

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikka

2024

Antti-Jussi Virtanen & Laura Hakala

# Robotisoidun pakkaussolun suunnittelu ja simulointi



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

2024 | 57 sivua

Antti-Jussi Virtanen & Laura Hakala

## Robotisoidun pakkaussolun suunnittelu ja simulointi

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Piikkio Works Oy. Yritys valmistaa laivan hytti- ja kylpyhuonemoduuleja. Ennen moduulien siirtoa laivaan, ne pakataan asianmukaisesti kosteuden ja UV-säteilyn varalta. Koska hyttimoduulit ovat isoja, ei niiden pakkaaminen onnistu perinteisiä teollisuuden pakkausmenetelmiä käyttäen. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella simulaatio robotisoidusta pakkaussolusta ja tavoitteena oli luoda kannattava ja toteutettava simulaatio Piikkio Works Oy:n tehtaalle.

Opinnäytetyössä käytettiin kolmea eri ohjelmistoa: Siemens NX, RoboDK ja Autodesk AutoCAD. 3D-mallit mallinnettiin Siemens NX:llä ja tuotiin STEP-tiedostoina simulaatio-ohjelmaan. Simulaatio ja siihen tehty etäohjelmointi luotiin käyttäen RoboDK:ta. Sovellukseen saatiin neljän kuukauden täyslisenssit RoboDK:n yhtiön tarjoamana. Solun layout-suunnitelma luotiin käyttäen Autodesk AutoCAD:a ja Piikkio Works Oy:n virallista tehdaslayouttia hyödyntäen. Teoriaosuus tehtiin kirjallisuuskatsauksena.

Tuloksena syntyi simuloitu robottisolu, joka on mahdollista ottaa käyttöön Piikkio Works Oy:n tehtaalla. Simulaatiolle luotiin myös riskiarviointi Pilz-kaaviolla. Työn oleellisimpana kehitysehdotuksena on koko robottisolun täysautomaatio, jolloin myös muovitusportti ja siihen uuden rullan vaihtaminen tapahtuisivat automaattisesti. Lisäksi yksi kehitysehdotus on uusien muovirullien siirtäminen robottisoluun sisälle automaattisen kuljettimen avulla.

Asiasanat:

teollisuusrobotiikka, pakkaussolu, simulaatio, portaalirobotti

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

2024 | 57 pages

Antti-Jussi Virtanen & Laura Hakala

## Design and Simulation of a Robotized Packing Cell

The thesis was commissioned by Piikkio Works Oy. The company's main products are cabin and bathroom modules for cruise ships. Before the completed modules are transported to the shipyard, they must be packed properly to prevent moisture and UV damages. Because the cabin modules are very large, the packing of cabins cannot be done by classic packing methods. The purpose of this thesis was to design a simulation of robotized packing cell and the objective for the simulation is to be profitable to put into practice in Piikkio Works' factory.

In the thesis, there are three main applications in use: Siemens NX, RoboDK and Autodesk AutoCAD. 3D models were done by Siemens NX and exported to RoboDK as a STEP files. Simulation and its programs were done in RoboDK. The application was given to use by RoboDK Inc. with four-month full licenses. The cell layout was done in Autodesk AutoCAD utilizing the official factory layout. The theoretical part of this thesis was done as a literature review.

A simulated robotic cell was created as a result, which could be used in Piikkio Works. A Pilz risk analysis was also made for the robot cell. The main improvement for the simulation is an entirely automatic cell where also the packing port and its packing material swap could be done completely automatically. The second improvement is to add a conveyor, so the packing material could be brought to the cell without human intervention.

Keywords:

industry robotics, packing cell, simulation, gantry robot

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>6</b>
<b>2 Teollisuusrobotiikka</b>	<b>7</b>
2.1 Teollisuusrobotiikan historia	7
2.2 Robotit	11
2.2.1 Perinteisestä poikkeavat robotiikan haarat	11
2.2.2 Robottien käyttövoimat	12
2.2.3 Robotin komponentit	13
2.2.4 Robottien luokittelu	14
2.3 Tarraimet ja työkalut	20
<b>3 Robottisolu</b>	<b>24</b>
3.1 Robottisolun elinkaari	25
3.2 Suunnittelu ja mallinnus	27
3.3 Simulointi ja mallipohjainen etäohjelmointi	28
3.4 Robottisolun turvallisuus	29
<b>4 Nykyinen pakkaussolu</b>	<b>34</b>
<b>5 Robotisoitu pakkaussolu</b>	<b>37</b>
5.1 Mallintaminen ja layout-suunnitelma	37
5.2 Toteutunut simulointi	42
5.3 Solun turvallisuusratkaisut	49
<b>6 Hyödynnettävyys</b>	<b>52</b>
<b>7 Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>53</b>
<b>Lähteet</b>	<b>55</b>
<b>Kuvat</b>	
Kuva 1. Suorakulmaiset robotit (Brookins 2019).	16

Kuva 2. Sylinterirobotti ja sen liikeradat (Alsabbagh 2019, 23).	16
Kuva 3. Napakoordinaatistorobotti ja sen liikeradat (Lakhani 2012, 40).	17
Kuva 4. SCARA-robotti ja akselit (Kusigerski ym. 2022, 67).	18
Kuva 5. Deltarobotin mekaniikka (Makkonen 1999, 12).	18
Kuva 6. Kuudennen vapausasteen robotti (Wernholt 2004, 8).	19
Kuva 7. Bernoullin tarraimen toimintamalli (Stühm ym. 2014, 162).	21
Kuva 8. Universaali tarraimen toiminta (Drives & Controls 2014).	23
Kuva 9. Esimerkki teollisuusrobotisolusta (Bouchard 2017, 18).	24
Kuva 10. Robotisolun elinkaari (Välimäki & Niemelä 2023, 82).	25
Kuva 11. Erilaisia turvakomponentteja (Surakka 2019, 9).	30
Kuva 12. Riskin arviointi (SFS-EN ISO 12100).	32
Kuva 13. Riskin arviointi ja sen pienentäminen (SFS-EN ISO 12100).	33
Kuva 14. Nykyisen pakkaussolun tilanne (Virtanen 2024).	34
Kuva 15. Ohjauslogiikka pussitussolun porttiin (Virtanen 2024).	35
Kuva 16. Käytössä oleva tohotin muovin kutistamiseen (Virtanen 2024).	36
Kuva 17. Muovitusportti (Hakala 2024).	38
Kuva 18. Simulaation rakennepuu (Hakala 2024).	39
Kuva 19. Rakennepuun yksityiskohtien listautuminen (Hakala 2024).	40
Kuva 20. Pakkaussolu sivulta (Hakala 2024).	40
Kuva 21. Pakkaussolu ylhäältä (Hakala 2024).	41
Kuva 22. Robotisolun layout (Hakala 2024).	42
Kuva 23. Rullatarrain (Virtanen 2024).	43
Kuva 24. Leikkuutarrain (Virtanen 2024).	44
Kuva 25. Simulaation komponentit ja ohjelmat (Virtanen 2024).	45
Kuva 26. Lucas-robotin paikkapisteet (Virtanen 2024).	46
Kuva 27. pPussitus-ohjelma kokonaisuudessaan (Virtanen 2024).	47
Kuva 28. Pussituksen työkalukoordinaatin liikerata (Virtanen 2024).	48
Kuva 29. pRullanvaihto-ohjelman liikerata (Virtanen 2024).	49

## Taulukot

Taulukko 1. Riskien arviointi Pilz-kaaviolla.	50
-----------------------------------------------	----

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Piikkio Works Oy:lle. Piikkio Works Oy on hytti- ja kylpyhuonemoduuleja valmistava yritys Varsinais-Suomessa. Se on Meyer Turku Oy:n tytäryhtiö. Yritys on perustettu vuonna 1982 Piikkiöön. Noin 40 vuoden kokemuksella Piikkio Works Oy on suunnitellut, valmistanut ja toimittanut yli 150 000 hytti- ja kylpyhuoneyksikköä asiakasyrityksilleen eri puolille maailmaa. (Piikkio Works Oy 2023.)

Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään tuotannon viimeistä työvaihetta eli hyttien pakkaamista. Nykyinen pakkaussolu on työntekijöille epäedullinen työhyvinvoinnin ja työturvallisuuden kannalta. Työn lähtökohtana on parantaa kyseisen työvaiheen työntekijöiden työhyvinvointia ja työturvallisuutta, keventää heidän työnsä kuormittavuutta sekä vähentää pakkaussolun työntekijöiden määrää automatisoimalla solua. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja simuloida robottisolu, tehdä solun turvallisuustarkastelu sekä arvioida sen hyödynnettävyyttä yrityksessä. Tavoitteena on luoda simulaatio, joka on kannattava toteuttaa toimivaksi robottisoluksi Piikkiön tehtaalle. Tuotoksena syntyy simulaatio robotisoidusta pakkaussolusta.

Suunnittelussa käytetään Siemens NX, RoboDK ja Autodesk AutoCAD -ohjelmistoja. Siemens NX on 3D-suunnitteluohjelma tuotekehityksen, suunnittelun ja valmistuksen tueksi (Siemens 2023). Sitä hyödyntäen opinnäytetyöhön mallinnetaan 3D-mallit muun muassa solun lattiasta, linjastolla liikkuvasta hytistä, muovitusportista, muovirullista sekä tarraimista. RoboDK on simulointiohjelmisto, jonka avulla on mahdollista suorittaa myös robottien offline-ohjelmointia (RoboDK 2024). RoboDK:lla työhön rakennetaan simulaatiomalli, johon paikoitetaan mallinnetut ja kirjastosta ladatut komponentit sekä luodaan etäohjelmointi robotisoitua pussitusta varten. AutoCAD on tietokonepohjainen suunnitteluohjelma 2D- ja 3D-mallien mallintamiseen (Autodesk 2024). Sen avulla opinnäytetyöhön tehdään karkea layout-suunnitelma robottisolun sijoittamisesta muun tuotannon yhteyteen.

## 2 Teollisuusrobotiikka

Teollisuusrobotiikkaa käytetään teollisuudessa eri tuotannon tehtävissä, jolloin robotit korvaavat ihmiset mekaanisissa ja toistuvissa töissä. Teollisuusrobotit määritellään automaattiohjatuiksi, uudelleenohjelmoitaviksi ja monikäyttöisiksi mekaanisiksi laitteiksi, jotka voidaan ohjelmoida ainakin kolmelle eri akselille. (Bouchard 2017, 17; Dinwiddie 2019, 22; Hänninen 2022, 36–37.)

Teollisuusrobotiikkaa sovelletaan useilla teollisuuden aloilla. Nykypäivänä teollisuusrobottien suurin käyttö maailmanlaajuisesti jakautuu seuraavien teollisuusalojen kesken: eniten käyttää ensimmäisellä sijalla oleva elektroniikkateollisuus, toisella sijalla on autoteollisuus ja kolmantena konepajateollisuus. (Välimäki & Niemelä 2023, 20.)

Erilaisia tehtäviä, joissa robotiikkaa usein hyödynnetään ovat muun muassa piste- ja kaarihitsaus, plasmaleikkaus, hionta ja kiillotus, jäysteenpoisto, laadunvarmistus, kokoonpano, lavaus, pakkaus, maalaus sekä liimaus. Teollisuusrobotiikan käyttö nykypäivänä on erittäin merkittävää, eikä ilman automaatiota ja robotiikkaa olisi mahdollista tuottaa massatuotantoa samassa mittakaavassa, mitä nyt tuotetaan näitä käyttämällä. (Välimäki & Niemelä 2023, 36–63; Pekkola ym. 2020, 15.)

### 2.1 Teollisuusrobotiikan historia

Varsinainen tietokonepohjainen robotiikka sai alkunsa maailmanlaajuisesti 1950-luvulta, jolloin ensimmäiset robotit olivat teollisuudessa käytettäviä teollisuusrobotteja. Teollisuusrobotiikan historia voidaan jakaa kehityksensä mukaan neljään sukupolveen, joita ovat ensimmäinen sukupolvi vuosina 1950–1967, toinen sukupolvi vuosina 1968–1977, kolmas sukupolvi vuosina 1978–1999 sekä neljäs sukupolvi 2000-luvulta eteenpäin. (Hänninen 2022, 57.)

## **Ensimmäinen sukupolvi 1950–1967**

Ensimmäiset tietokoneet keksittiin 1940-luvulla ja 1950-luvulla aloitettiin niiden sarjatuotanto. Pian tietokoneiden keksimisen jälkeen myös robotiikka sai nopeasti alkunsa. Ensimmäinen teollisuusrobotti Unimate otettiin tuotantokäyttöön Yhdysvalloissa General Motorsin tehtaalla vuonna 1961. Tämä robotti oli hydraulinen, digitaalisesti ohjattava käsivarsirobotti. Unimaten kehitti mies nimeltä George Devol ja hän myös perusti yhdessä Joseph Engelgerin kanssa ensimmäisen robotteja valmistavan yrityksen, Unimationin. (Hänninen 2022, 59, 67; Marttinen 2018, 38–39.)

Suomessa robotiikka on saanut alkunsa hieman myöhemmin, vasta vuonna 1966. Tällöin Nokia aloitti Unimate-robottien valmistamisen. Näitä robotteja ei kuitenkaan käytetty vielä Suomessa, vaan ne valmistettiin ulkomaille vietäviksi muun muassa Itä-Eurooppaan. (Hänninen 2022, 96.)

Ensimmäisen sukupolven teollisuusrobotit olivat uudelleenohjelmoitavia laitteita ilman minkään näköisiä kehittyneitä tekniikoita, kuten esimerkiksi sensoreita. Robotit suorittivat tehtävänsä tarkasti ohjelmointinsa mukaisesti, eivätkä reagoineet ulkoisesti muuttuviin tilanteisiin tai ympäristöihin. Nämä ensimmäiset alkeelliset robotit olivat siten melko turvattomia, sillä ne eivät vielä kyenneet tunnistamaan esimerkiksi ihmistä työstökappaleesta. Robotit aiheuttivat myös liikkueessaan voimakasta melua, mikä puolestaan ei myöskään parantanut työturvallisuutta. Tämän sukupolven aikaisia robotteja käytettiin pääsääntöisesti erilaisiin lastaus- ja purkutehtäviin tai yksinkertaisiin materiaalin käsittelytehtäviin. (Hänninen 2022, 58–59.)

## **Toinen sukupolvi 1968–1977**

Vuonna 1969 markkinoille saatiin ensimmäinen ohjelmoitava logiikka, PLC. Logiikan ansiosta ohjausjärjestelmien kehitys mullistui. Kun ennen ohjausjärjestelmät koostuivat sadoista tai jopa tuhansista releistä ja ajastimista, nyt sama lopputulos pystyttiin toteuttamaan vain yhden logiikan avulla. Samana



vuonna Stanfordin yliopistossa kehitettiin ihmisen käsivartta jäljittelevä kuusinivelinen robottikäsi eli ”Stanford arm”. Tämä kuusinivelinen robotti on nykypäivänäkin tyypillinen teollisuusrobotin malli. (Lamb 2013, 1–2; Marttinen 2018, 38–39.)

Vuonna 1971 myös Suomessa otettiin käyttöön ensimmäinen Unimate-robotti Vaasaan Strömbergin tehtaalle. Samoihin aikoihin myös Rosenlew Automation rakensi ensimmäisen robottitehtaansa Ulvilaan, jossa kehitettiin paineilmalla toimivia robotteja kappaleenkäsittelytehtäviin. (Hänninen 2022, 96; Välimäki & Niemelä 2023, 23.)

Toisen sukupolven teollisuusroboteissa käytettiin jo sensoreita, jolloin robotit kykenivät paremmin sopeutumaan ympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Myös erilaisten merkkivalojen avulla robotti kykeni ilmoittamaan erilaisista muutoksista ja ongelmista käyttäjälleen. Tähän aikaan robotit olivat kehittyneet jo suorittamaan hieman monimutkaisempia tehtäviä ja kulkemaan tarkempia liikeratoja kuin ennen, mikä mahdollisti muun muassa robotin käytön hitsauksessa ja kokoonpanossa. (Hänninen 2022, 71–72; Marttinen 2018, 39.)

### **Kolmas sukupolvi 1978–1999**

Teollisuusrobottien suosio nousi merkittävästi kolmannen sukupolven aikana, kun robottien kyky tehdä itse päätöksiä ja ratkaista ongelmia tuli mahdolliseksi (Marttinen 2018, 39). Roboteista oli tullut tähän aikaan yhä kehittyneempiä esimerkiksi ympäristönsä havainnoinnissa. Sensoriensa avulla ne kykenivät jo oppimaan esimerkiksi ympäristöistä tehtyjen näköhavaintojen perusteella. Myös tähän aikaan yhä monimutkaisemmat tehtävät ja tehtävän vaihtaminen nopeasti toiseen onnistuivat roboteilta aiempaa paremmin. (Hänninen 2022, 79, 85.)

Tunnetuimpia robotteja tähän aikaan olivat SCARA- ja deltarobotit. SCARA kehitettiin vuonna 1978 Japanissa ja siitä tulikin hyvin suosittu robottimalli 1980-luvulla. Varrestaän jäykkä, mutta x- ja y-akseleilla sujuvasti liikkuva SCARA-robotti on helppokäyttöinen esimerkiksi pystysuorissa pienten osien asennus- ja kokoonpanotehtävissä. Deltarobotti taas sai alkunsa vuonna 1992

Sveitsissä. Se koostuu kiinteästä alustasta ja kolmesta nivelakselista, jotka liikkuvat x-, y- ja z-akseleilla. Deltarobotti soveltuu erinomaisesti muun muassa pienkappaleiden pakkaus- ja kokoonpanotehtäviin. (Hänninen 2022, 80–84.)

