

Lauri Leht

Viketti- ja muotosaumapussien tuotannon robotisoinnin mahdollisuuksien selvittäminen



Muovijaloste Oy

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2022



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Leht Lauri

Työn nimi: Viketti- ja muotosaumapussien tuotannon robotisoinnin mahdollisuuksien selvittäminen

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: Layout-suunnittelu, mallinnus, suunnittelu, robotiikka, tarrain, automaatio

Toimeksiantajana työlle toimii Muovijaloste Oy. Tällä hetkellä muovipussinippujen käsittely suoritetaan käsin. Manuaalisesti tehtävä työ on ihmiselle kuluttavaa, raskasta, toistuvaa, riskialtista ja hidasta. Yrityksessä on mietitty viketti- ja muotosaumapussinippujen automaattista käsittelyä, joten insinöörityössä on selvitetty viketti- ja muotosaumapussien robotisoinnin mahdollisuuksia. Tämän lisäksi oli tarkoitus myös luoda simulaatio.

Työ aloitettiin tarkkailemalla nykyistä työprosessia ja keräämään tuotannosta tarvittavia tietoja. Ensiksi suunniteltiin tuotannosta layout, robottisolut ja sen jälkeen roboteille muovipussinippujen käsittelyä varten tarrain. Suunnittelussa käytettiin SolidWorks- ja Visual Components -ohjelmistoja. Työn loppuosaan on laadittu ehdotuksia jatkotoimenpiteistä.

Insinöörityön tuotoksena on suunnitelma tarvittavista muutoksista muotosauma-pussien tuotantolinjassa, 3D-malli robotin tarttujasta muotosaumapussien käsittelyä varten, muotosaumakoneiden layout ja muotosaumapussien robottisolujen simulaatio. Kaikki tuotokset ovat digitaalisessa muodossa ja toimitettu sel-laisena toimeksiantajalle.

Opinnäytetyössä löydettiin ratkaisu muotosaumapussinippujen automaattiseksi käsittelyksi. Toimeksiantaja saa esille tuodun ratkaisun avulla kasvattaa tuotannon tehokkuutta, laatua, työntekijöiden jaksamista ja työturvallisuutta. Jatkokehittämistä kaipaa viketti-pussinippujen automaattinen käsittely, koska opinnäytetyön aikana siihen ei vielä löytynyt ratkaisua.

Abstract

Author(s): Leht Lauri

Title of the Publication: Exploring the possibilities of robotics for wicket and triangle shape plastic bags

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: Layout design, modeling, engineering, robotics, gripper, automation

The company commissioning this work was Muovijaloste Oy. Currently, the processing of plastic bag bundles is performed manually. Manual work is human consuming, heavy, repetitive, risky, and slow. The company has been considering the automatic processing of wicket and triangle shape plastic bags, so the possibilities of robotizing the bag processing has been investigated in the thesis work. In addition to this, a simulation was also to be created.

The work began by observing the current work process and collecting the necessary data from production. First, a layout was designed for production, robot cells and then a gripper for the processing of plastic bag bundles for robots. SolidWorks and Visual Components software were used in the design process. Proposals for further measures have been included at the end of the thesis.

The output of the thesis work is a plan for the necessary changes in the production line of the triangle shape bags, a 3D model of the robot gripper for handling these bags, the layout of the triangle shape bag machines and the simulation of the robot cells for the triangle shape bags. All creations are in digital form and delivered as such to the commissioning company.

In the thesis, a solution was found for the automatic processing of triangle shaped bag bundles. With the help of the presented solution, the commissioning company can increase the efficiency of production, quality, endurance of employees and work safety. The automatic processing of wicket bag bundles needs further development, because no solution has been found during the thesis.

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön tausta.....	1
1.2	Opinnäytetyön tavoite	1
1.3	Muovijaloste Oy	2
2	Robotiikka	3
2.1	Robotit ja robotisointi	3
2.2	Yhteistyörobotiikka	6
2.3	Tarraimet.....	8
2.3.1	Mekaaniset tarraimet.....	8
2.3.2	Magneettitarraimet.....	9
2.3.3	Alipainetarraimet	9
2.3.4	Erikoistarraimet.....	11
2.3.5	Vakiotarraimet	11
2.3.6	Älykkäät tarraimet.....	12
2.4	Robottien ohjelmointi	13
2.5	Työturvallisuus	15
3	Suunnittelu	18
3.1	3D-mallintaminen.....	18
3.2	Tarraimen suunnittelu.....	20
3.3	Robottiprojektin suunnittelu ja kannattavuus	22
4	Pohjatiedot	24
4.1	Muotosaumapussi.....	24
4.2	Viketti-pussi.....	25
5	Työn toteutus	27
5.1	Aloitus.....	27
5.2	Robottisolun suunnittelu.....	27
5.3	Tarraimen suunnittelu.....	31
6	Jatkotoimenpiteet	35
7	Yhteenveto	36

Lähteet	37
---------------	----

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta

Tämän opinnäytetyön kohdeyrityksenä on Hollolassa sijaitseva Muovijaloste Oy. Yrityksen päätoimialana on muovipakkausten valmistus. Yritys oli päättänyt lisätä automaation astetta robottien käyttöönottona tuotannossa. Muovijaloste Oy halusi selvittää, voidaanko robottien avulla automatisoida viketti- ja muotosaumapussien valmistusta.

Pussien prässäys, niputus ja pakkaus tehdään käsin erillisellä työpisteellä. Tavoitteena on, että tuotantolinjoista tulisi täysin automatisoitu lavausprosessiin saakka. Automatisoinnin avulla parannetaan tuotannon tehokkuutta, laatua, työntekijöiden jaksamista ja työturvallisuutta.

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on kehittää olemassa olevia tuotantolinjoja robotisointia varten. Sen lisäksi opinnäytetyössä suunnitellaan ja 3D-mallinnetaan robotille tarttuja, jonka avulla käsitellään viketti- ja muotosaumapussien nippuja. Lopuksi luodaan paras mahdollinen layout-ratkaisu robotisoinnin kannalta.

Muovijaloste Oy saa tarttujasta valmiin 3D-mallin, osaluettelon tarttujassa tarvittavista osista, 3D-mallit yksittäisistä osista ja tekniset piirustukset. Sen lisäksi toimeksiantaja saa tiedot tarvittavista muutoksista nykyisissä tuotantolinjoissa, layout-ratkaisun ja simulaation.

1.3 Muovijaloste Oy

Erityisesti moniväripainettujen muovipakkausten valmistamiseen erikoistunut yritys on perustettu vuonna 1949. Opiskelija Hannu Posti oli mukana perustamassa 24.10.1949 Muovijaloste Oy:n yhdessä isänsä Hannes Postin ja muovipureman saaneen aikansa teknisen neron, hienomekaanikko Kyösti Smått:in kanssa. Kolmikon aikaansaannoksia oli mm. ensimmäisenä Suomessa tehty muovikalvon koepuhallus vuonna 1952. Joustopakkausten materiaalina parhaiten tunnetun Polyeteenikalvon kaupallinen tuotanto alkoi vuonna 1954 Lahden Kirkkokadulla siirtyen sieltä Vesijärvenkadun toimipisteen kautta Hollolan Salpakankaan Muovitielle vuonna 1969, jossa toiminta jatkuu edelleen 2020-luvulla. 2017 vuoden lopulla Muovijalosteesta tuli Sataplastin tytäryhtiö. [1.]

Muovijalostetta ohjaavat asiakaslähtöisyys, tuotteiden korkea laatu, edelläkävijän ammattitaito, luotettavuus ja perinteisen perheyrietyksen arvot. Osaamisen ytimessä olevat HD-painolaatuiset ja jopa 10-väriset muovipakkaukset, jotka soveltuvat vaativiin pakkaustarpeisiin ja lisäävät asiakkaan tuotteen näkyvyyttä nostoen samalla sen kaupallista arvoa. [2.]

2 Robotiikka

2.1 Robotit ja robotisointi

Sana robotti esiintyi ensimmäisen kerran vuonna 1923 tšekkiläisen Karel Capekin näytelmässä. Tšekinkielessä robotti-sana on liittynyt maaorjiin ja työntekoon. [3.]

Virallisimpana robotin määritelmänä voidaan pitää The robot institute of America`n lausetta: ”Robotti on uudelleen ohjelmoitavissa oleva monipuolinen mekaaninen laite, joka on suunniteltu liikkuttamaan kappaleita, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitavin liikkein monenlaisten tehtävien suorittamiseksi.” [3.]

Roboteista muodostunut mielikuva on usein peräisin tieteiselokuvista, niin nuorilla kuin ehkä vanhemmillakin. Robotiikkaan liittyvien tekniikoiden kehittyminen on ollut nopeaa, ja robotit ovat tulleet ihmisille paljon arkipäiväisimmiksi mm. palvelurobotiikan ansiosta. Valtaosa roboteista on toki vielä teollisuuden tarpeisiin tehtyjä. Teollisuuteen sijoitetut robotit ovat tärkeä osa sen toimintaa, ja ilman niitä monen yrityksen kilpailukyky ei olisi riittävä kovassa kansainvälisessä kilpailussa. [4.]

