erittäin tärkeää. Kuvattava alue on valaistava tasaisesti ja riittävän tehokkaasti. Päivänvalon aiheuttamat liikkuvat varjot tulisi estää kuvauspaikalta. (Kuivanen 1999: 56.)

5.6 Layout

Layoutilla voidaan teollisuudessa tarkoittaa koko tehtaan kattavaa prosessien asettelua, tai tiettyyn prosessiin keskittyntä yksityiskohtaisempaa laitteiden asettelua. Robotiikassa layoutilla tarkoitetaan robottisolun sijoittelua tehtaan tiloihin, sekä komponenttien asettelua toisiinsa nähden solun sisällä. Tehokkaan robottisolun saavuttamiseksi laitteiden asettelu on tehtävä tarkasti ja harkitusti. Robottisolun layoutissa tulee ottaa huomioon monia asioita, joten suunnittelijan kokemuksella on suuri vaikutus lopputulokseen. Pienet yksityiskohdat kuten kulkureitit, liitännät, huoltotoimenpiteet, tahtiajat ja näköyhteydet täytyy huomioida toimivan solun layoutissa.

Layoutin suunnittelu on yksi keskeisimmistä osa-alueista robottisolun suunnittelussa. Komponenttien asettelu ja niiden etäisyydet toisiinsa nähden määrittelevät tarvittavat työkalut ja työkierrot. Kun on kyseessä useamman robotin kokonaisuus, ulottumien merkitykset kasvavat entisestään. Robottien täytyy suoriutua omista työtehtävistään häiritsemättä toistensa toimintaa. Layout määritellään pitkälle jo alustavassa suunnittelussa ja komponenttien paikat tarkentuvat myöhemmin suunnittelun edetessä. Layout on usein ensimmäinen suunnittelun vaihe, joka halutaan lyödä lukkoon. Tämä mahdollistaa asiakkaalle tilavarauksen suunnittelun tehtaassa.

Robottien ulottumat ilmoitetaan teknisissä tiedoissa robotin suurimpana säteenä niiden koordinaatiston keskipisteestä eli origosta. Robotit eivät todellisuudessa aina kuitenkaan ulotu näihin mittoihin riippuen paikan korkeudesta. Nivelvarsirobottien ulottuma muodostaa ympärillensä lähes kokonaisen pallon. Roboteilla voi kuitenkin olla fyysisistä rajoitteista aiheutuvia kuolleita kulmia ensimmäisen akselinsa ympärillä. Tällöin robotti ei pääse pyörimään kokonaista kierrosta ensimmäisen akselin ympäri. Robotin kuollut kulma sijoitetaan paikkaan, johon solussa ei ole tarvetta päästä. Kuvassa 8 näkyvällä robotilla on täysi 360 asteen käyttösäde.



Kuva 8. Robotin ulottumat.

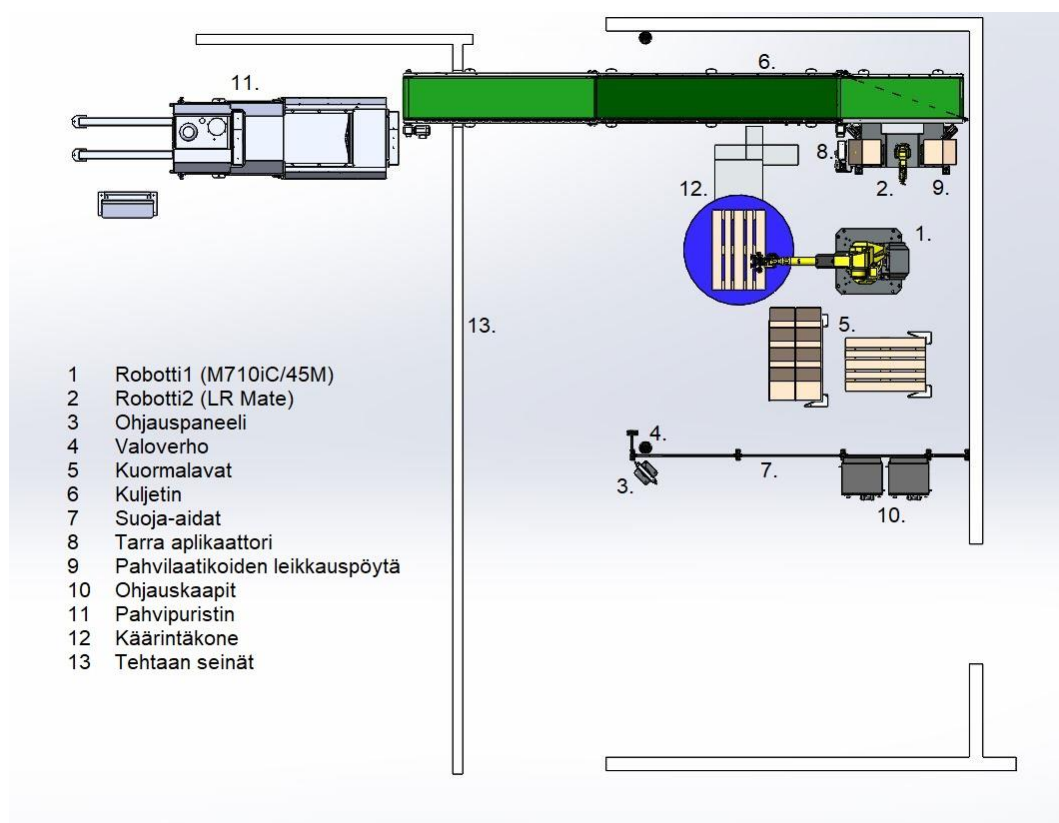
Alustavassa layout-suunnittelussa tulee huomioida työpisteiden asettelu robotille sopivaksi. Työpisteiden ja oheislaitteiden asettelussa halutaan minimoida liikematkat, jotta tahtijat saadaan mahdollisimman lyhyiksi. Solun huollettavuuden, puhdistettavuuden ja käytettävyyden vaatimukset on myös huomioitava. Huonosti asetellut työpisteet voivat myös aiheuttaa robotille ongelmia, kuten singulariteetin. Singulariteetti on robotin liikkeen ongelma, joka johtuu akselien linjautumisesta samansuuntaisiksi. Robotille syntyy ääretön määrä vaihtoehtoja saman liikeradan suorittamiseen, eikä se pysty valitsemaan yhtä. Singulariteetti voidaan kuitenkin helposti välttää asettelemalla työpisteet pois robotin singulariteettialueelta.

Robottisolun 3D-mallinnus mahdollistaa ulottuvuussimuloinnin tietokoneella, kun kaikki laitteet ja komponentit mallinnetaan geometrisesti ja kinemaattisesti oikein. Erityisen

tärkeitä kinemaattiset määrytykset ovat robotin kokoonpanon nivelillä. Malliin täytyy määrittää kunkin nivelen vapausasteet ja raja-arvot. Tarkasti mallinnettuja komponentteja ja layoutia voidaan hyödyntää myöhemmin etäohjelmoinnissa.

5.7 Robottisolun ostokomponentit

Toimitettava robottisolu koostui useista koneista ja komponenteista, joiden tuli toimia yhteistyössä toistensa kanssa. Kuvassa 9 on esitelty tässä työssä suunniteltavan robottisolun keskeiset komponentit. Pahvipuristin sekä käärintäkone olivat asiakkaan ennalta omistamia laitteita. Loput komponentit suunniteltiin, tilattiin ja toimitettiin MTC Flextekin toimesta.



Kuva 9. Robottisolun layout ja komponentit.

Tehtaan tilat määrittivät pitkälti komponenttien tyypin ja asettelun. Solussa pystyttiin myös hyödyntämään MTC Flextekin valmiita vakiokomponentteja, mikä säästi aikaa suunnittelussa.

5.7.1 Kuljettimet

Kuljettimet suunniteltiin tehtaan tilojen mukaisesti. Kuljettimet mitoitettiin layoutiin ja toimittajalta saatiin 3D-mallit. Kuljetinlinja koostuu kahdesta erillisestä kuljettimesta, joilla molemmilla on omat vaihtovirtamoottorit virtalähteenä. Robotti työntää tyhjän laatikon ränniä pitkin ensimmäiselle kuljettimelle, josta laatikko jatkaa matkaa toiselle kuljettimelle. Ensimmäinen kuljetin on varustettu laserilla, joka antaa roboteille signaalin, jos kuljettimelle on juuttunut laatikko. Toinen kuljetin täytyi sijoittaa keskelle trukkien kulkuväylää. Kuljetin oli nostettava riittävän korkealle, jotta trukit pääsevät ajamaan sen alapuolelta. Kuljetin nousee 30 asteen kulmassa kolmen metrin korkeuteen ja kuljettaa pahvit viereiseen huoneeseen pahvimurskaimelle. Kuljettimia käytiin testaamassa toimittajalla ja todettiin, että nousukulma ei ollut liian jyrkkä tyhjille laatikoille. Kumisen hihnan kitka oli riittävä, ja pahvit nousivat ylös ilman ongelmia.