Kolmannen sukupolven aikaan Suomessa Rosenlew Automation vaihtui Cimcorp-yhtiön omistukseen. Cimcorp on ollut tähän mennessä Suomen historian merkittävin robottivalmistaja. 1980-luvulla Nokia alkoi valmistamaan Unimate-robottien lisäksi myös PUMA-robotteja. Samoihin aikoihin Suomessa perustettiin Teknologian Kehittämiskeskus eli TEKES, mikä mahdollisti robotiikan tutkimustoiminnan myös Suomessa. Yritys nimeltä Blastman Robotics on ollut Suomessa Nokian ja Cimcorpin lisäksi yksi merkittävä robottivalmistaja. Se valmisti ensimmäisen uudelleen ohjelmoitavan robotin vuonna 1985. (Hänninen 2022, 96–97; Välimäki & Niemelä 2023, 23–24.)

### **Neljäs sukupolvi 2000-luvulta tähän päivään**

Neljännän sukupolven aikana teollisuusroboteista on kehittynyt yhä älykkäämpiä roboteissa käytettävien aktuaattoreiden, efektorien, sensorien ja mikrokontrollerien avulla. Ne kykenevät esimerkiksi haastaviin laskentatoimintoihin, loogiseen päättelyyn ja virheistä oppimiseen. Lisäksi roboteista on kehittynyt yhä joustavammin ja nopeammin ympäristönsä muutoksiin sopeutuvia. (Hänninen 2022, 92.)

Suomeen on perustettu neljännän sukupolven aikana useita robotteihin keskittyneitä yrityksiä. Yksi näistä yrityksistä on vuonna 2007 perustettu ZenRobotics, joka suunnittelee nykyaikaisia robottijärjestelmiä jätteenkäsittelyyn ja -lajitteluun. Vaikka 2000-luvun alku onkin ollut Suomen huippuvuosi robotiikan osalta, koki robotiikka Suomessa vuonna 2010 pienen laskun. (Hänninen 2022, 98; Välimäki & Niemelä 2023, 27.)

Tulevaisuus näyttää mihin suuntaan robottien kehitys tästä vielä jatkuu. Se ainakin tiedetään, että robotiikka tulee vielä vapauttamaan yhä kasvavin määrin ihmisiä toistuvista, likaisista ja vaarallisista tehtävistä turvallisempiin ja luovempiin tehtäviin. (Hänninen 2022, 92.)

## 2.2 Robotit

Robotit ulottuvat huomattavasti teollisuusrobotiikkaa laajemmalle. Tämä aiheuttaa keskustelua siitä, mikä on robotti ja mikä ei. Hyvänä esimerkkinä on robotti-imuri. Imuri liikkuu ympäristössään kahdella akselilla ja se käyttää manipulaattoria, mutta ei välttämättä ole uudelleenohjelmoitavissa toiseen tehtävään. Vuonna 1979 Robot Institute of America julkaisi oman versionsa määritelmästä: ”Robotti on uudelleenohjelmoitava, monitoiminen manipulaattori, joka on suunniteltu siirtämään materiaalia, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitujen liikkeiden avulla suorittaakseen erilaisia tehtäviä.” Tämä määritelmä kuitenkin ei ole virallinen määritelmä ja se jättää joitakin robotiikan osia ulkopuolelleen. (Hänninen 2022, 31.)

International Organization of Standardization (ISO) on standardissa ISO-8373 antanut virallisen määritelmän: ”Robotti on ympäristöönsä vaikuttava laite, joka on ohjelmoitavissa toimimaan vähintään kahdella akselilla. Robotti kykenee liikkumaan itsenäisesti sille tarkoitettuun ympäristöön suorittaakseen sille annettuja tehtäviä.” ISO:n määritelmä on fyysisten robottien osalta kaiken kattava selitys. Keskustelua herättävä ohjelmistorobotiikka kuitenkin jää tämänkin ulkopuolelle. (Hänninen 2022, 32.)

### 2.2.1 Perinteisestä poikkeavat robotiikan haarat

Ohjelmistorobotiikka on robotiikan uusi haara, jota ei olla lisätty standardien avulla virallisesti robotiikan alle. Suurin ero ISO:n mukaisiin roboteihin on ohjelmistorobotiikan fyysisen ulkomuodon puute. Ohjelmistorobotiikka on automatisoituja ohjelmia, joilla voidaan korvata useita ihmistyöntunteja. Se siis toimii hyvin fyysisten serkkujen mukaisesti. Siinä missä teollisuusrobotti on osa automatisoitua tuotantolinjaa, ohjelmistorobotti on osa tietojärjestelmää. Sen sijaan, että ihminen päivystäisi vuorokauden ympäri seuraamassa dataa voi ohjelmistorobotti seurata sitä ja luoda vaikka Excelin vuorokauden muutoksista, jotka ihminen voi tarkistaa. Näin säästetään lukuisia työntunteja. Ohjelmistorobotiikka on myös hyödyllisyyteensä nähden äärimmäisen halpa

investointi, sillä se ei vaadi tietojärjestelmien uudistuksia. Se voi myös toimia kahden järjestelmän välisenä rajapintana, tehden toiminnasta joustavampaa ilman suuria ja kalliita uudistuksia. (Hänninen 2022, 190–191; Jurvanen & Viinikainen 2022.)

Palvelurobotiikka eroaa isoimmista määrin teollisuusrobotiikasta lähinnä käyttökohteiden eroissa. ISO 8373-standardi kertoo palvelurobotin olevan robotti, joka suorittaa sille annettuja tehtäviä ihmisen hyväksi tai ihmisen parissa, lukuun ottamatta teollisuuden tehtäviä. Palvelurobotit voidaan jakaa karkeasti kahteen tyyppiin: yksityiskäyttöisiin ja ammattikäyttöisiin.

Yksityiskäyttöiset ovat muun muassa robotti-imuri tai -ruohonleikkuri, kun taas ammattikäyttöisiä ovat opetus- ja hoivarobotit. Ammattikäyttöisiin voidaan luokitella myös sotilaallinen robotiikka, josta pomminpurkurobotti on hyvä esimerkki. Vuonna 2019 Kiinassa kirurgi ohjasi robottia 5G-yhteydellä ja onnistui toteuttamaan kirurgisen leikkauksen täysin etänä. Suomessa Aalto-yliopisto toteutti ROSE-hankkeen aikana kuuden vuoden kokeilun palvelurobotiikan hyödyistä vanhustyössä. Kokeilussa oli käytössä läsnäolorobotteja ja voimaliivejä. Palvelurobotiikka on teollisuusrobotiikan vierellä aiheuttamassa suurta vallankumousta työmarkkinoilla. (Hänninen 2022, 136; Nilsén 2020; Kyrki 2021.)

### 2.2.2 Robottien käyttövoimat

Käyttövoimia robotiikassa on käytännössä kolme eri vaihtoehtoa. Nämä ovat sähkö, hydraulikka ja pneumatiikka. Nykyisin pääsääntöisesti käytetään sähkökäyttöisiä servomoottoreita, sillä ne ovat ylivoimaisia lähes jokaisessa ominaisuudessa. (Hänninen 2022, 46.)

**Sähköisten servomoottoreiden** edut ovat muihin verrattuina huomattavat. Servomoottori on nopea, halpa, hiljainen, suuria kuormia kestävä ja toistoa vaativissa tehtävissä äärimmäisen tarkka. Servokäyttöisiä robotteja ohjelmoitaessa, voi hyödyntää opetustilaa, jossa robotti tunnistaa voima-anturilla ihmisen ohjeistuksen. Näin opetuksen voi suorittaa kädellä robottia

liikuttaen, vaikka robotin paino itsessään olisi suuri. Huonojakin puolia servomootoreissa on. Servomootorit saattavat tarvita mekaanisia jarruja ja sähkömootorit vaativat huomattavaa huoltoa tarkkuuden säilyttämiseksi. (Hänninen 2022, 47–48.)

**Hydrauliikkaa** käyttävät robotit ovat erinomaisia suurien kuormien hallitsemisessa. Hydraulinen järjestelmä on äärimmäisen vahva, mutta myös vaarallinen vikaantuessa. Järjestelmä vaatii mekaanisia jarruja ja jatkuvaa huoltoa. Hydrauliikka roboteissa on myös kallis hankittaessa ja ylläpidettäessä. (Hänninen 2022, 47.)

**Pneumaattiset robotit** ovat nopeita ja edullisia. Nämä ominaisuudet eivät kuitenkaan riitä päihittämään ongelmia. Pneumaattinen robotti vaatii valtavasti huoltoa. Pneumatiikka ei ole erityisen tarkka voimanlähde, eikä se pysty hallitsemaan suuria kuormia. (Hänninen 2022, 48.)

### 2.2.3 Robotin komponentit

Robotin ulkomuoto ja ominaisuudet voivat vaihdella hyvinkin radikaalisti riippuen sen käyttökohteesta. Oli robotin tyyppi tai luokka mikä tahansa, se rakentuu joka tapauksessa samoista komponenteista. Karkeasti katsottuna komponentit jaetaan neljään kategoriaan: keho, aktuaattorit, efektorit ja sensorit. Osat mielletään muistuttamaan biologisen elimistön osia, joko ulkoisesti tai toiminnallisesti. (EVS 2020.)

Keho voidaan mieltää ihmisen tukirakenteiksi. Sisäinen tukiranka eli endoskeleton, sijaitsee komponenttien sisällä luuston tavoin. Puolestaan ulkoinen tukiranka eli eksoskeleton pitää komponentit sisällään kovakuoriaisten tyyliä. (Hänninen 2022, 43; EVS 2020.)

Aktuaattorit ovat robotin liikkeen lähde. Ne voidaan ajatella olevan robotin lihakset, jänteet ja nivelet. Yleisesti ottaen aktuaattorit ovat joko lineaariliikettä tai pyörivää liikettä tuottavia mekaanisia toimilaitteita. Niiden rakenne riippuu suuresti käytettävästä voimalähteestä. (Hänninen 2022, 45–46; EVS 2020.)

Efektorit ovat robottien tapa vaikuttaa ympäristöönsä. Riippuen sen toiminnasta, efektoriä voi verrata ihmisen käteen tai siinä olevaan työkaluun. Tarraimet ovat suoraan verrattavissa käteen, kun taas hitsauspilli on kädessä oleva työkalu. Yleisesti ottaen efektori on englanninkielisen nimensä, *end effector*, mukaisesti varren päässä. (Hänninen 2022, 49.)

Kuten ihmisellä, niin myös roboteilla on aistit. Robotilla niitä kutsutaan sensoreiksi. Sensorit tutkivat ja aistivat robotin ympäristöä ja välittävät tiedon eteenpäin. Yleisimmät anturityypit roboteissa ovat kamerat, jotka vastaavat näköaistia, kuuloa korvaavat mikrofonit ja tuntoaistia mukailevat voima-anturit. Muita voivat olla esimerkiksi värähtelyanturit ja nopeusanturit, joilla voidaan seurata robotin tilaa ja kuntoa. (Hänninen 2022, 50; EVS 2020.)

Mikrokontrolleria verrataan ihmisen aivoihin. Se kerää sensoreista datan ja prosessoi sen. Datan avulla se osaa ohjeistaa robotin osia toimimaan tarvittavalla tavalla. Kun robotin voima-anturi tunnistaa esteen efektorin edessä, mikrokontrolleri osaa toimia välittömästi ja pysäyttää robotin liikkeen. Riittävän älykkäät robotit osaavat lähestymisantureilla tunnistaa lähestyvän esteen ja kiertää sen. (Hänninen 2022, 50–51; EVS 2020.)

#### 2.2.4 Robottien luokittelu

Robotteja voidaan jakaa tiettyihin kategorioihin. Yleisesti robotit jaetaan luokkiin, jotka sisältävät teollisuusrobotit. Kun taas teollisuusrobotit voidaan jakaa tyyppeihin perustuen niiden rakenteisiin tai työalueisiin: (Hänninen 2022, 43–44.)

- Mönkijä-luokan robotit ovat isohkoja ja hitaita lähinnä lineaarista liikettä tekeviä robotteja, joiden liikkuminen tapahtuu pyörillä tai teloilla. Esimerkiksi NASA:n Perseverance-tutkimusrobotti ja robottiruohonleikkurit ovat luokiltaan mönkijöitä.
- Kilpikonaluokka pitää sisällään yksinkertaisia, pieniä, pääsääntöisesti harrastelijoiden luomia robotteja, joiden liikehdintä mukailee mönkijää.

- Kävelijät käyttävät pyörien ja telojen sijaan jalkoja. Tasapainon lisäämiseksi jalkoja on useimmiten enemmän kuin kaksi.
- Kädet ja pihdit ovat luokkana yleisin. Se pitää sisällään robotit, joilla on vähintään yksi käsivarsi tai pihti. Teollisuusrobotit ovat pääsääntöisesti käsivarsia.
- Androidit ja humanoidit ovat ihmistä muistuttavia robotteja.

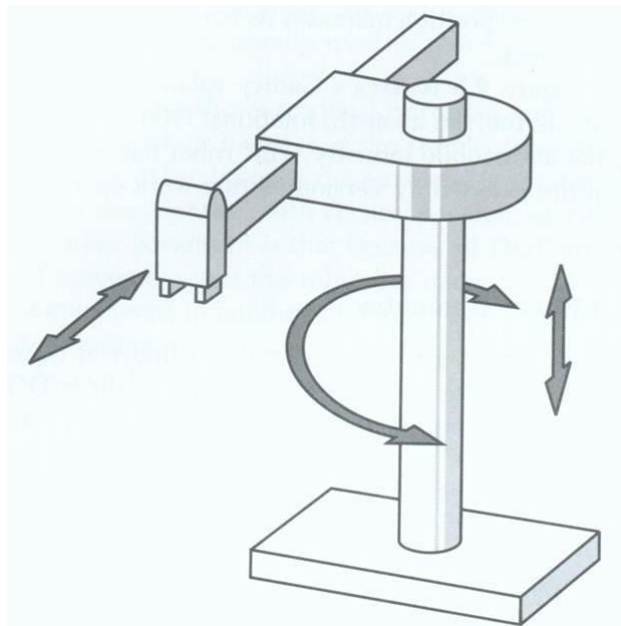
Kansainvälisellä tasolla ISO 8373-standardi määrittää, että teollisuusrobotiikan tyyppisiä on kuusi ja ne kaikki ovat käsi- tai pihtirobotteja. Tyypit voidaan erottaa toisistaan liikeradan, työalueen ja ulkomuodon avulla. Tyyppien välillä vapausaste saattaa vaihdella kolmen ja kuuden välillä. Vapausaste tarkoittaa systeemin mahdollisia liikkumissuuntia. Myös kansallisella tasolla standardisointia pyritään edistämään komitea 310 toimesta. (Nilsén 2020; Hänninen 2022, 113.)

Suorakulmainen robotti omaa kolme vapausastetta ja sen liikerata on suorakulmainen särmiö. Yleisesti robotti rakentuu yhdestä tai kahdesta kiinteästä runkopalkista, jotka ovat päistään kiinnitetty alustaan (Brookins 2019). Kuvassa 1 on esitetty portaalirobotin ja karteesirobotin ero, joka esiintyy kiinteiden runkopalkkien määrässä. Karteesirobotissa on vain yksi x-akselin palkki, kun taas portaalirobotissa on niitä kaksi kappaletta. Runkopalkkien välissä on kolmas palkki, joka kulkee x-akselilla ja tähän on kiinnitetty y-akselilla kulkeva kelkka. Kelkkaan kiinnittyy varsi, jonka liikerata on z-akselilla. Varren päähän kiinnitetään efektori. Karteesirobotia käytetään automatisoidun logistiikan kohteissa, sillä robotin koko voi vaihdella kymmenistä sentteistä kymmeneen metriin. (Hänninen 2022, 115.)



Kuva 1. Suorakulmaiset robotit (Brookins 2019).

Sylinterirobotin työalue on nimensä mukaisesti ympyräpohjainen lieriö. Robotin ensimmäinen nivel on kiertyvä ja siihen on kiinnittynyt z-akselilla kulkeva kelkka (kuva 2). Kelkassa puolestaan on y-suunnassa liikkuva varsi, jonka pätyyn lisätään tarvittaessa efektori. Sylinterirobottia käytetään eniten lajittelu- ja pakkausautomaatioissa. (Hänninen 2022, 117.)

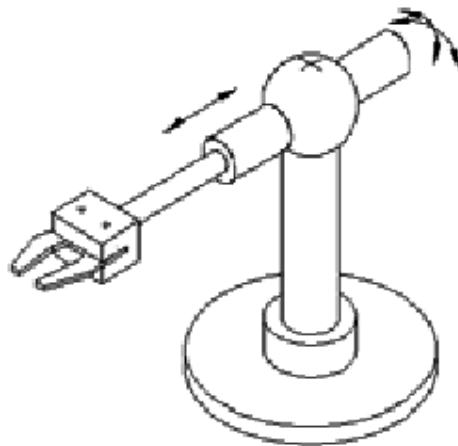


Kuva 2. Sylinterirobotti ja sen liikeradat (Alsabbagh 2019, 23).

Pallomaisen työtilan omaava napakoordinaatistorobotti on ensimmäinen teollisuusrobotityyppi, mutta se väistyi uudempien mallien tieltä monimutkaisen koordinaatiston tuomien ongelmien takia. Ensimmäinen nivel on pyörivä ja toinen nivel kääntyy pystysuunnassa (kuva 3). Toiseen niveleen on kiinnitetty

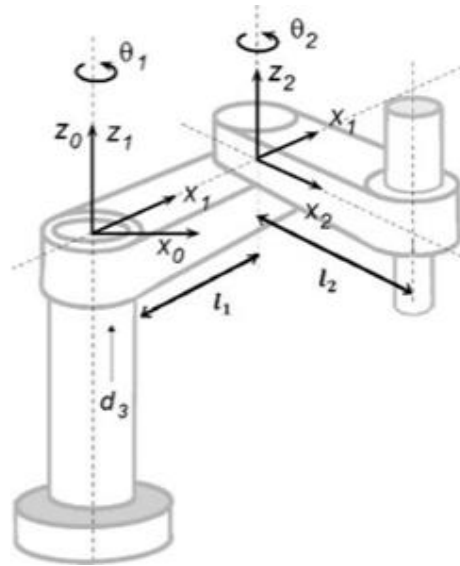


y-akselilla lineaarista liikettä tekevä varsi, johon liitetään efektori. Piste-, kaari- ja kaasuhitsaussovellukset ovat napakoordinaatistorobotin yleisin käyttökohde (Lakhani 2012, 40; Hänninen 2022, 119.)