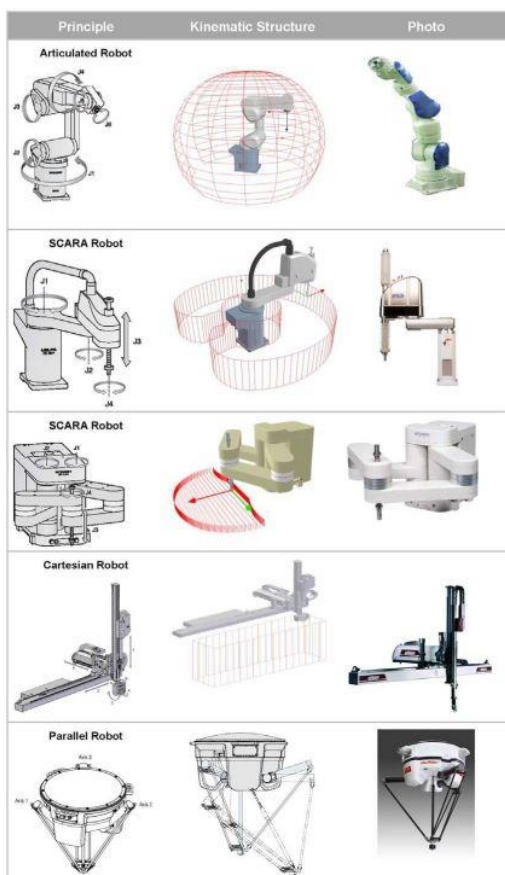
Nykytekniikka on realisoanut robotti-käsitteen koskettamaan jokapäiväistä tuotantoautomaatiota. Ihmistyön ja kiinteän automaation ohella robottiautomaatio on vaihtoehto suunniteltaessa tuotannon uudelleenjärjestelyä tai haluttaessa karsia kustannuksia. Teollisuuden tavoitellessa taiseempaa laatua alenevilla yksikkökustannuksilla on robottiautomaatio yksi vartenotettava vaihtoehto. [3.]

Yksinkertaistettuna teollisuusrobotti on mekaaninen kone, joka liikuttaa siihen kytkettyä työkalua käyttäjän haluamalla tavalla. [4.] Kuvassa 1 on Fanuc-teollisuusrobotti.



Kuva 1. Teollisuusrobotti Fanuc M-2000iA/1200 [5, s. 4].

Standardi ISO 8373 määrittelee teollisuusrobottien sanastoa ja myös yleisemmät robottimallit mekaanisen rakenteen mukaan. [4, s. 12]. Kuvassa 2 standardi ISO 8373 mukaiset robottien rakenne-esimerkkejä.



Kuva 2. Yleisimpien robottityyppien rakenne-esimerkkejä (ISO 8373) [5, s. 3].

Suomalaisen konepajateollisuuden piirissä tehdyn kyselyn perusteella robottien hankintaan vaikuttaneita syitä ovat:

- tarve rationalisoida raskaita työtehtäviä ja kappaleensiirtoja,
- tarve parantaa tuotteiden laatua,
- halu siirtyä miehittämättömien tuotantokantojen käyttöön,
- tarve saada omakohtaista tietoa robottien soveltuvuudesta omaan tuotantoon,
- robotisoinnit ovat keino opettaa uutta rationalisointitekniikkaa yrityksen henkilöstölle,
- turvallisuutta vaarantavien työtehtävien poistamisen tarve,
- halu nostaa yrityksen imagoa uuden teknologian soveltajana,
- pelko kilpailijoiden mahdollisesti saavuttamasta etumatkasta tuotantoteknologiassa,
- asiakkaan vaatimusten myötäileminen alihankintayrityksissä,
- tarve tuottavuuden ja kilpailukyvyn lisäämiseen,
- ammattitaitoisten työntekijöiden puute avainaloilla,
- mahdollisuus vähemmän koulutettujen työntekijöiden käyttöön vaativissakin tuotantotehtävissä,
- koneiden käyttösuhteen parantaminen. [6.]

Raskaiden työtehtävien rationalisointi ja eliminointi on yksi tärkeimmistä robotisointien perusteista. Monissa yrityksissä terveydelle vaaralliset työt ja työvaiheet, jotka esimerkiksi aiheuttavat nivelvaurioita rasisusvammoina, on pakko automatisoida. Robotit soveltuvat erinomaisesti kuluttavan käsityön korvaajiksi. Työ voi olla kuormittavaa myös yksitoikkoisuutensa johdosta, jolloin robotisointi on sopiva investointi, jolla vapautetaan työntekijät rutiinistöistä vaativampiin työtehtäviin. Robotit soveltuvat hyvin myös tehtäviin, joissa on vaara altistua säteilylle tai terveydelle

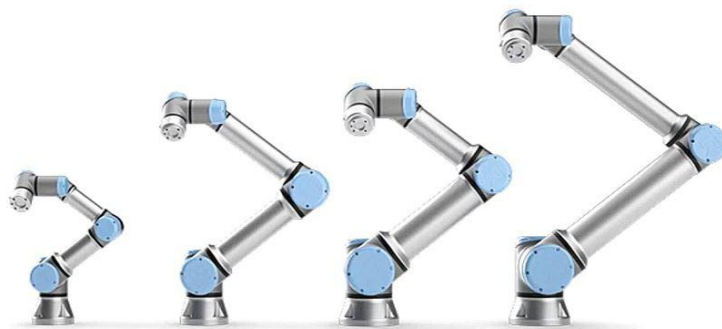
vaarallisille kemikaaleille. Kuumat työpisteet, kuten painevalukoneiden kappaleiden käsittely, kannattaa automatisoida robotilla. Muita robottien käyttökohteita, joissa työhygienia on investoinnin peruste, ovat hiekkapuhallus, valutuotteiden puhdistus ja viimeistely, tuotteiden kiillotus, ruisku- ja jauhemaalaus sekä koneistettujen kappaleiden jäysteiden poisto. [6.]

2.2 Yhteistyörobotiikka

1990-luvulla OSHA (Occupational Safety and Health Administration) kiinnostui siitä, miten ergonomiakysymyksiä käsitellään autoteollisuudessa. Vaikea ja toistuva työ rasittaa suuresti ihmisten ruumiita, samalla kun mekaaniset ja automatisoidut ratkaisut voisivat mahdollisesti ratkaista nämä ongelmat. Autonvalmistajat kääntyivät OSHA:n kovan painostuksen jälkeen Northwestern Yliopiston ja UC Berkeleyyn puoleen saadakseen apua. Tämän yhteistyön tuloksena syntyneet laitteet katsottiin älykkäiksi avustaviksi laitteiksi. Ne olivat pohjimmiltaan yhteiskäyttöisiä koneita, jotka toimivat tietokoneohjauksella ja auttoivat työntekijöitä suorittamaan päivittäisiä toimintojaan huomattavasti pienemmällä fyysisellä rasituksella. Nämä olivat ensimmäiset yhteistyörobottien muodot. [7.]

Ensimmäinen yhteistyörobottivarsi asennettiin vuonna 2008 teknisten muovien ja kumin toimitajan tiloihin. Kun ihmiset näkivät, että robottikäsiä voidaan käyttää turvallisesti ihmisten rinnalla ilman häkkejä tai fyysisiä turvalaitteita, yhteistyöroboteista tuli erittäin haluttu hyödyke. [7.]

Yhteistyörobotti on robotti, joka toimii jollakin tavalla ihmisten kanssa – joko avustajana tehtävässä, prosessissa tai oppaana. Toisin kuin autonomiset robotit, jotka toimivat suurelta osin yksin ja ilman valvontaa, yhteistyörobotit on ohjelmoitu ja suunniteltu vastaamaan ihmisen ohjeisiin ja toimintoihin. [8.] Kuvassa 3 on yhteistyörobottien markkinoiden edelläkävijä.



Kuva 3. Universal Robots -yhteistyörobottien valikoima [9].

Koska yhteistyörobotti toimii yhteistyössä ihmisen kanssa, siinä on oltava ominaisuuksia, jotka tekevät työskentelystä turvallista. Tärkeimpiä robotin ominaisuuksia ovat voiman mittaus (törmäykset, puristumisvaara) ja muotoilu. [10.]

Yhteistyörobotiikan standardi ei tunne termiä yhteistyörobotiikka, vaan standardissa käytetään termiä yhteistoiminta. Standardin mukaan yhteistoimintaa koskevat seuraavat vaatimukset: turvaluokiteltu valvottu pysäytys, käsin ohjaaminen, nopeuden ja vähimmäisetäisyyden valvonta, tehon ja voiman rajoittaminen luontaisesti turvallisella suunnittelulla tai ohjauksella. [11.]

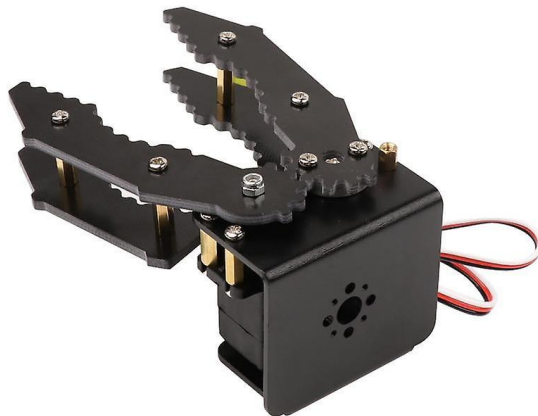
Yhteistyörobottien edut verrattuna perinteiseen teollisuusrobottiin ovat merkittäviä. Yhteistyörobotin käyttöönotto on huomattavasti nopeampi yksinkertaisen ja käyttäjäystävällisen käyttöliittymän ansiosta. Käyttöönotto ei vaadi syvällistä asiantuntemusta robotiikasta, vaan siihen riittää hyvä tekninen osaaminen. Ohjelmien koostaminen on helppoa ja periaatteessa kuka tahansa pystyy ohjelmoimaan yhteistyörobottia. Kevyen rakenteen ansiosta näitä on helppo siirtää eri tehtävien, käyttökohteiden ja koneiden välillä. Myöskin näiden ansiosta tuotantolaitoksen layoutia on helppo päivittää. Täytyy kuitenkin muistaa, että riskikartoitus on tehtävä jokaisessa tehtävässä erikseen ja ottaa turvallisuus kaiken puolin huomioon. Koska yhteistyörobotit vievät vähän tilaa, näitä on helpompi suunnitella olemassa oleviin tuotantolaitoksiin verrattuna teollisuusrobotteihin. Yhteistyörobotit pystyvät ihmisen kanssa tehtävään yhteistyöhön niin, että he työskentelevät samassa tilassa ja jopa saman esineen kanssa samanaikaisesti. Laitteiden takaisinmaksuaika on nopea ja se ei välttämättä aina perustu tehokkuuden kasvuun, vaan inhimilliseen tekijään. Inhimillinen tekijä on esimerkiksi se, että ihminen joutuu usein sairauslomalle kyseisestä tehtävästä. [9.]

