



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Laitinen

Muovituotteen pakkaamisen kehittäminen

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Toni Laitinen

Työn nimi: Muovituotteen pakkaamisen kehittäminen

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 51

Liitteiden lukumäärä: 3

Toimeksiantajana tässä opinnäytetyössä toimi Serres Oy, joka valmistaa sairaaloiden leikkaussaleissa käytettäviä kertakäyttöisiä muovituotteita. Yrityksen tehtaot sijaitsevat Suomessa, mutta koska suurin osa valmistetuista tuotteista menee vientiin, on yrityksellä laaja myynti- ja edustajaverkosto ympäri maailman.

Opinnäytetyön tavoitteena oli nopeuttaa ja tehostaa yrityksen tuotantolinjalla valmistettävien muovituotteiden jatkokäsittelyä tuotantoprosessin loppuvaiheessa. Tällä hetkellä tuotteet käsitellään jälkikäsittelijän toimesta, mikä on tuotteen sisään jäävän ilman takia hidasta. Tarkoitus on helpottaa ja nopeuttaa tuotteen käsittelyä poistamalla ilma tuotteesta ennen paketoitua.

Työssä suunniteltiin ja asennettiin kokoonpanolinjaston viimeisessä pisteessä sijaitsevaan robottiin tarttuja, joka poistaa ilman tuotteen sisältä siirtomatkalla palettikuljettimelta hihnakuljettimelle. Imuun tarvittava alipaine toteutettiin linjalla valmiiksi olevalla alipainepumpulla. Järjestelmään lisättiin tarvittavat alipainelinjat, venttiili sekä imukupin toimilaite tarttujaan. Tällä ratkaisulla oli tarkoitus saada tyhjennettyä tuote nopeasti ennen jälkikäsittelijän suorittamaa laadunvalvontaa ja jatkokäsittelyä.

Tämän opinnäytetyön lopputuloksena saatiin toimiva sovellus muovituotteen tyhjäykseen. Työn alussa asetettuihin tavoitteisiin päästiin hyvin. Tarttujaan tehtiin useita erilaisia mallikappaleita 3D-tulostamalla. Muovisista malleista valittiin toimivimmat ratkaisut tyhjäykseen, jotka valmistettiin lopulliseen versioon alumiinista. Tarttujaan viimeisin tyhjäyksellä varustettu versio otettiin käyttöön kokoonpanolinjalla.

Toimeksiantaja oli tyytyväinen tässä opinnäytetyössä kehitettyyn ratkaisuun muovituotteen tyhjäyksestä. Tulevaisuudessa yritys pystyy pieniä muutoksia tekemällä hyödyntämään työssä suunniteltua ja valmistettua tyhjäystarttuja myös muilla kokoonpanolinjastoilla.

¹ Asiasanat: pneumatiikka, robotiikka, 3D-tulostus, Solidworks, kuljetin

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Toni Laitinen

Title of thesis: Developing a plastic product packaging system

Supervisor: Jarkko Pakkanen

Year: 2023

Number of pages: 51

Number of appendices: 3

The thesis was conducted as a project, and it was commissioned by Serres Oy which manufactures surgical disposable plastic products used in hospitals. The factories are located in Finland, but the company has an extensive sales network throughout the world since most of the production is exported.

The aim of the thesis project was to enhance and optimise the final stage of the further processing of the plastic products manufactured on the production line of the company. At present, the post-processing of the products is time consuming due to the air left inside them. Thus, the aim was to make the production process easier and faster by removing the air before packaging.

As a solution, a gripper was designed and installed in a robot locating at the final part of the assembly line to remove the air from the product on its way from the pallet conveyor to the belt conveyor. The negative pressure required for the intake was achieved with a vacuum pump already in use on the assembly line. The system was equipped with vacuum lines, a valve, and a vacuum cup actuator for the gripper. The purpose was to empty the product quickly before it is subjected to quality control and further processing.

As the result of the project there was a functioning system for removing air from a plastic product. The goals set for the project were accomplished successfully. A 3D printer was used for creating different model examples of the gripper and the most functioning ones were selected to be manufactured from aluminium. The final version of the gripper equipped with the vacuum system was deployed on the assembly line.

The client was satisfied with the system developed for removing air from plastic products. In the future, the company can utilize the vacuum gripper designed in this project also on other assembly lines by making only minor changes to the system.

¹ Keywords: pneumatics, robotics, 3D printing, Solidworks, conveyor

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 Johdanto	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoite.....	9
1.3 Työn rakenne	10
1.4 Yritysesittely	10
2 Robotiikka	11
2.1 Teollisuusrobotti	11
2.2 Robottien eri tyypit.....	12
2.2.1 Kiertyvänivelinen robotti	12
2.2.2 Yhteistyörobotti	13
2.2.3 Scara-robotti	14
2.2.4 Delta-robotti	14
2.2.5 Karteesinen robotti.....	15
3 Pneumatiikka.....	17
3.1 Alipainetekniikka.....	18
3.2 Alipaineen tuottaminen.....	19
3.3 Imukupit, niiden valinta ja liittäminen järjestelmään.....	22
4 3D-tulostus	26
4.1 FDM-muovipursotus	26
4.2 FDM-tulostimen toimintaperiaate.....	27
4.3 SLA-tulostus	28
4.4 MSLA-tulostus	29
5 Teollisuuskuljettimet	30
5.1 Rullakuljetin.....	30

5.2	Indeksikuljetin.....	31
5.3	Palettikuljetin	31
5.4	Hihnakuuljetin.....	32
5.5	Lamellikuljetin.....	33
6	Nykytilanne.....	34
7	Muovituotteen pakkaamisen kehittäminen	35
7.1	Suunnittelu	35
7.2	Tuotteen poisto indeksikuljettimelta.....	36
7.3	Robotin tarttuja	36
7.4	Mallin 3D-tulostus.....	38
7.5	Pussin tyhjäys	39
7.5.1	Alipainepumppu	40
7.5.2	Imun riittävyuden testaus	41
7.5.3	Ejektori.....	42
7.6	Tuotteen poistokuljetin	43
7.7	Tuotteen jättöpaikka ja laskostus	43
8	Tulokset.....	45
9	Yhteenveto ja pohdinta.....	47
	LÄHTEET	48
	LIITTEET	51

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Kiertyvänivelinen robotti, kuusi akselia ja niiden vapausasteet.....	12
Kuva 2. Yhteistyörobotti, Universal Robots.....	13
Kuva 3. Omron scara-robotti.....	14
Kuva 4. Delta-robotti, ABB.....	15
Kuva 5 . Karteesinen robotti.....	16
Kuva 6. Portaalirobotti.....	16
Kuva 7. Tyhjiöpumppu	20
Kuva 8. Yksiasteinen ja moniasteinen ejektori.....	21
Kuva 9. Alipaine-ejektori	21
Kuva 10. Ominaiskäyriä alipainetta tuottavista laitteista	22
Kuva 11. Erityyppisiä imukuppeja	24
Kuva 12. FDM 3D-tulostin.....	27
Kuva 13. FDM-tulostimen toimintaperiaate	28
Kuva 14. Rullakuljetin	30
Kuva 15. Indeksikuljetin	31
Kuva 16. Palettikuljetin.....	32
Kuva 17. Hihnakuljetin	32
Kuva 18. Lamellikuljetin	33
Kuva 19. Robotin alkuperäinen tarttuja.....	36
Kuva 20. Kansi ja leukapala.....	37

Kuva 21. Muokattu tarttuja	37
Kuva 22. Tarttujan leuka imukupilla	38
Kuva 23. 3D-tulostettu tarttujan kynsi	38
Kuva 24. Robotin tarttujan uusi versio	39
Kuva 25. Tyhjäyksen uusi versio	40
Kuva 26. Poistokuljetin.....	43
Kuva 27. Pussin poisto ja laskostus.....	44
Kuvio 1. Turvakytkenä	25
Kuvio 2. Alipaine virtauksien vertailu	42
Taulukko 1. Valmistajan ilmoittamat virtausmäärät.....	41

Käytetyt termit ja lyhenteet

3D-tulostus	Kolmiulotteisten esineiden valmistamista 3D-tulostimen avulla.
Alipainepumppu	Sähköinen tyhjiöpumppu, joka muodostaa imun.
CAD	C omputer A ided D esign eli tietokoneavusteinen suunnittelu.
Ejektori	Virtauksella toimiva imupumppu
FDM	F used D eposition M odeling. Ainetta lisäävän valmistuksen menetelmä.
I/O-kortti	Laite, jolla ohjelmoitava logiikka (PLC) liitetään muihin laitteisiin, erityisesti kenttälaitteisiin.
MSLA	M asked S tereolithography. 3-D-tulostustekniikka, jossa fotopolymeerimestettä kovetetaan LCD-näytön ledien ultraviolettivalolla.
PART	SLDPRT-tiedosto on 3D-tiedostomuoto, jota SolidWorks käyttää CAD-ohjelmistossa.
PLC	P rogrammable L ogic C ontroller. Ohjelmoitava logiikka.
Scara	S elective C ombliance A ssembly R obot A rm. Tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobottikäsi.
SLA	S tereolithography. 3-D-tulostustekniikka, jossa fotopolymeerimestettä kovetetaan keskitetyllä laserin ultraviolettivalolla.
Solidworks	3D suunnittelu- ja mallinnusohjelma.
STL	S tandard T essalation L anguage. 3-D tulostimen vaatima tiedostomuoto.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Tämän työn toimeksiantaja valmistaa leikkaussaleissa käytettäviä kertakäyttöisiä muovituotteita. Tehtaassa on useita kokoonpanolinjoja, joilla valmistetaan erilaisia versioita samasta tuotteesta. Yhdelle näistä kokoonpanolinjastoista on nyt tullut tarve tehostaa ja kehittää loppupään ajoittain hidasta jatkokäsittelyvaihetta.