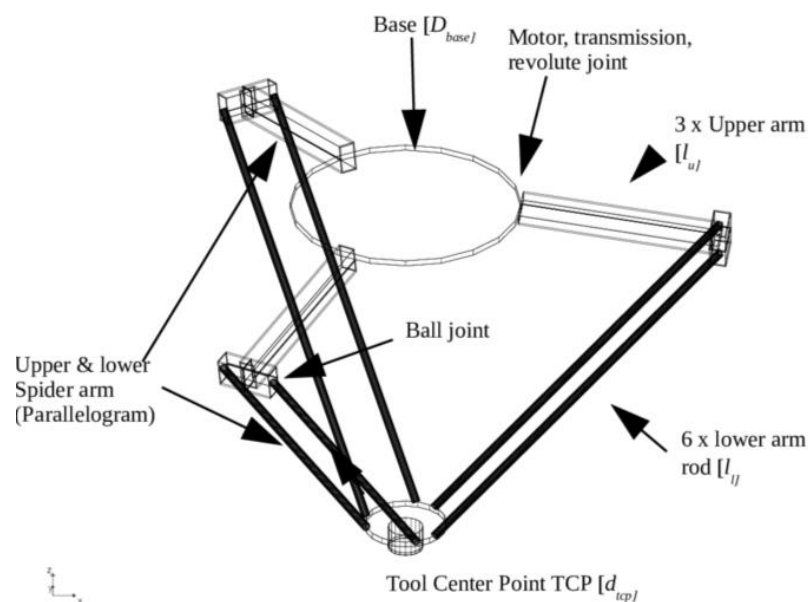
Kuva 3. Napakoordinaatistorobotti ja sen liikeradat (Lakhani 2012, 40).

SCARA-robotti saa nimensä englannin kielisestä termistä *selective compliance asseby robot arm*. Robotti koostuu kahdesta kiertyvästä nivelestä ja pystysuuntaista liikettä tekevästä varresta, joista koostuu neljä vapausastetta (kuva 4). SCARA-roboteissa voi olla huomattavasti enemmän vapausasteita, sillä kiertyviin niveliin voidaan lisätä pystysuuntainen lineaariliike ja lineaarinen nivel on mahdollista saada kiertymään itsensä ympärillä (Kusigerski ym. 2022, 67). Näin työtila on ympyrälieriön muotoinen. SCARA-robotin ominaisuudet soveltuvat parhaiten pienikokoisten kappaleiden kokoonpanoon, kuten elektroniikkaan. (Hänninen 2022, 121.)



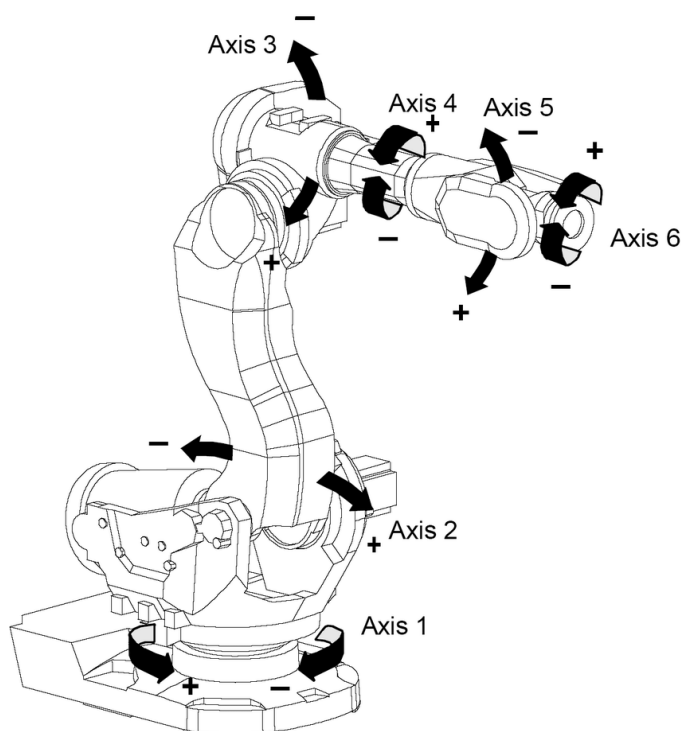
Kuva 4. SCARA-robotti ja akselit (Kusigerski ym. 2022, 67).

Rinnakkaisrakenteinen robotti, eli deltarobotti, on muista tyypeistä hyvin rakenteeltaan poikkeava tyyppi. Deltarobotti koostuu kiinteästä alustasta, johon on kiinnitetty kolme nivelakselia (kuva 5). Jokaiseen nivelakseliin on liitetty akselit, jotka yhdistyvät liikkuvaan alustaan. Nämä robotit ovat varsin nopeita liikkeissään, mutta omaavat äärimmäisen rajoittuneen työtilan. Siksi tyypillinen kohde deltarobotille on esimerkiksi elektroniikkakomponenttien kokoonpano. (Makkonen 1999, 12; Hänninen 2022, 125.)



Kuva 5. Deltarobotin mekaniikka (Makkonen 1999, 12).

Kiertyvänivelinen robotti on tutuin tyyppi. Se omaa kuusi vapausastetta ja kuusi kiertyvänivelistä akselia. Tämä tyyppi on monipuolisin, sekä ulottuvuudeltaan että soveltamismahdollisuuksiltaan. Työtila robotilla on täysin pallomainen ja ainoat sokeat pisteet ovat rungon alue (kuva 6). Yleisimpiä käyttökohteita ei sinänsä ole, sillä kiertyvänivelinen robotti on modernin automaation yleisin robottityyppi, jota voi käyttää sellaisenaan tai sitä voi käyttää pohjana eri tarkoituksiin. (Hänninen 2022, 123.)



Kuva 6. Kuudennen vapausasteen robotti (Wernholt 2004, 8).

Kiertyvänivelinen robotti on robottityypeistä ehdottomasti monikäyttöisin. Kuitenkin liiallinen liikkuvuus saattaa aiheuttaa ongelmia robotin käytössä. Ongelmia voi muodostua muun muassa eri asentojen variaatioista, eli nivelkonfiguraatioista (Välimäki & Niemelä 2023, 128). Tällä tarkoitetaan robotin tapaa päätyä haluttuun pisteeseen. Robotille ei siis kerrota miten pisteeseen tulee päätyä, vaan se tekee sen itse. Nivelkonfiguraatiota voi olla useita vaihtoehtoja ja jotkin niistä saattavat johtaa törmäyksiin solun muiden kappaleiden kanssa. Liikkuvuus saattaa aiheuttaa myös robotin kiertymistä ja

törmäämistä itsensä kanssa. Kun vapausaste on riittävän suuri, on robotin mahdollista törmätä itseensä. (Alsabbagh 2019, 32.)

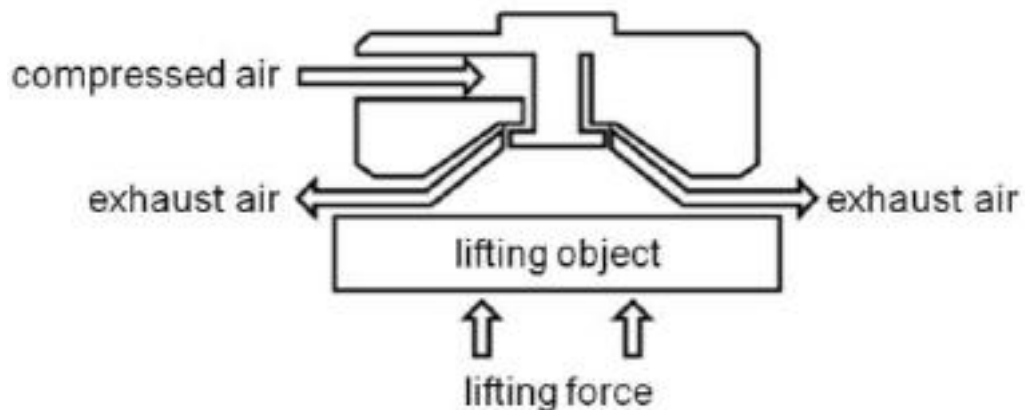
### 2.3 Tarraimet ja työkalut

Robotin viimeisen nivelen jälkeiseen varteen tai suoraan niveleen yleensä lisätään jokin työkohteeseen kuuluva toimija. Tätä kutsutaan efektoriksi. Efektori on yleisesti ottaen työkalu tai tarrain. Tarraimen avulla voidaan yleinen robotti spesifoida haluttuun toimenkuvaan. Työkalut voivat vaihdella maaliruiskuista, hitsauspillin kautta aina ruuvivääntimeen. Työkalut voivat myös olla tarraimen avulla kiinnitettynä robottiin, kuten useasti koneistukseen liittyvillä roboteilla on nähtävissä. Tällöin robotilla voi olla työkaluihin sopivaksi suunniteltu istukka, joka mahdollistaa työkalun vaihdon itsenäisesti työkierron aikana. (Hänninen 2022, 49; Välimäki & Niemelä 2023, 202–203, 221.)

Tarrantyyppjä on valtavasti, sillä ne yleisesti suunnitellaan kohteeseen sopivaksi. Markkinoilla on myös valtavat määrät yleispäteviä tarraimia, joita pyritään jatkuvasti muokkaamaan kevyemmiksi ja yleislaatuemmiksi. Tarrantyyppit voidaan jakaa kymmeneen kategoriaan. (Colestock 2004, 29.)

Jäykkäsormisia eli mekaanisia tarttujia on kahdenlaisia, muoto- ja kitkatarraimia. Tarraimet voivat myös olla näiden kahden tyypin hybridejä. Ne sisältävät vähintään kaksi liikuteltavaa sormea. Sormien liikeradat kattavat yksinkertaisia liikkeitä. Kiertyvät ja suoraviivaiset liikkeet ovat yleisemmät. Tarraimen otetta parantaakseen, voidaan sormia niveltää. Tällöin sormi pystyy tarttumaan suuremmalle pinta-alalle kohteeseen. Jäykkäsorminen tarrain mielletään useasti ulkopuolelta kohteeseen tarttuvaksi tarraimeksi. Kuitenkin sormia levittämällä on mahdollista tarttua myös sisäpuolelta. Vaihtoehtoja on myös keskittävät ja ei-keskittävät. Näiden selkeä ero on paikkapisteissä. Keskittävä tarrain siirtyy haluttuun paikkaan ja ottaessa kiinni kappaleesta, tarrain kaappaa kappaleen tarttuessa siihen. Ei-keskittävät puolestaan menevät kappaleen luo. (Välimäki & Niemelä 2023, 204–205.)

Alipainetarrain on hyvä vaihtoehto siinä tilanteessa, kun mekaaninen tarrain on joko hankala muotoilla, tai se voi vaurioittaa kappaletta. Tietyntyyiset alipainetarraimet, kuten esimerkiksi Bernoulli-tarraimet (kuva 7), pystyvät nostamaan kappaleita ilman fyysistä kosketusta. Tarraimen etuihin kuuluu myös matalat kustannukset ja yksinkertainen, helposti huollettava rakenne. Alipainetarrain muodostuu erimuotoisista ja -kokoisista imukuppeista. Jotta tartunta on luotettava, voidaan lisätä imukuppien määrää, alipainetta tai suurentaa imukuppeja. Alipainejärjestelmien eriytyminen lisää luotettavuutta, sillä yhden imukupin paineiden menetys ei vapauta kaikkia, vaan ainoastaan ne, joiden kanssa on samassa alipainejärjestelmässä. (Välimäki & Niemelä 2023, 207, 209; Stühm ym. 2014, 162.)



Kuva 7. Bernoullin tarraimen toimintamalli (Stühm ym. 2014, 162).

Tarraimen toiminta perustuu Bernoullin lakiin, jossa virtauksen aiheuttama tyhjiö luo tartunnan (kuva 7). Toinen vaihtoehtoinen toiminta on niin kutsuttu T-putki, jossa poikittaisessa putkessa on virtaus. Tämä virtaus imee pystysuuntaisesta putkesta ilmaa, muodostaen alipaineen. (Välimäki & Niemelä 2023, 208.)

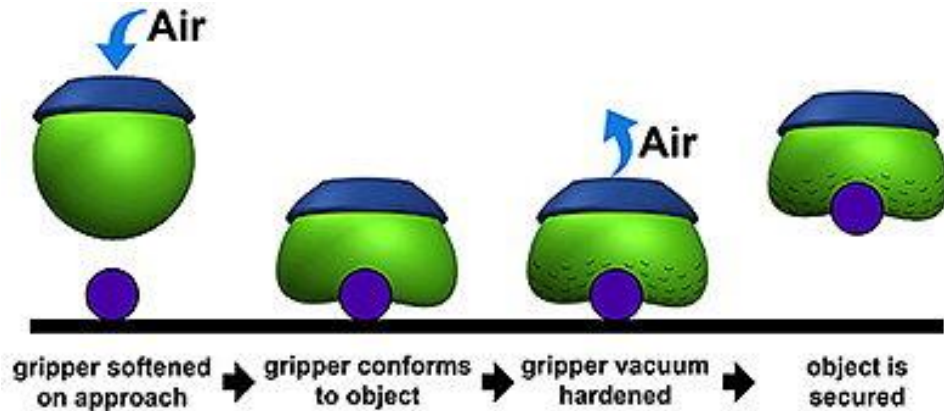
Kun käsitellään herkästi magnetisoituvia materiaaleja, voidaan laskuihin ottaa mukaan myös magneettitarrain. Magneetti vaatii luotettavan tartunnan muodostamiseksi oikean materiaalin, sopivan muodon, riittävän pinta-alan, mahdollisimman pienen ilmaraon ja alhaisen lämpötilan. Kestomagneettinen tarrain vaatii sähkö- tai paineilmaohjauksen, jotta kappale saadaan hallitusti tarrattua ja irrotettua. Kun taas sähkömagneetissa voidaan magneettivuon

suuntaa muuttamalla tarrata ja irrottaa. Huomioon tulee ottaa lämpötilan kohoaminen ja jäännösmagnetismin aiheuttama hitaus. (Välimäki & Niemelä 2023, 209.)

Jätteiden lajittelussa, elintarvike- tai tekstiiliteollisuudessa on tuotu esille myös lävistävä tartuntaan perustuva neulatarrain. Tarrain sisältää vähintään yhden neulan, joka työnnetään neulatyynyn kaltaisesti kohteeseen. Irrotus tapahtuu yksinkertaisesti vetämällä neula tarraimen sisään. Järjestelmä on kevyt ja yksinkertainen, mutta ohuet neulat saattavat katketa kappaleen sisälle. (Välimäki & Niemelä 2023, 210.)

Pehmeäsormiset tarraimet toimivat siinä, missä jäykkäsormiset eivät kykene toimimaan. Kyseinen tyyppi on kehitelty mukautumaan hankalan kappaleen liikuttamiseen. Pehmeäsormiset tarraimet hakevat tartunnan joko kietoutumalla kappaleen ympärille, tilavuuden, pinta-alan ja muodon muutoksilla tai pintavoiman muutoksilla. Tarraimet voidaan myös rakentaa hyödyntämään näitä yhdisteleviä ominaisuuksia. Haasteellisena pehmeäsormisten käytössä koetaan pintavoiman suuruuden saaminen. (Välimäki & Niemelä 2023, 210–211.)

Pallotarraimeksi kutsutaan granulaattia sisältävää ilmapalloa muistuttavaa tarrainta. Tarraimen pallo on täytetty granulaattikuulilla ja ilmalla. Pallo soveltuu itseään pienempien kappaleiden liikutteluun, sillä se vaatii toimiakseen ulkonevia muotoja (Drives & Controls 2014). Pallon toiminta perustuu toisaalta alipaineeseen, mutta toisaalta mekaaniseen kitkaan. Kun pallo ajetaan kappaleeseen kiinni, sen ilmaa aletaan pumppaamaan pois (kuva 8). Näin kappaleen ja pallon välinen tila pienenee ja granulaattikuulat ikään kuin liimautuvat kappaleeseen kiinni. Matalaprofiiliset kappaleet eivät siis sovellu pallotarraimen nostettaviksi, mutta toisaalta ei myöskään teräviä pintoja sisältävät kappaleet, sillä ne voivat rikkoa herkän ilmapallon. (Välimäki & Niemelä 2023, 211.)

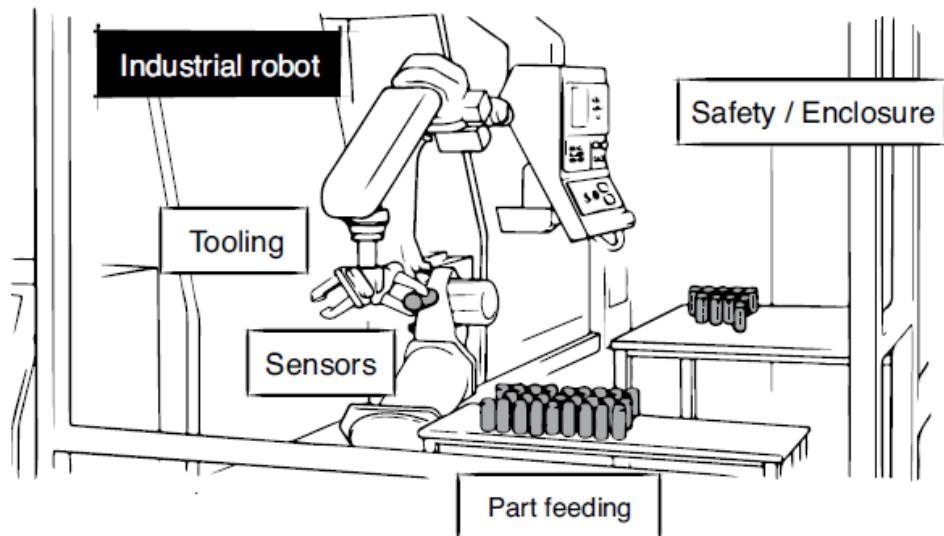


Kuva 8. Universaali tarraimen toiminta (Drives & Controls 2014).