Yhteistyörobottien yleisiä käyttökohteita ovat pakkaus, palletointi, liimaus, levitys, hitsaus, ruis-
kupuristus, ruuvaus, laadunvarmistus, kokoonpano, konepalvelu, laboratorioanalysointi, poi-
minta ja asettelu [9.] Yhteistyöroboteilla on erinomainen joustavuus erilaisten tehtävien välillä.

2.3 Tarraimet

2.3.1 Mekaaniset tarraimet

Tarrain rakentuu toimilaitteesta, mekaniemistä, sormista ja kynsistä. Yksinkertaisissa tapauksissa
voidaan osia yhdistää. Toimilaitteen ja mekaniemien valinta vaikuttaa tarraimen liikealueeseen.
Mekaanisten tarraimien kinemaattiset rakenteet ovat nivelmekanismit, hammaspyörä ja ham-
mastanko, epäkesko, ruuvi, vaijeriväkipyörä ja sekalaiset. [4.]



Kuva 4. Geneerinen mekaaninen tarrain [12].

2.3.2 Magneettitarraimet

Magneettitarraimia voidaan käyttää vain magneettisille aineille. Magneetin nostovoima riippuu kappaleen materiaalista, muodosta, pinnanlaadusta, ilmaraosta ja magneetin lämpötilasta. Vaatimuksena työkappaleille on riittävän suuri tasainen tartunta-alue, sillä magneettikenttä heikkip nopeasti ilmaraon kasvaessa. Tartunta on nopeaa, mutta jäännösmagnetismi hidastaa irrotusta. Kestomagneetilla tarvitaan irrotuslaite. Sähkömagneetilla voidaan kääntää magneettikentän suuntaa, jolloin irrotus nopeutuu. Sähkömagneetti lämpenee käytössä, joten työkierto on suunniteltava siten, että lämpötila ei nouse liikaa. [4.]



Kuva 5. Magneettitarrain SMC MHM-X6400 [13].

2.3.3 Alipainetarraimet

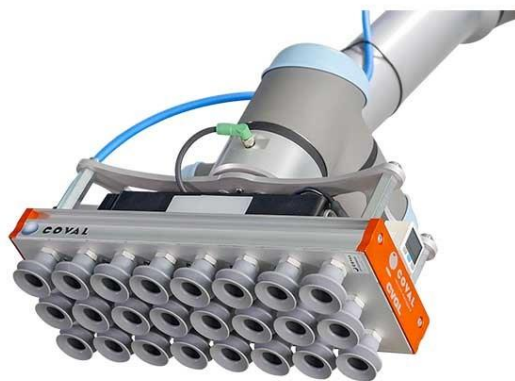
Alipaineeseen perustuvia tartuntaelimiä käytetään sovelluksissa, joissa mekaanisen tarraimen käyttö on hankalaa. Imutartunnassa työkappaleeseen tartutaan yleensä vain yhdeltä suunnalta. Kumiset tai muoviset imukupit eivät helposti naarmuta nostopintaa. Tartuntavoiman lisäys suu-

rille kappaleille onnistuu lisäämällä imukuppeja. Usean imukupin järjestelmässä on turvallisuustekijänä huomattava, että yhdenkin imukupin irtoaminen aiheuttaa alipaineen häviämisen, mikä johtaa kappaleen irtoamiseen, ellei käytetä varolaitteita. [4.]

Imukupit vaativat yleensä riittävän tasaisen, sileän, puhtaan ja tiiviin pinnan. Imuvoima on paineeron ja imupinta-alan tulo. Tarraimeen ei saa syntyä suuria, tarrainta vastaan kohtisuoria sivuttaisvoimia, sillä tarraimen synnyttämä sivuttaisliikettä vastustava voima riippuu tarraimen ja kappaleen välisestä kitkakertoimesta. Tartunta kannattaa toteuttaa keskeisesti, kappaleen painopisteen kohdalle. Imukuppien materiaalien valinnoilla voidaan vähentää käsiteltävien kappaleiden lämpötilan aiheuttamaa ongelmaa. [4.]

Imukupin etuna on, että rakenne on yksinkertainen ja yleensä luotettava, sillä siinä on vähän liikkuvia osia. Imukupit toimivat myös joustoelementtinä ja soveltuvat puhdastiloihin. Haittoina ovat kappaleen putoaminen paineen kadotessa. Imukuppi ei keskitä kappaletta. Pöly voi myös tukkia järjestelmän. [4.]

Alipaineen muodostamiseen käytetään kahta päätapaa: venturia/ejectoria tai erillistä alipainepumppua. [4, s. 63]. Venturi on Bernoullin lakiin liittyvä ilmiö, jossa kavennetun putken läpi virtaavan nesteen nopeus suurenee ja paine pienenee. Alipainepumpulla saadaan kohteelle pienempi paine verrattuna ympäristöön.



Kuva 6. Alipainetarrain Coval CVGL335XA50C1 [14].

2.3.4 Erikoistarraimet

Erikoistarraimet perustuvat esimerkiksi tartuntaelimen laajentumiseen tai mukautumiseen tartuttavan kappaleen ympärille. Lamelli tai muu mekaanisesti muotoutuva elementti tarttuu kappaleeseen. Muotoutuva elementti voi perustua granulaattiin, jota muokataan paineen avulla tai magneettipulveriin, jota säädetään sähkömagneetilla. Tartuntavoiman aikaansaamiseksi voidaan käyttää myös liimaa tai muuta adheesiomekanismia. [4.]



Kuva 7. Erikoistarrain Empire Robotics Versaball [15].

2.3.5 Vakiotarraimet

Robottien valmistajat lisäävät usein tuotevalikoimiinsa erilaisia standarditarraimia tai niiden komponentteja, joista soveltaja voi helposti koota ja muokata haluamansa tarraimen. Markkinoilta löytyy myös robottitarraimien valmistajia. Yleensä tarrain joudutaan rakentamaan kuitenkin sovelluskohtaisesti, yksinkertaisimmillaan muotoilemalla vakiotarraimeen uudet tartuntapinnat. [4.]



Kuva 8. Vakiotarrain Schunk MPG-plus [16].

2.3.6 Älykkäät tarraimet

Tarrain voidaan varustaa omalla ohjauksella, jotta se kykenee mukautumaan ympäristön tai prosessin muutoksiin vastaanottamalla, käsittelemällä ja lähettämällä edelleen tietoa omasta toiminnasta, ympäristöstä sekä muilta laitteilta. Älykkäällä toiminnalla voidaan estää tuotantokatkoksia, sillä tarraimen välittämän tiedon perusteella tunnistetaan virhetilanteet ja selvitetään ne. [4.]

Älykkäässä tarraimessa toimilaitetta, mekanismia, työkappaletta ja ympäristöä valvotaan aistiin. Toimilaitteen ja mekanismin asentoa sekä nopeutta mittaamalla saadaan takaisinkytkentätietoa tarraimen sisäisestä tilasta. Ulkoista tilatietoa käytetään ohjamaan tarraimen ja koko robotijärjestelmän toimintaa. [4.]

Tarraimen ohjaimena voi toimia robotin ohjausjärjestelmä, tarraimella voi olla erillinen ohjain tai tarrainta voi ohjata suoraan solun keskustietokone. Antureiden välittämän tiedon kasvaessa ja monipuolistuessa vaaditaan myös ohjaukselta enemmän. Tarraimen antureilta kerättyä tietoa

käytetään tarraimen ja robotin ohjaamiseen. Robottijärjestelmän tilaa valvotaan myös muilla antureilla. [4.]

Valittu anturiratkaisu vaikuttaa tarraimen ohjauksen suunnitteluun. Tarraimen anturointitarve muuttuu tehtävän vaativuuden mukana. Kehittyneet anturit vaativat enemmän signaalien käsittelykykyä tietomäärän kasvaessa. [4.]

Älykkään tarraimen toiminnot ovat anturien luku ja signaalien käsittely, tarraimen toiminnan ohjaus, kommunikointi robotin kanssa ja kommunikointi ympäristön kanssa. [4.]



Kuva 9. Älykäs tarrain OnRobot RG2-FT [17].

2.4 Robottien ohjelmointi

Ohjelmoinnin perustehtävä on saada robotin tarttumaan, aistin- elin, tai tapauksesta riippuen työkalu liikkumaan halutun työtehtävän vaatimalla tavalla. Robotiikassa ohjaus tapahtuu siis periaatteessa samalla tavalla numeerisina liikekäskyinä, kuin esim. NC-tekniikassa. [3.]

Ohjelmoinnin tärkeimmät tehtävät:

- Laaditaan toimintajärjestys ja logiikka robottikäsivarren liikkeille sovelluksessa tarvittavien työkalun liikkeiden toteuttamiseksi.
- Tahdistetaan käsivarren liikkeet ympäristön signaaleihin (muut laitteet) tai välitetään muihin laitteisiin tarvittavia tietoja.
- Määritellään robotin toiminta virhetilanteissa. [4.]