5.7.2 Tarratulostinapplikaattori ja viivakoodinlukija

Tuotteeseen tarvittiin uusi viivakooditarra laatikosta purkamisen jälkeen. Tarroituista var-ten tilattiin saksalaisvalmisteinen Cab Hermes-tarratulostinapplikaattori. Laite saa signaalin, kun robotti on lukenut laatikosta viivakoodin. Laatikon purkamisen jälkeen robotti käyttää tuotteen tarratulostinapplikaattorilla, joka liimaa siihen uuden viivakoodin.

Viivakoodin lukemiseen valittiin Sickin valmistama kamerapohjainen koodinlukija. Koodinlukijalla oli hyvät lukuominaisuudet vaihtelevassa valaistuksessa. Sickin lukija toimi myös hyvin vaihtelevan laatuisten viivakoodien kanssa. Koodinlukijaan ja tulostimeen haluttiin Ethernet-liitäntä, jotta ne saadaan kommunikoidaan samassa verkossa muiden laitteiden kanssa. Suunnittelussa täytyi huomioida kameran lukuetäisyys, sekä lukusektorin esteettömyys.

5.7.3 Pahvipuristin ja käärintäkone

Pahvipuristin ja käärintäkone olivat asiakkaan omistamia laitteita, joita haluttiin hyödyntää solun työkierrossa. Laitteiden toiminta ei itsessään vaikuttanut suunnitteluun, mutta solun layoutiin oli tehtävä tilavaraukset.

Pahvipuristimesta saatiin 3D-malli, joka vastasi mitoiltaan asiakkaan omistamaa konetta. Puristimelle löydettiin sopiva tila viereisestä huoneesta, jonne kuljetin kuljettaisi pahvijätteen. Puristin oli kooltaan niin iso, että se ei olisi edes mahtunut robottisolun sisäpuolelle.

Alustava layout ei sisältänyt käärintäkoneita, joten sen vaatima tila ei ollut tiedossa. Koneesta ei ollut 3D-mallia, joten se mallinnettiin ulkomittojen perusteella tilavarausta varten. Ongelmaksi muodostui koneen suuri koko ja käyttöpaneelin orientaatio. Käärintäkoneen käyttöpaneeli osoitti suoraan tarratulostinta kohti, joten laitteiden välille täytyi luoda tarpeeksi tilaa sujuvaan työskentelyyn. Koneita ei myöskään saatu sijoitettua kuljettimen alle. Lavojen paikoituksia täytyi muuttaa, mikä aiheutti muutoksia turva-alueisiin. Valoverhoa ja suojaseiniä otettiin ulospäin, jotta saavutettiin vaaditut turva-alueet robotin ympärille. Myös kuljettimiin tehtiin muutoksia, jotta käärintäkoneen työskentelyalue oli toimiva. Lopulta laitteelle löydettiin toimiva paikka.

5.7.4 Kamera ja laser

Tarttuja varusteltiin Fanucin 2D-konenäöllä ja Sickin etäisyysanturilla. Kameralla robotti saa tiedon pakettien XY-tason paikasta sekä kiertymästä. Yhdistettynä etäisyysanturiin robotti saa tarkan otteen laatikoista.

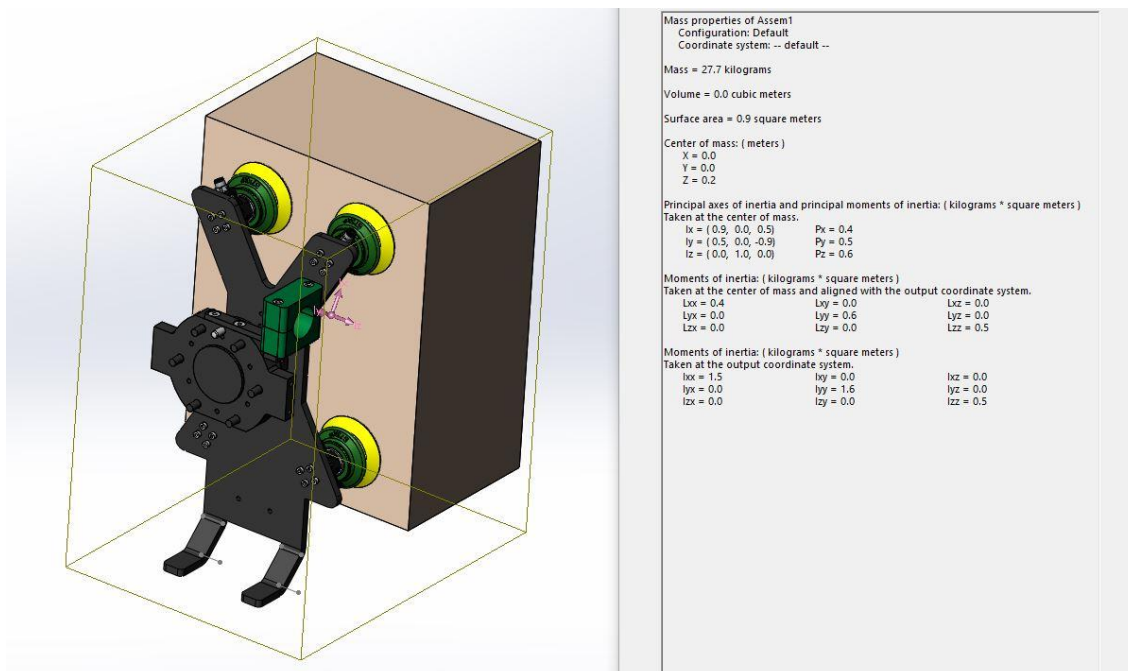
6 Robottien työkalujen suunnittelu

Robottityökalun suunnittelussa on huomioitava, että sen aiheuttamat momentit pysyvät sallituissa rajoissa. Materiaalivalinnat ovat merkittäviä painon kannalta. Työkalun avulla voidaan pelata robotin ulottuman kanssa venyttämällä rakenteen pituutta. Työkalun painopiste ei saa kuitenkaan karata liian kauas robotin kiinnityslaipasta, jotta momentit pysyvät sallittuina. Robottien suurin kiihtyvyys syntyy täydestä liikenopeudesta pysähtyessä. Silloin tarttujan hitausmomentilla on suuri merkitys nivelille aiheutuvassa rasituksessa. Robottimallille määritettyyn hyötykuormaan ei ole huomioitu työkalun painoa, joten sille kertyvä paino on pois työkappaleiden käsittelyyn jäävästä kapasiteetista.

Työkalu on hyvä suunnitella mahdollisimman yksinkertaiseksi ja turhia toimilaitteita tulee välttää. Näin säästetään työkalun painossa, huollettavuudessa sekä hinnassa. Suunnittelussa tulee huomioida myös paineletkujen ja sähköjohtojen asentaminen sekä selkeä kokoonpantavuus. Hyvän työkalun ominaisuuksia on luotettava toiminta ja yksinkertainen rakenne.

6.1 Hitausmomenttien aiheuttaman rasituksen laskeminen

Työkalun hitausmomentista aiheutuvat suuret rasitukset ovat yleisin syy robotin sietokyvyn ylitykselle. Rasitusten laskemisen kannalta on tärkeää, että osat on mallinnettu tarkasti, ja jokaiselle osalle on määritetty oikea tiheys. Rasitusten laskennassa hyödynnettiin Solidworksin kokoonpanoista saatavia massakeskipisteitä sekä hitausmomentteja (kuva 10).



Kuva 10. Tarttujan ja laatikon kokoonpano.

Tarttujan lisäksi kokoonpanoon on mallinnettava käsiteltävä tuote, jolle on määritelty oikeat arvot. Kokoonpanon mallissa origon on sijaittava laipan kiinnityksen keskipisteessä, jotta se vastaisi robotin kuudennen akselin keskipistettä. Nivelvarsiroboteille tyypillinen piirre on, että niiden kuudes akseli kestää vähiten momenteja. Robotille vaarallisin asema on, kun sen ulottuvuus on venytetty äärimmilleen.

Toisena työkaluna laskuissa käytettiin Fanucin robottien rasituksensietokykyyn perustuvaa kuvan 11 mukaista Excel-laskuria. Laskurilla nähdään, että robotin niveliin kohdistuvat momentit pysyvät sallittujen rajojen sisällä.