Passiivisena tarraimena voidaan pitää liimatarrainta. Liimatarraimet hyödyntävät useita eri mekanismeista passiivisen tartuntapinnan aikaansaamiseksi. Näitä mekanismeista ovat perinteiset liimapinnat, Velcro-nauhaa mukailevat tarrat, eläinten ja hyönteisten ominaisuuksia jäljittelevät ja molekyylien välisiä voimia hyödyntävät. Irrotus voidaan tehdä esimerkiksi kiertämällä viimeistä robotin niveltä muottia vasten. (Välimäki & Niemelä 2023, 213.)

### 3 Robottisolu

Robotti ei yksikseen pysty tekemään mitään erityisiä toimintoja, vaan se tarvitsee avukseen työkalun, ohjaus- ja turvajärjestelmän sekä useita muita oheislaitteita. Tällöin kokonaisuudesta syntyy robottisolu tai -järjestelmä (kuva 9). (Bouchard 2017, 17; Välimäki & Niemelä 2023, 19, 93.)



Kuva 9. Esimerkki teollisuusrobottisolusta (Bouchard 2017, 18).

Solu on jonkinlainen asema valmistusprosessin yhteydessä, missä tehdään tietty toimenpide. Se voi olla yksinkertainen robottisolu tai monimutkainen useita robotteja sisältävä kokonaisuus. Robottisolun tarkoituksena on automatisoida tietty työvaihe tai koko prosessi. (Bouchard 2017, 17–23.)

Robotisoiduista järjestelmistä on paljon hyötyä eri sovelluskohteissa: (Lamb 2013, 2; Välimäki & Niemelä 2023, 22.)

- Työntekijöiden työolosuhteiden ja työergonomian parantuminen.
- Erittäin pienten ja tarkkojen tehtävien suorittaminen luotettavasti ja yksityiskohtaisesti.
- Raskaiden ja hankalampien tehtävien suorittaminen ilman riskiä loukkaantua.



- Rasittavien ja toistuvien tehtävien suorittaminen ilman rasitusvammoja.
- Tuotannon määrän ja laadun vakiintuminen ja tehostuminen.
- Tuotannon toimiminen myös miehittämättömästi mahdollistaa katkeamattoman tuotannon.
- Keskeneräisten ja viallisten tuotteiden sekä hukkamateriaalin vähentyminen.
- Mahdollisuus sisällyttää työvaiheeseen mukaan laaduntarkastuksia.

Monien hyötyjen lisäksi robottijärjestelmiin liittyy myös joitakin haasteita: (Lamb 2013, 2–3.)

- Käyttöönotto vaatii usein todella mittavia alkuinvestointeja.
- Joidenkin tehtävien robotisointi voi olla hyvinkin kallista ja vaikeaa, eikä näin ollen välttämättä ole edes kannattavaa.
- Järjestelmien käyttö vaatii henkilöstön kouluttamista sekä järjestelmien kunnossapito ja korjaus vaativat ammattitaitoisten työntekijöiden palkkausta.
- Robotisoidun prosessin tutkimus- ja kehityskustannuksia voi olla vaikea ennustaa etukäteen.

### 3.1 Robottisolun elinkaari

Robottisolun elinkaari (kuva 10) koostuu useista eri vaiheista, kuten suunnittelusta, kokoamisesta, testaamisesta, asentamisesta, käyttöönotosta, käytöstä, huolloista, modernisoinneista, käytöstä poistosta ja kierrätyksestä. Näistä vaiheista käytön osuus on kaikkein pisin, mahdollisesti jopa kymmeniä vuosia. (Bouchard 2017, 20–21; Välimäki & Nieminen 2023, 77, 82.)



Kuva 10. Robottisolun elinkaari (Välimäki & Niemelä 2023, 82).

Robottisolun hankintaprosessi syntyy usein ajatuksesta ja tarpeesta tehdä jokin asia paremmin, helpommin tai turvallisemmin. Alustava suunnittelu kuuluu prosessin alkuvaiheisiin, jolloin määritellään lähtötilanne ja päämäärä. Sen pohjalta tehdään karkea alustava suunnitelma, jossa nykyinen prosessi kartoitetaan eli selvitetään yksityiskohtaisesti mitä prosessissa tapahtuu ja milloin. Lisäksi selvitetään kaikki käytettävät työkalut sekä mitataan ja analysoidaan projektiin liittyvät parametrit. Tämän jälkeen on mahdollista pohtia, mitä kaikkia prosessin vaiheita olisi mahdollista automatisoida ja voiko prosessia ylipäätään nykytilanteesta tehostaa automaation avulla. (Välimäki & Niemelä 2023, 82–83.)

Suunnitelmaan kootaan ajatukset ja ehdotukset siitä, miten tavoitteisiin ja päämäärään päästään sekä millainen robottijärjestelmä voisi sopia prosessiin. Suunnittelussa robottisolun ominaisuudet ja toiminnot suunnitellaan yksityiskohtaisesti ja tarkasti. Lisäksi arvioidaan tulevia kustannuksia, robottijärjestelmän toimitukseen kuluva aikaa ja mahdollisia projektiin liittyviä riskejä. (Bouchard 2017, 24; Välimäki & Niemelä 2023, 83–85.)

Suunnittelun keskeisiä vaiheita ovat (Välimäki & Niemelä 2023, 85–87.):

1. Mekaniikkasuunnittelu, jossa suunnitellaan robottisolun osat ja niiden sijoittaminen.
2. Sähkösuunnittelu, jossa suunnitellaan sähköenergian siirtäminen ja jakautuminen eri laitteille.
3. Automaatiosuunnittelu, jossa suunnitellaan työkierrot ja niiden logiikka.
4. Turvajärjestelmän suunnittelu, jossa määritellään tarvittavat turvalaitteet ja niiden sijainti.
5. Käyttöliittymäsuunnittelu, jossa määritellään prosessiin sopiva käyttöliittymä.
6. Tuotantoprosessin suunnittelu, jossa suunnitellaan solun sijainti ja toiminta osana muuta tuotantolinjaa.

Simulointi sekä riskianalyysin tekeminen ovat myös erittäin keskeisenä osana suunnittelun kaikissa vaiheissa.

Suunnittelun jälkeen robotti ensin kootaan ja testataan toimittajan tiloissa. Kun kaikki toimii kuten pitää, robotti toimitetaan asiakkaalle. Tämän jälkeen robotti asennetaan ja otetaan käyttöön asiakkaan tiloissa. Robottijärjestelmä testataan myös asiakkaan tiloissa lopullisella paikallaan. Samoihin aikoihin voidaan myös aloittaa työntekijöiden kouluttaminen robottijärjestelmän käyttöön. (Välimäki & Niemelä 2023, 77, 87–88.)

Käytön aikana robottia huolletaan säännöllisesti, mahdollisesti modifioidaan sekä tarvittaessa korjataan. Osia kuluu käytössä, joten kriittisiä varaosia on säilytettävä varastossa. Robotin kuluessa se voidaan siirtää helpompiin tehtäviin, kunnes sen käyttö ei lopulta enää ole tehokasta ja kannattavaa. Tällöin robotti poistetaan käytöstä ja sen osat päätyvät kierrätykseen. (Välimäki & Niemelä 2023, 88–89).

### 3.2 Suunnittelu ja mallinnus

Tietokoneavusteisella suunnittelulla tuotetaan teknisiä dokumentaatioita 2D- tai 3D-suunnitteluohjelmia hyödyntäen. 2D-suunnittelu on kaksiulotteista, jolloin piirrettävä kohde on kuvattuna pituuden ja leveyden avulla. Teollisuudessa 2D-suunnittelua hyödynnetään usein layout-suunnittelussa. (Autodesk 2024; Lamb 2013, 240.)

Tuotannon layoutin avulla havainnollistetaan tuotantotilan järjestelyä: laitteiden, työkalujen, työpisteiden, kulkureittien, varastojen, turvalaitteiden ja muiden oleellisten asioiden sijoittamista tehtaassa. Layout-suunnittelulla on merkittävä vaikutus tuotannon sujumuuteen ja tehokkuuteen. Hyvässä layout-suunnittelussa on otettu huomioon turvallisuus, tuotannon tehokkuus, tuotantoaika, kulkureittien sijoittaminen, laatuun vaikuttavat asiat sekä ennen kaikkea tehokas ja järkevä tilankäyttö. (Logistiikan Maailma 2024.)

Robottisolun layout-suunnittelussa tulee ennen kaikkea tarkastella robotin ulottuvuutta kaikkiin tarvittaviin kappaleisiin, syöttölaitteisiin ja muihin komponentteihin. Kappaleiden ja laitteiden paikoittamisessa tulee huomioida, että tilaa on riittävästi ja, että robotin liikeradat tulevat olemaan turvallisia. Yksi

layout-suunnittelun tärkeimmistä tehtävistä on varmistaa, ettei törmäysvaaraa ole. Ulottuvuustarkastelu tehdään aluksi 2D- ja 3D-suunnittelun avulla, mutta lopullinen tarkastelu suoritetaan aina simuloinnilla. (Välimäki & Niemelä 2023, 270–271.)

3D-suunnittelu on kolmiulotteista mallintamista, jolloin kappale sisältää pituuden ja leveyden lisäksi myös syvyyden. Suunnittelun lähtökohtiin kuuluu suunnitteluohjelmien valinta sen perusteella, mitä halutaan saada aikaiseksi. Esimerkiksi simulaatiossa robotin tai koko robottijärjestelmän toimintaa tarkastellaan kolmiulotteisessa ympäristössä, jolloin kaikki simulaatioon tulevat laitteet ja komponentit mallinnetaan 3D-malleina. (Autodesk 2024; Välimäki & Niemelä 2023, 79.)

### 3.3 Simulointi ja mallipohjainen etäohjelmointi

Simulointi teollisuusrobotiikassa tarkoittaa virtuaaliympäristössä suoritettavaa robottijärjestelmien suunnittelua ja testausta. Simulaatiossa on mahdollista jäljitellä todellisen maailman tilanteita ja järjestelmien toimintaa. Virtuaalisessa ympäristössä on helppo tarkastella esimerkiksi robotin liiketyyppejä, -ratoja ja -tarkkuuksia, kappaleeseen tarttumista, säädellä nopeuksia sekä suunnitella tarkasti koko robottisolun toiminta alusta loppuun saakka. (Lamb 2013, 241; Välimäki & Niemelä 2023, 79.)

Simuloinnin avulla voidaan analysoida tuloksia ja vertailla eri vaihtoehtoja ennen varsinaisten päätösten tekoa ja todellisen robottisolun asentamista ja käyttöönottoa. Tutkimalla ja vertailemalla saadaan käsitys siitä, mitkä ratkaisut ovat parhaimpia juuri kyseiseen robottisoluun sekä tunnistetaan mahdolliset tuotantosolun kehityskohteet. Lisäksi pystytään tarkastamaan, että kykeneekö robotti ylipäättään suorittamaan halutun tehtävän ja toimiiko solu halutulla tavalla. (Delfoi 2023; Välimäki & Niemelä 2023, 267–269.)

Simulointimallin ohjelma voidaan ohjelmoida yksityiskohtaisesti kokonaan etäohjelmointina. Teollisuusrobottien mallipohjainen etäohjelmointi on tietokoneohjelmointia tuotannon ulkopuolella. Se käyttää graafista

käyttöliittymää ja hyödyntää simulointimallien muotoja ja tietoja ohjelman luomisessa. (Hänninen 2022, 55; Välimäki & Niemelä 2023, 252, 268.)

Simuloinnin ja mallipohjaisen etäohjelmoinnin päävaiheita ovat (Välimäki & Niemelä 2023, 253.):

1. Simulointimallin rakentaminen.
2. Mallin sijoittaminen simulointiympäristöön.
3. Mallipohjaisen etäohjelmoinnin tekeminen.
4. Etäohjelman testaaminen simuloinnissa.

Simulointimallin rakentaminen koostuu joko uuden tulevan robottisolun suunnittelusta ja mallinnuksesta tai jo valmiina olevan robottisolun mittojen mittaamisesta ja niiden perusteella mallintamisesta. Mallinnettu robottisolun ja sen eri osat ja komponentit paikoitetaan oikeille paikoilleen. Simulointimallia päivitetään aina, kun tulee joitakin muutoksia siihen liittyen kuten esimerkiksi layoutiin tai laitteistoihin. (Välimäki & Niemelä 2023, 253.)

Mallipohjaisessa etäohjelmoinnissa robotille määritetään paikkapisteet sekä liikekäskyt ja näille liikekäskyille asetetaan myös tietyt parametrit. Myös koko robotin ohjelma luodaan sisältäen työkierron, ohjelmarakenteen, muuttujien määrittämisen, I/O-ohjauksen, robotin ja operaattorin kommunikoimisen sekä virhetilanteissa toimimisen. Kun mallipohjainen etäohjelma on valmis, se testataan simulaatioympäristössä. Tällöin varmistetaan vielä robotin soveltuvuus tehtävään sekä tarkistetaan, että kaikki toimii kuten on haluttu. (Välimäki & Niemelä 2023, 253.)

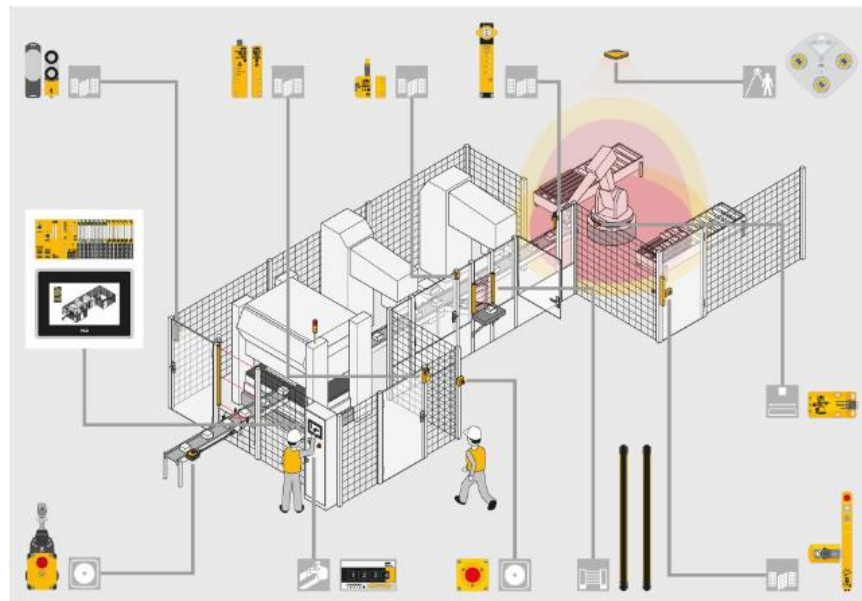
### 3.4 Robottisolun turvallisuus

Automatisoituja prosesseja, kuten esimerkiksi robottisolua, suunniteltaessa yksi tärkeimmistä asioista on tehdä huolellinen turvajärjestelmien suunnittelu. Koneiden ja laitteiden suojaaminen on tärkeää, mutta ensisijaisen tärkeää on huolehtia ihmisten turvallisuudesta estämällä mahdolliset vaaratilanteet parhaalla mahdollisella tavalla. (Lamb 2013, 44–45.)

Vaatimukset teollisuusrobotiikan turvallisuudesta Euroopan alueella saadaan konedirektiivistä. Kaikkien Euroopan talousalueella käyttöön otettavien robottisolujen on täytettävä tietyt konedirektiivin alaiset turvallisuusvaatimukset. Turvallisuusvaatimukset tarkennetaan koskemaan laitekohtaisesti eri kokonaisuuksia, jolloin esimerkiksi teollisuusroboteilla ja teollisuusrobottisoluilla on molemmilla omat standardinsa. Konedirektiivin mukaan koneeseen on tehtävä turvallisuussuunnittelu, jossa tehdään riskiarviointi ja suunnitelma riskien pienentämiseksi. (Lamb 2013, 45; Välimäki & Niemelä 2023, 91.)

Erilaisia turvallisuuden vaikuttavia tekijöitä (kuva 11) ovat muun muassa (Lamb 2013, 50–57; Välimäki & Niemelä 2023, 107–111.):

- fyysinen este
- turvakomponentit
- lukitusmekanismit
- suojalaitteet
- turvaohjaimet
- hätäpysäytystoiminto
- varoitus- ja kieltomerkit
- merkkivalo ja -ääni.



Kuva 11. Erilaisia turvakomponentteja (Surakka 2019, 9).