Tavanomaisimmin robottia ohjataan erillisellä käsiohjaimella, ohjainyksiköllä tai PC-tietokoneeseen asennetun ohjelman avulla. Ohjausmenetelmät voidaan jakaa karkeasti toimintatapansa periaatteen mukaan neljään perustyyppiin:

- Mekaanis-rakenteellinen tyyppi, jossa liikkeet, rajat ja toimintajärjestys asetetaan käsin.
- Johdattamismenetelmä, jossa robotti kuljetetaan käsiohjauksella työvaiheet läpi: robotti on tällöin vapaasti liikuteltavissa.
- Opetetaan robottia, eli liikutellaan robottia käsiohjauksella halutun reitin pisteestä pisteeseen, jotka tallennetaan osana robotin kokonaisohjelmaa.
- Tekstiparametreihin perustuva ohjelmointi, jossa käytetään ohjelmointipäätettä sekä spesifiä ohjelmointikieltä. [3.]

Luokiteltaessa robottien ohjelmointia käytetään myös luokittelua off-line ja on-line-ohjelmointi. On-line-ohjelmointi tarkoittaa ohjelmointitapaa, jossa robottia käytetään apuna, jolloin se ei siis voi olla tuotannossa mukana. Off-line-ohjelmointi tarkoittaa ohjelman tuottamista muualla kuin robottiympäristössä ja tämän jälkeen ohjelma siirretään varsinaiseen tuotantokoneeseen. Tämä ohjelmointitapa tapahtuu tavallisimmin omalla yksinkertaistetulla ohjelmointirobotilla. [3.]

Ohjelmointikielien mukaan voidaan havaita, että robottien ohjelmointi on lähempänä tietokoneiden ohjelmointikieltä. Tästä syystä robottien ohjelmointikielet ovat samankaltaisia kuin vanhemmat tietokoneiden ohjelmointikielet. Tietojenkäsittely ja PC-tekniikka ovat konepajaolosuhteissa vielä varsin nuorta, eivätkä ne ole vielä saaneet suurempaa jalansijaa. [3.] Taulukossa 1 on ohjelmointikielen luokittelu.

Robotti-kieli	Kaupallinen	Tutkimus	Yhden tehtävän	Usean tehtävän	Vapaus-astemalli	Kokonaisliikemalli	Maailman malli
Wave		*	*			*	
VAL	*					*	
AL		*					*
ML		*	*		*		
Autopass							*
Pointy		*					*
Sigla						*	
MAL				*		*	
PAL		*					*
LAMA							*
LM		*				*	
Robex		*				*	
Inda	*		*			*	
Teach	*					*	
Help	*					*	
Rail	*		*			*	

Taulukko 1. Robottien ohjelmointikielen luokittelu [3, s. 317].

2.5 Työturvallisuus

Robottisovellusten kehittämisen yhtenä lähtökohtana on ollut ihmiselle vaarallisten työsuoritus-ten tekeminen koneen avulla. Tällaisia töitä olivat mm. valutyöt ja erilaiset ruiskumaalaustyöt, joissa ensisijaisena näkökohtana oli työturvallisuus. [3.]

Tästä huolimatta on robotiikka tuonut itse erilaisia vaaratekijöitä, jotka voidaan jakaa kolmeen erilaiseen onnettomuustyyppiin: törmäys, puristus ja muut. Törmäyksiä esiintyy kappaleen ja ihmisen sekä robotin välillä. Puristusta esiintyy kappaleen ja apulaitteiden välillä sekä ihmisen ja robotin välillä. Muut onnettomuustyypit ovat sähköiskut, siirtotöissä tapahtuvat onnettomuuden sekä esim. hitsauksessa tapahtuvat onnettomuudet.

Kaksi kolmannesta koneen aiheuttamista onnettomuuksista johtuu robotin ohjausjärjestelmän erilaisista vioista. Eli tämä on hyvä tietää, kun esim. robotilla ajetaan ohjelmaa ensimmäistä kertaa. Samalla ajettaessa ohjelmaa ensimmäistä kertaa on hyvä ajaa ohjelma hitaasti, jotta varmistetaan ohjelman oikeasta ja ennakolta suunnitellusta toiminnasta ja samalla sitä, ettei siinä ole vaarallisia virheliikkeitä. Kokeiltaessa robottiohjelmaa on myös varauduttava siihen, ettei robotti jatka liikesarjan toistamista ja vaikka se olisi paikallaan liikkumatta ei saa olettaa, ettei se tulisi liikkumaan. [3.]

Ensisijainen turvallisuustyö tehdään silloin, kun laitteiston sijoitusta suunnitellaan, niiden apulaitteiden sijoitusta, kuljettimia, välivarastoja jne. Riittävä tila robotin ympärillä on sinällään turvallisuustekijä, kun irronneelle kappaleelle on tilaa pudota vapaasti. [3.]

Paljon vaaratilanteita voidaan ehkäistä asianmukaisella koulutuksella ja tiedon jaolla, tavallisimmin robotin ollessa uusi suhtaudutaan siihen varovasti ja määrätynlaisella "kunnioituksella", mutta kun työ ja toiminta käy tavanomaiseksi suhtautuminen arkipäiväistyä, mutta virheliikkeet ja onnettomuusvaara ovat olemassa edelleen. Joskus tätä kutsutaan onnettomuustilanteessa inhimilliseksi tekijäksi. [3.]

Erlainen laitetekniikka on myös tarpeellista. Näistä yksinkertaisimpia ovat laitteet ja rakenteet, jotka estävät ihmistä pääsemästä robotin liikealueelle. Samalla on tarkoituksenmukaista rakentaa liikealueelle turvajärjestelmä, joka pysäyttää toiminnan, mikäli liikealueelle toiminnan aikana pääsee ihminen. [3.]

Tällaisia yksinkertaisia turvalaitteita on mm. laitteet, jotka estävät pääsyn, tunnistavat ja varoittavat passiivisesti. Pääsyn estävät laitteet ovat esimerkiksi mekaaniset esteet, kuten turva-aidat. Tunnistava turvalaite on esimerkiksi valokenno tai painoon reagoiva matto. Passiivisesti varoittavia turvalaitteita ovat esimerkiksi varoitusteipit, maalaus sekä varoituskilvet.

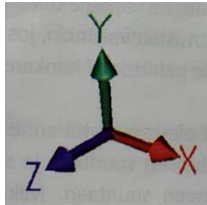
Älykälle turvalaitteille on ominaista niiden kyky käsitellä ja kyky tehdä johtopäätöksiä "ajattelu-prosessin" jälkeen. Ominaisia toimintoja on kyky tarkkailla ympäristöä ja kerättyjen tietojen vertailu koneeseen tallennettuihin vastaaviin tietoihin. Kone tekee turvallisuuteen perustuvia johtopäätöksiä. Laitteina ovat tavallisimmin mikroaaltolähetin, ultraääni, kameran kuva, kapasitiivinen läheisyysanturi, infrapuna-anturi, värinäanturi ja mikroaaltoihin perustuva rajailmaisin. [3.]

Robottiikan ja koneenrakennuksen osalta oleellisia säännöksiä ovat: työturvallisuuslaki 23.8.2002/738, robotiikan perusstandardi ISO 9787:2013, robotiikan sanastostandardi ISO 8373:2012, teollisuusrobottien turvallisuutta käsittelevä EN ISO 10218-1, robottisolun ja linjan turvallisuutta käsittelevä EN ISO 10218-2, henkilökohtaisen hoidon robottien turvallisuusstandardi EN ISO 13482 ja konedirektiivi 2006/42/EY. [18.] Nämä kaikki tulee ottaa huomioon uutta järjestelmää luotaessa ja myös silloin, kun tehdään muutoksia olemassa oleviin järjestelmiin.

3 Suunnittelu

3.1 3D-mallintaminen

3D-mallinnuksella tarkoitetaan erilaisten tuotteiden suunnittelua kolmiulotteisesti. Suunnittelijan näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että kappaleet, osat ja kokoonpanot näyttävät oikeilta ja niille annetaan kaikki ne fysikaaliset sekä mekaaniset ominaisuudet, jotka valmistettavalla tuotteella todellisuudessa on. Tuote suunnitellaan kolmiulotteisessa avaruudessa, joka koostuu x-, y- ja z-koordinaattiakseleista. [19.] Kuvassa 10 x-, yz- ja z-koordinaattiakseli.



Kuva 10. Kolmiulotteisen avaruuden koordinaattiakselit (SolidWorks perusnäky) [19, s. 17].

Tietokoneen näytölle nämä koordinaattiakselit asettuvat siten, että x-koordinaattiakseli on näytön alareunan suuntainen, y-koordinaattiakseli näytön vasemman reunan suuntainen ja z-koordinaattiakseli osoittaa näytöstä ulospäin kohti suunnittelijaa. Nämä ovat myös kyseisten koordinaattiakselien positiiviset suunnat. Suurimmassa osassa 3D-mallinnusohjelmia on käytössä oikeakätinen suorakulmainen koordinaatisto. Sen avulla koordinaatti akselien suunnat saadaan selville, kun asetetaan oikean käden peukalo ja etusormi suoraan kulmaan toisiinsa nähden ja keskisormi kohtisuoraan näihin kahteen muuhun nähden. [19.] Kuvassa 11 oikea käden sääntö suunnittelussa.



Kuva 11. Oikeakätinen suorakulmainen koordinaatisto [19, s. 18].

3D-mallinnusohjelmia on markkinoilla runsaasti, niin pilvipohjaisia kun myös tietokoneelle erikseen asennettavia. Teollisuuden alalla käytetään mm. seuraavia ohjelmia Autodesk Inventor, SolidWorks, SolidEdge, Vertex G4, Unigraphics, Pro/ENGINEER, Catia V5, Design Modeller ja IronCAD. [19.]