Robot Analysis		FANUC Payload Checker ver.7.42(2016/12/17)	
ROBOT INPUT DATA			
Robot Type	M-710iC/45M		
Payload Input Type	CofG - SI		
Robot File Reference Number	1		
J5 Offset	0,175		
REFERENCE DATA			
Robot E#			
Tool #			
Robot Station #			
Engineer			
Comment			
PAYLOAD INPUT DATA: CofG - SI			
J6 Payload Mass (kg)		27,7	
J3 Arm Load Mass (kg)			
-----		-	
Payload Center X (m)		0	
Payload Center Y (m)		0	
Payload Center Z (m)		0,2	
Payload Inertia Ix (Kg.m ²)		0,4	
Payload Inertia Iy (Kg.m ²)		0,6	
Payload Inertia Iz (Kg.m ²)		0,5	
WORKING DATA			
	Specification	Actual Value	
J6 Payload (kg)	45	27,700	
J3 Arm/J3 Casing Load (kg)	-	0,000	
Axis 4 Moment (Nm)	206	0,000	
Axis 5 Moment (Nm)	206	101,798	
Axis 6 Moment (Nm)	127	0,000	
Axis 4 Inertia (Kg.m ²)	28	4,495	
Axis 5 Inertia (Kg.m ²)	28	4,495	
Axis 6 Inertia (Kg.m ²)	20	0,500	
SUMMARY RESULTS			
Payload		OK	
Moments		OK	
Inertias		OK	
Approved		OK	
DETAILED RESULTS			
J6 Payload as % of Max Allowed		61,6	
Max J6 Payload for current J3 Payload		45,0	
Moment as % of Max Allowed			
Axis 4		49	
Axis 5		49	
Axis 6		0	
Inertia as % of Normal Max Allowed			
Axis 4		16,1	
Axis 5		16,1	
Axis 6		2,5	
Note: Warn %		90	

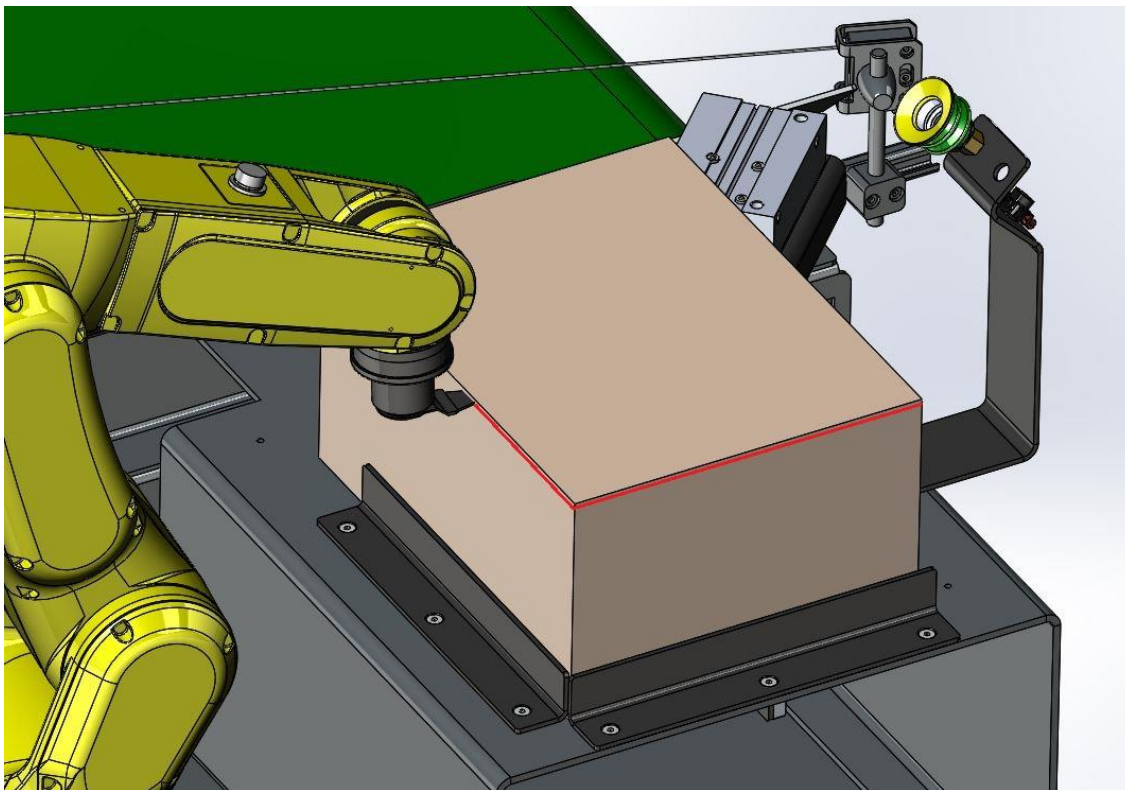
A-83842-03/23

Kuva 11. Rasituslaskuri.

Laskuriin valitaan robottimalli ja syötetään tarttujan tiedoista massa, massakeskipiste, sekä hitausmomentit kiinnityslaipan suhteen. Laskuri laskee annettujen tietojen pohjalta rasitukset ja vertaa niitä robotin jokaisen akselin sietokykyyn. Robotin tulee kestää kaikki rasitukset sille vaarallisimmassa asemassa ja suurimmilla liikenopeuksilla. Lopuksi laskuri antaa tämänhetkisestä tarttujasta aiheutuneen rasituksen prosentteina robotin maksimaalisesta sietokyvystä.

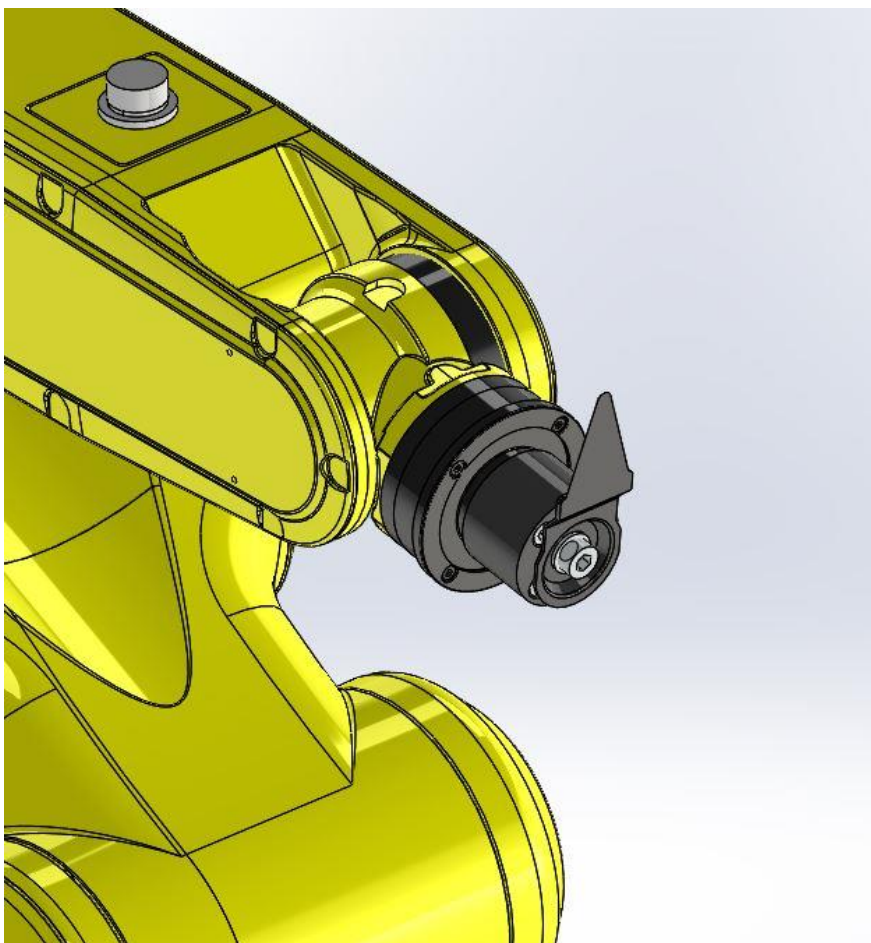
6.2 LR Maten avaajatyökalu

LR Mate-robotilla oli työkierrossa kaksi työvaihetta, jotka suoritettiin yhdellä työkalulla: pahvilaatikon avaus sekä tyhjän laatikon työntäminen pahvikuljettimelle. Avaamisessa päätettiin valita työkaluksi veitsi. Joissain tapauksissa pahvilaatikko voitaisiin avata kääntämällä liimattu lieve ylös, mutta tässä tapauksessa se ei ollut mahdollista pitkän liepeen ja robotin lyhyen ulottuman takia. Laatikon kansi päätettiin leikata kyljen yläreunoja myöten auki (kuva 12).



Kuva 12. Robotti leikkaa pahvilaatikkoa punaisen viivan mukaisesti.

Markkinoilta löytyi käyttöön sopiva kuvan 13 mukainen veitsi, joten veistä ei tarvinnut suunnitella erikseen. Ostokomponenttien valinnassa täytyy ottaa huomioon niiden huollettavuus ja varaosien saatavuus. Boschin yleisleikkuutyökalussa on Boschin patentoima Starlock-lukitusjärjestelmä, jota ei voitu suoraan kiinnittää robotin omiin kiinnityksiin. Veitsen ja robotin väliin suunniteltiin kiinnityslaippa. Veitsestä otettiin käsin mitat ja se mallinnettiin tietokoneelle. Kiinnityksessä hyödynnettiin Starlock-kuvion hammastusta, josta veitsi saatiin paikoitettua laippaan. Avaajatyökalun suunnittelussa täytyi olla tarkkana, että paino pysyy minimaalisena. LR Maten pienestä käsittelykyvystä täytyi jäädä ylimääräistä voimaa laatikon leikkaukseen. Työkalun paino saatiin pysymään pienenä ja leikkaukseen jäi käytettäväksi tarvittavat voimat.



Kuva 13. LR Maten avaajatyökalu.