Tällä hetkellä kokoonpanolinjastolla valmistetut muovituotteet tarkistetaan ja jatkokäsitellään jälkikäsittelijän toimesta. Tuotteen sisälle jäävä ilma hankaloittaa ja hidastaa tuotteen jatkokäsittelyä. Ongelmana on tuotteeseen jäävän ilman poisto ja varsinkin haasteena ovat tuotteet, joissa on takaiskuventtiili. Takaiskuventtiili estää ilman pois virtaamisen, jolloin ilma on vieläkin hitaampaa ja raskaampaa poistaa manuaalisesti ennen jatkokäsittelyä.

1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on nopeuttaa ja tehostaa tuotantolinjaa. Tärkein tavoite on, että yksi jälkikäsittelijä ehtisi jatkokäsittelyyn kaikki linjalta tulevat tuotteet. Linjaston tuottavuus paranee, kun avustavat jälkikäsittelijät saadaan muihin töihin ja linjaston tarpeeton tauottaminen jää pois. Jälkikäsittelijän työssä on paljon samojen liikkeiden toistoa, joten tämän projektin myötä myös jälkikäsittelijän käsiin ja hartioihin kohdistuva rasitus vähenee, kun tuotteet ovat helpompia käsitellä.

Tarkoituksena on suunnitella ja asentaa linjastoon muovituotteen ilmanpoisto, samalla kun robotti siirtää tuotteen indeksikuljettimelta poistokuljettimelle kokoonpanolinjaston loppupäässä. Poistokuljettimelle tehdään vielä tarvittavat muutokset niin, että ilma ei pääse palautumaan takaisin tuotteeseen siirron aikana.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön luvussa yksi on johdanto, jossa kerrotaan opinnäytetyön tausta, jonka jälkeen käydään läpi työlle asetetut tavoitteet, työn rakenne ja toimeksiantajayritys. Luvussa kaksi käydään läpi robotiikan teoriaa. Luvussa kolme kerrotaan pneumatiikasta ja siihen liittyvistä laitteista. Luvussa neljä käydään läpi 3D-tulostusta. Luvussa viisi kerrotaan yleisesti teollisuuskuljettimista. Kuudennessa luvussa esitellään työn nykytilanne. Seitsemännessä luvussa on työn suunnittelu ja toteutus. Työn lopussa ovat vielä tulokset, yhteenveto ja pohdinta.

1.4 Yritysesittely

Serres Oy on yksi maailman johtavista imunesteiden hallintaan keskittyvien ratkaisujen toimittajista (Serres, i.a). Tuotteita käytetään päivittäin yli 60 000 toimenpiteessä ympäri maailmaa, ja yritys on aktiivinen yli 40 maassa. Tehtaat sijaitsevat Kauhajoella ja Saarijärvellä, joissa valmistetaan sairaaloiden leikkaussaleissa käytettäviä muovituotteita yhteensä n. 2.5 miljoonaa kappaletta kuukaudessa.

Yritys on perustettu 1973, ja se kuuluu Paree Group-konserniin, joka on merkittävä suomalainen perheyritys. Se keskittyy kansainvälisen toimintaan ja jatkuvaan kehitykseen. Yrityksen päätoimipiste sijaitsee Espoossa. Koko konserniin kuuluu viisi eri yritystä, joiden toimipisteitä on esimerkiksi Oulussa, Tallinnassa ja Tukholmassa. Työntekijöitä on yhteensä 450, ja koko konsernin liikevaihto on 70 milj. euroa.

2 Robottiikka

2.1 Teollisuusrobotti

Teollisuusrobotit ovat pitkälle kehittyneitä automaatiojärjestelmiä, joita ohjataan pääasiassa tietokoneilla (Gupta ym., 2017, s. 399). Nykyään tietokoneet ovat tärkeä osa teollisuusautomaatiota. Tietokoneet valvovat tuotantolinjoja ja ohjaavat teollisuudessa valmistusjärjestelmiä, kuten esimerkiksi työstökoneita, hitsausasemia ja laserleikkauslaitteita. Nykyaikaiset robotit suorittavat erilaisia tehtäviä teollisissa järjestelmissä ja osallistuvat tehtaiden automaatioon. Japanilaiset ovatkin määrittäneet teollisuusroboteille neljä eri tyyppiä:

- Manuaalinen manipulaattori suorittaa kiinteitä tai esiasetettuja tehtäväseksenssejä.
- Toistoja tekevä robotti toistaa esiohjelmoituja kiinteitä ohjeita.
- NC robotti suorittaa tehtäviä ladatun numeerisen tiedon perusteella.
- Älykäs robotti suorittaa tehtäviä omien tunnistettujen kykyjensä perusteella.

Robotit ja nosturit ovat hyvin samankaltaisia toiminnaltaan ja suunnittelultaan (Gupta ym., 2017, s. 399). Molemmilla on useita linkkejä, jotka on kytketty toisiinsa nivelillä, ja niitä voidaan ohjata jonkin tyyppisellä toimilaitteella. Molemmissa järjestelmissä tarttujaa voidaan liikuttaa ja se saadaan siirrettyä haluttuun kohtaan työalueella. Tarttujalle on määritetty tietty kuorma, jonka se pystyy siirtämään, ja jokaisen nivelen toimilaitetta ohjataan laitteen keskusyksiköstä. Toista kuitenkin kutsutaan robotiksi ja toista manipulaattoriksi (tai tässä tapauksessa nosturiksi). Perustavanlaatuisen ero robotin ja nosturin välillä on, että nosturia ohjaa ja sen toimilaitteita kontrolloi ihminen, kun taas tietokone, joka suorittaa ohjelmaa, ohjaa robotia. Nämä kaksi eroavaisuutta määrittävät sen, onko laite yksinkertainen manipulaattori vai robotti (mts. 400).

Yleisesti robotit on suunniteltu ja tarkoitettu ohjattavaksi tietokoneilla tai niitä vastaavilla laitteilla (Gupta ym., 2017, s. 401). Robotin liikkeitä kontrolloidaan ohjaimella, joka on tietokoneen valvonnassa. Tästä johtuen, jos ohjelmaa muutetaan, muuttuvat myös robotin liikkeet sen mukaisesti. Robotti on suunniteltu niin, että se pystyy suorittamaan mitä tahansa

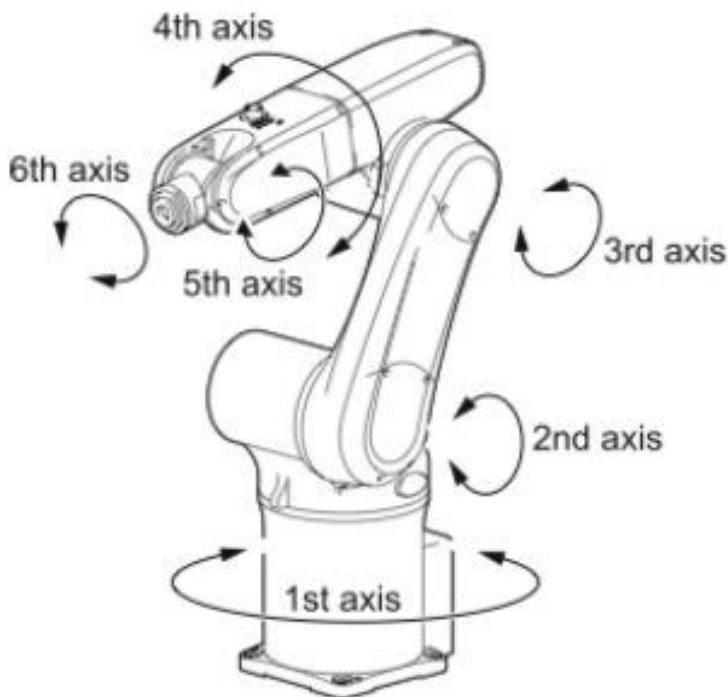
tehtäviä, joita sille syötetään, yksinkertaisesti vain vaihtamalla ohjelmaa tiettyjen rajojen sisällä. Yksinkertainen manipulaattori ei pysty tähän, ellei operaattori ohjaa sitä koko ajan.