Mallinnus tapahtuu aina tiettyä reittiä pitkin, joka sisältää seuraavia vaiheita: lähtötiedot, esivalmistelu ja mallinnus. Lähtötiedoilla tarkoitetaan sitä, että suunnittelijalla on idea, valmis luonnos tai jopa valmis tuote tai toimeksianto, jota hän lähtee työstämään. Esivalmistelun vaiheessa järjestelmään syötetään asiakkaan pohjat ja tarvittavat määrittelyt. Mallinnusvaiheessa suunnittelija tekee toimeksiannon pohjalta karkean luonnoksen eli sketsin. Sketsistä luodaan malli. Kahta edellä mainittua vaihetta toistetaan, kunnes tuote on kokonaisuudessaan mallinnettu eli siitä on tehty osamalli. Osamalleista tehdään kokoonpano. Kokoonpanosta ja osamalleista tuotetaan tarvittavat 2D-piirustukset tuotetietoineen ja osaluetteloineen.

Nykypäivän suunnittelu vaatii suunnittelijalta entistä enemmän, sillä suunnittelun tehokkuudesta on tullut merkittävä tekijä kokonaisprosessin kannalta. Tilauksesta tuotteen toimitukseen on käytettävissä entistä vähemmän aikaa, joten suunnittelunkin pitää tapahtua nopeasti. Tehokkaan suunnittelun neljä kulmakiveä ovat kyky toteuttaa asioita eli hyvä ohjelmien hallinta ja hahmotuskyky, käytännön kokemus, hyvät mallinnustaidot ja taito suunnitella. [19.]

Onnistuneen suunnittelun perusvaatimus on, että valmistuneet osat ja kokonaisuudet sopivat sekä toisiinsa että kokoonpanoihin. 3D-mallinnus mahdollistaa osien fyysisten ominaisuuksien tarkastelun pääteellä, niiden sovittamisen toisiinsa sopiviksi kokonaisuuksiksi sekä niiden tarkastamisen liityntärakenteisiin nähden. [19.]

3.2 Tarraimen suunnittelu

Tarraimen suunnittelu on robottijärjestelmän suunnittelun yksi vaihe, jonka kaksi nyrkkisääntöä on: älä yritä matkia ihmisen toimintoja ja mieti kokonaisuutta. Robotilla ei ole ihmisen monipuolista aistijärjestelmää, eikä robottia ja ihmistä voi verrata työtehtävissä. Tarraimia ja työkaluja suunniteltaessa on katsottava koko automatisointitehtävää kokonaisuutena, jossa tarraimen tai työkalun suunnittelu on vain pieni mutta tärkeä osa. Yleisiä toivomuksia ovat yksinkertainen rakenne, pieni koko ja paino, luotettava tartunta, tartuttavien kappaleiden keskitys ja perustilassa kiinni oleva tarrain. [4.]

Tärkeimmät asiat luotettavan toiminnan kannalta ovat robotin hyötykuorma, tartuntamenetelmä, toleranssianalyysi, tarraimen luoksepäästävyys ja kunnossapitonäkökohdat. On huomattava, että tarrain ja siirrettävät kappaleet muodostavat yhdessä robotin kuorman — painava tarrain pienentää hyötykuormaa. [4.]

Suunnittelussa on tärkeää paneutua tehtävän määrittelyyn ja toiminnan suunnitteluun. Tehtävän määrittely perustuu prosessi- ja kappaleanalyysiin. On analysoitava erilaisia vaihtoehtoja, suunnitellaanko käsiteltäviin kappaleisiin yhtenevät tartuntapinnat, jolloin tarraimen kannalta kyseessä on samanlainen kappale vai suunnitellaanko tarrain käsittelemään erilaisia kappaleita. [4.]

Analyysiä seuraavassa esisuunnitteluvaiheessa haetaan mahdollisia tarraimen toimintaperiaatteita, tartuntapintoja, ja määritellään tarvittava tarraimen älykkyys eli anturoinnin ja tiedonkäsittelykyvyn tarve. Sen jälkeen on saatu vaatimuksia tarraimelle, prosessille ja kappaleille. [4.]

Tarraimen suunnittelu voidaan jakaa kahteen vaiheeseen: kehittelyyn ja viimeistelyyn. Kehittelyvaiheessa jalostetaan edelleen esisuunnittelussa rajattuja vaihtoehtoja ja valitaan paras yhdistelmä. Kaupallisia komponentteja kannattaa käyttää, mikäli mahdollista. [4.]

Tarraimen viimeistelyssä on muistettava vaatimuslistassa esitetyt argumentit. Tarraimen tai työkalun pitäisi olla kevyt, joten alumiinia tai muoveja kannattaa käyttää. Kaupallisesti on jo saatavilla muovista valmistettuja tarraimia. Rakennetta voidaan keventää myös kevennysrei'illä. Tarraimen on oltava pienikokoinen, mutta samalla halutaan kuitenkin laaja erikokoisten kappaleiden käsittelykapasiteetti. Tarraimen tulee olla riittävän jäykkä ja puristusvoimainen epävarmoissakin tapauksissa. Huolto- ja turvallisuusnäkökohdat on myös huomioitava. Hyvä tarraim on luotettava ja kestää kulutusta. Modulaarinen rakenne puolestaan helpottaa kunnossapitoa. [4.]

Standardi ISO 10218-2 määrittelee tarkat vaatimukset suunniteltavalle tarraimelle:

- Kappale pysyy tarraimessa myös energiakatkosten aikana (sähkön, hydrauliiikan, pneumaattiiikan tai alipaineen syötön katoaminen).
- Kuorman ja tarraimen synnyttämät staattiset ja dynaamiset voimat ovat yhdessä robotin kantavuuden ja dynaamisen reaktion sisällä.
- Asennuslaippa ja lisävarusteet kohdistetaan oikein.
- Irrotettavat työkalut on kiinnitetty turvallisesti käytön aikana.
- Irrotettavien työkalujen vapautuminen tapahtuu vain niille tarkoitetuissa paikoissa tai tiettyissä, valvotuissa olosuhteissa, jos vapautuminen voi johtaa vaaralliseen tilanteeseen.
- Päätelaitte kestää ennakoitua voimaa oletetun käyttöajan ajan. [20.]

Tarraimen luotettavuuteen vaikuttavat sen mekaaninen rakenne, sisäiset häiriöt, ulkoiset häiriöt, vaatimusmäärittelyn riittävyys ja oikeellisuus. Yleensä tarraimen mekaaninen rakenne tarkoittaa komponenttien toimintavarmuutta, määrää ja järjestelmän kokonaisrakennetta. Sisäisiä häiriöitä ovat esimerkiksi tiedonsiirron häiriöt ja mekaaniset viat. Ulkoiset häiriöt ovat esimerkiksi vialliset esineet tai poikkeavat olosuhteet.

3.3 Robottiprojektin suunnittelu ja kannattavuus

Lähtötilanteen ja manuaalisen tuotantovaiheen tarkka analysointi on ensimmäinen vaihe robotisoinnissa. Tällöin kiinnitetään huomiota kappaleiden tilaan, kappaleiden siirtoihin, oheislaitteiden sijoitteluun, työvaiheiden loogiseen etenemiseen, liittymiin muuhun tuotantoympäristöön, miehitykseen ja ympäristöolosuhteisiin. [6.]

Lähtötilanteen analysoinnin jälkeen tehdään robotisoinnin alkusuunnittelu, jolloin ratkaistaan toiminnallinen layout, syöttö- ja käsittelylaitteiden vaatimukset ja vaatimukset, joita tuotanto ja tuotteet asettavat. Jos robotisointi on oikea tuotantoautomaatiovaihtoehto, seuraava tehtävä on oheislaitteiden ja robotin käytön suunnittelu. Tällöin tarkennetaan alkusuunnittelun tietoja ja keskitytään: sopivien käsittely- ja syöttölaitteiden suunnitteluun (tarraimet, kiinnittimet, paletit, kuljetusalustat ym.), layoutin tarkentamiseen, tuotanto- ja oheislaitteiden suunnitteluun (työstöyksiköt, kuljetinradat), kunnossapitoon ja huoltoon. [6.]

Vaihtoehtoiset suunnitelmat asetetaan paremmuusjärjestykseen kustannuslaskennalla. Paremmuusjärjestyksessä ensimmäinen on paras ja viimeisenä on huonoin vaihtoehto.

Teknisten määrittelyjen tueksi robotisointihankkeesta on tehtävä tarkat investointilaskelmat. Robotisoinnin kannattavuus on selvitettävä samoilla kriteereillä kuin muiden resursseista kilpailevien investointien kannattavuus. Robotisointihankkeen taloudelliset laskelmat kannattaa jakaa kahteen erään: investointikustannuksiin ja käyttökustannuksiin. [6.]

Robottijärjestelmän investointikustannuksia ovat: robotin hankintakustannus, suunnittelukustannukset, asennus- ja käyttöönottokustannukset, työvälineiden- ja oheislaitteiden hankintakustannukset ja muut kustannukset. Robotin hankintakustannuksilla tarkoitetaan robotin ostohintaa, jossa on mukana sovelluksen edellyttämät robottiin kuuluvat lisälaitteet ja erityisominaisuudet. Suunnittelukustannukset ovat robotin asentamisesta ja käyttöönotosta johtuvia kustannuksia. Asennus- ja käyttöönottokustannuksissa on kyseessä materiaaleista ja työstä, joita tarvitaan robotin sijoituspaikan rakentamiseen (lattiatyöt, sähkötyöt, paineilma-verkon laajennus jne.). Työvälineiden ja oheislaitteiden hankintakustannukset ovat tarraimien hankinnasta, syöttölaitteista, ruuvivääntimistä, paleteista ja kuljetinradoista syntyviä kustannuksia. Muut kustannukset ovat lisäkustannukset, jotka eivät sisälly muihin kustannusryhmiin esimerkiksi tarvittavat käsityökalut, turva-aidat ja valoverhot.