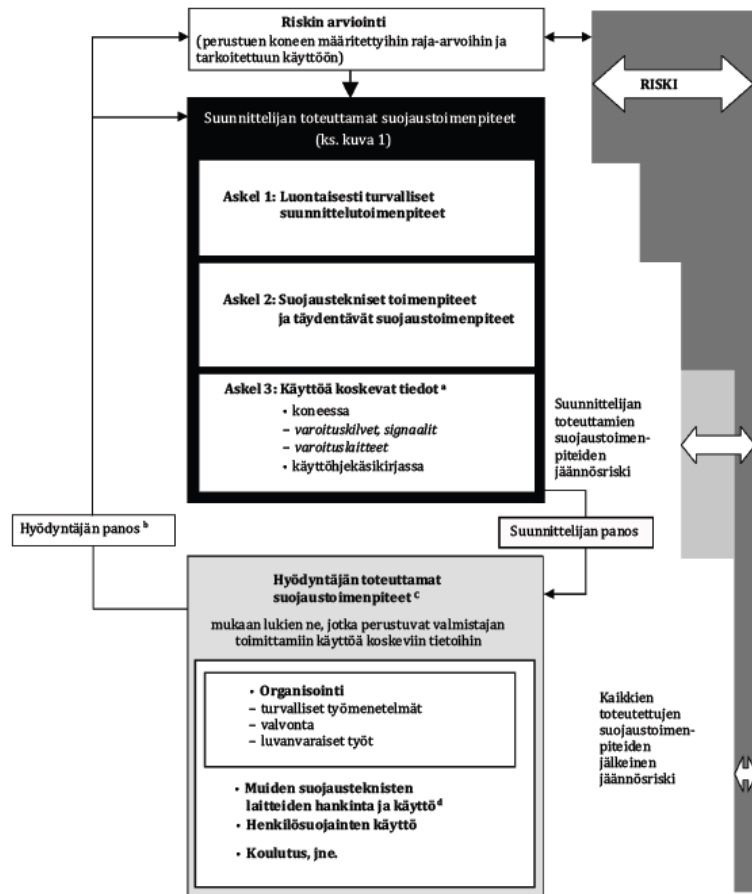
Erilaisilla fyysisillä esteillä, kuten turva-aidoilla, estetään ihmisten pääsy robotin lähetyville. Standardit määrittelevät turva-aitojen ominaisuuksia, joihin kuuluu esimerkiksi korkeus ja sijainti. Kulkureitit soluun ja solusta ulos on kuitenkin suunniteltava myös järkevästi, sillä ihmisen on joka tapauksessa päästävä sinne tuomaan esimerkiksi uutta materiaalia, huoltamaan ja puhdistamaan laitteita. Ovi ja siihen asennettu turvarajakytkin muodostavat yhdessä lukittavan turvaoven, mikä estää kulkemisen soluun, kun se on käytössä, mutta mahdollistaa sinne kulkemisen robotin ollessa poissa käytöstä. (Lamb 2013, 51–52; Välimäki & Niemelä 2023, 107–108.)

Erilaisten suojalaitteiden kuten valoverhojen, turvaskannerien ja kamerajärjestelmien avulla on mahdollista tehdä sellaiset asetukset materiaalin sisään- ja ulostuloaukoille, että materiaali pääsee soluun sisälle ja sieltä ulos tietyistä kohtaa, mutta ihminen ei. Näiden suojalaitteiden anturit erottavat tietyn mallisen materiaalin ihmisestä. Myös robotin ympärille on asennettava robotin työtilaa valvovia turvalaitteita. Robotille asetetut varoitus- ja suoja-alue mahdollistavat robotin pysähtymisen ihmisen kulkiessa vaaralliselle alueelle. (Lamb 2013, 53–55; Välimäki & Niemelä 2023, 107–109.)

Turvaohjaimilla pyritään turvallistamaan robottia. Sen avulla on mahdollista säätää esimerkiksi robotin maksiminopeus ja liiketilän laajuus turvalliseksi. Häätäpysäytystoiminnot ovat hätätilanteita varten, kun järjestelmä pitää saada pysähtymään ja katkaisemaan virrat nopeasti kaikesta toiminnasta. Niiden tulee olla helposti löydettävissä ja painettavissa. Erilaisten merkkivalojen ja -äänien sekä varoitus- ja kieltomerkkien avulla pyritään kiinnittämään ihmisen huomio ja ohjeistamaan oikeanlainen käyttäytyminen -ja kulkeminen robotin ja ylipäätään solun läheisyydessä. (Lamb 2013, 50, 55–57; Välimäki & Niemelä 2023, 109–110.)

Standardissa SFS-EN ISO 12100:2010 määritetään tarkemmat riskin arvioinnissa olevat periaatteet. Näitä periaatteita hyödynnetään arvioidakseen ja pienentääkseen esille tulevia riskejä. Standardista selviää myös tiedot, joita arvioinnissa vaaditaan. Riskin arvioinnin eteneminen on kuvattuna kuvassa 12. Kaaviokuva kertoo vaiheet ja niiden sisällöt arvioinnin ja riskin pienentämiseen.

Oikea pykälä kuvaa riskin suuruutta tai riskien laajuutta ja vaiheiden edetessä, laajuus ja suuruus pienenevät toimenpiteiden mukana. Ensimmäinen vaihe on riskin tunnistaminen, josta seuraa koneen suunnitteluvaiheessa huomioon otetut suojaustoimenpiteet. Jokainen askel pienentää riskiä omalla tavallaan. Ensimmäisessä askeleessa suunnittelijan on oltava suunnitellut kone turvalliseksi. Jos näin ei kuitenkaan ole ollut mahdollista toimia, tulee koneeseen lisätä turvalaitteita, kuten esimerkiksi kahden käden mekanismi, valoverho taikka mekaaninen este. Varoituskyltit ja -kilvet tulee asentaa konekohtaiset tarpeet täyttäen askeleessa 3, jotta käyttäjä voi käyttää konetta turvallisesti tarvittavat seikat ja suojaimet huomioiden. (Mestsä 2020; SFS-EN ISO 12100.)

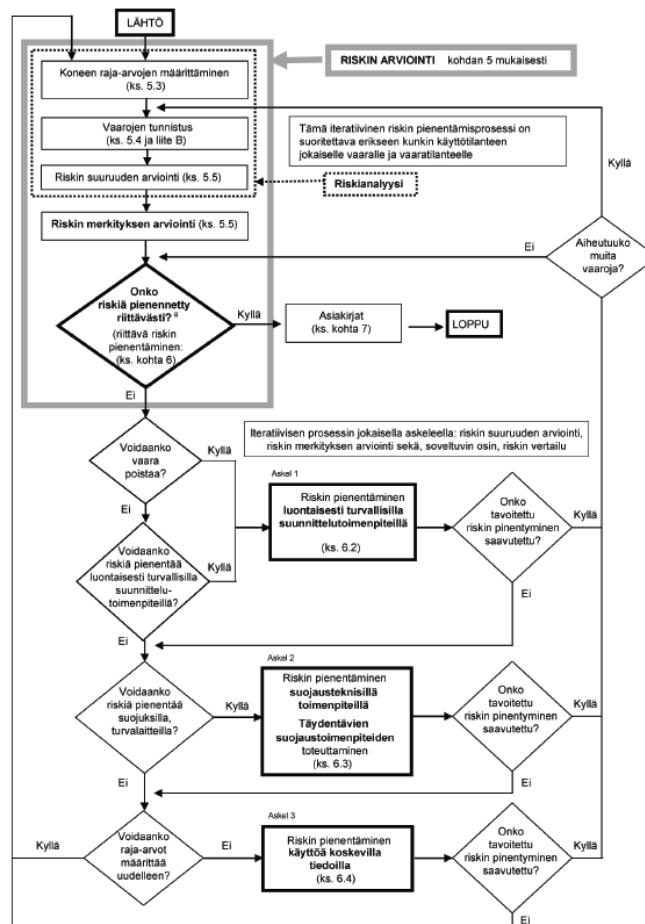


Kuva 12. Riskin arviointi (SFS-EN ISO 12100).



Samainen standardi SFS-EN ISO 12100 myös määrää riskien pienentämisen vaiheet. Vuokaavio (kuva 13) ohjeistaa tehokkaan pienentämisen.

Ensimmäinen vaihe sisältää kuvassa 12 ohjeistetun riskien arvioinnin ja sen lopussa arvioidaan riskin suuruutta ja riittävää pienentämistä. Jos riski todetaan riittävän pieneksi, voidaan asianmukaiset asiakirjat kirjoittaa ja arviointi loppuu. Riskin ollessa liian suuri siirrytään vuokaaviossa alaspäin ja tarkastellaan miten riskiä on mahdollista pienentää tai mahdollisesti jopa poistaa. Riskiä vähentäviä toimia on pääsääntöisesti kolme kuvan 12 mukaisesti: turvalliseksi suunnittelu, suojaustoimenpiteet sekä käyttöohjeistus. Näiden saavuttaessa halutun riskin pienennyksen, voidaan siirtyä pohtimaan aiheutuuko muita vaaroja. Jos aiheutuu, niin aloitetaan prosessi alusta uuteen riskiin paneutuen. Jos taas ei aiheudu, varmistetaan riskien suuruudet ja luodaan tarvittavat asiakirjat. (SFS-EN ISO 12100.)



Kuva 13. Riskin arviointi ja sen pienentäminen (SFS-EN ISO 12100).

## 4 Nykyinen pakkaussolu

Nykyisen solun toiminta on jäänyt muun tuotantolinjan kehittyessä hieman jälkeen. Tämä johtuu lähinnä tuotettavien hyttien koosta. Kun hytin leveys on kahdesta metristä neljään metriin ja pituus voi olla lähes kymmenen metriä, on pakkaussoluun mahdoton käyttää perinteisiä teollisuuden muovituskoneita. Tämänhetkinen pakkaus tapahtuu puoliautomaattisen muovitusportin ja kolmen työntekijän voimin (kuva 14).



Kuva 14. Nykyisen pakkaussolun tilanne (Virtanen 2024).

Pakkaussolu on osa virtaustyyppistä tuotantolinjaa. Hytti lipuu hitaasti pakkaussoluun, joka alkaa puoliautomaattisesta portista. Portissa on kolme kutistemuovirullaa: kaksi sivuilla ja yksi ylhäällä. Portissa on sivuttaisliikettä tekevät kaksi ja puoli metriä korkeat leuat, joissa sivumuovit ovat kiinni. Näitä ohjataan portin ohjauspaneelistä. Leuat laitetaan kiinni ennen hytin tuloa soluun. Leuoissa olevat lämpövastukset sulattavat sivumuovit toisiinsa kiinni. Tämän jälkeen rullat palautuvat normaaliin tilaan portin sivuihin.

Ohjauspaneelista lasketaan myös ylämuovia sopivaan korkeuteen hytin eteen (kuva 15).



Kuva 15. Ohjauslogiikka pussitussolun porttiin (Virtanen 2024).

Hyttin saapuessa soluun, se työntää itsensä muovien läpi napaten ne mukaansa. Ylämuovia on päästettävä ohjauspaneelista riittävä määrä. Seuraavaksi kaksi työntekijää alkaa lämmittämään kutistemuovia tohottimilla eli kaasukäyttöisillä pistoolimaisilla kaasupolttimilla (kuva 16). Kun muovi on kutistettu, työntekijät merkkäavat spraymaalein hyttinumeron ja -alueen sekä paloluokan ja nostokohtat jokaiselle neljälle sivulle.



Kuva 16. Käytössä oleva tohotin muovin kutistamiseen (Virtanen 2024).

Kehityskohteina ovat turvallisuuden ja työhyvinvoinnin parantaminen sekä solun työvoiman vähentäminen. Kaasupolttimet lisäävät paloriskejä ja kaasupullot aiheuttavat räjähdysvaaran. Inhimillisten virheiden takia pahimmassa mahdollisessa tilanteessa vaarassa voi olla jopa kolme henkeä.

Työhyvinvointiin vaikuttaa spraymaalien ja kutistemuovien kaasut sekä lämpötilavaihtelut. Hallin ovi on oltava auki läpi vuoden, jottei solun lämpötila nouse yli halutun lämpötilan. Tämän takia lämpötilavaihtelut ovat etenkin talvisin suuret. Oven avoinna pitäminen lisää myös lämmityskuluja. Automatisoitu solu vähentäisi näitä kohteita, sillä työhyvinvointia ei tarvitse robottien kohdalla miettiä, näiden kyetessä toimimaan korkeissakin lämpötiloissa. Robotti ei myöskään lähtökohtaisesti tee virheitä, joten turvallisuusriskit vähenevät ja henkilömäärä vaara-alueella pienentyy jopa kahdella. Myös mahdolliset lämmityskulut voidaan poistaa laskuista ovien pysyessä kiinni.



## 5 Robotisoitu pakkaussolu

Kehityskohteena oli palkatun työvoiman vapauttaminen solusta. Pakkaussolun automatisointi tapahtui korvaamalla kaksi työntekijää portaalirobotilla. Robotin pääsääntöiseksi toimenkuvaksi muodostui muovirullan hakeminen ja hytin sivumuovin pyörittäminen hytin ympärille. Näiden muutosten toimesta solun vaatima henkilömäärä tippuisi kolmesta yhteen työntekijään.

Tämän yhden työntekijän rooli olisi varmistaa solun toimivuus ja tehdä satunnaisia toimenkuvia mahdollistaen solun automaattista toimintaa. Näitä toimia olisi hyttien kattomuovin asettaminen ja ylämuovirullien vaihtaminen sekä sivumuovirullien tuominen robotin ulottuville.

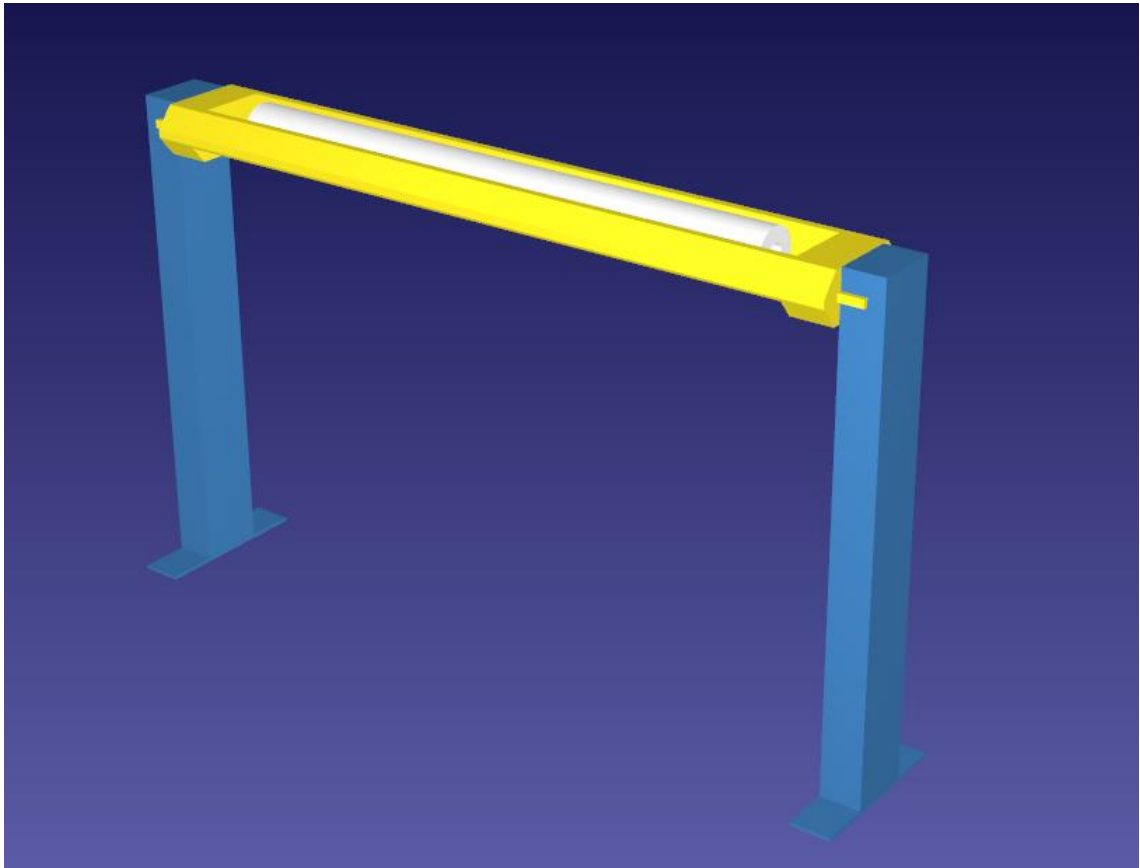
Robotiksi valikoitui LUCAS RC3 1Y1R-portaalirobotti. Robotti löytyi valmiina RoboDK:n kirjastosta ja sen ominaisuudet vastasivat haluttuja. Portaalirobotti teollisuusrobotityyppinä valikoitui käsiteltävän kappaleen pitkien lineaaristen muotojen takia. Tarraimet ovat molemmat jäykkäsormisia tarraimia, joissa molemmissa on kaksi lineaarista liikettä tekevää sormea. Rullatarrain tarraa rullaan sen sisäpuolelta. Jäykkäsorminen tarrain on toiminnaltaan yksinkertainen ja se oli mahdollista simuloida sovelluksessa. Sen ominaisuudet riittivät haluttuihin toimenpiteisiin, joten jäykkäsorminen valikoitui riittävien ominaisuuksien ja yksinkertaisuuden takia. Rullatarraimena olisi myös voinut toimia pallotarrain, jossa rullan sisällä muovipussi laajennetaan paineilman avulla.

### 5.1 Mallintaminen ja layout-suunnitelma

Simulointimallin rakentaminen koostui robottisolun layoutin suunnittelusta ja siihen kuuluvien komponenttien mallintamisesta sekä paikoittamisesta simulointiympäristöön. Siemens NX -ohjelma valikoitui 3D-mallien mallintamiseen ja sitä käyttäen työhön mallinnettiin solun lattia, seinä, kyynellevyt, korokkeet robotille, robotin työkalu, muovitusportti kattomuovia varten, muovirullat hytin sivuille ja katolle, hytti, työkalu pitämään muovista kiinni

sekä leikkuri muovin katkaisua varten. Siemens NX oli ennestään tuttu ohjelma ja siihen oli lisenssit jo valmiiksi käytössä, joten sen valitseminen 3D-mallien mallintamiseen oli järkevä valinta.

Piikkio Worksin tehtaalla oli käyty useasti katsomassa nykyistä solua ja mittaamassa, minkä kokoinen robottisolu sinne mahtuisi. Samalla mitattiin tarkasti nykyisen liukuhihnan ja muovitusportin (kuva 17) mittoja sekä myös muita tarpeellisia ja yksityiskohtaisia mittoja. Näiden avulla solu luotiin tarkasti vastaamaan todellista kokoaan tilaan nähden ja sen komponenteista saatiin mallinnettua sopivan kokoisia.



Kuva 17. Muovitusportti (Hakala 2024).

Muovitusportista mallinnettiin saman tyylinen, mutta pelkistetty versio siitä, mitä alkuperäinen portti tehtaalla nykyisinkin on. Pelkistetystä mallista jätettiin tarpeettomana kokonaan pois sivuttaisliikettä tekevät leuat portin sivuilta. Näin

ollen mallinnettu muovitusportti koostuu nyt vain muovituskehikosta ja kahdesta sitä kannattelevasta tukipalkista sekä kattomuovirullasta.