2.2 Robottien eri tyypit

Standardin ISO 8373 (International Organization for Standardization (ISO), 2021, luku 4) mukaan yleisimmät robottityypit määritellään robottien työalueiden ja mekaanisten rakenteiden mukaan. Tämän kappaleen alaluvuissa esitellään joitakin yleisimpiä teollisuudessa käytettyjä robottityyppejä.

2.2.1 Kiertyvänivelinen robotti

Yksi yleisimpiä teollisuudessa käytettyjä robottityyppejä on kiertyväniveliset robotit (Technavio, 2018). Mekaanisesti se muistuttaa ihmisen kättä. Robotin tukivarret on yhdistetty kiertyvillä nivelillä toisiinsa. Kaikilla nivelillä on oma vapausasteensa, joka kuvaa robotin mahdollisia liikesuuntia. Nivelien määrä ja vapausaste vaihtelevat robotin rakenteen mukaan. Kiertyvänivelisen robotin etuja teollisuudessa ovat muotoilun tarjoama joustavuus, suuri ulottuvuus ja nopeus.



Kuva 1. Kiertyvänivelinen robotti, kuusi akselia ja niiden vapausasteet (Howtorobot, 2021).

2.2.2 Yhteistyörobotti

Yhteistyörobotti, josta usein käytetään myös nimitystä Cobot, on suunniteltu tekemään yhteistyötä ihmisten kanssa samassa työtilassa (Vijayalakshmi & Muruganand, 2020). Yhteistyörobotti voi auttaa ihmistä yksinkertaisten ja toistuvien työtehtävien suorittamisessa ja riskien minimoimisessa tilanteissa, joissa käsitellään teräviä, kuumia tai suuria työkappaleita. Yhteistyö ihmisen kanssa on turvallista, koska robotti tarkkailee ympäristöä ja pysähtyy kevyestäkin kosketuksesta. Turvallisuutta lisäävät myös robotin hitaat liikkeet ja kevyet rakenteet.



Kuva 2. Yhteistyörobotti, Universal Robots (Wiredworkers, i.a.).

2.2.3 Scara-robotti

Scara on lyhenne englannin kielen sanoista Selective Compliance Assembly Robot Arm, joka tarkoittaa suomeksi 'valikoivasti taipuisaa kokoonpanorobottia' (Westerland, 2000). Robotin nimitys tulee rinnakkaisista X- ja Y-akseleista, jotka liikkuvat joustavasti, mutta Z-akseli liikkuu vain jäykästi lineaariliikettä. Scara-robotin käsivarressa on tavallisimmin kolme kiertoniveltä ja yksi lineaarinivel, joten robotilla on neljä vapausastetta. Nivelvarsien sijoittelu mahdollistaa robotin yltämisen ahtaisiin paikkoihin sekä vetäytymisen ja väistämisen pieneen tilaan (kuva 3). Nopeutensa ja tarkkuutensa vuoksi scara-robotti soveltuu monentyyppisiin kokoonpanosovelluksiin, pakkaamiseen ja kappaleenkäsittelyyn.



Kuva 3. Omron scara-robotti (Omron, i.a.).

2.2.4 Delta-robotti

Delta-robottia kutsutaan myös rinnakkaisrakenteiseksi robotiksi (Välimäki, 2015, s. 14). Nimitys tulee kolmion muotoon asennetuista rinnakkaisista nivelistä. Robotin rakenne mahdollistaa lieriömäisen työskentelyalueen ja ala-alustan liikkumisen x-, y- ja z-suuntiin koordinaatistossa. Robotilla on erittäin suuri liikkumisnopeus rakenteen yksinkertaisuudesta ja keveydestä johtuen. Kun teollisuudessa halutaan nopeaa ja tarkkaa poimi ja pakkaa -työtä, soveltuu delta-robotti tällaiseen järjestelmään.



Kuva 4. Delta-robotti, ABB (BR-Automation, i.a.).

2.2.5 Karteesinen robotti

Karteesisen robotin nimitys tulee sen liikkeistä, jotka ovat lineaarisia X-, Y- ja Z-suuntaisia suorakulmaisia liikkeitä karteesisessa koordinaatistossa (Javanmiri, 2011, s. 10). Robotin yksinkertaisesta rakenteesta ja ohjelmoinnista johtuen se on monesti halvempi kuin kiertyvänivelinen robotti. Karteesinen robotti ei kestä kovia kuormia, koska sillä on vain yksi tukipiste (kuva 5). Karteesisen robotin muunnos, jossa on useampi tukipiste Y-akselilla, on portaalirobotti (kuva 6). Portaalirobotin rakenne mahdollistaa suuremman kuormankantokyvyn kuin karteesisella robotilla.



Kuva 5 . Karteesinen robotti (Javanmiri, 2011).



Kuva 6. Portaalirobotti (Ahmed, 2019).

3 Pneumatiikka

Paineilmaa käytetään nykyisin pääasiassa teollisuudessa toimilaitteiden energialähteenä (Fonselius ym., 1997, s. 7). Pääkomponentteja pneumatiikassa ovat toimilaitteet eli moottorit ja sylinterit. Toimilaitteiden ohjaukseen liittyvät pääventtiilit, nopeuden- ja paineensäätöventtiilit sekä huoltoyksiköt. Ohjaukseen käytetään usein sähköisiä laitteita. Jos ohjauslogiikka on yksinkertainen ja siinä on vain vähän venttiileitä, voidaan käyttää myös puhtaasti pneumaattista ohjausta, esimerkiksi koneen käynnistystä molemmilla käsillä yhtä aikaa.

Paineilma väliaineena on helppokäyttöistä (Fonselius ym., 1997, s. 7). Kompressorilla tuotetaan järjestelmään tarvittava tilavuusvirta ja ilmaa on aina saatavilla. Paineilmaa voidaan varastoida helposti ja se on vaaratonta, puhdasta ja siistiä. Paineilman haittapuoliksi voidaan sanoa kokonaisjärjestelmien huono hyötysuhde, kokoonpuristuvuus ja pieni paine (yleisesti 0,6–1,0 MPa). Teollisuuden koneautomaatioon pneumatiikka soveltuu hyvin, kun

- käsitellään kevyitä kappaleita
- tarvitaan nopeita liikkeitä
- ajetaan liikkeitä rajalta rajalle
- tartunnan ja siirron pitää olla pehmeää
- järjestelmässä vaaditaan hygieniaa, esimerkiksi elintarviketeollisuudessa
- ympäristö on palo- tai räjähdysaltis.

Pneumatiikalla toteutettu koneautomaatio on helppoa ja edullista, koska paineilmaa on teollisuuslaitoksissa jo valmiiksi saatavilla eikä erillistä aggregaattia (tehoyksikköä) tarvita (Fonselius ym., 1997, s. 7). Pneumatiikkajärjestelmän etuja ovat rakentamisen helppous ja muunneltavuus tarvittaessa. Vaihtoehdot käytettävistä tekniikoista ovat hydrauliset ja sähköiset järjestelmät.

Paineilma on ollut käytössä teollisuudessa jo 1800-luvun alusta lähtien ja nykyään sitä käytetään teollisuudessa jo lähes kaikkialla (Fonselius ym., 1997, s. 7). Paineilmalla saadaan aikaan toimilaitteiden pyörivät ja suorat liikkeet ja myös monet työkalut voivat toimia paineilmalla. Voimakas kehitys pneumatiikassa tapahtui 1960- ja 1970-luvulla. Silloin kehitettiin pneumaattinen ohjaus, ja sähköinen ohjaus perustui pääasiassa reletekniikkaan.

Integroitujen piirien ja mikroprosessorien kova kehitys 1980-luvulla pysäytti lähes täysin uusien sovelluksien tekemisen pneumaattisilla ohjauksilla (mts. 8). Ohjaukset toteutettiin sähköisinä ja vain toimilaitteita ohjattiin paineilmalla. 1990-luvulla pneumatiikan sovellukset lisääntyivät kappaleenkäsittelyteollisuudessa ja kehittyneiden tekniikoiden lisääntyessä myös teollisuuden automatisoinnissa.

Pneumaattisen kiinteän järjestelmän muodostavat kompressori, paineilman käsittelylaitteet, säiliö ja putkisto (Fonselius ym., 1997, s. 8). Tällaisella järjestelmällä paineilma saadaan helposti haluttuihin kohteisiin. Järjestelmä on helppo mitoittaa, suunnitella ja toteuttaa, kun perusteet ja komponentit pneumatiikasta ovat tuttuja. Tekniikka on loogista ja selväpiirteistä. Koneautomaatioissa pneumatiikkaa käytetään paljon erilaisiin kappaleenkäsittelyjärjestelmiin, joissa toimilaitteita ajetaan päädyistä päätyyn, koska ilman kokoonpuristuvuuden vuoksi toimilaitteiden jäykkiä väliasemia on hankala toteuttaa. Uusissa paineilmajärjestelmissä harvemmin käytetään enää säiliöitä, kun kompressori liitetään suoraan paineilmajärjestelmään. Nykyisissä järjestelmissä paineilma myös kuivatetaan, suodatetaan ja se on öljytöntä. Komponenttien kehittyneet materiaalit eivät tarvitse enää ilman mukana tulevaa öljysumuvoitelua.