Robottijärjestelmän käyttökustannuksia ovat: välittömät palkkakustannukset, välilliset palkkakustannukset, huolto- ja kunnossapitokustannukset, energia-, aine- ja tarvikekustannukset ja koulutuskustannukset. Välittömillä palkkakustannuksilla tarkoitetaan robottijärjestelmän käyttäjien palkkakustannuksia. Välilliset palkkakustannukset ovat robottijärjestelmän käyttöä tukevien ja avustavien henkilöiden palkkakustannukset (ohjelmointi, työnjohto jne.). Huolto- ja kunnossapitokustannuksilla tarkoitetaan ennakoivan- ja korjaavan kunnossapidon kustannuksia ja robotin huoltoa (peukalosäännön mukaan nämä kustannukset ovat noin 10 % robotin hankintahinnasta). Energia-, aine- ja tarvikekustannukset ovat sellaisia kustannuksia, jotka syntyvät robottijärjestelmän käytöstä (sähkö, paineilma, voiteluaineet), yleensä kyseessä hyvin pieni kustannuserä verrattuna muihin käyttökustannuksiin. Robottijärjestelmän viimeinen käyttökustannus on koulutuskustannus. Koulutuskustannuksella tarkoitetaan kustannuksia, jotka syntyvät käyttöönottovaiheessa, tietotaidon ylläpidossa ja järjestelmän käytön tehostamisessa.

Robottijärjestelmän investointilaskelmien säästöt voidaan jaotella seuraaviin ryhmiin: kesken-eräisen tuotannon väheneminen, valmisvaraston pieneneminen, materiaalikustannusten säästöt, virheellisten kappaleiden eliminoiminen, laitteistojen käyttöasteiden paraneminen, materiaalin käsittelykustannuksien pieneneminen ja tilan tarpeen väheneminen. Kesken-eräisen tuotannon väheneminen syntyy robottijärjestelmän lyhyistä läpäisyajoista, nopeista vaiheajoista, miehittämättömistä tuotantopakkeista, hienosäädetyistä työvuoroista ja useiden tuotantovaiheiden integroimisesta yhteen. Valmisvaraston pienenemisen mahdollistavat pienet tuotantoerät ja asiakasmyötäisen tilausohjautuvan tuotanto. Materiaalikustannuksien säästöt syntyvät suoraan robotin tarkkuudesta, esimerkiksi ruiskumaalausrobotti käyttää vähemmän maalia kuin työntekijä maalatessaan tuotteita käsin. Virheelliset kappaleet eliminoituvat tuotannosta koska robotti ei tee väsymyksestä tai vireyden muutoksista aiheutuvia virheitä eli tuotantojärjestelmästä on karsittu ns. inhimillinen virhetekijä pois. Kun ei tehdä virheitä ei niiden korjaamiseenkaan kulu työtä ja energiaa. Laitteistojen käyttöasteen paraneminen johtuu siitä, että verrattuna yksittäisten tuotantokoneiden ja laitteiden käyttöasteeseen, robottijärjestelmään kytkettyjen koneiden käyttösuhte on selvästi korkeampi. Materiaalin käsittelykustannuksien pieneneminen syntyy suoraan siitä, että robottijärjestelmässä vaiheet integroidaan yhdeksi järjestelmäksi, jolloin materiaalien siirtotarve eliminoituu. Tilan tarve vähenee koska robotisoitu tuotantojärjestelmä vaatii vähemmän tilaa kuin vastaava manuaalinen tuotantoyksikkö. Ergonomian vaatimukset voidaan robottijärjestelmässä sivuuttaa ja laitteet sijoittaa tiiviiksi tuotantoyksiköksi.

4 Pohjatiedot

4.1 Muotosaumapussi

Muotosaumapussit ovat tarkoitettu yrteille, salaateille ja muille puutarhatuotteille. Ne ovat muoltaan kolmiomaisia ja ulkomitoiltaan 230–680 mm x 125–600 mm. Muotosaumapussien koneita on yhteensä 5 kpl ja ne ovat vierekkäin siten, että jokaisen koneen välissä on noin 1,3 m tilaa. Pussit valmistuvat yksi kerrallaan ja kone tekee näistä pinot kääntölaitteessa (käytössä kaksi puolta) oleviin piikkeihin. Muotosaumapussien pinoja valmistuu molemmalle puolelle konetta. Työntekijä poimii pinon piikeiltä, siirtyy seuraavalle työpisteelle, jossa on prässillä varustettu polttoreikälaite. Työntekijä asettaa nipun koneeseen. Kone tekee ensiksi tarvittavat reiät nipun päähän ja sen jälkeen prässää nipussa olevat muotosaumapussit yhteen, jotta pino pysyy kasassa. Lopuksi työntekijä asettaa pinon pahvilaatikoon. Kun pahvilaatikossa on haluttu määrä muotosaumapussien pinoja, se suljetaan ja asetetaan kuormalavalle.

Muotosaumapussien nippujen pakkauksessa käytettävien pahvilaatikoiden koot ovat mitoiltaan 390–600 mm x 220–390 mm x 100–285 mm. Eniten käytetään 440 mm x 315 mm x 210 mm ja 520 mm x 320 mm x 190 mm pahvilaatikoita.



Kuva 12. Muotosaumapussi mitoiltaan 540 mm x 365 mm.

4.2 Viketti-pussi

Viketti-pussit ovat tarkoitettu leipomotuotteille. Ne ovat muodoltaan suorakulmaisia ja ulkomi-toiltaan 290–560 mm x 150–400 mm. Viketti-koneita on yhteensä 3 kpl ja ne ovat toisistaan eril-lään. Pussit valmistuvat yksi kerrallaan ja kone tekee näistä pinot kuljettimella oleviin piikkeihin. Viketti-pussien pinoja valmistuu vain yhdelle puolelle konetta. Linjastosta löytyy pinoille myös automaattinen prässillä varustettu polttoreikälaite, mutta suurin osa asiakaista ei halua reikiä eikä myöskään prässäystä. Työntekijä poimii pinon piikeiltä, asentaa muovisen kiinnitysklipsin, jotta pino pysyy kasassa ja lopuksi asettaa pinon laatikkoon. Kun laatikossa on haluttu määrä vi-ketti-pussien pinoja, se suljetaan ja asetetaan kuormalavalle.

Viketti-pussien nippujen pakkauksessa käytettävien laatikoiden koot ovat mitoiltaan 390–600 mm x 220–390 mm x 150–285 mm. Eniten käytetään muovilaatikoita, jonka ulkomitat ovat 595 mm x 495 mm x 140 mm.



Kuva 13. Viketti-pussi mitoiltaan 420 mm x 245 mm.

5 Työn toteutus

5.1 Aloitus

Työn aloituspalaveri pidettiin toimeksiantajan kanssa TEAMS:n välityksellä 18.10.2021, jossa käytiin yhdessä läpi työhön liittyviä yksityiskohtia. Jotta olisi helpompaa hahmottaa nykytilannetta ja mahdollisuuksia, tehdaskierros pidettiin 3.11.2021. Vierailun aikana nousi esiin monia hyviä ideoita, jotka kirjoitin heti muistiin. Käynnin aikana otettiin tuotantolaitteistosta ja tiloista tarvittavia mittoja suunnittelua varten. Kierroksen jälkeen sain mukaan viketti- ja muotosaumapusseja, muovisia kiinnitysklipsejä ja metallista valmistetun niputuskiinnityksen.

5.2 Robottisolun suunnittelu

Robottisolujen suunnittelua varten käytiin huolellisesti läpi nykyiset tuotantolinjastot, tuotantotilan mitat, mahdollisuudet kehittää layouttia ja vaatimukset robottisoluille. Keskeisenä kysymyksenä oli se, mitä muutoksia olemassa oleva tuotanto vaatii, jotta robottisolut ovat toteutuvissa.

Muotosaumapussien valmistuksen osalta parhaaksi ratkaisuksi osoittautui samanlaisen kuljetinjärjestelmän käyttöönotto kuin on viketti-koneessa PK18. Viketti-koneessa PK18 kuljetinjärjestelmässä on nipuille piikit, nippujen ohjausrullat ja automaattinen prässillä varustettu polttoreikälaite. Automaattinen prässillä varustettu polttoreikälaite on esitetty kuvassa 14. Niput roikkuvat ohjausrullien päällä niin, että nipun etäisyys koneesta on noin 10 mm ja ylä- ja alarivin ohjausrullien väli on noin 110 mm. Kyseinen rako on suurin piirtein nipun keskiosassa, josta on robotin tarttujan avulla hyvää tarttua nipusta sivusta kiinni. Kuvassa 15 ohjausrullien välinen tila 110 mm x 10 mm.



Kuva 14. Viketti-koneen PK18 automaattinen prässillä varustettu polttoreikälaite.



Kuva 15. Viketti-koneen PK18 ylä- ja alarivin ohjausrullien välinen tila.

Seuraavassa vaiheessa selvitettiin teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin käyttöä tuotannossa. Teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin välillä on muutama olennainen eroavaisuus. Ensiksi niiden ympärille vaadittavan tilan suuruus. Teollisuusrobotin solussa vaaditaan ympärillään turva-aidat, mutta yhteistyörobotteja voidaan käyttää ilman turva-aitoja. Kantokyky teollisuusrobotissa voi olla jopa 2300 kg, kun taas yhteistyörobotissa se on 35 kg. Teollisuusrobotin ohjelmointi vaatii erityisosaamista, mutta yhteistyörobotin ohjelmointi ei sitä vaadi. Lisäksi yhteistyörobotin ohjelmointi on huomattavasti nopeampi.