Valmiina malleina RoboDK:n monipuolisesta kirjastosta otettiin käyttöön liukuhihnat sekä Lucas RC3 1Y1R -portaalirobotti, jolloin niiden mittoihin ei voinut vaikuttaa. Tämän vuoksi lattiaan mallinnettiin korokkeet, jotta robotista saataisiin korkeampi. Liukuhihoista sai pidemmät lisäämällä useita liukuhihnoja peräkkäin. Ohjelman kirjastosta otetut valmiit liukuhihnat olivat todellisia liukuhihnoja kapeammat, joten lattian mitoitus on jouduttu soveltamaan hieman, kuitenkin niin, että simulaation lattia-alue vastaa mitoitukseltaan todellista tilaa.

3D-mallit tuotiin simulaatioympäristöön STEP-tiedostoina. Niiden liikuttaminen ja sijoittaminen oikeisiin paikkoihin simulaatiossa tapahtui xyz-koordinaatistojen avulla hyödyntäen lineaali- ja rotaatioliikkeitä. Jokaisella komponentilla oli oma *Object details* -valikkonsa, josta kyseistä komponenttia sai liikutettua haluttuun paikkaan. Simulaatioympäristöön lisättävät komponentit listautuivat rakennepuuksi (kuva 18).



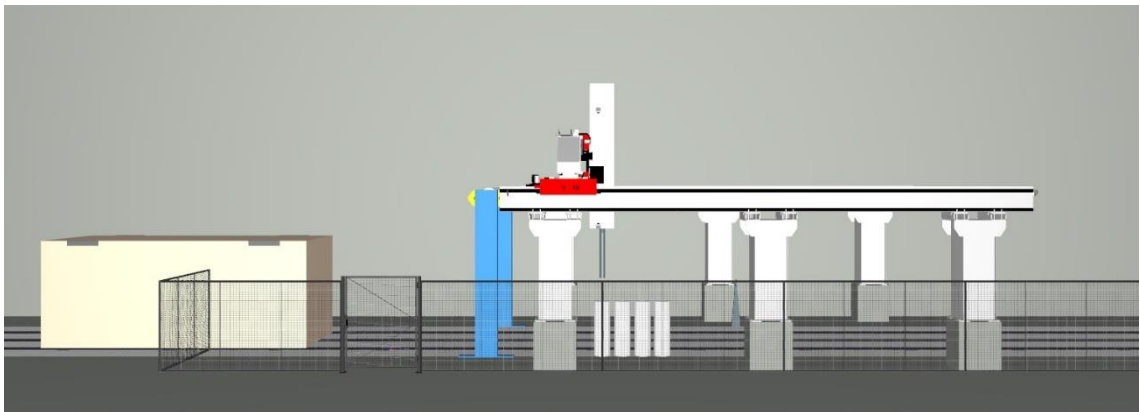
Kuva 18. Simulaation rakennepuu (Hakala 2024).

Pienet yksityiskohdat simulaation rakennepuussa asetettiin isompien kokonaisuuksien alle (kuva 19). Esimerkiksi hytin liinapellit on asetettu rakennepuussa hytin alle ja lattian kyynellevyt taas on asetettu lattian alle. Hytin liikkua myös liinapellit liikkuvat sen mukana, kun liinapeltien koordinaatit on asetettu hytin koordinaatiston yhteyteen.



Kuva 19. Rakennepuun yksityiskohtien listautuminen (Hakala 2024).

Robottisolua suunniteltiin ympäröimään turva-aita ja turva-aitaan suunniteltiin yksi turvaovi solun alkupäähän. Turva-aita ja -ovi on otettu internetistä valmiina malleina. Nämä kaikki komponentit on paikoitettu simulointiympäristöön, jolloin ne muodostavat pakkaussolun (kuva 20 ja 21), joka on mahdollisimman todennukainen Piikkiön tehtaaseen verrattuna.

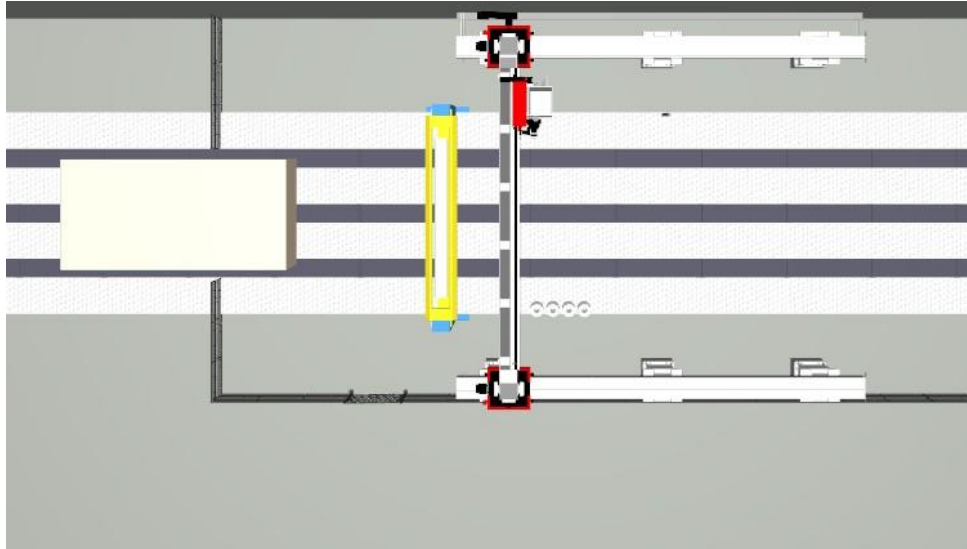


Kuva 20. Pakkaussolu sivulta (Hakala 2024).

Sivulta otetusta kuvasta näkyy ensin vasemmalla soluun lipuva hytti. Muovitusprosessin alkupäässä on sinikeltainen muovitusportti ja heti sen



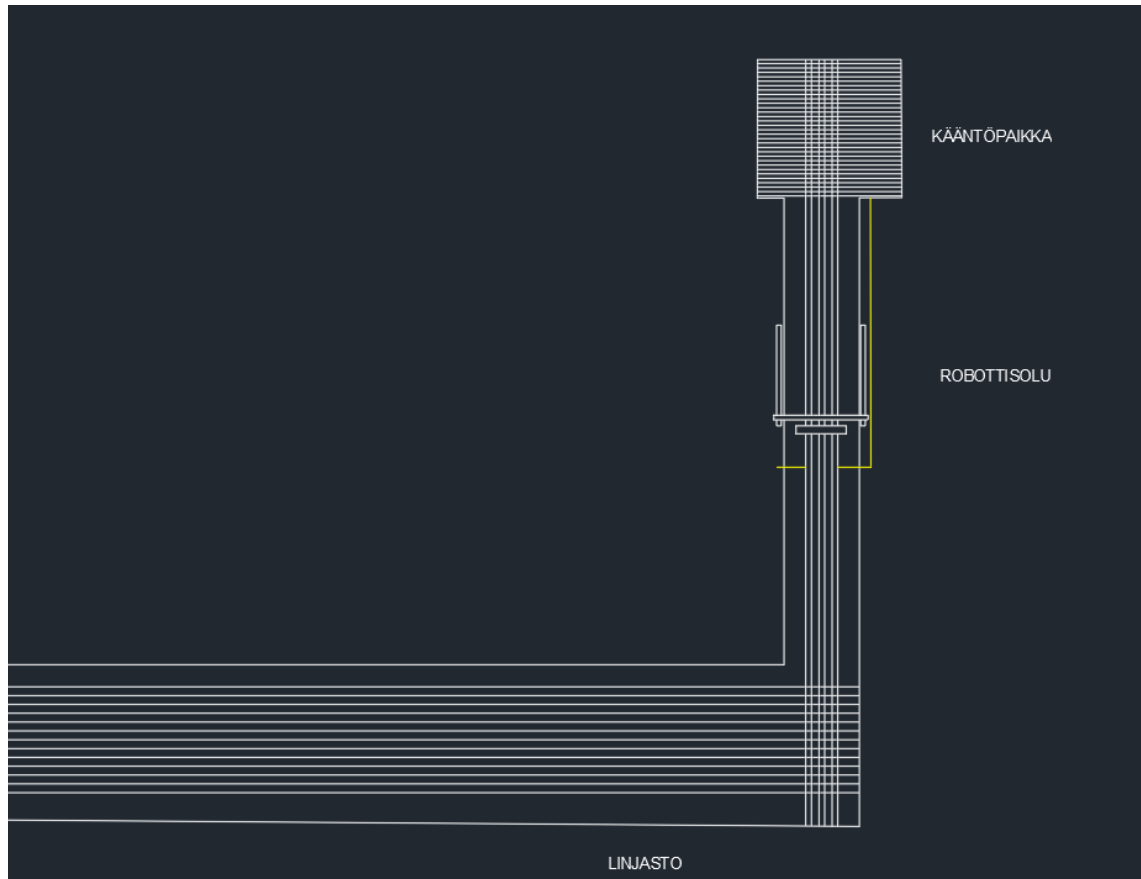
jälkeen tulee portaalirobotti. Solun sisäpuolelle on tuotu vaihtorullia sivumuovin asettamista varten. Solua ympäröi turva-aita, joka ulottuu toisella sivulla olevaan seinään asti. Turva-aitaan on sisällytetty turvaovi sivulle solun alkupäähän.



Kuva 21. Pakkaussolu ylhäältä (Hakala 2024).

Ylhäältä päin otetutusta kuvasta voidaan paremmin hahmottaa komponenttien etäisyyksiä toisistaan sekä koko solun leveys. Liukuhihna koostuu kolmesta pitkästä hihnasta, jota pitkin hytti lipuu eteenpäin. Robottisolun alussa olevan muovitusportin avulla muovi saadaan asetettua hytin katolle. Se päätettiin ottaa sellaisenaan nykyisestä pakkaussolusta myös suunniteltuun robottisolun mukaan. Heti muovitusportin jälkeen tulee portaalirobotti, joka huolehtii hytin sivumuovin asettamisesta.

Layout-suunnitelma (kuva 22) tehtiin käyttäen AutoCAD-ohjelmaa. Siinä on huomioitu robottisolun järkevä sijainti osana muuta tuotantolinjastoa. Layoutissa vasemmalla näkyy ensin aikaisemman linjaston loppuosaa, jossa hyttiä vielä rakennetaan. Tämän jälkeen alkaa viimeinen osa linjastoa, jossa tapahtuu ensin hytin laatutarkastukset ja sen jälkeen hytti liikkuu eteenpäin pakkausvaiheeseen.



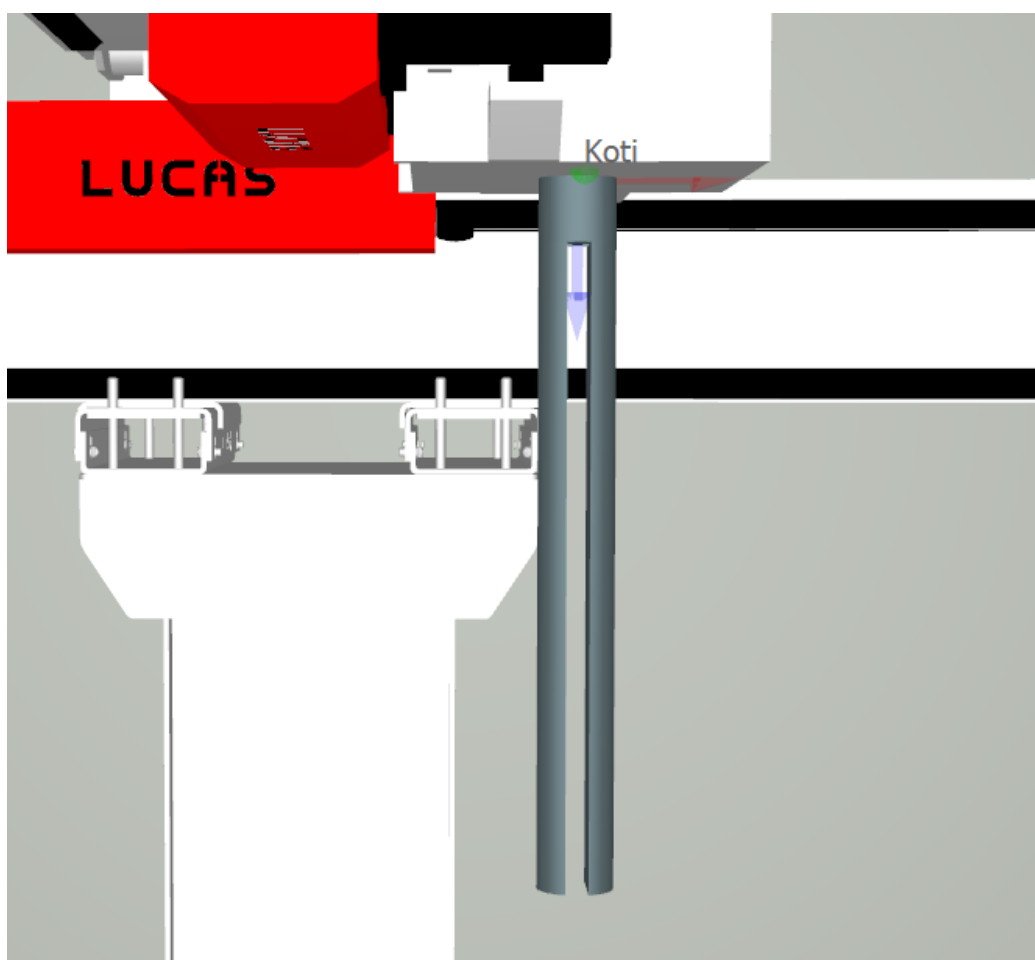
Kuva 22. Robottisolun layout (Hakala 2024).

Robottisolu on suunnitelmassa sijoitettu samaan kohtaan, missä pakkaus nykyisinkin tehdään. Näin ollen robottisolu alkaa muovitusportista, jonka välittömässä läheisyydessä on portaalirobotti. Paikka oli ihanteellinen myös suunnitellulle portaalirobotille. Tilaa jäi sopivasti sekä ennen robottisolua että myös sen jälkeen. Kun hytti on täysin muovitettu, se lipuu kääntöpaikalle, josta se sitten siirretään varastoon.

## 5.2 Toteutunut simulointi

Simulaatio toteutettiin RoboDK-ohjelmalla. Simulointimallista syntyi virtuaalinen 3D-robottisolu hoitamaan tuotannon pakkausvaihe. Simuloinnilla varmistetaan, että onko robotisoitu järjestelmä mahdollinen ja järkevä ratkaisu suunniteltavaan tehtävään.

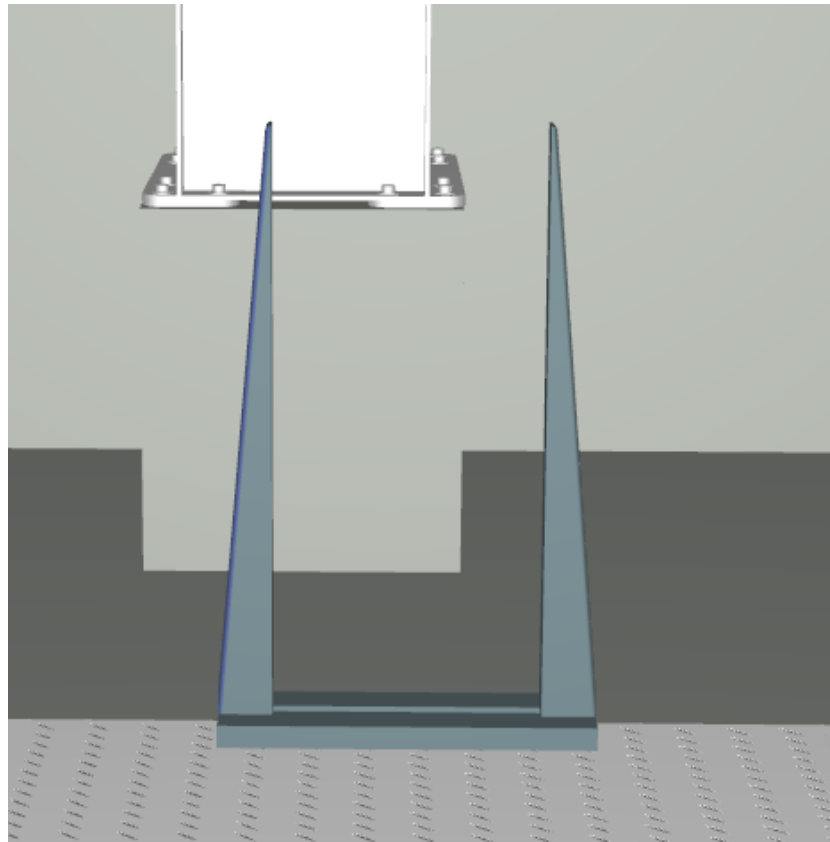
Kun solun mallinnus oli saatu kuntoon ja kaikki komponentit oli paikoitettu simulaatioympäristöön, aloitettiin luomaan solulle mekaniikkoja ja toimintoja. Ensimmäisenä robottiin tuotiin tarrain STEP-tiedostona. Tarrain luotiin lähinnä antamaan havainnollistavaa kuvaa millainen tarrain voisi olla, eikä se siksi sisällä mitään erityistä (kuva 23). Tarrain mekaniikkana oli sovelluksessa helppo luoda, sillä sille oli luotu valmis pohja. Pohjaan piti lisätä vain oikeat kappaleet ja niiden raamit, sekä siirtää leuat oikeisiin kohtiin. Tämän jälkeen muokattiin työkalukoordinaatin sijainti robottiin verrattuna ja leukojen liikkeen ääriarajat. Tarrain oli valmis liitettäväksi Lucasiin ja se tapahtui vain raahaamalla tarrain valikossa robotin kohdalle.



Kuva 23. Rullatarrain (Virtanen 2024).