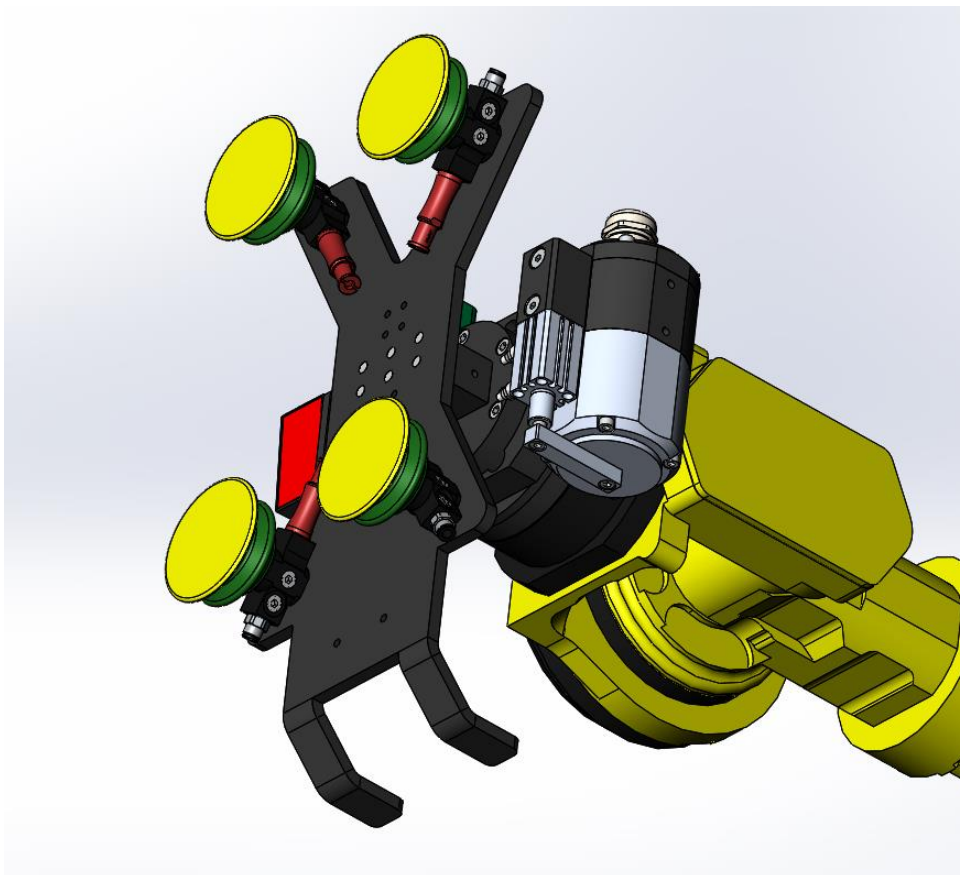
Jotta robotin toistotarkkuus ei mene hukkaan, on työkalun kiinnityslaippa paikoitettava robottiin tarkasti. Laippaan suunniteltiin tiukalla H7-toleranssilla työstetty reikä ja paikoituksessa käytettiin lieriösokkaa.

6.3 M710 imukuppitarttuja

Isommalla robottitarttujalla tuli pystyä käsittelemään pahvilaatikkaa ja tuotteita sekä niiden väliin tulevia välilevyjä. Tarttujan runko suunniteltiin ohutlevystä, sen helpon muotoilun ja hyvien kiinnitysmahdollisuuksien vuoksi. Runko kiinnitettiin ruuviliitoksella yhteen robotille valmiiksi suunniteltuun kiinnityslaippaan.

Laatikon ja tuotteen tartuntamenetelmäksi valittiin alipaineeseen perustuva imukuppitartunta. Imukupeilla pystytään käsittelemään sekä pahvilaatikoita että tuotteita. Imukuppeja käyttäessä on tärkeä tarkastaa, että tartuttava pinta on tasainen ja tarpeeksi jäykkä. Erilaisille pinnoille voidaan käyttää erilaisia imukupin huulia, jotta ne mukautuvat optimaalisesti tartuttavaan pintaan. Pehmeämmällä huulella varmistetaan tiiviimpi ote epätasaisesta pinnasta, mutta samalla jäykempi huuli antaa enemmän voimaa nostamiseen. Tarttujassa päädyttiin käyttämään halkaisijaltaan 75 mm:n polyuretaanikuppeja, joiden nostovoima ylhäältä päin oli 176 N (liite 3). Imukuppeja tuli tarttujaan yhteensä neljä, ja ne sijoitettiin osumaan tuotteen painopisteen ympärille momentin välttämiseksi. Jokaiselle imukupille varattiin oma alipainepumppu. Näin varmistetaan, että yhden imukupin otteen irtoamisesta ei aiheudu alipaineen menetys kaikilla imukupeilla. Tieto luotettavasta otteesta imukupeilla varmistettiin alipaineantureilla. Laatikon ja tuotteen välissä oli välystä 1 cm:n verran, joten kupit täytyi saada osumaan tuotteeseen sen ollessa missä tahansa orientaatioissa laatikon sisällä. Imukuppien kanssa on hyvä käyttää suurta varmuuskerrointa, sillä materiaalin läpi menevä ohivirtaus ja pinnan epätasaisuus ovat vaikeasti ennustettavissa. Tartunnassa käytettiin 3,6 varmuuskerrointa ja runkoon lisättiin kiinnitysmahdollisuus lisäkupille, jos ote ei näyttäisi riittävän tukevalta.

Valmiiden kerrosten väliin tulevat muovilevyt olivat symmetrisiä, mikä mahdollisti niiden käsittelyn ilman toimilaitetta. Tarttujan ohutlevystä taivutettiin sorkat (kuva 14), jotka vastasivat levyissä olevia reikiä.

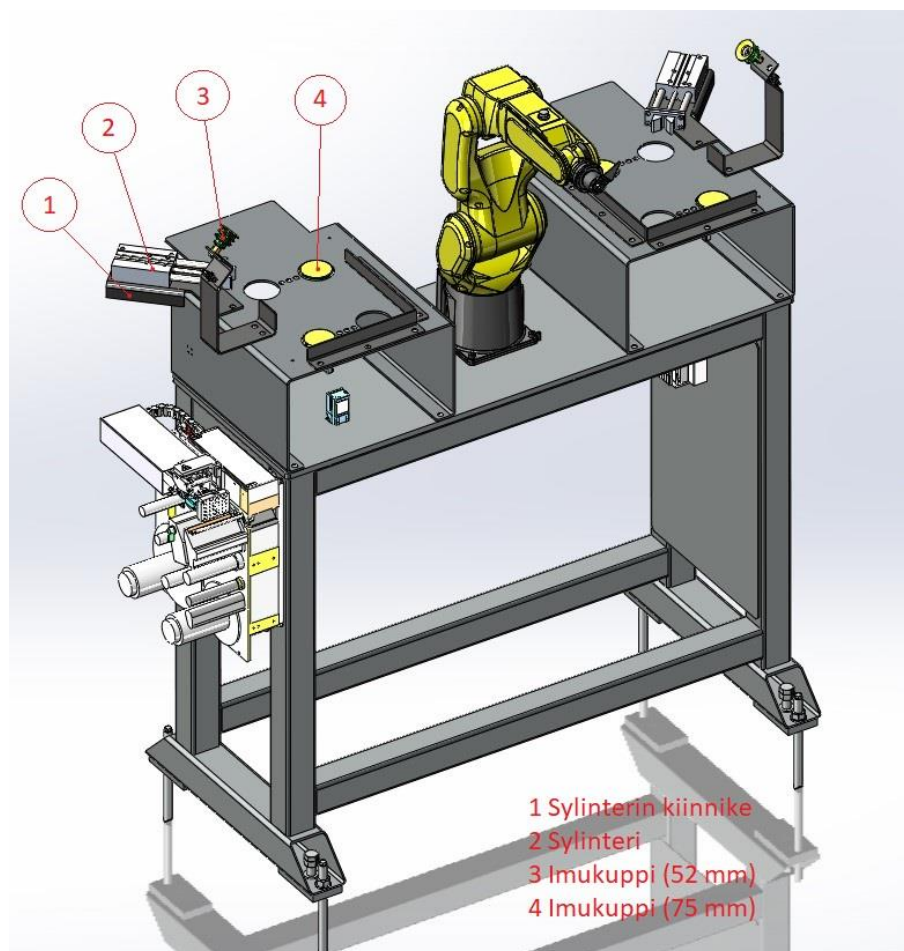


Kuva 14. M710iC/45M:n tarttuja.

Ote suoritettiin epäkeskeisesti levyn painopisteeseen nähden, jolloin levyn oma massa painoi levyn tukevasti sorkkia vasten. Toinen mahdollinen ratkaisu levyn tarttumiseen olisi ollut pneumaattinen puristusmekanismi, mutta sorkkamenetelmällä tarttujasta saatiin kevyempi ja edullisempi.

7 Pahvilaatikoiden avauspöydän suunnittelu

Pahvilaatikoiden operoimista varten suunniteltiin kuvan 15 mukainen pöytä, joka sisälsi komponentteja tarttumiseen, paikoitukseen ja muihin toimenpiteisiin. Pöytään suunniteltiin paikat ja tartuntamekanismit kahdelle laatikolle kappaleenvaihdon nopeuttamiseksi. Laatikoiden asemat ovat toistensa peilikuvat ja näkyvät kuvassa 15 robotin molemmin puolin. Pienempi robotti pystyy leikkaamaan toista laatikkoa auki samalla, kun isompi robotti vaihtaa toiselle paikalle uutta laatikkoa.



Kuva 15. Pahvilaatikoiden avauspöytä.