Pneumatiikkajärjestelmän toimivuutta ei takaa se, että toimilaitteet ja venttiilit on järkevästi valittu (Fonselius ym., 1997, s. 11). Paineilmajärjestelmässä tarvitaan paljon muitakin tärkeitä komponentteja, joita ovat anturit ja ohjauslaitteet. Oleellisia osia ovat myös ohjausohjelmat ja tiedonsiirto. Yleisesti pneumatiikkajärjestelmien ohjaukseen käytetään ohjaussekvenssejä ja loogisia toimintoja. Sopivaa automaatioastetta kannattaa miettiä tapauskohtaisesti, sillä yksinkertaisilla ratkaisuilla saadaan usein tehtyä luotettavia ja edullisia järjestelmiä.

3.1 Alipainetekniikka

Alipainetta käytetään monenlaisissa materiaalinsiirtotehtävissä, esimerkiksi nesteiden ja pulvereiden siirrossa (Fonselius ym., 1997, s. 110). Alipaine soveltuu myös erilaisiin kiinnitys- ja pakkaustehtäviin. Tyypillisin alipaineen käyttöpaikka on robotin tarttujissa käytettävät imukupit. Energiansiirrossa yleisesti käytetyn kohotetun paineen tavoin voidaan alipainetta käyttää myös energiansiirtoon. Alipainetekniikassa halutun toiminnon suorittamiseksi täytyy paine laskea pienemmäksi kuin vallitseva ilmanpaine. Voima, joka tarvitaan tietyn tehtävän suorittamiseksi, saadaan ympäristön ja alipaineen erotuksesta.

Kun suljetusta tilasta poistetaan ilmamolekyylejä, paine alenee ja tilaan syntyy alipaine (Fonselius ym., 1997, s. 110). Jäljelle jääneille molekyyleille jää tällöin enemmän tilaa. Jos

tilannetta tarkastellaan fysiikan lakien kannalta, tilavuuden kasvu tarkoittaa paineen alenemista. Näin on saavutettu suljetun tilan ja ympäristön välille paine-ero.

Pneumatiikassa normaali ilmanpaine on paineen nolлатaso, joten nollatason alapuoliset paineet ovat silloin alipaineita (Fonselius ym., 1997, s. 110). Paineen absoluuttinen nolla, jota sanotaan myös sadan prosentin alipaineeksi, on $-0,1013$ MPa. Se on pienin mahdollinen alipaine. Näin suuren alipaineen tuottaminen on kallista ja epäkäytännöllistä, joten yleensä on kannattavampaa toimia pienemmillä painearvoilla, kuten esimerkiksi 50 % alipaineella, joka tarkoittaa $-0,05$ MPa:n painetta.

3.2 Alipaineen tuottaminen

Alipainetta tuotetaan teollisuudessa ejektoreilla tai mekaanisilla alipainepumpuilla (Fonselius ym., 1997, s. 110). Toimintaperiaatteiltaan mekaaniset alipainepumput (kuva 7) vastaavat kompressoreita. Kompressoreilla tuotetaan korkeampaa painetta imemällä normaalia ilmanpainetta, kun taas alipainepumpuilla tuotetaan normaalipaineista ilmaa imemällä normaalia ilmanpainetta alempia paineita. Toimintaperiaatteiltaan alipainepumput ovat yleensä kalvo-, lamelli- tai mäntäpumppuja. Alipaineen tuottamiseen voidaan käyttää myös kineettistä puristusta tai rootin puhaltimia. On kuitenkin kaksi pääpiirrettä, jotka erottavat alipainepumpon kompressorista:

- Alipainepumputta suurin paineenmuutos voi olla korkeintaan yhden ilmakehän suuruinen.
- Ilman virtaus laskee jatkuvasti suhteessa paineen alentumiseen. Kaikki pumpun tuottama lämpö tulee absorboitua lopulta pumppuun itseensä.



Kuva 7. Tyhjiöpumppu (Buschvacuum, i.a.).

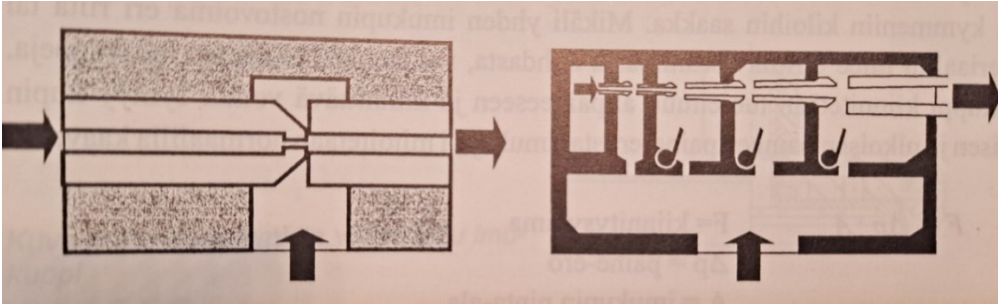
Ejektorit ovat yleensä pieniä venturiperiaatteella toimivia alipaineenkehittäjiä, joissa ei ole ollenkaan mekaanisia osia (Fonselius ym., 1997, s. 110). Ejektorissa paineilma kulkee kuristimen kautta ulkoilmaan, jolloin sen nopeus kasvaa. Syöttöpaineen säätäminen vaikuttaa suoraan alipaineen suuruuteen, ja haluttu alipaine pyritään saavuttamaan mahdollisimman pienellä ilmankulutuksella ja mahdollisimman nopeasti. Toimivuuden takaamiseksi paineilman tulisi olla suodatettua ja öljytöntä. Ejektorin imuliittimeen syntyy alipaine (kuva 5), kun virtausnopeus kuristimessa kasvaa ja paine pienenee. Tämä voidaan laskea kokoonpuristumattoman virtauksen Bernoullin lailla, joka voidaan ilmaista yhtälöllä (Hautala & Peltonen, 2016, s. 114)

$$p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{vakio} \quad (1)$$

missä

- p on virtaavan aineen paine
- ρ on aineen tiheys (pysyy vakiona)
- g on painovoiman aiheuttama kiihtyvyyys
- h on putken korkeus tarkasteltavassa pisteessä referenssitasosta mitattuna
- v on virtaavan aineen nopeus

Ejektori voi olla yksinkertaisimmillaan yhden kuristimen laite, mutta parempi hyötysuhde saadaan, kun yhdessä ejektorissa on useampi kuristin (Fonselius ym., 1997, s. 111). Alipainetta saadaan tuotettua moniasteisessa ejektorissa nopeammin ja hiljaisemmin kuin yksiasteisella laitteella. Mekaaniseen alipainepumppuun verrattuna moniasteinen ejektori on huomattavasti halvempi, mutta se vaatii kompressorin paineilman tuottoon.



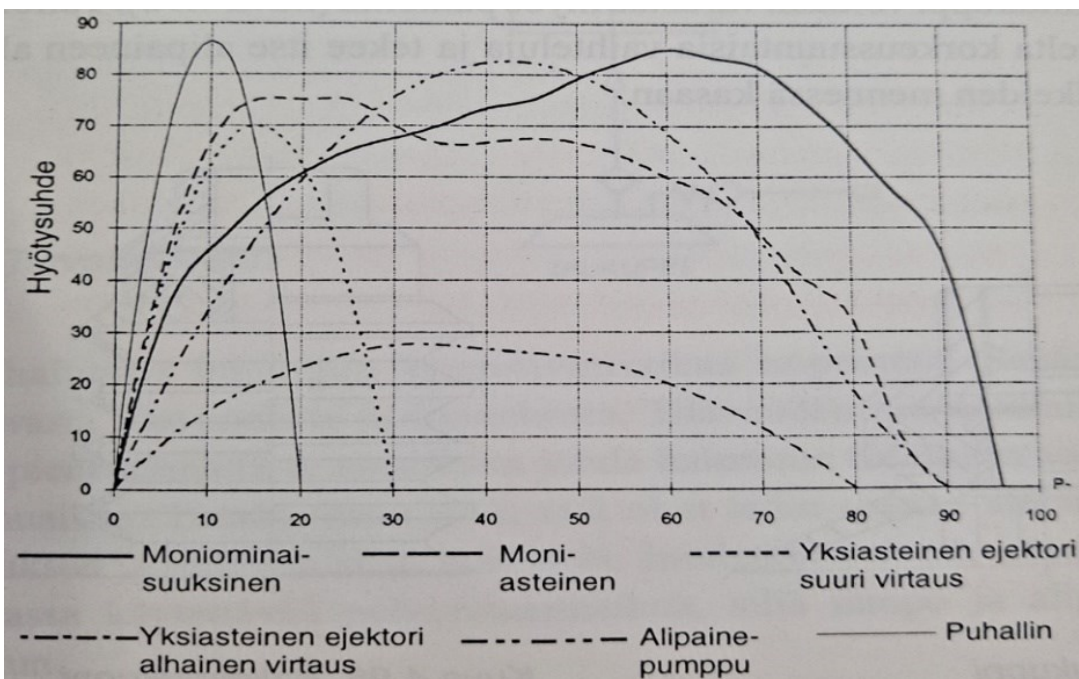
Kuva 8. Yksiasteinen ja moniasteinen ejektori (Fonselius ym., 1997, s. 111).