Myöhemmin soluun lisättiin myös niin sanottu leikkuutarrain (kuva 24), joka mahdollisti muovin paikallaan pysymisen ja katkaisun pussituksen eri vaiheissa.

Leikkuutarraimen luominen tapahtui samalla tavalla kuin rullatarraimen, ja sen sijainti valikoitui linjaston viereen.



Kuva 24. Leikkuutarrain (Virtanen 2024).

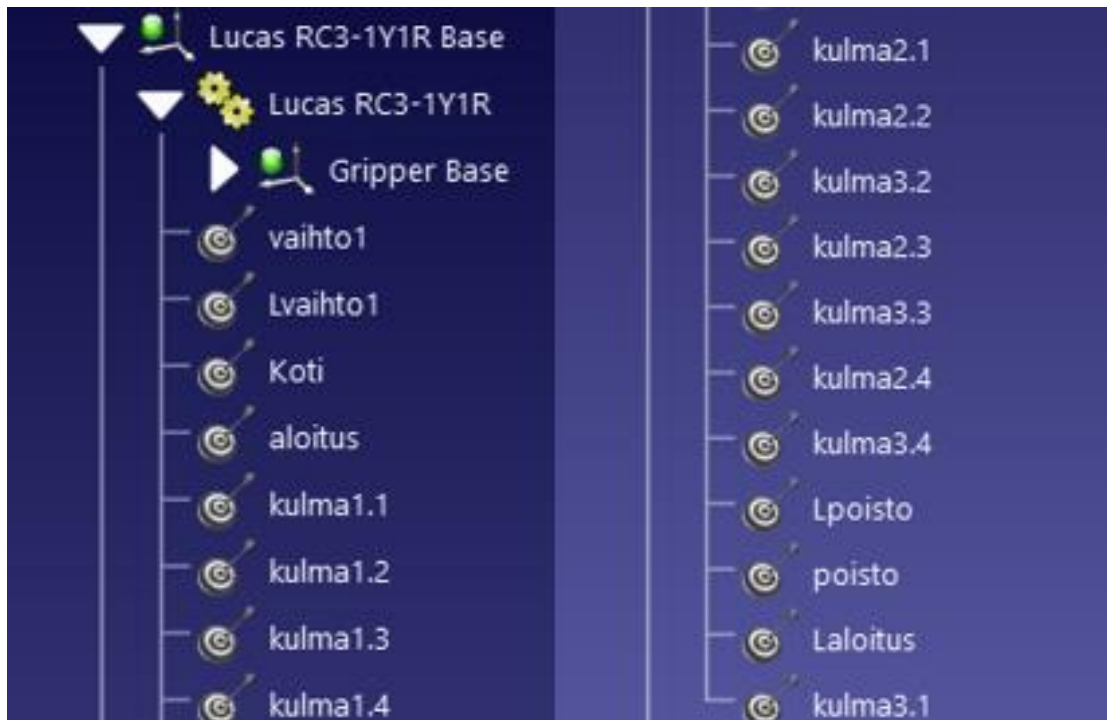
Kun tarraimet ja niiden mekaniikat oli luotu, oli aika siirtyä luomaan ohjelmia niiden käyttöön. Ohjelman toiminnan kannalta oli selkeämpää ja luotettavampaa luoda pääohjelma, sekä useampi aliohjelma. Selkeyden vuoksi ohjelmat nimettiin alkamaan pienellä p-kirjaimella, joka viittaa sanaan *program* (kuva 25). Sovellus olisi myös hyväksynyt python-ohjelmointikielen käytön, mutta yksinkertaisissa ohjelmissa sovelluksen omat käskyt riittivät. Ohjelmia kaiken kaikkiaan muodostui kymmenen. Ohjelmat pMain\_vaihdolla ja pMain toimivat pääohjelmina, mutta eroavat siinä mielessä toisistaan, että toiseen on liitetty myös rullanvaihto. Muut ohjelmat ovat aliohjelmia. Etuliitteellä 'pCrew' alkavat ohjelmat ovat hytin liikekäskyjä, joissa voidaan määrittää hihnan nopeus. Kun taas 'auki' tai 'kiinni' päättyvät aliohjelmat ovat tarraimien leukojen liikekäskyjä. Pidempiä ohjelmia ovat pPussitus ja pRullanvaihto, jotka molemmat sisälsivät

kymmeniä liikekäskyjä eri pisteiden kautta, sekä eri aliohjelmien kutsumisia. Esimerkkinä pRullatarrain\_auki kutsutaan vain vanhaa rullaa poistettaessa pRullavaihto-ohjelmassa. Oleellisimpana ohjelmista oli pPussitus, jossa robotti kiertää solussa olevan hytin kulmiin luotuihin paikkapisteiden kautta, sekä käskee leikkuutarrainta ottamaan kiinni, tai irrottamaan muovista.



Kuva 25. Simulaation komponentit ja ohjelmat (Virtanen 2024).

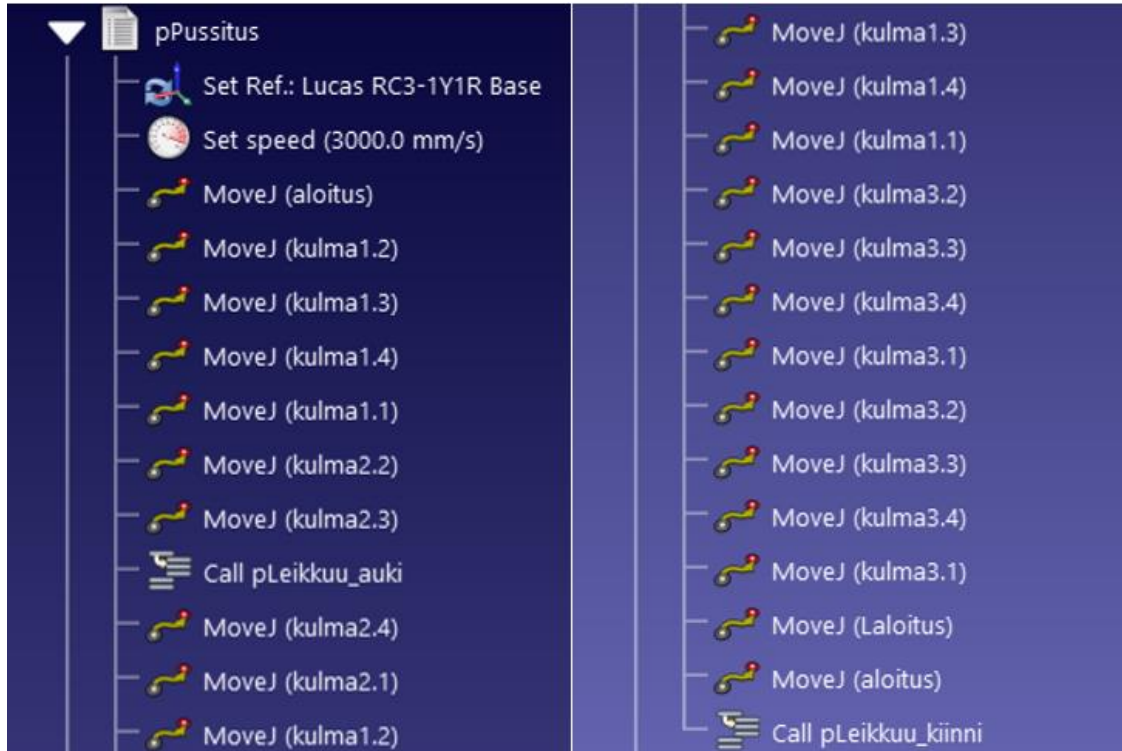
Kuvassa 25 on myös lueteltuna kaikki simulaation komponentit. *Conveyor Belt 1, 2 ja 3* ovat kuljettimet, joiden mekaniikkoihin on lisätty myös hytti sekä hytin paikkapisteet. Tästä syystä hytti ei myöskään näy komponenttilistassa. Lucas RC3 on valikoitunut portaalirobotti. Robotin mekaniikkoihin lisättiin myös rullatarrain ja kaikki robotin paikkapisteet (kuva 26). Sanalla 'kulma' alkavat paikkapisteet ovat pussituksen hyttiä kiertäviä pisteitä. Ensimmäinen luku kertoo missä kolmesta kerroksesta piste sijaitsee ja toinen luku kertoo mikä kulma on kyseessä. Numero 1 on lähimpänä 'Koti'-pistettä ja luku kasvaa vastapäivää kiertäessä. 'Vaihto'- ja 'poisto'-pisteet liittyvät sivurullien vaihto-ohjelmaan. L-alkuiset ovat lähestymispisteitä. Näiden avulla voidaan muokata robotin liikerata halutuksi, sillä robotin tulee kiertää määrätyn paikan kautta. Lähestymispisteiden avulla voidaan myös estää mahdolliset törmäysriskit.



Kuva 26. Lucas-robotin paikkapisteet (Virtanen 2024).

Ohjelma pPussitus on kuvattuna kokonaisuudessaan kuvassa 27. Vaikka kyseessä oli lineaariliikettä tekevä robotti, simulaatiossa toimi vain nivelliikkeet, jotka ovat kuvassa 27 *MoveJ*-komentoja. Ensimmäisenä ohjelmassa lisätään käytössä oleva koordinaatisto. Tässä tilanteessa valikoitui robotin paikallinen koordinaatisto. Seuraavaksi annetaan liikenopeuskomento, johon määritettiin niin lineaari- kuin nivelliikkeiden nopeudet ja kiihtyvyydet. Nopeudeksi valikoitui robotin suurin mahdollinen nopeus 3000 mm/s (Lucas 2024).

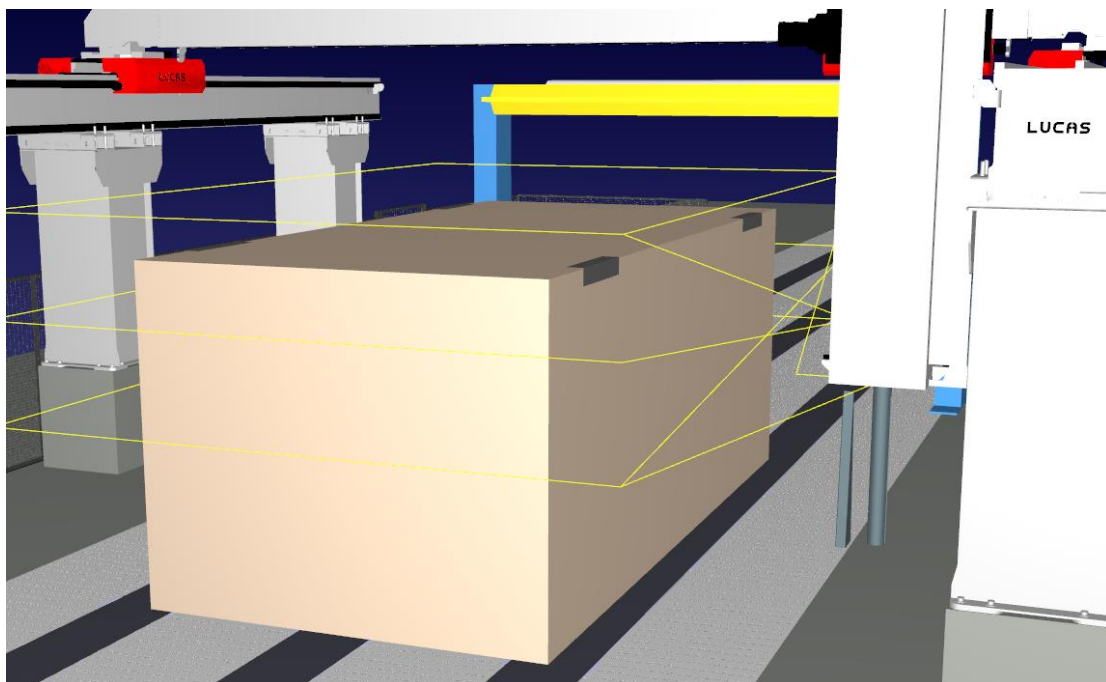
Kiertojärjestys muodostui toimivuuden kannalta oleelliseksi. Ensimmäisenä robotti kiertää muovin alimmaiseen kerrokseen ja sitten toiseen. Toisen kierroksen aikana leikkuutarrain päästää irti muovista ja robotti sitoo aloituksen kiertämällä vielä kerran ensimmäisen kerroksen. Viimeisenä robotti siirtyy kolmanteen eli ylimpään kerrokseen ja kiertää sen kahdesti varmistaakseen tiiviin päätöksen muovitukseen. Kierrettyään hytin viidesti, robotti palaa aloitukseen, jossa leikkuutarrain ottaa kiinni muovista ja leikkaa muovin hytin ja tarraimen välistä. Tämä osio oli vaikeampi simuloida sovelluksen tuntemattomuudesta johtuen, joten leikkausta ei simuloitu.



Kuva 27. pPussitus-ohjelma kokonaisuudessaan (Virtanen 2024).

Ohjelman valmistuessa oli aika tehdä TCP Trace, eli 'Tool Center Point'-jäljitys (Goodwin 2022). Toiminto seuraa ja piirtää robotin liikeradan työkalun näkökulmasta (kuva 28). Kuvassa näkyy robotin liikerata hytin ympärillä. Tämän avulla varmistui muovin levittyminen hytin ympärille tasaisesti. Hytin ympärille oli myös jätettävä välystä, jotta vältetään törmäyksiltä.

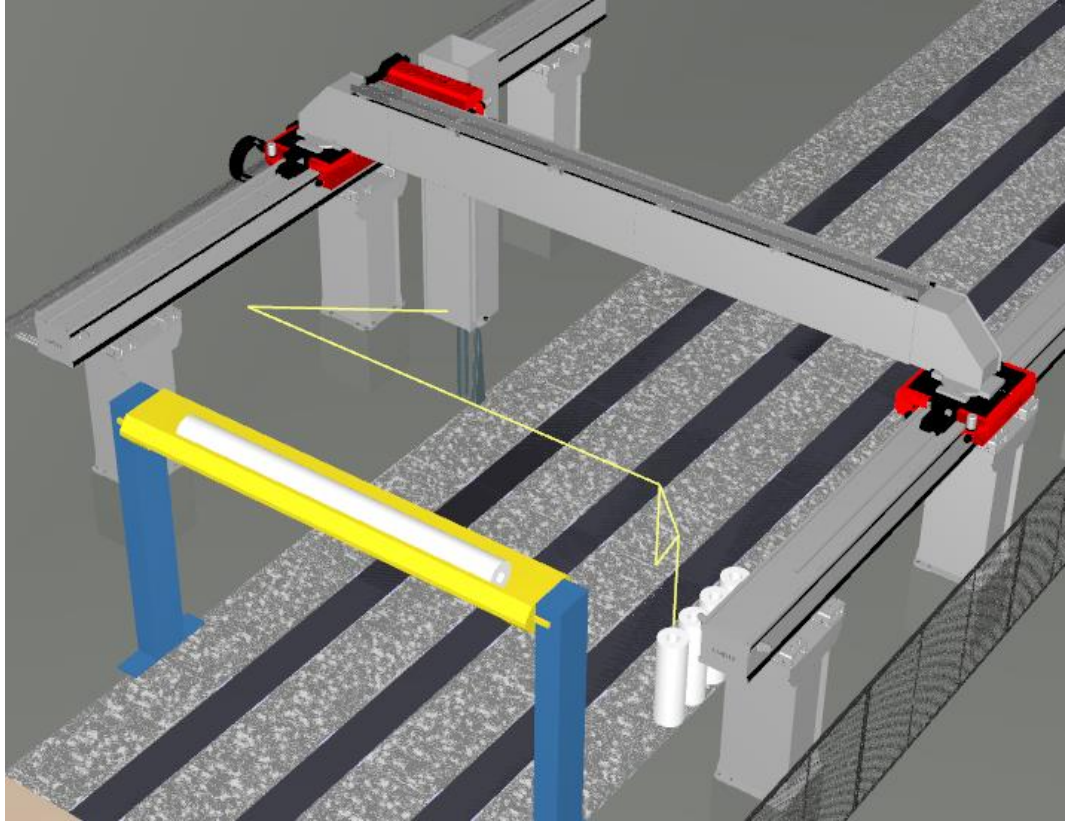




Kuva 28. Pussituksen työkalukoordinaatin liikerata (Virtanen 2024).

Ohjelman '*pRullanvaihto*' liikerata on myös kuvattuna TCP Trace -toiminnon avulla (kuva 29). Ohjelma kiertää kotipisteen kautta '*Lpoisto*' -pisteelle ja siitä poistopisteelle, jossa se avaa rullatarrainta tiputtaen tyhjentyneen rullan pois. Sen jälkeen robotti siirtyy vaihdon lähestymispisteen kautta uuden rullan luo, jossa se ottaa uudesta rullasta kiinni ja palaa lähestymispisteiden kautta aloituspisteelle odottamaan uuden hytin saapumista.





Kuva 29. pRullanvaihto-ohjelman liikerata (Virtanen 2024).

### 5.3 Solun turvallisuusratkaisut

Soluun suunniteltiin portaalirobotin ympärille turva-aita, mikä estää ihmisten kulkemisen solun sisällä robotin ollessa toiminnassa. Aidat ulottuvat vain liukuhihnoin saakka jättäen kulkuväylän kuitenkin hyteille. Solun alkuun ja loppuun tulee vanhassa solussakin olleet valoverhot, jotka estävät kulkemisen soluun. Solun sisälle tulee turvaskanneri varmistamaan, ettei solussa ole ihmisiä solun käynnistyessä. Turvalomajakka tulee soluun osoittamaan solun tilan sekä summeri ilmoittamaan solun käynnistymisestä. Varotusteippiä laitetaan myös lattiaan valoverhojen kohdalle kuljettimien väliin kuvaamaan visuaalisesti rajattua aluetta.