Pöydän tuli toimia myös LR Maten työskentelytasona. Robotti kiinnitettiin pöydän päälle operoimaan laatikoita. Robotin kiinnitykset katsottiin teknisistä tiedoista, ja oikeat kiinnitykset ja paikoitukset mitoitettiin pöytälevyyn. Pöytälevy valmistettiin 15 mm vahvasta S355-teräksestä, jotta se sietä robotin ja muiden mekanismien aiheuttamat rasitukset ja taipumat ilman ongelmia. Robotti kiinnitettiin pöytään ruuveilla ja paikoitettiin lieriösokilla.

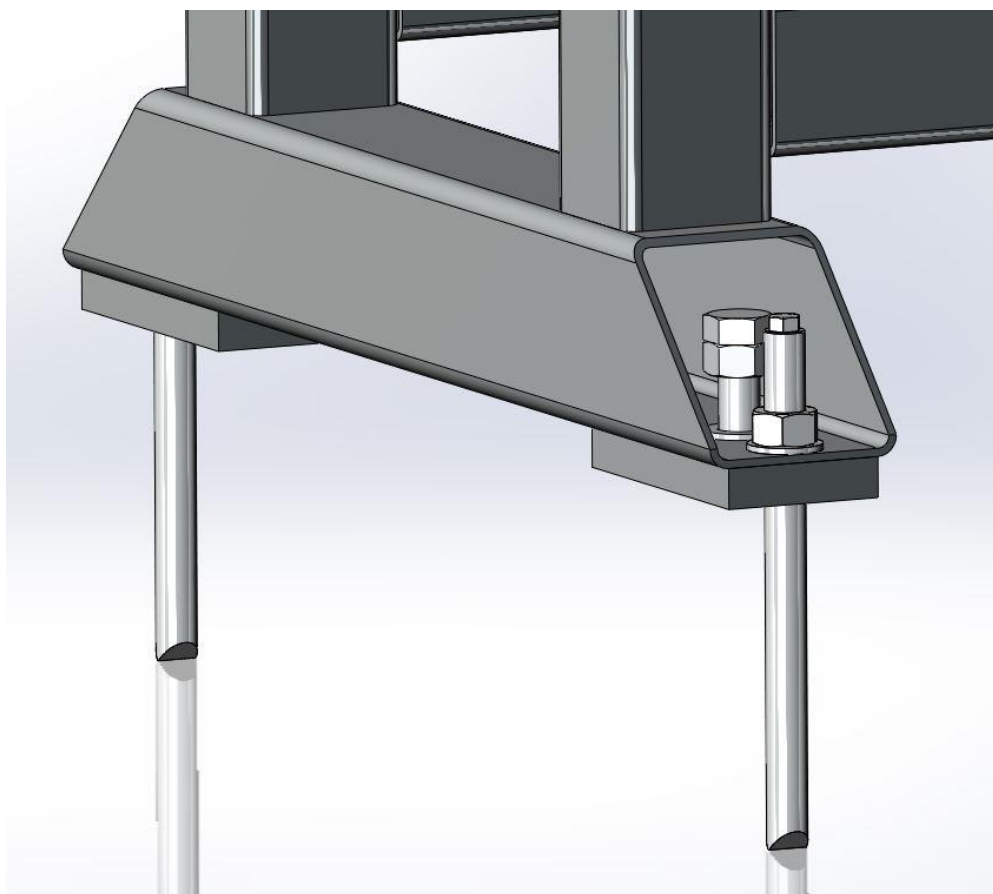
7.1 Hitsattu runkorakenne

Pöydän runko suunniteltiin kahdesta eri levyisestä neliskulmaisesta teräsputkesta, latta-raudasta, sekä teräslevyistä. Materiaalina käytettiin S355-rakenneterästä, joka pintakäsiteltiin maalaamalla. Rungon osat liitettiin toisiinsa hitsaamalla. Avauspöydän runkoon

kohdistuvat rasitukset olivat pieniä ja kohdistuivat ylhäältä alaspäin ilman sen suurempia momenteja. Aikaisemman kokemuksen perusteella pienahitsaukset mitoitettiin hyvän valmistettavuuden, sekä siistin lopputuloksen mukaisiksi.

7.2 Lattiakiinnitys

Pöytä täytyi kiinnittää lattiaan niin, että se ei pääse liikkumaan missään suunnassa. Koska tehdastilojen lattiat eivät yleensä ole täysin tasaisia, pöydän jalkoihin tarvittiin korkeudensäätö. Korkeudensäätö toteutettiin alimman runkoputken pohjaan hitsattavilla kier-teitetyillä lattarautoilla (kuva 16). Nurkkien korkeus säädettiin pulteilla ja pöytä kiristettiin lattiaan ankkuriruuveilla.



Kuva 16. Pöydän ankkurikiinnitys.

Pienikin muutos laitteiden asemissa voi aiheuttaa robotin törmäyksen tai kappaleen paikoitusvirheen. Tästä syystä robottisolun laitteet kiinnitetään tiukasti paikalleen. Pöytää on mahdollista siirtää pois tieltä solun huollon ajaksi, mutta ankkuriruuvit pysyvät paikoillaan lattiassa.

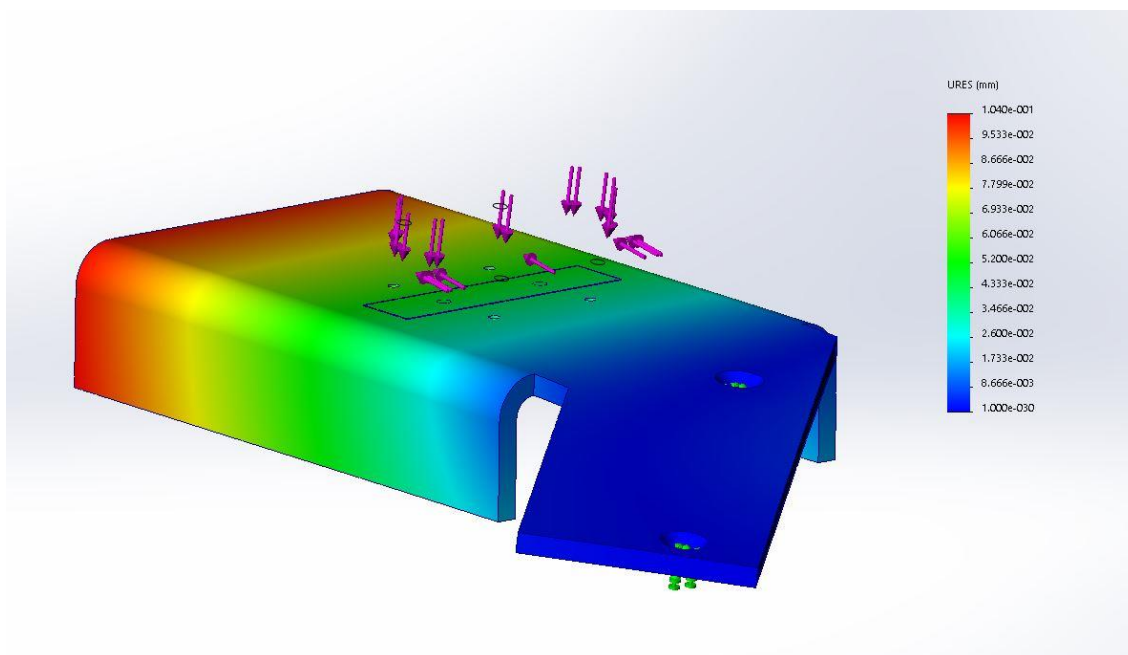
7.3 Laatikon tartuntamekanismit

Pahvilaatikon ja tuotteen välinen rako on erittäin pieni. Leikkausvaiheessa on tärkeää varmistaa, että laatikko pysyy aina tukevasti samassa paikassa. Jos laatikko liikkuu kesken leikkaamisen, veitsi voi leikata tuotteeseen. Paikoitusasemaan suunniteltiin kiinteä kulma, jota vasten pneumaattinen sylinteri painaa laatikon. Sylinteri kohdistettiin laatikon nurkkaan 45 asteen kulmassa. Tyhjän laatikon poistovaiheessa sylinteri täytyi saada pois siirrettävän laatikon tieltä, joten sille tarvittiin pitkä iskunpituus. Sylinterissä täytyi olla myös tarpeeksi voimaa laatikon liikuttamiseen ja paikalla pitämiseen. Aikaisemman kokemuksen perusteella tunnettiin, että pahvin ja teräksen välinen lepokitkakerroin on 0,2–0,3. Laatikon liikuttamiseen tarvittava voima voitiin laskea kaavasta:

$$F = mg\mu$$

missä m on laatikon massa, g on putoamiskiihtyvyys ja μ on lepokitkakerroin. Tuotteen liikuttamiseen tasoa pitkin lepokitkakertoimella 0,3 tarvittiin siis vähintään 60 N:n voima. Eri valmistajien taulukoista vertailemalla päädyttiin SMC:n johteilla liikkuvaan 25 mm:n sylinteriin 100 mm:n iskulla (liite 4). Sylinteriin valittiin liukulaakerit, jotka kestävät leikkaamisesta irtoavia roskia kuulalaakereita paremmin.