Nykyään on saatavilla myös sähköisiä alipaineventtiileitä (kuva 9), joissa alipainetta ohjataan integroidulla solenoidilla päälle ja pois. Solenoidilla voidaan pulssittaa ejektoria ja ohjata alipaineporttiin puhallus, jos halutaan varmistaa kappaleen irtoaminen tarttujasta. Sähköisissä venttiileissä on alipaineen valvonta ja pieni näyttö, josta voidaan tarkastella alipaineen toteutumista. Venttiililtä saadaan häiriötilanteissa takaisinkytkennän kautta tieto, jos esimerkiksi kappale tippuu imutarttujasta. Venttiileihin on integroituna virtauksen säätö, imupuolen suodatin ja pakoportin äänenvaimennin.



Kuva 9. Alipaine-ejektori (Festo, i.a.).

Mikä alipainejärjestelmä kannattaa valita alipaineentuottajaksi, alipainepumppu vai jokin ejektoreista (Fonselius ym., 1997, s. 111). Yleisenä nyrkkisääntönä voitaisiin pitää sitä, että kannattaa valita mekaaninen alipainepumppu, jos järjestelmässä tarvitaan suuria virtauksia tai jatkuvaa alipainetta. Ejektori kannattaa valita silloin, jos alipainetta tarvitaan satunnaisesti ja se on katkonaista. Ejektori on myös hankintahinnaltaan alipainepumppujärjestelmää merkittävästi halvempi ratkaisu. Mekaaninen alipainepumppu tarvitsee toimiakseen sähkökäytön ja huoltolaitteet. Energiakustannukset ovat tuotetussa alipaineessa ejektoreilla yleensä suuremmat kuin alipainepumpulla tuotetussa. Oheisessa kaaviossa verrataan ilmantuottoa ja hyötysuhteita erilaisilla järjestelmillä tuotettuna. Kaavion (kuva 10) Y-akselilla on hyötysuhde prosentteina ja X-akselilla alipaineen tuotto kilopascaleina (kPa).



Kuva 10. Ominaiskäyriä alipainetta tuottavista laitteista (Fonselius ym., 1997, s. 111).

3.3 Imukupit, niiden valinta ja liittäminen järjestelmään

Teollisuudessa imukupeilla voidaan kiinnittää, siirtää ja nostaa tuotteita joiden paino voi olla muutamista grammoista aina kymmeneen kiloihin asti (Fonselius ym., 1997, s. 112). Voi olla kohteita, joissa yhdellä imukupilla ei saavuteta riittävää nostovoimaa. Näissä tapauksissa voidaan imukuppeja lisätä tarvittava määrä. Nostovoiman riittävyys voi johtua myös nostettavan kappaleen monimutkaisista muodoista ja pintamateriaaleista. Imukuppi kiinnittyy tuotetun alipaineen avulla, ja kupin kiinnittävä voima saavutetaan ulkoisen ja sisäisen paineen paineerolla. Imukupin mitoitus voidaan laskea kaavalla (Fonselius ym., 1997, s. 111)

$$F = \Delta p \cdot A \quad (2)$$

missä

- F on kiinnitysvoima
- Δp on paine-ero
- A on imukupin pinta-ala

Imukuppeja mitoitettaessa pitää muistaa, että paine-ero ei voi olla suurempi kuin 0,1 MPa. (Fonselius ym., 1997, s. 112). Jos järjestelmässä on useita imukuppeja, pitää voima jakaa kaikkien kuppien kesken. Tämän lisäksi imukupin halkaisijaa laskettaessa tulee voimalle lisätä varmuuskerroin, joka on yleensä 2. Halkaisija (d) imukupille saadaan kaavasta (Fonselius ym., 1997, s. 112)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F \cdot n}{\pi \cdot p \cdot s}} \quad (3)$$

missä

- F on tarvittava voima
- n varmuuskerroin
- p alipaine
- s on imukuppien määrä

Suuria voimia saadaan aikaan suurilla alipaineilla (Fonselius ym., 1997, s. 112). Tätä tulisi kuitenkin välttää, sillä mitä suurempi alipaine tuotetaan, sitä enemmän se rasittaa alipainejärjestelmää, jolla se saadaan aikaan. Jos esimerkiksi kasvatetaan alipainetta -60 kPa...-90 kPa, kiinnitysvoima nousee puolitoistakertaiseksi. Voiman kasvattaminen vaatii tässä tapauksessa kymmenkertaisen energian tarpeen.

Käyttökohteesta riippuen imukuppeja on olemassa monia eri malleja (kuva 11) (Fonselius ym., 1997, s. 112). Yksinkertaisin perusimukuppi sopii hyvin tasaisten kappaleiden käsitteilyyn. Palkeilla varustettuja imukuppeja käytetään, kun kiinnityspinnan korkeus vaihtelee,

jolloin nostoliikettä tapahtuu jo palkeiden mennessä kasaan alipaineen vaikutuksesta. Karkeiden tuotteiden, kuten betonin ja kiven, tartuntaan voidaan käyttää solukumista valmistettuja imukuppeja.

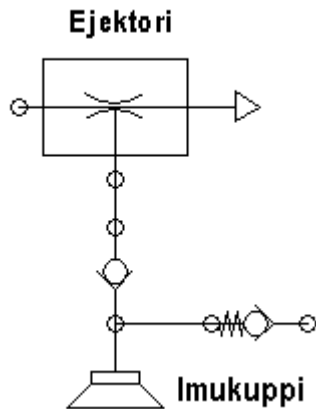


Kuva 11. Erityyppisiä imukuppeja (SMC, i.a.).

Imukupit voivat olla erimuotoisia, esimerkiksi soikeita tai suorakaiteita, riippuen käyttökohteista (Fonselius ym., 1997, s. 111). Jos käsitellään herkästi vioittuvia tuotteita, täytyy imukuppeissa olla sisäpuolinen tuenta, ettei imukuppi tai alipaine vahingoita kappaletta. Materiaali valitaan myös kohteen mukaan, sillä imukuppi voi altistua kuumuudelle, öljylle tai kulumiselle.

Järjestelmässä, jossa käytetään imukuppeja esimerkiksi tuotteiden siirtelyyn ja nostamiseen, täytyy jo suunnitteluvaiheessa ottaa huomioon käytön turvallinen toteutus (Fonselius ym., 1997, s. 112). Erityisesti jos käytetään ejektoria alipaineen tuottamiseen, syöttöpaineen katketessa tulee alipaineeseenkin katkos ja tuote voi irrota imukupista. Tästä saattaa aiheutua vaaratilanteita. Tällaisiin tilanteisiin olisi hyvä varautua tekemällä imukuppiin niin sanottu turvakytkentä (kuvio 1). Tämä toteutetaan käyttämällä imukupin molempia liitäntöjä. Toiseen liitetään alipaine takaiskuventtiilillä ja toiseen puhallus kappaleen irrotusta varten. Kytkenällä saadaan työkiertoa nopeutettua, kun kappale irtoaa nopeammin imukupista. Toinen hyöty saavutetaan sillä, että alipaineen ei tarvitse olla koko ajan päällä, koska ilman virtaus voidaan

lopettaa, kun haluttu alipaine on saavutettu. Näillä toimenpiteillä ejektorin ääni vähenee ja energian kulutus pienenee. Ejektoriin kannattaa kuitenkin lisätä aina äänenvaimennin.



Kuvio 1. Turvakytkentä

Joissakin järjestelmissä voi tulla tarvetta nopeuttaa imukupin kiinnittymisaikaa, joka on täysin riippuvainen imutehosta ja tilavuudesta alipaineistuksessa (Fonselius ym., 1997, s. 112). Jos yritetään pienentää tilavuutta valitsemalla pienemmällä halkaisijalla oleva imuletku, päädytään päinvastaiseen lopputulokseen ja imuaika hidastuu. Ilmiö johtuu siitä, että pienemmässä letkussa virtausvastus suurenee ja sen seurauksena toiminta hidastuu. Imuletkun valinnassa kannattaa olla tarkkana, sillä normaali pneumatiikan polyuretaaniletku ei ole paras valinta, sillä alipaineistus ja lämpö voivat murtaa letkun.