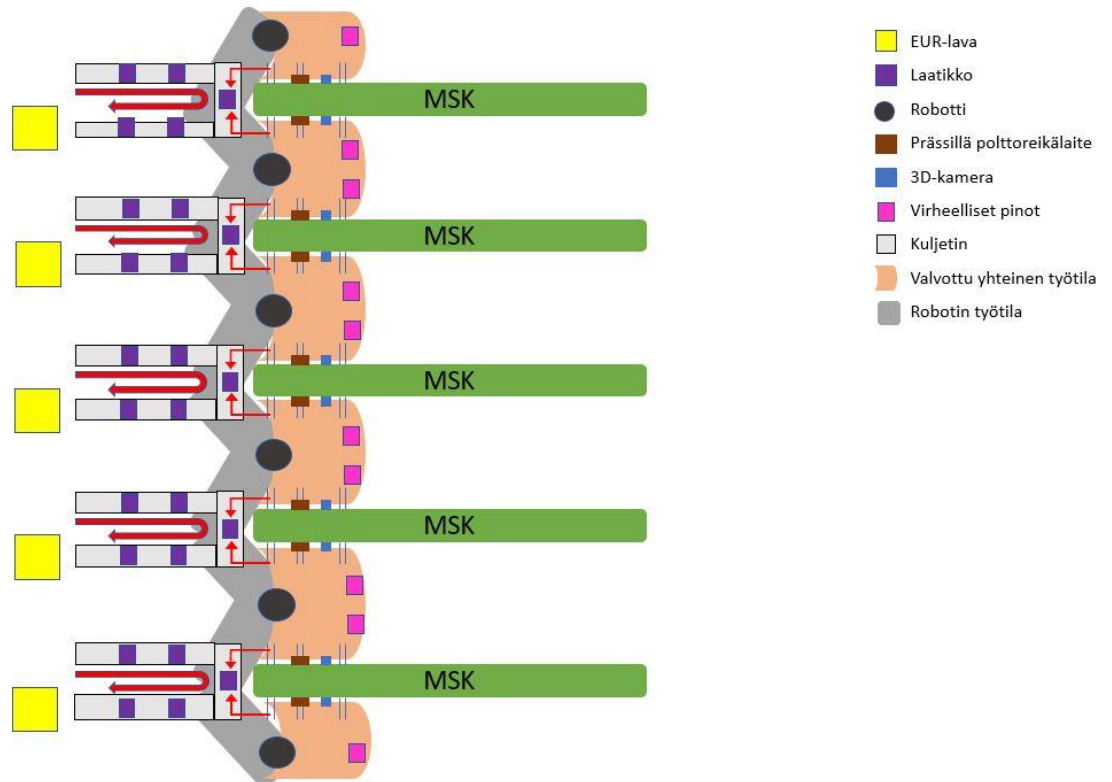
Koska tuotantolaitoksessa tilaa on niukasti, muotosaumapussien nipun maksimipaino on 2 kg, valmistettava tuote vaihtuu jatkuvasti ja silloin tällöin tuotantolinjaston operaattorin on käytävä tekemässä tuotantolinjalla muutoksia. Yhteistyörobotti soveltuu tässä tapauksessa paremmin kuin perinteinen teollisuusrobotti.

Yhteistyörobotiksi valikoitui UR10e, jossa on 1300 mm ulottuvuus, 12.5 kg kantokyky, 0.1 mm tarkkuus ja sen lisäksi tarraimen ja robotin välinen voima-anturi. Kuvassa 16 UR10e.



Kuva 16. Yhteistyörobotti UR10e [21].

Muotosaumapussien valmistuksen layout suunnittelussa on tuotantolinjoista tehty täysin automatisoitu lavausprosessiin saakka. Kuvassa 17 suunniteltu layout muotosaumapussien valmistuksesta.



Kuva 17. Muotosaumapussien valmistuksen layout.

Layoutissa tyhjät laatikot siirtyvät kuljettimia pitkin täyttöpaikalle. Oikeanpuolimmaisissa piikeissä valmis oleva nippu skannataan 3D-kameralla ja jos se on kunnossa, se siirtyy prässillä varustetun polttoreikälaiteen kohdalle, jossa nippu prässätään ja siihen tehdään tarvittavat reiät. Tämän toiminnon jälkeen nippu siirtyy kuljettimissa olevien piikkien avulla vasemmalla olevien piikkien kohdalle, josta robotti poimii nipun ja asettaa laatikkoon. Ennen laatikkoon asettamista robotti tarkistaa linjaston toisella puolella olevan robotin tilan ja vasta sen jälkeen nostaa nipun laatikkoon, koska kaksi robottia nostaa samaa linjastoa pitkin tulevia nippuja vuorotellen laatikkoon. Kun laatikko sisältää halutun määrän pinoja, se siirtyy kuljettimia pitkin lavauspisteelle. Kun

3D-kamera havaitsee oikeapuolimaisissa piikeissä olevassa nipussa poikkeavaa, robotti nostaa sen yhteisessä tilassa olevaan virheellisten pinojen laatikkoon.

Robottisolu on jaettu kahteen osaan: robotin työtilaan ja ihmisen kanssa yhteiseen työtilaan. Robotti toimii omassa työtilassa kuten perinteinen teollisuusrobotti. Ihmisen kanssa yhteisessä työtilassa on varmistettava, ettei robotti aiheuta vaaraa ihmiselle. Yhteiseen tilaan on asennettava turvalaserskanneri, jotta robotin nopeus ja toiminta rajoittuvat ihmisen läsnäolon aikana. Turvallisuuden varmistamiseksi robotti ei tarttuu nippuun ennen kuin ihminen on poistunut yhteiseltä alueelta. Ihmisen poistuessa yhteistyörobotin toiminta jatkuu normaalisti.

Jotta suunniteltu yhteistyörobotti ulottuisi tekemään kaikkia vaadittuja tehtäviä, on vierekkäin olevien tuotantolinjojen piikkien suositeltava etäisyys toisistaan 1200 mm. Sen lisäksi suositeltava etäisyys seinästä ja tuotantolinjan piikeistä on 1200 mm. Koska viketti-koneen PK18 kuljettimella olevien piikkien korkeus lattiatasosta on noin 980 mm, laatikoiden kuljettimien ja virheellisten nippujen laatikoiden jalustan korkeus lattiatasosta on suositeltava asetettavaksi 700 mm. Suositeltava robotin jalustan korkeus lattiatasosta on sama, kun on tuotantolinjalla olevien piikkien korkeus eli 980 mm.

5.3 Tarraimen suunnittelu

Muotosaumapussinippuja varten robotin tarttujan suunnittelu aloitettiin käymällä perusteellisesti läpi käsiteltävät tuotteet, näiden mitat, kokonaispaino ja materiaali. Tulosten perusteella laadittiin vaatimuslista tarttujalle:

- kevyt, mutta jäykkä,
- turvallinen,
- pneumaattisesti toimiva,
- tulisi kestää 2 kg painon siirtelyitä,
- niput eivät tarttuu leukoihin vaan pysyvät siellä, kunnes puristusvoimaa häviää,

- nippuun tarttuminen sivusta,
- ylä- ja alaleukojen vaihteluväli 10–100 mm,
- yhden leuan paksuus 5 mm,
- yhden leuan tartuttava ala pituussuunnassa 200 mm,
- yhden leuan tartuttava ala leveyssuunnassa 30 mm.

Seuraavassa vaiheessa tutustuttiin markkinoilla saatavilla oleviin robottitarttujiin, joita voitaisiin käyttää suoraan tai joita voitaisiin muokata tarpeen mukaan. Kävi ilmi, ettei valmista ratkaisua ole saatavilla. Vaihtoehtona jäi joko alusta lähtien oman tarraimen suunnittelu tai etsiä markkinoilta sellaisia valmiita osia, joita voitaisiin käyttää tarraimessa.

Markkinoilta löytyi vaatimuksille vastaava kompakti kaksimäntäinen luistiyksikkö tarkkuusjohdeella nimeltään SMC MXS. Tarkemmaksi malliksi valikoitui SMC MXS20-100, jonka tarkemmat tiedot löytyvät taulukosta 2.

Kuvaus	Parametri
Männän halkaisija	20 mm
Iskunpituus	100 mm
Paino	2150 g
Suurin sallittu kuorman paino	6000 g
Materiaalit	Alumiini, teräs, messinki, synteettinen hartsi, polyuretaani ja ntriilibutadieenikumia
Muuta huomioitava	Kierre- ja läpimenevät reiät luistissa ja rungossa

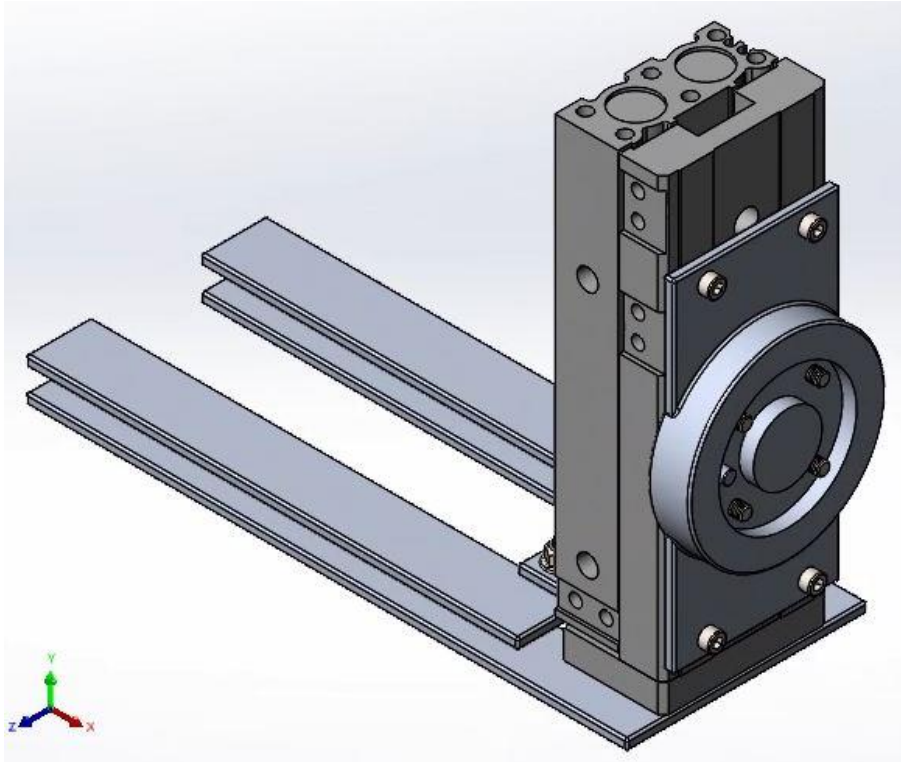
Taulukko 2. SMC MXS20-100 tekniset parametrit [22, s. 2–4, 23].