Sylinterille suunniteltiin ohutlevystä kiinnitin, joka ruuvattiin kiinni leikkauspöydän runkoon. Sylinterin kiinnitykselle tehtiin FEM-laskelmat Solidworksin omassa simulaatiotyökalussa (kuva 17). FEM eli elementtimenetelmä on yksi lujuusopin laskentamuoto, jossa laskettava kappale jaetaan pienempiin laskettaviin elementteihin. Sen avulla pystytään laskemaan kappaleita, joissa on monimutkaisia muotoja.



Kuva 17. Sylinterin kiinnittimen siirtymät.

Lujuuslaskujen elementteinä käytettiin tetraedrielementtejä, koska siirtymiä haluttiin tarkastella useammassa suunnassa. Ohutlevytuotteiden laskut voitaisiin suorittaa hyvin myös kuorielementeillä, mutta Solidworks tarjosi laskuihin oletuksena tilavuuselementtejä. Kiinnitin valmistettiin S355-rakenneteräksestä, jonka myötöraja on 355 MPa, kimmo kerroin 210 GPa ja Poissonin luku 0,3. Sylinteri tuotti 0.4 barin paineella maksimivoiman 196 N, joka kohdistui kiinnittimeen sivuttaissuuntaisesti. Myös sylinterin massan aiheuttama rasitus otettiin huomioon. FEM-simulaatiosta nähtiin, että suurin siirtymä kiinnittimessä oli noin 0,1 mm. Suurin jännitys kiinnittimessä oli 44,6 MPa, joten varmuus myötörajan suhteen oli vielä 7.96. Vastaavat lujuuslaskennat elementtimenetelmää käyttäen suoritettiin myös tarttujan ja pöydän rungoille.

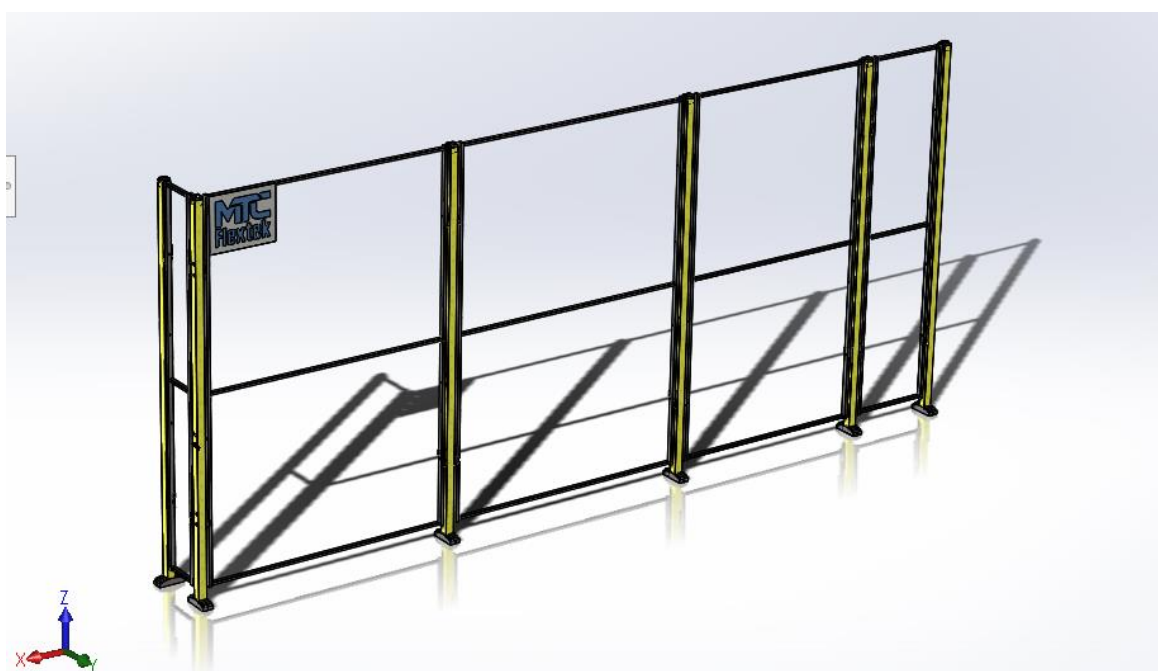
Toisena tartuntamenetelmänä pöydässä käytettiin imukuppeja. Kaksi 75 mm:n imukuppia laitettiin laatikon pohjaa vasten ja yksi 52 mm:n imukuppi (liite 5) sivulle pitämään leikattua kantta ylhäällä. Kannen imukuppiin haluttiin useampi palje korjaamaan kannen asennon mahdollista virhettä. Palje on imukupin joustoelementti, joka mahdollistaa imukupin kiertymisen. Palkeita ei ole suositeltavaa käyttää, jos tartunnan paikka halutaan tietää tarkasti. Imukupeille suunniteltiin omat kannattimet korkeudensäädöillä. Imukupit vaativat alipainetta tuottavan pumpun toimiakseen, joka sijoitettiin suojaan

laatikkopöydän sisäpuolelle. Pöydässä käytettyjä pneumaattisia laitteita ohjattiin yhdellä SMC:n venttiiliryhmillä, joka kiinnitettiin pöydän kylkilevyyn.

8 Suojalaitteiden suunnittelu

8.1 Suoja-aidat

Kuvassa 18 näkyvä verkkosuoja-aita on varsin yleinen ratkaisu sen edullisen hinnan ja joustavan suunnittelun vuoksi. Suojaseinän asettelu pyritään lukitsemaan paikalleen jo suunnittelun alkuvaiheessa, mutta monesti sitä joudutaan säätämään projektin edetessä.



Kuva 18. Robottisolun suoja-aita.

Suoja-aidan mitat ja turvaetäisyydet suunniteltiin valmistajan toimittaman taulukon perusteella, joka pohjautuu standardiin SFS-EN ISO 13857 (2008). Suoja-aidan mitoitus perustuu kolmeen tekijään: suoja-aidan korkeuteen, robotin lähimmän vaarallisen työskentelypaikan etäisyyteen aidasta ja korkeuteen vertailutasosta. Vertailutaso on taso,

jolla operaattori seisoo, eli useimmiten lattia. Tässä tapauksessa ylimmän laatikon pinta sijaitsi 1 094 mm:n korkeudessa ja tarttujan rakenne 1 400 mm:n korkeudessa vertailutasosta. Suoja-aidan korkeudeksi valittiin 2 200 mm ja liitteen 6 taulukosta nähtiin, että vaarallisen työskentelypisteen ja aidan välille ei tarvitse jättää turvaetäisyyttä. Verkko-materiaalin reiät mahdollistavat kuitenkin ruumiinosien tunkeutumisen solun sisäpuolelle, joten suojaseinien tulee standardin mukaan sijaita vähintään 200 mm:n etäisyydellä robotin toiminta-alueelta (X-guard technical information: 42). Vaarallisen pisteen etäisyys aidasta jätettiin kuitenkin reilusti pidemmälle 800 mm:n päähän aidasta, jotta solua on helpompi täyttää ja huoltaa. Näin pienennetään myös puristuksiin jäämisen riskiä.

Verkkoseinän vasempaan pätyyn tehtiin nurkkaus kahdesta syystä. Se suojaa valoverhon tolppaa solun liikenteeltä, sekä tukee seinän rakennetta. Täysin suorasta seinästä tulee helposti huojuva, jolloin poikittaisella päädyllä voidaan tukea seinän rakennetta.

8.2 Valoverhot

Valoverhojen sijoituksessa on tärkeää huomioida valoverhojen kantama ja etäisyys robotin vaara-alueesta. Valoverhoissa on myös huomioitava niiden ympäristö, jotta lika tai muut laitteet eivät aiheuta estettä sensorien välille. Soluun valitussa valoverhossa oli 15 m:n kantama, mutta sen lähetin ja vastaanotin asetettiin solun leveyden mukaisesti vain 6,1 m:n etäisyydelle toisistaan. Etäisyys robotin vaara-alueesta on riippuvainen robotin pysähtymisnopeudesta. Standardin SFS-EN 13855 (2010) mukaan ihmisen etäisyyden robotin vaara-alueesta tulee olla riittävä robotin täydelliseen pysähtymiseen ennen ihmisen pääsyä robotin työalueelle. Standardin etäisyydet perustuvat ihmisen ruumiinosille määritettyihin liikenopeuksiin. Käytännössä robotin koon kasvaessa myös sen pysähtyminen on hitaampaa suurempien massojen takia. Tästä syystä isoilla roboteilla on myös oltava laajempi turva-alue.