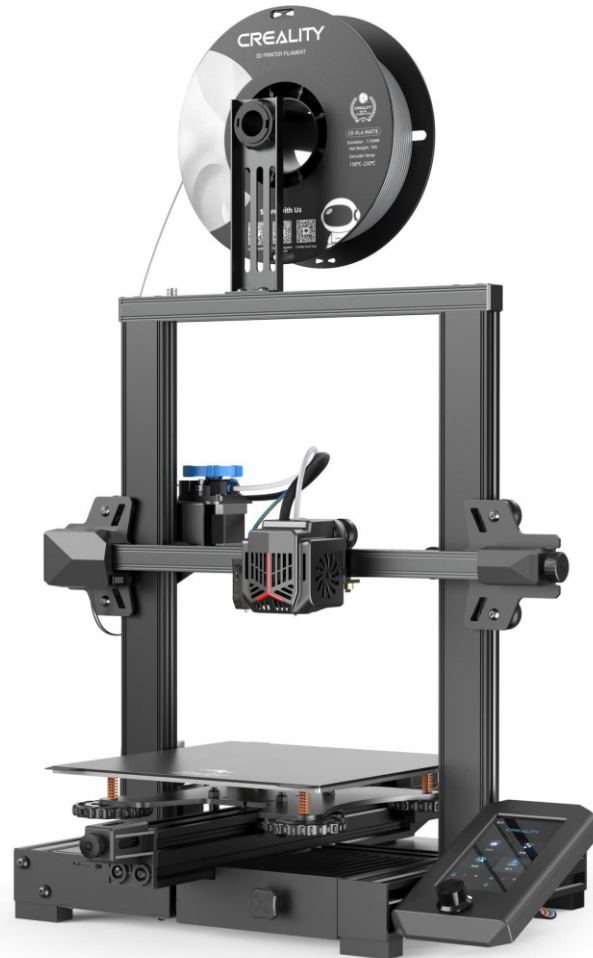
4 3D-tulostus

Kolmiulotteinen (3D) tulostus on vallankumouksellinen innovaatio tekniikan alalla, tuotteiden suunnittelussa ja valmistuksessa (Kalaskar, 2017, s. 1). 3D-tulostus mahdollistaa nopean tiedon muuttamisen digitaalisesta 3D-mallista fyysiseksi esineeksi. 3D-tulostus tunnetaan myös yleisesti termillä ainetta lisäävä valmistus eli additive manufacturing (AM). Voidaan puhua myös kerrosvalmistuksesta tai vapaamuotoisesta kiinteästä valmistuksesta. Tämä menetelmä on otettu laajasti käyttöön lääketieteen ja tekniikan aloilla. Tavanomaisissa valmistusmenetelmissä materiaalia poistetaan kiinteistä kappaleista vaikkapa jyrsimällä, ja siksi valmistusmenetelmä tunnetaan vähentävänä valmistuksena. 3D-tulostus on yleinen termi, joka kuvaa erilaisia menetelmiä kappaleiden valmistamiseen kerros kerrokselta. Siitä tulee termi ainetta lisäävä valmistus. Alkuperäinen konsepti kehitettiin MIT:n teknillisessä korkeakoulussa vuonna 1993, ja se sisälsi nestemäisen sideaineen syöttämistä ohuelle muovijauhepehdille.

Tulostettava kappale luodaan käyttämällä tietokoneavusteista suunnittelua (CAD) (Kalaskar, 2017, s. 2). CAD-kuvasta tallennettu tiedostopaketti muunnetaan tulostimelle soveltuvaan tiedostomuotoon (STL). Tiedostossa 3D-piirros jaetaan sarjaan viipaleita, joista kappale sitten tulostetaan kerros kerrokselta. Tämä teknologia mahdollistaa tulostuksen yhdestä materiaalista. Mahdollista on myös käyttää eri materiaaleja eri kerroksissa, jolloin voidaan säädellä eri kerroksien muotoa ja täyttöastetta. Menetelmällä saavutetaan monimutkaisia 3D-rakenteita, mutta mallinuksessa pitää kuitenkin huomioida 3D-tulostuksen rajoitteet.

4.1 FDM-muovipursotus

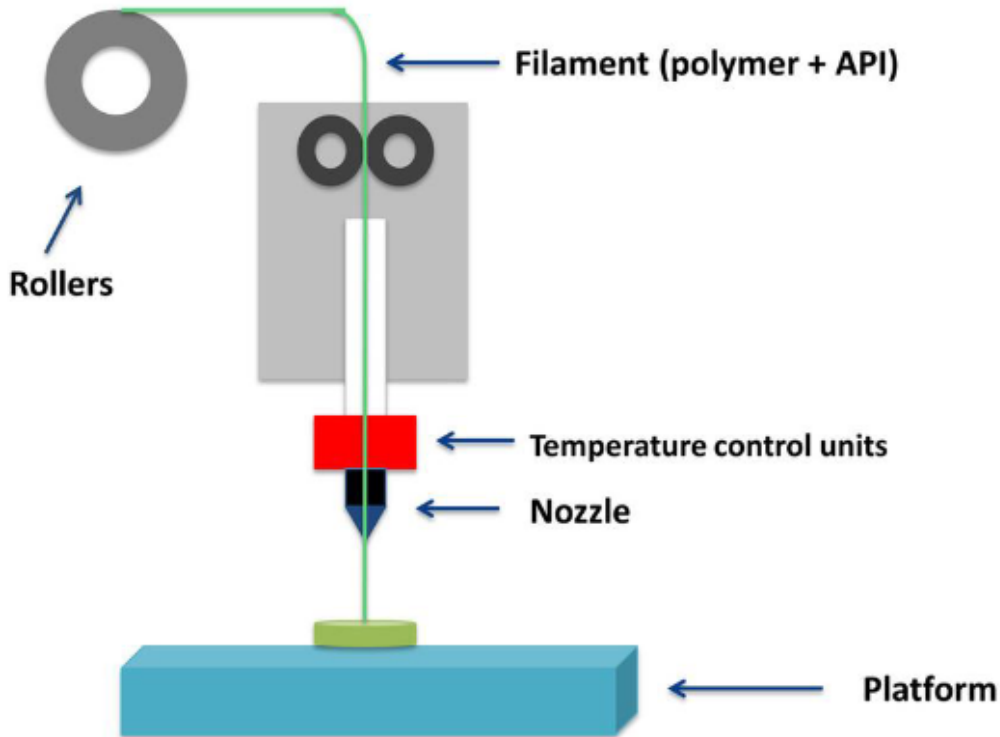
Maailman yleisin tulostusmenetelmä on FDM-muovipursotus (Kortelainen, 2019, s. 14). Vuonna 2009 FDM-patentti raukesi, ja sen jälkeen teknologia kehittyi ja uusia laitevalmistajia tuli markkinoille. Kaikki halusivat nopeasti omat tuotteensa kuluttajille. Uudet 3D-tulostin innovaatiot (kuva 12) ovat tällä hetkellä rauhoittuneet. Ainoastaan kehitystä tapahtuu nopeuden ja tarkkuuden osalta ja materiaalien valikoimissa. Nämä kaikki osa-alueet kehittyvätkin jatkuvasti.



Kuva 12. FDM 3D-tulostin (Crealitau, i.a.).

4.2 FDM-tulostimen toimintaperiaate

FDM-tulostusteknologia perustuu tekniikkaan, jossa tulostussuutin liikkuu X- ja Y- suuntiin tulostuspedin päällä (Kortelainen, 2019, s. 14). Tulostusmateriaalia eli muovilankaa syötetään rullalta vetotelojen avulla suuttimelle (kuva 13). Kuumasta suuttimesta sula muovimassa pursoetaan suuttimen pienen reiän kautta tulostuspedille. Jotta kappaleen suunniteltu kerrosvahvuus ja muoto saavutetaan, tulostuspää liikkuu tulostuspedin päällä jatkuvasti eri suuntiin. Kun haluttu kerrosvahvuus on saavutettu ja täytetty, nousee tulostuspää tekemään seuraavaa kerrosta. Riippuen tulostimen kinematiikasta tulostuspäti voi myös laskea kerros kerrokselta.



Kuva 13. FDM-tulostimen toimintaperiaate (Konta ym., 2017)

4.3 SLA-tulostus

Toinen merkittävä tulostusteknologia on SLA (Kortelainen, 2019, s. 31). Menetelmää käytetään nykyään teollisuuden aloilla, joissa vaaditaan hyvin tarkkaa tulostusta. Esimerkkejä menetelmän hyödyntäjistä ovat insinöörit, arkkitehdit, korusepät ja hammaslääketiede. SLA-tekniologiassa valmistusmateriaalina on photopolymeeri, eli nestemäinen hartsi, joka kaadetaan tulostimen alustalla olevaan astiaan. Astiassa on läpinäkyvä pohja, jonka läpi laserin ultraviolettivalo kohdistetaan usean galvanometriin kiinnitetyn peilin kautta tulostusalustaan, jonka pinnalle hartsi kovettuu. Tulostusalusta nousee jokaisen kerroksen jälkeen ja tämä toistuu, kunnes 3D-kappale on valmis. SLA-tulostimessa on vain vähän liikkuvia osia: Z-akseli liikuttaa tulostuspetiä ja galvanometrit liikuttavat peilejä, joilla lasersäde saadaan haluttuun kohtaan tulosteessa.