Minimaalinen voima pussinippujen kiinnittämiseksi on noin 250 N. SMC MXS20-100 kaksimäntäisen sylinterin voima on säädettävissä ilmapaineen avulla. Taulukossa 3 on sylinterin voimista tarkempia tietoja.

	Männän pinta-ala	Ilmapaine 0.2 MPa	Ilmapaine 0.3 MPa	Ilmapaine 0.4 MPa	Ilmapaine 0.5 MPa	Ilmapaine 0.6 MPa	Ilmapaine 0.7 MPa
Ulosliike	628 mm ²	126 N	188 N	251 N	314 N	377 N	440 N
Palautusliike	471 mm ²	94 N	141 N	188 N	236 N	283 N	330 N

Taulukko 3. SMC MXS20-100 sylinterin voima eri ilmapaineilla [22, s. 4].

Luistiyksikölle mallinnettiin lisäksi leuat, tarvittava kiinnityslevy, kohdistustappi ja laippa robottia varten. Osien materiaaliksi valittiin alumiini eli ne ovat kevyitä mutta kestäviä tähän tarkoitukseen. Sen lisäksi tarrain ei jätä jälkiä herkille pinnoille. Kuvassa 18 suunniteltu robottitarrain muotosaumapussien varten.



Kuva 18. Valmis muotosaumapussien tarttuja.

Tarttujan kokonaispainoksi tuli noin 3 kg, josta kaksimäntäisen sylinterin omapaino on 2,15 kg. Tarttujan ja nipun yhteinen maksimipaino on noin 5 kg. UR10e kantokyky on 12,5 kg, eli kantokyvystä jää käyttämättä noin 7 kg.

6 Jatkoimenpiteet

Opinnäytetyön jatkoksi ehdotan tarkkojen investointilaskelmien tekemistä ja investointien kannattavuuden tarkastelua. Myös takaisinmaksuaika on projektin onnistumisen kannalta tärkeä selvittää mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Jatkona olisi hyvä ensin toteuttaa layoutissa esille tuodut robottisolut yhdellä tuotantolinjalla ja tarkistaa toimivuus ennen seuraavien robottien hankintaa. Tässä vaiheessa voidaan tehdä tarvittavia muutoksia kuljettimissa, tuotantolinjastossa, robottisolussa ja layoutissa.

Jatkotoimenpiteisiin kuuluvat myös suunniteltu tarraimen valmistus ja testaus. Tarranta voidaan joutua muokkaamaan käyttöönoton aikana havaittujen ongelmien vuoksi.

Viketti-pussien tuotantolinjojen robottisointi vaatii viketti-pusseille muovisen kiinnitysklipsin asentavan koneen suunnittelua. Kun sellainen kone on suunniteltu, voidaan käyttää samanlaista ideaa, kun on tuotu esille muotosaumapussien käsittelyssä.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli löytää ratkaisu viketti- ja muotosaumapussien nippujen automaattiseen käsittelyyn. Muotosaumapussien koneet ovat vierekkäin, kun taas viketti-koneet ovat toisistaan erillään. Ratkaisun tulisi olla täysin automaattinen ja se sisältäisi seuraavat vaiheet: nippujen poistaminen piikeiltä, prässäys, rei'itys, muovisen kiinnitysklipsin asennus ja valmis nipun siirtely laatikkoon. Valmistettavien muovipussien niput ovat erikokoisia ja eri painoisia. Työn tekemisen aikana tuli ottaa huomioon se, että viketti-koneita ei saanut muuttaa layoutissa niiden painon takia. Haastavuutta lisäsi myös se, että muutosten tekemistä varten saatavilla oleva tila on vähissä ja se, että valmistettavien tuotteiden mitat vaihtelevat suuresti.

Työ aloitettiin perehtymällä perusteellisesti tuotantotilassa sijaitseviin koneisiin ja laitteistoihin. Vierailun aikana otettiin tarvittavia mittoja, kuvatiin, seuratiin valmistusprosessia, saatiin mukaan näyteitä valmistettavista tuotteista ja muita valmistukseen liittyviä esineitä. Vierailun jälkeen tutkittiin alan kirjallisuutta ja saatavilla olevia ratkaisuja.

Työn tuloksena saatiin aikaiseksi tarkka suunnitelma tarvittavista muutoksista muotosaumapussien tuotantolinjassa, mallinnettiin muotosaumapussien tarttuja, tehtiin muotosaumakoneista layout ja luotiin muotosaumapussien robottisolusta simulaatio.

Viketti-pusseissa käytössä oleva muovinen kiinnitysklipsi, viketti-koneiden rakenne, viketti-koneiden keskeiset eroavaisuudet ja kiinteät paikat tuottivat robottisolujen suunnittelun kannalta erittäin ison haasteen. Valitettavasti tämän opinnäytetyön aikana tähän ongelmaan ei löytynyt ratkaisua.

Oma tietämykseni robotiikasta ja suunnittelusta paranivat opinnäytetyön tekemisen aikana. Henkilökohtaisesti olen tyytyväinen lopputulokseen, koska saatavilla olevan ajan puutteessa on saatu paljon aikaiseksi.

Lähteet

- 1 Muovijaloste mukaan joulukuussa 2017. Haettu 1.11.2021, sivustolta Aspelin internetosoite: <https://aspelin.fi/group/historia/>
- 2 Muovijaloste Oy. Haettu 1.11.2021, sivustolta Aspelin internetosoite: <https://aspelin.fi/group/muovijaloste-oy/>
- 3 Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. Logiikat ja ohjaujärjestelmät. Vantaa: WSOY; 2001.
- 4 Kuivanen, R. Robotiikka. Helsinki: Talentum Oyj; 1999.
- 5 Industrial Robots [pdf-tiedosto]. Haettu sivustolta IFR internetosoite: https://ifr.org/img/office/Industrial_Robots_2016_Chapter_1_2.pdf
- 6 Aaltonen, K. & Torvinen, S. Konepaja-automaatio. Porvoo: WSOY; 1997.
- 7 A Brief History of Collaborative Robots. Haettu 2.12.2021, sivustolta Automate internetosoite: <https://www.automate.org/blogs/a-brief-history-of-collaborative-robots>
- 8 Collaborative Robot (Cobot). Haettu 2.12.2021, sivustolta Techopedia internetosoite: <https://www.techopedia.com/definition/14298/collaborative-robot-cobot>
- 9 SAS FSA. (25.11.2020). Cobotit tuotannon työkaluina, Antti Lumme, Universal Robots. Haettu osoitteesta https://www.youtube.com/watch?v=KWIX2c6i7kA&list=PL98upRG1ESZ-TtwbQI_y4ZeCm9TNBAW0jX&index=4
- 10 Keinänen, T., Sumujärvi, M. Automaatiotekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy; 2019.
- 11 SFS-EN ISO 10218-1 Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. 2013. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS.
- 12 Mechanical Claws Grippers Robot Arms. Haettu 1.12.2021, sivustolta Fruugo internetosoite: <https://www.fruugo.fi/mechanical-claws-grippers-robot-arms/p-64038396->

129225941?language=en&ac=croud&gclid=Cj0KCQiA-qGNBhD3ARI-
sAO_o7ymVNwoDTwINyurxnz83A1rn7CHqdEBvmrydlsZiz7LpVIAz-
GMbv884aAmQ3EALw_wcB

- 13 Magnetic gripper. Haettu 1.12.2021, sivustolta SMC internetosoite: <https://www.smc.eu/en-eu/products/featured-products/magnetic-gripper>
- 14 Suction cups vacuum gripper. Haettu 1.12.2021, sivustolta Universal Robots internetosoite: <https://www.universal-robots.com/plus/products/coval/suction-cups-vacuum-gripper-cvgl335xa50c1/>
- 15 Jamming gripper. Haettu 1.12.2021, sivustolta Creative Machines Lab internetosoite: <https://www.creativemachineslab.com/jamming-gripper.html>
- 16 MPG-plus. Haettu 1.12.2021, sivustolta Schunk internetosoite: https://schunk.com/fi_en/gripping-systems/series/mpg-plus/
- 17 RG2-FT Smart Robot gripper with in-built force/torque and proximity sensor. Haettu 1.12.2021, sivustolta OnRobot internetosoite: <https://onrobot.com/en/products/rg2-ft-gripper>
- 18 Robottijärjestelmien turvallisuus [pdf-tiedosto]. Haettu sivustolta DevMoodle internetosoite: https://devmoodle.kamit.fi/RobotiikkaKKM17S/robottijärjestelmien_turvallisuus.pdf
- 19 Tuhola, E. & Viitanen, K. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Jyväskylä: Tammermekaniikka; 2008.
- 20 SFS-EN ISO 10218-2 Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Part 2: Robot systems and integration. 2011. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki: SFS.
- 21 Get to know our new UR10e robot with 25% more lifting capacity. Haettu 9.12.2021, sivustolta Universal Robots internetosoite: <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>

- 22 Air Slide Table Series MXS [pdf-tiedosto]. Haettu sivustolta SMC internetosoite:
https://static.smc.eu/pdf/MXS_EU.pdf