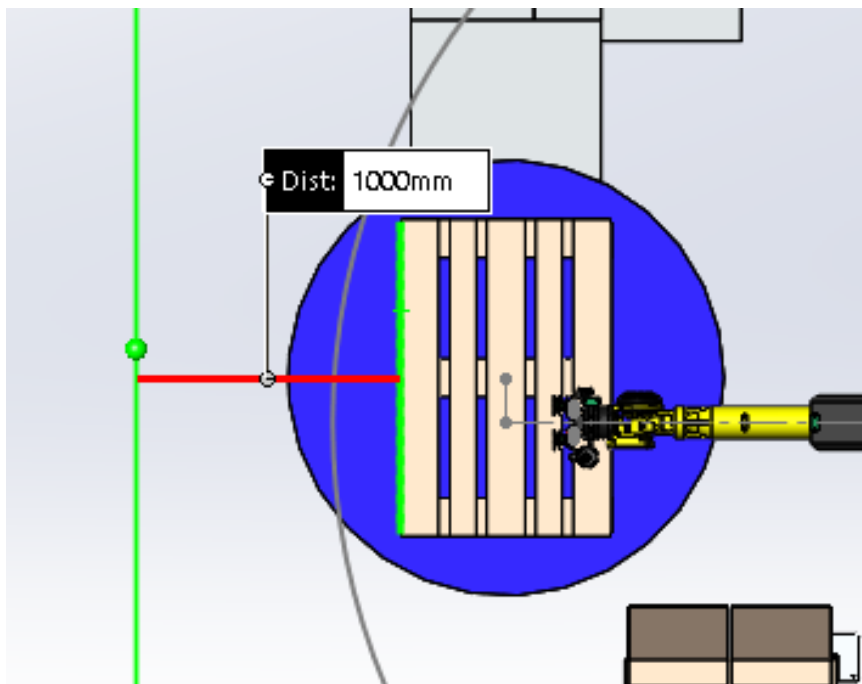
MTC Flextek on laatinut standardin pohjalta taulukon turvasensoreiden vaatimille etäisyyksille (kuva 19). Taulukko nopeuttaa turvalaitteiden aseman mitoittamista layoutiin.

MTC Flextek SMART production		According to ISO 13855																				
		M-10IA12	M-20IA20	M-20IA35M	M-710IC45M	M-710IC50	M-710IC70	R-2000IC125L	R-2000IC165F	R-2000IC165R	R-2000IC210F	R-2000IC210R	R-2000IC210L	R-2000IC270F	M-90IB360	M-90IB400L	M-90IB700	M-2000IA900L	M-2000IA1200	M-2000IA1350	M-2000IA1700L	M-2000IA2300
Stopping time [ms]	Power-off	124	246	204	380	310	311	472	458	484	515	609	522	503	730	1068	1172	1588	1134	1262	1260	1044
Stopping time [ms]	Controlled	484	444	596	708	644	764	1372	1038	1400	1388	1380	1075	1092	1028	1204	1212	1924	1462	1566	1532	1132
C4C-EA15030A [mm]	Power-off	402	542	500	757	645	646	904	882	923	973	1123	984	954	1317	1858	2024	2690	1963	2168	2165	1819
C4C-EA15030A [mm]	Controlled	923	859	1102	1282	1179	1371	2344	1810	2389	2370	2357	1869	1896	1794	2075	2088	3227	2488	2654	2600	1960
S30B-2011BA [mm]	Power-off	1506	1702	1634	1916	1804	1806	2063	2041	2082	2132	2282	2143	2113	2476	3017	3183	3849	3122	3327	3324	2978
S30B-2011BA [mm]	Controlled	2082	2018	2262	2441	2338	2530	3503	2969	3548	3529	3516	3028	3055	2953	3234	3247	4386	3647	3814	3759	3119
S30B-3011BA [mm]	Power-off	1506	1702	1634	1916	1804	1806	2063	2041	2082	2132	2282	2143	2113	2476	3017	3183	3849	3122	3327	3324	2978
S30B-3011BA [mm]	Controlled	2082	2018	2262	2441	2338	2530	3503	2969	3548	3529	3516	3028	3055	2953	3234	3247	4386	3647	3814	3759	3119

Kuva 19. Valoverhojen ja skannerien etäisyydet vaarasta.

Taulukossa on ilmoitettu jokaisen käytössä olevan sensorin ja robotin välinen turvallinen pysäytysetäisyys hallitusti ja välittömästi. Etäisyydet on laskettu robottien suurimmilla mahdollisilla nopeuksilla. Välittömän pysäytyksen etäisyys on riittävä turvallisen robotisolun suunnitteluun, mutta hallittu pysäytys on robotin kannalta kestävämpi ratkaisu. Hallittu pysäytys ei kuitenkaan ole aina mahdollinen, koska se vaatii solulta suuremman tilan. Tarvittavaa etäisyyttä on mahdollista lyhentää rajoittamalla robotin liikenopeutta. Tällöin nopeutettu pysähtymisaika mitataan ja uusi lyhennetty turvallinen pysäytysetäisyys lasketaan sen pohjalta. Taulukosta nähtiin, että solussa käytetyn robotin kanssa valoverhojen tulisi sijaita vähintään 757 mm:n etäisyydellä vaarasta.

Kulkuaukkoa lähimpänä oleva vaara sijaitsee käärintäkoneen kuormalavan reunan kohdalla. Sitä pidemmälle robotti ei missään työkierron vaiheessa tavoittanut (kuva 20). Vaara-alueessa on otettava huomioon myös robotin työkalut ja työkappaleet, jotka voivat työntyä robotin ulottuman ulkopuolelle.



Kuva 20. Vaara-alueen etäisyys valoverhosta.

Valoverho saatiin asetettua hallin tilan vaatimusten puitteissa tasan 1 m:n etäisyydelle lavan reunasta. Etäisyys riittää robotin äkkipysäytyksellä, mutta ei täysin hallitulla jarrutuksella.

8.3 Hätäpysäyttimet

Robottisolu vaatii standardin SFS-EN ISO 13850 (2015) vaatimukset täyttävän hätäpysäyttimen. Standardi luettelee muutamia hätäpysäyttimen tärkeimmistä ominaisuuksista.

- Hätäpysäyttimen on oltava aina saatavilla ja käytettävissä koneen ollessa missä tahansa tilassa.
- Hätäpysäytin tuo järjestelmään lisäturvallisuutta, mutta sillä ei saa korvata muita turvallisuusteknisiä toimia.

- Laitteen pysäytyskäskyn tulee ohittaa kaikki muut vireillä olevat käskyt.
- Häätäpysäytyksen aktivointi ei saa aiheuttaa uusia vaaratilanteita.
- Painonapin värin on oltava punainen ja rungon mielellään keltainen, jotta sen voi helposti tunnistaa häätäpysäytinlaitteeksi.
- Pysäytystoiminnon on oltava voimassa manuaaliseen kuittauksen saakka.
- Häätäpysäyttimen kuittaus täytyy tehdä turva-alueelta.
- Häätäpysäytin tulisi suunnitella niin, että vahingolliset aktivoinnit vältettäisiin.

Tämän solun häätäpysäyttimet löytyivät robottien ohjauskaapeista, käsiohjaimista ja solun operaattoripaneelista. Pysäytyskäsky voidaan kuitata robotin ohjauskaapilta sekä solun operaattoripaneelilta. Kaikilta kuittauspainikkeilta on hyvä näköyhteys roboteille, ja ne sijaitsevat vaara-alueen ulkopuolella.

9 Yhteenveto

Insinööriyön pääasiallisena tavoitteena oli korvata ihmisen tekemä yksitoikkoinen laitekoiden avaus roboteilla, ja viedä asiakasyrityksen toimintaa nykyaikaisempaan ja tehokkaampaan suuntaan. Työ rajautui robottisolun mekaniikkasuunnitteluun ja tarvittavien valmistusdokumentaatioiden luomiseen. Solulle suunniteltiin toimiva layout, joka saatiin istumaan asiakkaan tiloihin. Roboteille suunniteltiin työkalut sekä tarvittavat ulkoiset toimitteet työvaiheiden suorittamiseen. Osto-osat mitoitettiin tarpeiden mukaisiksi ja kaikki laitteet saatiin kommunikoidaan yhteisessä verkossa. Projektin robottisolu täyttää kaikki turvavaatimukset standardien mukaisesti.

Projektin laajuus asetti omat haasteensa. Se vaati paljon omatoimista opiskelua ja tiedonhakuja. Monen laitteen automaattinen toiminta yhdessä tuo kokonaisuuteen suuren määrän huomioitavia asioita. Robottisolun onnistunut suunnittelu vaatii robottien

ohjelmoinnin ja toiminnan ymmärtämistä. Osto-osien mitoituksessa hyödynnettiin valmistajien laatimia taulukoita, ja suunnittelua tuki MTC Flextekin henkilökunnan pitkä kokemus robottisolujen toimittamisesta.

Robottisolusta onnistuttiin luomaan tarvittavat suunnitelmat ja dokumentaatiot osien tilaamista varten. Projektin suunnitteluvaihe toteutui aikataulutetusti. Kaikki osat, kokoonpanot ja piirustukset mallinnettiin ja vietiin yrityksen PDM-järjestelmään. Piirustukset ja valmistusdokumentaatiot jätettiin tästä insinööryöstä pois niiden suuren määrän vuoksi. Niiden esittäminen ei olisi myöskään tuonut työlle lisäarvoa. Valmistettavat osat saatiin valmistukseen ja ostokomponentit tilaukseen. Robottisolun sähkösuunnittelu on vielä käynnissä. Solun asennus ja käyttöönotto voidaan aloittaa, kun kaikki osat ovat saapuneet MTC Flextekin tuotantotiloihin.

Lähteet

Executive summary world robotics 2018 industrial robots. 2018. Verkkoaineisto. International federation of robotics. <https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_Industrial_Robots.pdf> Luettu 7.6.2019.

Five types of industrial robots and how to choose the best fit. 2018. Verkkoaineisto. Manufacturing.net. <<https://www.manufacturing.net/article/2018/03/five-types-industrial-robots-and-how-choose-best-fit>> Luettu 29.7.2019.