4.4 MSLA-tulostus

MSLA-tulostuksen toimintaperiaate eroaa hieman SLA-tulostimesta (Kortelainen, 2019, s. 33). MSLA-tulostusprosessissa nestemäinen hartsi valaistaan alhaalta päin LCD-näytöllä olevilla UV-LED-eillä koko tulostusalalle yhtä aikaa. LCD-paneeliin luodaan maski joka kerroksella, ja se estää UV-valon pääsyn määritettyihin kohtiin. Näin saadaan vain haluttu alue paljastettua ja varmistetaan, että hartsi kovettuu vain kohdistetusti. MSLA-tulostimessa tarvitaan vain yksi liikkuva osa, tulostuspetiä ylös ja alas liikuttava Z-akseli.

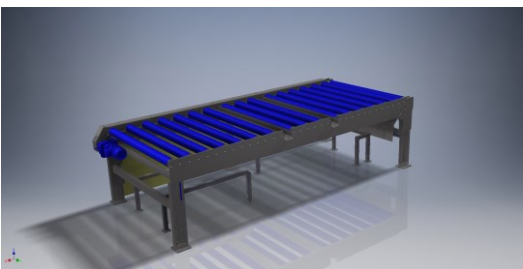
5 Teollisuuskuljettimet

Kuljetinjärjestelmät ovat yleisesti teollisuudessa käytetty materiaalin käsittelylaitteisto, jolla saadaan materiaalit siirrettyä paikasta toiseen (Gupta ym., 2017, s. 369). Kuljettimet ovat erityisen hyödyllisiä sellaisissa sovelluksissa, joissa joudutaan siirtämään raskaita tai irtonaisia tuotteita. Kuljetinjärjestelmillä voidaan siirtää monenlaisia tuotteita nopeasti ja tehokkaasti, ja siksi niitä käytetäänkin erityisen paljon materiaalinkäsittelyssä ja pakkausteollisuudessa (mts. 370). Kuljetinjärjestelmiä on olemassa erilaisia, ja niiden käyttö riippuu teollisuuden eri toimialoista. Kun kuljettimia lisätään tuotantolinjoille, materiaalien ja tuotteiden siirtelyyn, tuotantoprosessit nopeutuvat ja helpottuvat. Yleisimpiä teollisuudessa käytettäviä kuljettimia ovat

- rullakuljettimet
- indeksikuljettimet
- palettikuljettimet
- hihnakuljettimet
- lamellikuljettimet

5.1 Rullakuljetin

Rullakuljettimet muodostavat tärkeän osan teollisuuden materiaalinkäsittelyssä (Gupta ym., 2017, s. 370). Tyypillisesti rullakuljettimella (kuva 14) siirrettävät tuotteet vaativat tasaisen pohjan tai ne pitää asettaa lavan päälle, jotta ne liukuvat hyvin rullien päällä. Kuljettimessa voi olla moottoriveto tai se voi olla vapailla rullilla, jolloin materiaalit voivat liikkua painovoimaisesti. Moottorivetoisessa kuljettimessa sähkömoottorin voima välitetään vaihdelaatikon kautta ensimmäiselle rullalle, josta liike välitetään kaikille muillekin rullille, joko ketju- tai hihnavedolla.



Kuva 14. Rullakuljetin (Masinawerk, i.a.).

5.2 Indeksikuljetin

Indeksikuljetinta käytetään teollisuudessa pienien komponenttien kokoonpanossa (Schmid ym. 2001, s. 357). Kuljettimen kaikki paletit liikkuvat aina yhtäaikaan saman matkan eteenpäin, tarkasti ja nopeasti. Jokaiseen pisteeseen kappaleet siirtyvät vuoron perään, joissa sitten tehdään tuotteen kasaukseen liittyviä toimenpiteitä. Jokaisessa pisteessä tehtävä työ on saatava valmiiksi samassa ajassa, riippuen linjaston tahtiajasta. Kuljettimen paleteille voidaan asettaa kasattava tuote esimerkiksi robotilla. Kierrettyään jokaisen indeksikuljettimen (kuva 15) työpisteen läpi robotti poimii tuotteen pois ja siirtää sen jatkokäsittelyyn.



Kuva 15. Indeksikuljetin (Direckindustry, i.a.).

5.3 Palettikuljetin

Palettikuljetinta voidaan käyttää modulaarisessa kokoonpanolinjastossa (Schmid ym. 2001, s. 359). Palettikuljetin on joustava, koska paletit liikkuvat yksitellen hihna- tai lamellikuljettimen vetämänä (kuva 16). Modulaarisuus mahdollistaa työasemien ja palettien lisäämisen ja poistamisen linjastolta tarpeen mukaan. Asemien väliin voi myös vaihtaa erimittaisia kuljettimia. Kokoonpanoasemilla ei tarvitse olla sama tahtiaika, koska paletit voivat jäädä bufferiin asemien välille. Jos esimerkiksi nopeampi työasema päästää paletteja läpi, paletit jäävät pus-kuriin hitaamman aseman eteen.

Monimutkaiset tuotantolinjat vaativat yleensä palettien saattomuistin, eli jokaisessa työasemassa on RFID-lukija ja kaikissa paleteissa on oma ID-nastansa. Saattomuistilla järjestelmä tietää mikä paletti on milläkin kokoonpanoasemalla.



Kuva 16. Palettikuljetin (Flexlink, i.a.).

5.4 Hihnakuuljetin

Hihnakuuljetimet ovat monikäyttöisiä kuljettimia (Gupta ym., 2017, s. 371). Kuljettimilla voidaan siirrellä erikokoisia ja erimuotoisia tuotteita. Rajoituksena on vain kuljettimen kapasiteetti ja siirrettävän tuotteen vakaus. Siirrettävät tuotteet voivat olla kappaletavaraa tai kuljettimen muotoilusta riippuen, myös irtotavaraa, kuten soraa, haketta tai turvetta.



Kuva 17. Hihnakuuljetin (Profigan, i.a.).

5.5 Lamellikuljetin

Lamellikuljetin koostuu pienistä metalli- tai muovilamelleista, jotka on yhdistetty toisiinsa teräslangalla (Zepf, 2009, s. 336). Lamelleja yhdistämällä voidaan kasata jokaiseen käyttökohteeseen sopivanlevyinen ja pituinen kuljetin. Lamellin erilaisista muodoista johtuen saadaan tehtyä myös kaarevia kuljettimia (kuva 18). Lamellikuljettimia käytetään yleisesti elintarviketeollisuudessa, jossa kuljettimen lamellien verkkomainen muotoilu mahdollistaa tuotteiden jäädytyksen ja kuivatuksen.



Kuva 18. Lamellikuljetin (Putkiaivot, i.a.).

6 Nykytilanne

Toimeksiantajan tuotantolinjalla valmistetaan eri versioita samasta muovituotteesta, kuten tuotteita, joissa on takaiskuventtiili. Kun takaiskuventtiilisiä tuotteita valmistetaan, yksi jälkikäsitteily ei ehdi käsittelemään kaikkia tuotteita, joita kone valmistaa. Linjaston nopeudesta johtuen tuotteita valmistuu niin paljon, että kokoonpanolinjojen avustaja joutuu muiden töidensä ohessa työskentelemään jälkikäsitteilyä apuna.

Linjastolla työskentelee kaksi jälkikäsitteilyä vuorossa. Kun toinen jälkikäsitteily on linjastolla, on toinen työpisteellä tekemässä muita töitä. Usein tämä toinen työntekijä joutuu avustamaan tuotteiden jatkokäsittelyssä. Avustajista huolimatta voi tulla tilanteita, joissa tuotteita silti kertyy liikaa, ja tällöin jälkikäsitteily sammuttaa kokoonpanolinjaston. Tämän kaltaiset tilanteet eivät ole toivottuja, koska ne häiritsevät tuotantoprosessia. Tauot ja linjaston uudelleenkäynnistäminen syövät linjaston tehokkuutta.

Muovituotteen kokoonpanolinjan valmistusprosessiin liittyy useita muitakin laitteita ja koneita. Kun linjastoa tauotetaan tarpeettomasti usein, häiriintyy koko tuotantoprosessi. Esimerkiksi puolivalmisteita valmistavia koneita ei voida taukojen ajaksi kustannustehokkaasti pysäyttää, jolloin puolivalmisteita kertyy varastoon. Tällaisia tilanteita yritetään välttää, koska näitä varastoon ajettuja ”ohivuototuotteita” joudutaan syöttämään manuaalisesti kokoonpanolinjastolle, jolloin linjaston tehokkuus taas huononee.

7 Muovituotteen pakkaamisen kehittäminen

7.1 Suunnittelu

Kehitysprosessin alussa pidettiin palaverieita, joissa suunniteltiin ja keskusteltiin työn tavoitteista ja siitä, millaisen järjestelmän yritys kokoonpanolinjaan haluaa. Suunnitelmia ja testejä oli yrityksessä tehty jo aikaisemmin pakkaamisen helpottamiseksi, joten aivan tyhjästä ei tarvinnut lähteä liikkeelle.