Solun turvallisuustarkastelu tehtiin Pilz-kaavion (taulukko 1) mukaisesti. Siinä riskien suuruus arviointiin erilaisia mittareita käyttäen: LO, FE, DPH, NP ja

HRN. HRN tarkoittaa riskin suuruuden ja merkityksen arviointia ja se laskettiin seuraavasti (Surakka 2019.):

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP, \quad (1)$$

jossa

*LO* on esiintymistodennäköisyys

*FE* on vaaralle altistumisen kesto ja/tai taajuus

*DPH* on mahdollisen vamman vakavuusluokka

*NP* on vaaralle altistuvat henkilöt.

Taulukko 1. Riskien arviointi Pilz-kaaviolla.

Robottisolun riskiarviointi 7.3.2024				Onnettomuustilanne		Riskien suuruuden arviointi					Riskien merkityksen arviointi	Riskin pienennys
No.	Elink. vaihe	Tehtävä	Vaaravyöhyke	Vaara	Vaaratilanne	LO	FE	DPH	NP	HRN		Kyllä/Ei
1	Kattorullan vaihto	Rullan kiinnitys nostoavustimeen	Solun turvaitojen ulkopuolella	Puristuminen	Käsi jää telineessä rullien väliin	5	2,5	1	1	12,5	Merkittävä riski	Kyllä
2	Kattorullan vaihto	Rullan siirto soluun puomilla	Rullatelineen ja muoviportin välinen alue	Rulla putoaa	Henkilöitä jää alle	1	2,5	15	1	37,5	Merkittävä riski	Kyllä
3	Kattorullan vaihto	Tyhjän rullan vaihto uuteen	Portin läheisyys	Rulla ei asetu ja putoaa	Henkilöitä jää alle	1	2,5	8	1	20	Merkittävä riski	Kyllä
4	Kattorullan vaihto	Muoviportin kehikon nosto/lasku	Portin läheisyys	Sähkövika	Leikkuterä aiheuttaa viiltohaavan	1	2,5	0,5	1	1,25	Merkitysetön riski	Ei
5	Sivurullan vaihto	Rullien tuominen soluun	Robotin ulottuvuusalue	Törmäys	Robotti osuu ihmiseen	0,033	2,5	8	1	0,66	Merkitysetön riski	Ei

Robottisolusta löydettiin viisi erityyppistä riskiä. Neljä näistä riskeistä koskee kattorullan vaihtoa ja yksi koskee rullien tuomista robottisoluun sisälle.

Seuraavaksi on lueteltu riskejä, jotka esiintyvät kattorullan vaihdossa. Kun uusi rulla kiinnitetään nostoavustimeen, ihmisen käsi voi jäädä telineessä olevien

rullien väliin, jolloin käsi jää puristuksiin. Kun rullia siirretään nostoavustimella varustetulla puomilla soluun sisälle siten, että rullat nostetaan turva-aitojen yli, rulla voi mahdollisesti pudota kesken siirron ja ihmisiä voi jäädä putoavan rullan alle. Myös tyhjiä rullia vaihtaessa uusiin rulliin voi sattua niin, ettei uusi rulla asetukaan kunnolla paikoilleen ja putoaa, jolloin ihmisiä voi jäädä putoavan rullan alle. Sähkövian sattuessa kattorullan vaihtoon liittyy riski ohjelman häiriintymisestä: leikkuuterä voi aiheuttaa viiltohaavan, jos ihminen on juuri samaan aikaan muoviportin kehikon lähetyvillä. Viimeinen riski liittyy sivurullan vaihtoon, kun ihminen on tuomassa uusia vaihtorullia soluun sisälle. Tällöin on riski, että robotti törmää ihmiseen vakavin seurauksin.

Nämä riskit arvioitiin pisteytyksin siitä, kuinka suuri ja merkittävä riski on. LO eli esiintymistodennäköisyys arvioitiin pisteytyksin asteikolla *mahdoton – varma*. FE eli vaaralle altistumisen kesto ja/tai taajuus arvioitiin asteikolla *vuosittain – jatkuvasti*. DPH eli mahdollisen vamman vakavuusluokka arvioitiin asteikolla *naarmu/ruhje – kuolema*. NP eli vaaralle altistuvat henkilöt arvioitiin asteikolla 1–2 henkeä – enemmän kuin 50 henkeä. Lopuksi arvioitiin, että tarvitaanko riskien pienentämistä.

Riskin pienennystä vaadittiin kolmeen ensimmäiseen kohtaan taulukossa 1. Kaikki kolme riskiä liittyivät uudet kattorullan vaihtamiseen, mikä on yksi ainoista ihmisen tekemistä toimenpiteistä. Ensimmäisessä vaiheessa uusi rulla kiinnitetään ihmisen toimesta nostoavustimeen. Tilanteessa nähtiin mahdollisena käden jääminen telineessä olevien rullien väliin ja tämä aiheuttaa mahdollisuuden yhden raajan murtumaan. Toinen ja kolmas vaihe aiheuttivat riskin rullan putoamiselle ja ihmisen alle jäämiselle eri vaiheissa rullanvaihtoa. Rullanvaihto olisi mahdollista tehdä turvallisemmaksi asettamalla vaihtorullat kapeampaan telineeseen, jossa rullat eivät pääsisi liikkumaan sivuttaissuunnassa. Putoamisriskiä voidaan pienentää tai jopa poistaa lisäämällä nostoavustimeen turvaliinat, joiden varaan rulla putoaisi, jos pääsääntöinen kannatinjärjestelmä pettäisi.

## 6 Hyödynnettävyys

Simuloidun solun läpimenoaika laskettiin käyttämällä suurinta robotille sallittua nopeutta ja tehtaalla kuljettimen nopeutta. Tämänhetkisessä solussa tarkastuslinja pysähtyy kahdeksi minuutiksi eli 120 sekunniksi sivumuovien sauman tekemisen ajaksi. Robotisoitu versio solusta vaatisi noin kahdeksan sekunnin pysäytyksen, jotta robotti ehtisi kiertää hytin riittävän monta kertaa. Tämä tarkoittaisi 112 sekunnin lyhennystä läpimenoaikaan. Todellisuudessa läpimenoaika lyhentyisi entisestään, sillä kuljettimen nopeutta voitaisiin kasvattaa lyhentyneen pysähdyksen takia.

Robotisoitu solu toisi myös kustannushyötyjä. Solun käyttöön kuluvat kustannukset pienenevät monen tekijän takia. Automaatio mahdollistaa optimaalisen materiaalin kulutuksen. Tämä vähentää hyttikohtaisesti käytettyä muovia. Uudessa solussa on myös mahdollista käyttää halvempaa muovia, sillä robotilla on mahdollista kiristää muovi mekaanisesti kuumennettavan kutistemuovin sijaan. Selvänä kustannuserona on ihmisen tekemät työtunnit solussa. Arvioltaan henkilömäärä vähenisi kolmesta yhteen. Lisäksi tulityön tuottama tunnin varoaika poistuisi. Kaiken kaikkiaan vuorokaudessa käytetyt työtunnit solussa tippuisivat 25 tunnista kahdeksaan. Tulityön poistuessa, solun lämpötila tasoittuisi ja aiemmin mainittu nosto-ovi voitaisiin pitää jatkossa kiinni vähentäen tällöin lämmityskuluja. Ylimääräinen toisto työvaiheissa jäisi myös pois, sillä valkoisen kutistemuovin vaihtuessa läpinäkyvään kiristysmuoviin hytin sivuille tehtyjä kirjauksia ei tarvitse tehdä uudelleen muovin päälle.

Turvallisuus lisääntyisi robottisolun myötä konkreettisesti muovilajikkeen vaihdossa. Kun muovi vaihtuisi kiristysmuoviin, ei tulityötä enää tarvittaisi. Tämä poistaisi kutistemuovista lähtevät höyryt ja partikkelit, kaasupullot poistuisivat aiheuttamasta räjähdysvaaraa sekä tohottimien käytöstä poisto jättäisi palovammariskin laskuista. Kuitenkin robotti tuo mukanaan uuden riskin: robotin liikkeen aiheuttaman iskun tai puristumisen vaaran.

## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Opinnäytetyössä tutkittiin automaation mahdollisuuksia ja turvallisuutta suurien kappaleiden pakkaamisessa. Pää tavoitteet muovaantuivat ensimmäisten kuukausien aikana toimeksiantajan ja tekijöiden toimesta jättäen ulkopuolelle kustannusarvioinnin, tarraimen suunnittelun ja kattomuoviportin logiikan ohjelmoinnin. Toimeksiantajalta tuli ohjeistus luoda simulaatio, josta yksinkertaisesti näkisi vaihtoehtoisen ratkaisun nykyiseen, joten tavoitteiksi otettiin simulaation ja turvallisuustarkastelun luominen.

Alun perin tarkoituksena oli käyttää ABB:n RobotStudio -sovellusta simulaation luomiseksi. Sovellusta tuli vaihtaa, sillä RobotStudiolla ei ollut haluttuja ominaisuuksia omaavia portaalirobotteja. RoboDK:n simulaatiosovelluksesta löytyi useampi portaalirobotti, mukaan lukien valituksi tullut LUCAS RC3 -robotti. Tätä ei kuitenkaan löytynyt ilmaisversiosta, joten yhtiö tarjosi kaksi kappaletta neljän kuukauden täysversiolisenssiä opinnäytetyön tekemistä varten.

Robottisoluun pohdittiin kehitysehdotuksia, joilla sen käyttöä saataisiin paremmin hyödynnettyä sekä turvallisuutta parannettua. Kehitysehdotuksina tulevaisuutta ajatellen ovat logiikan luominen muovitusporttiin, kattorullan vaihtamisen automatisointi, sivu- ja kattorullien kuljettaminen kuljettimen avulla soluun sisälle sekä tarraimien mekaniikan hiominen.

Uuden logiikan avulla kattomuovituskin saataisiin toimimaan automaattisesti. Solun riskiarvioinnissa todettiin, että kaikkein riskialttein työtehtävä oli uuden kattorullan vaihtaminen. Tässä työvaiheessa ihminen vaihtaa nostopuomia apuna käyttäen uuden rullan nosturiin ja sen avulla rulla nostetaan turva-aitojen yli soluun sisälle. Tällöin painava rulla nostetaan monta metriä ylöspäin ja on mahdollista, että rulla jostain syystä putoaisi kesken siirron, jolloin voisi sattua vakavia riskejä. Riskien painottuessa tähän työvaiheeseen, tultiin siihen tulokseen, että tulevaisuudessa myös tämä työvaihe kannattaisi automatisoida. Jotta robotisoitu pakkaussolu toimisi mahdollisimman turvallisesti ja tehokkaasti,

tulisi sen olla kokonaan automatisoitu siten, että vain yhden ihmisen olisi tarve olla vahtimassa solun toimintaa.

Uusien rullien vieminen soluun sisälle on myös riskialtista. Tähän voisi suunnitella kuljettimen, joka alkaa turva-aitojen ulkopuolelta. Ihminen saisi lastattua rullat kuljettimelle, joka sitten kuljettaisi rullat robotin läheisyyteen. Tällöin ihmisen ei tarvitsisi kulkea soluun sisälle missään muissa tilanteissa kuin korjaus- tai huoltotilanteissa, jolloin robottisolun olisi aina varmasti poissa käytöstä.

Opinnäytetyössä on alustavaa suunnittelua siitä, että soluun tulisi jonkin näköinen rullatarrain ja leikkuutarrain. Niiden mekaanisia ominaisuuksia ei juurikaan huomioitu vielä simulaatiossa ja sen vuoksi niiden hiominen meneekin myös kehitysehdotuksiin. Rullatarraimen tulisi suunnitella pyörimismahdollisuus, jotta muovin mekaaninen kiristäminen olisi mahdollista. Leikkuutarraimen tulisi suunnitella kiertyvät leuat siten, että leuat olisivat ylhäällä pelkästään kiinni pitäessään ja leikatessaan muovia ja alhaalla koko muun ajan. Näin törmäysmahdollisuus rullan ja leikkuutarraimen välillä pienenesi.

Suunniteltu robottisolun todettiin järkeväksi ja mahdolliseksi vaihtoehdoksi Piikkiön tehtaalle isojen kappaleiden pakkaamiseen. Portaalirobotti sopisi pakkaamiseen loistavasti, sillä sen ulottuvuus mukailee hytin muotoja, ja robotille pitkät suorat liikkeet ovat ominaisia. Mekaniikka robotissa on ylhäällä linjan yläpuolella ja seinän puolen kiinteä palkki pystytään kiinnittämään rakennuksen tukirakenteisiin, joten se ei myöskään vie tilaa linjaston vierestä. Näin solun layout todettiin pysyvän kompaktina ja nykyiset sosiaalitulat voivat pysyä paikallaan. Kompaktin solurakenteen puolesta solu sopii hyvin nykyisen tehtaan layoutiin ja siihen on mahdollista myös lisätä jatkossa solua parantavia ominaisuuksia.

## Lähteet

Alsabbagh, A. 2019. Data Analysis and Force Control of a 6-DoF Industrial Robot. University of Debrecen.

Autodesk. 2024. Viitattu 5.3.2024. <https://www.autodesk.fi/>

Bouchard, S. 2017. Lean Robotics: A Guide to Making Robots Work in Your Factory.

Brookins, A. 2019. What are the different types of industrial robots? Viitattu 15.2.2024. <https://toolbox.igus.com/4185/what-are-the-different-types-of-industrial-robots>

Colestock, H. 2004. Industrial Robotics: Selection, Design and Maintenance. McGraw-Hill Companies.

Delfoi. 2023. Tuotannon ja logistiikan simulointi. Viitattu 13.3.2024. <https://delfoi.com/fi/>

Dinwiddie, K. 2019. Industrial Robotics. Boston, MA: Cengage.

Drives & Controls. 2014. Ball-shaped gripper adapts to objects with different shapes. Drives & Controls Magazine. Viitattu 15.2.2024.

[https://drivesncontrols.com/news/fullstory.php/aid/4547/Ball-shaped gripper adapts to objects with different shapes.html](https://drivesncontrols.com/news/fullstory.php/aid/4547/Ball-shaped_gripper_adapts_to_objects_with_different_shapes.html)

EVS. 2020. Mitkä ovat teollisuusrobottien osat ja komponentit? EVS TECH CO. Viitattu 7.2.2024. <https://www.evshint.com/fi/parts-and-components-of-industrial-robots/>

Goodwin, D. 2022. How to Define the Tool Center Point (TCP) on a Robot. Viitattu 12.3.2024. <https://control.com/technical-articles/how-to-define-the-tool-center-point-tcp-on-a-robot/>

Hakala, L. 2024. Kotialbumi.

Hänninen, P. 2022. Robotiikka ja tekoäly: Johdatus aiheeseen. 1. painos. Tampere: Tammertekniikka.

- Jurvanen, J. & Viinikainen, M. 2022. Vinkkejä ohjelmistorobotin käyttöönottoon. Taloushallintoliitto. Viitattu 7.3.2024. <https://taloushallintoliitto.fi/pari-vinkkia-ohjelmistorobotin-kayttoonottoon/>
- Kusigerski, B., Pandilov, Z. & Kusigerski, G. 2022. Design and Practical Realization of Scara Robot. ACTA TECHICA CORVINIENSIS.
- Kyrki, J. 2021. Palvelurobotiikka on osa hoitajien työtä kymmenen vuoden kuluttua. Aalto.fi. Viitattu 7.3.2024. <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/tutkijat-palvelurobotiikka-on-osa-hoitajien-tyota-kymmenen-vuoden-kuluttua>
- Lakhani, J. 2012. Automation-Robot Kinematics: A Review. Paripex.
- Lamb, F. 2013. Industrial automation: Hands on. New York: McGraw-Hill.
- Logistiikan Maailma. 2024. Viitattu 28.2.2024. <https://www.logistiikanmaailma.fi/tuotanto/tuotantostrategia/tuotannon-layout/>
- Lucas. 2024. 3-AXIS GANTRY ROBOTS. Viitattu 12.3.2024. <https://www.lucas-robotic-system.com/en/products/robots-cartesiens-3-axes>
- Makkonen, P. 1999. Framework for Modular Multi Body Systems model for Kinematic and Elastic Dynamic Simulation of Parallel Robots. Metropolia UAS.
- Marttinen, J. 2018. Palvelukseen halutaan robotti: Tekoäly ja tulevaisuuden työelämä. Helsinki: Aula & Co.
- Metsta. 2020. SFS-EN ISO 12100:2010, Riskin arvioinnin tarkemmat periaatteet. Viitattu 11.3.2024. <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/turvallisuusstandardien-laadintaperiaatteet/riskin-arviointi/>
- Nilsén, F. 2020. Robottiikan ja automaation tulevaisuus sekä standardisointi Suomessa. Viitattu 7.3.2024. <https://metsta.fi/robotiikan-ja-automaaation-tulevaisuus-seka-standardisointi-suomessa/>
- Pekkola, T.; Alanen, S.; Häkkinen, V-M.; Lahdenperä, E.; Mäkelä, T.; Möksy, J.; Nuora, A.; Riekkinen, J.; Ström, M. & Vehmaskoski, K. 2020. Tiesitkö tämän robotiikasta? RoboCountryside-hanke. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Viitattu 7.2.2024. <https://www.jamk.fi/sites/default/files/2021-10/robocountryside-valijulkaisu-web-small.pdf>
- Piikki Works Oy. 2023. Viitattu 26.10.2023. <https://www.piikkiworks.fi/>



RoboDK. 2024. Viitattu 7.2.2024. <https://robodk.com/>

SFS-EN ISO 12100 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Siemens. 2023. Viitattu 26.10.2023. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/>

Stühm, K., Tornow, A., Schmitt, J., Grunau, L., Dietrich, F. & Dröder, K. 2014. A novel gripper for battery electrodes based on the Bernoulli-principle with integrated exhaust air compensation. ELSEVIER.

Surakka, S. 2019. Pilz koulutusmateriaali.

Virtanen, A-J. 2024. Kotialbumi.

Välimäki, K. & Niemelä, M. 2023. Teollisuuden robotiikka. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys ry.

Wernholt, E. 2004. On Multivariable and Nonlinear Identification of Industrial Robots. Linköping University.