Kuivanen, Risto. 1999. Robotiikka. Vantaa: Talentum Oyj/MetalliTekniikka.

MTC Flextek Oy yrityseshittely. Verkkoaineisto. MTC Flextek Oy. <<https://www.mtcflextek.fi/mtc-flextek>> Luettu 7.6.2019.

Robottien tekniset tiedot. Verkkoaineisto. Fanuc robotics. <<https://www.fanuc.eu/fi/en/robots/robot-filter-page>> Luettu 13.6.2019.

SFS-EN ISO 10218-1. 2011. Turvallisuusvaatimukset. Robotit ja robottilaitteet. Helsinki. Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN ISO 10218-2. 2011. Turvallisuusvaatimukset. Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki. Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN ISO 13850. 2015. Safety of machinery. Emergency stop function. Helsinki. Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN 13855. 2010. Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet. Helsinki. Suomen standardoimisliitto.

SFS-EN ISO 13857. 2008. Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeelle. Helsinki. Suomen standardoimisliitto.

Teollisuusrobottitilastot. 2016. Verkkoaineisto. Suomen robotiikkayhdistys ry. <<http://roboyhd.fi/wp-content/uploads/2018/04/Teollisuusrobottitilastot-2016.pdf>> Luettu 7.6.2019.

Tietoa Solidworksista. Verkkoaineisto. Dassault Systemes Solidworks Corporation. <<https://www.solidworks.com/>> Luettu 18.7.2019.

X-guard technical information. Verkkoaineisto. Axelent.
<https://www.axelent.com/media/5742/axelent_x-guard_machine_guarding_brochure_technical_usa_lr.pdf> Luettu 8.7.2019.

M-710iC/45M Tekniset tiedot

M-710iC/45M (High inertia version)			Max. load capacity at wrist: 45 kg						Max. Reach: 2606 mm								
Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range (°)						Maximum speed (°/s)						J4 Moment/ Inertia (Nm/kgm ²)	J5 Moment/ Inertia (Nm/kgm ²)	J6 Moment/ Inertia (Nm/kgm ²)
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6			
6	± 0.1	570	360	225	440	800	250	800	180	180	180	250	250	360	206/28	206/28	127/20

Working Range

Robot	M-710iC/45M
Robot footprint (mm)	535 x 550
Mounting position Floor	•
Mounting position Upside down	•
Mounting position Angle	•
Controller	30iB
Open air cabinet	-
Mate cabinet	o
A-cabinet	•
B-cabinet	o
iPendant 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	1
Environment	
Acoustic noise level [dB]	71.3
Ambient temperature [° C]	0-45
Protection	
Body standard/optional	IP54/IP67
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67

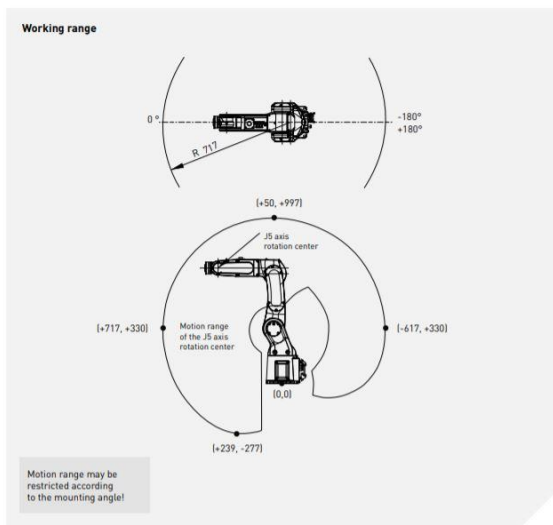
• standard o on request - not available [] with hardware and/or software option

MDS-00027-EN

LR Mate 200iD Tekniset tiedot

LR Mate 200iD  Max. load capacity at wrist: **7 kg**  Max. reach: **717 mm**

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range (°)							Maximum speed (°/s)							J4 Moment/ Inertia [Nm/kgm ²]	J5 Moment/ Inertia [Nm/kgm ²]	J6 Moment/ Inertia [Nm/kgm ²]
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	E1	J1	J2	J3	J4	J5	J6	E1			
6	± 0.018*	25	360	245	420	380	250	720	-	450	380	520	550	545	1000	-	16.6/0.47	16.6/0.47	9.4/0.15



MDS-00007-EN

Robot	LR Mate 200iD
Robot footprint [mm]	190 x 190
Mounting position Floor	•
Mounting position Upside down	•
Mounting position Angle	•
Controller	R30iB
Open air cabinet	○
Mate cabinet	•
A-cabinet	-
B-cabinet	-
iPendant Touch	•
Electrical connections	
Voltage 50/60Hz 3phase [V]	-
Voltage 50/60Hz 1phase [V]	200-230
Average power consumption [kW]	0.5
Integrated services	
Integrated signals on upper arm In/Out	6/2
Integrated air supply	1
Environment	
Acoustic noise level [dB]	64.7
Ambient temperature [°C]	0-45
Protection	
Body standard/optional	IP67/IP69K
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67/IP69K
Clean room (ISO Class 4)	-

● standard ○ on request - not available | | with hardware and/or software option

*Based on ISO9283

Piab B75XP Tekniset tiedot

Suction cup B75XP Polyurethane 30/60 ,thread insert G3/8" male, 0205162



- Suitable for limited level adjustment with good stability.
- Excellent gripping performance on corrugated and porous or surface leaking objects such as cardboard, textured plastic parts and composite material (raw surface).
- In the two-coloured suction cup the bellows and the sealing lip are of different hardnesses, which makes the suction cup strong and stable for accelerations and speed, at the same time, soft and flexible.
- DURAFLEX® suction cups manufactured in a specially developed material that features the elasticity of rubber and wear resistance of polyurethane.
- The material DURAFLEX® is mark free.

General

Curve radius	50 mm
Movement, vertical max.	16 mm
Application	Plastic injection molded parts, Corrugated / cardboard
Material	Polyurethane (PU30), Polyurethane (PU60)
Suction cup model	B-XP
Suction cup shape	Bellows
Volume	42.8 cm ³
Weight	43.5 g



Fitting

Fitting size	3/8"
Fitting style	Male
Fitting type	G-thread
Fitting option	None

Dimension

Height	44.3 mm
Outer diameter	77.5 mm

Performance – lifting forces

		
20 -kPa	75 N	60 N
60 -kPa	176 N	150 N
90 -kPa	228 N	180 N

Piab BX52P Tekniset tiedot

Suction cup BX52P Polyurethane 30/60 with filter, G1/4" male, with mesh filter, 0106045



- Suitable for level adjustment and for uneven and porous surfaces such as cardboard, etc.
- In the two-coloured suction cup the bellows and the sealing lip are of different hardnesses, which makes the suction cup strong and stable and, at the same time, soft and flexible.
- DURAFLEX® suction cups manufactured in a specially developed material that features the elasticity of rubber and wear resistance of polyurethane.
- The material DURAFLEX® is mark free.

General

Curve radius	32 mm
Movement, vertical max.	19 mm
Application	Mark Free, Plastic injection molded parts, Dry sheet metal, Corrugated / cardboard
Material	Polyurethane (PU30), Polyurethane (PU60)
Suction cup model	BX-P
Suction cup shape	Multibellows
Volume	30 cm ³
Weight	24 g



Fitting

Fitting size	1/4"
Fitting style	Male
Fitting type	G-thread
Fitting option	Filter disc, Filter mesh

Dimension

Height	54 mm
Outer diameter	53 mm

Performance — lifting forces

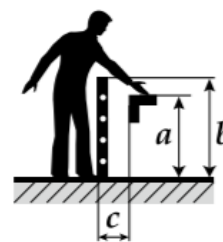
		
20 kPa	32 N	25 N
60 kPa	56 N	44 N
90 kPa	75 N	54 N

Material

	Polyurethane (PU30)	Polyurethane (PU60)
Colour	Yellow	Green transparent
Hardness	30 °Shore A	60 °Shore A
Temperature	10 – 50 °C	10 – 50 °C

Axelent turvaetäisyydet

VALUES FOR SAFETY DISTANCES										
EN ISO 13857 chapter 4.2.2.1.2 table 2										Dimensions in mm
Height of hazard zone ^c <i>a</i>	Height of protective structure <i>a, b</i>									
	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500	2700
Horizontal safety distance to hazard zone, <i>c</i>										
2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2400	1100	1000	900	800	700	600	400	300	100	0
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	0	0
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	0	0	0
1800	1500	1400	1100	900	800	600	0	0	0	0
1600	1500	1400	1100	900	800	500	0			
1400	1500	1400	1100	900	800	0	0			
1200	1500	1400	1100	900	700	0	0			
1000	1500	1400	1000	800	0	0	0			
800	1500	1300	900	600	0	0	0			
600	1400	1300	800	0	0	0	0			
400	1400	1200	400	0	0	0	0			
200	1200	900	0	0	0	0	0			
0	1100	500	0	0	0	0	0			



- a** Protective structures less than 1000 mm in height are not included because they do not sufficiently restrict movement of the body.
- b** Protective structures lower than 1400 mm should not be used without additional safety measures.
- c** For hazard zones above 2700 mm, refer to 4.2.1.