Esisuunnittelun tuloksena oli selvää, että ilmanpoisto lisätään vaiheeseen, jossa robotti siirtää imupussia. Päätettiin että robotin tarttujaa muokataan ja että siihen lisätään imuun tarvittavat komponentit. Suunnittelua jatkettiin etsimällä yrityksen tietokannoista CAD-malleja laitteista ja tuotteista. Kaikki työn toteuttamiseen tarvittavat CAD-mallit löytyivät. Kuvia oli esimerkiksi linjaston layoutista, robotin tarttujasta ja siihen kiinnittyvistä leukapaloista. Imua varten tarvittava alipainepumppu oli jo valmiiksi kytketty ja toimintavalmiudessa.

Robotin tarttujan leuka on vaihdettavissa, joten oli helppo tehdä vain uusi leukapala, joka voitiin vaihtaa tarttujaan. Jos imureikä ei ollut kohdalla tai leuka oli muuten vääränmallinen, tehtiin palaan vain tarvittavat muutokset tai valmistettiin kokonaan uusi pala. 3D-tulostimella valmistettiin monta erilaista prototyyppiä. Kun leukapala todettiin sopivaksi ja toimivaksi, voitiin kyseinen pala valmistaa metallisena.

Imun komponentit täytyi laittaa tilaukseen, kun tiedettiin minkälainen ejektori ja imukuppi laitteeseen sopii. Letkut ja liittimet löytyivät jo valmiina varaosahyllystä. Imun riittävyttä tuotteen tyhjäykseen täytyi testata alipainepumpulla. Tällä varmistettiin, että kaikki komponentit ovat sopivia työn toteutukseen. Imun riittävyden koeajo tehtiin myös käyttämällä ejektoriventtiiliä. Vertailulla selvitettiin paras vaihtoehto tähän kyseiseen tarkoitukseen.

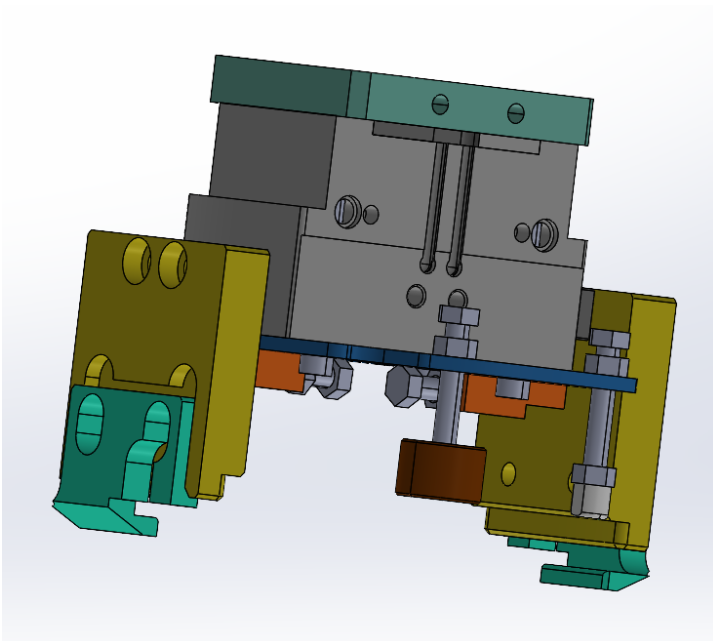
Robotin jättöpaikan pisteitä jouduttiin ohjelmoimaan uudelleen, ja olemassa olevaa poistokuljetinta muokattiin. Tuotteen poisto täytyi suunnitella uusiksi, koska tuotteesta poistettu ilma ei saanut palata takaisin pussiin kuljettimella.

7.2 Tuotteen poisto indeksikuljettimelta

Muovituote kootaan indeksikuljettimen eri pisteissä. Kokoonpanolinjan toisen indeksikuljettimen pisteissä tehdään tuotteeseen esimerkiksi sauman hitsaus ja lasermerkintä. Kuljettimen viimeisessä pisteessä tapahtuu tuotteen siirto Scara-robotilla poistokuljettimelle. Robotin siirtoliikkeen aikana olisi tarkoitus poistaa ilma tuotteen sisältä, joten tämän kyseisen Scara-robotin tarttujaa muokattiin niin, että siihen saatiin lisättyä imuun tarvittavat komponentit.

7.3 Robotin tarttuja

Tarttujan uuden mallin tekeminen aloitettiin muokkaamalla olemassa olevaa CAD-mallia SolidWorks-ohjelmistolla. Leukapalaa piti kasvattaa ulospäin, jotta imukupille saatiin tehtyä syvennys ja kiinnitysreikä. Tärkeää oli myös saada imukuppi oikeaan kulmaan, että se osuisi kannen imureikään, mutta kuitenkin niin, että tarttujan mennessä kiinni, imukuppi ei osuisi kannen reunaan.

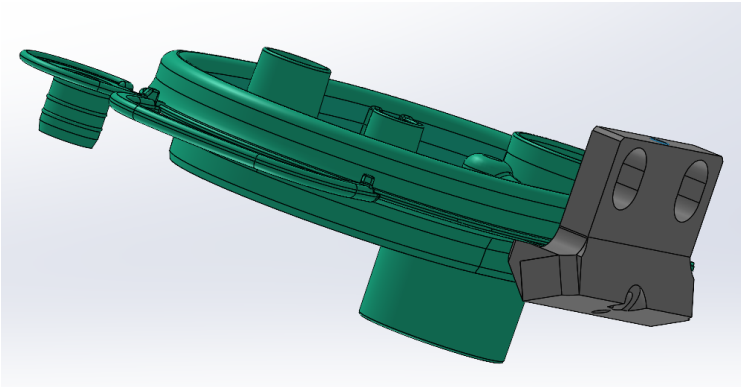


Kuva 19. Robotin alkuperäinen tarttuja.

Tehtiin muutamia erilaisia malleja, joissa imukupin kulmaa muutettiin. SolidWorks-ohjelmassa oli helppo tehdä kokoonpano, jossa yhdistettiin leukapala, imukuppi ja tuotteen kansi, josta tarttuja ottaa kiinni (kuva 20). Kuvista sitten tutkittiin, kuinka komponentit sopivat yhteen.

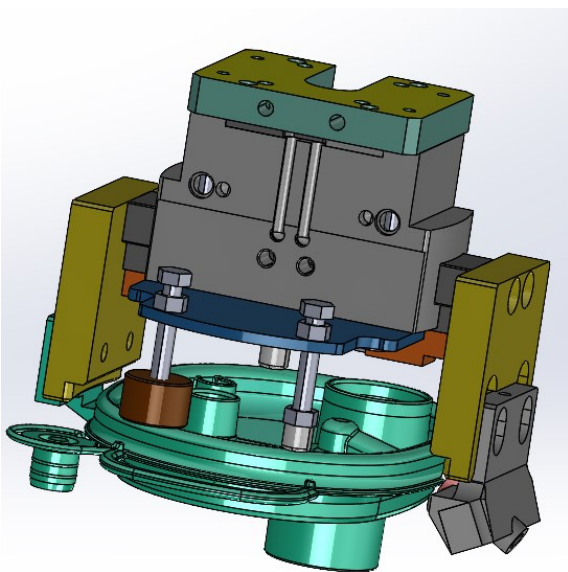
Tuloksena saatiin selville leukapala, jossa imukuppi on parhaassa kulmassa suhteessa kanteen ja siinä olevaan imureikään. Tämä malli valittiin ensimmäiseksi mallikappaleeksi.

Kun ensimmäisestä leuan mallista saatiin mitat, imukupit voitiin laittaa tilaukseen. Imukuppeja otettiin kuuden ja kahdeksan millimetrin vahvuuksilla. Kiinnitykseen tarvittavia asennusadaptereita tilattiin myös muutamia erikokoisia mallikappaleita.



Kuva 20. Kansi ja leukapala.

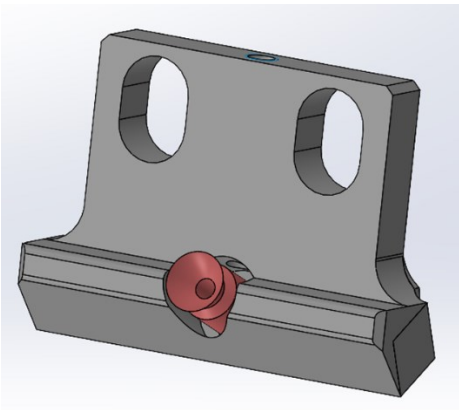
Ennen osien valmistusta tehtiin SolidWorks-ohjelmassa lopullinen kokoonpano robotin tarttujasta, uudesta muokatusta leukapalasta ja tuotteen kannesta (kuva 21). Tällä kokoonpanolla varmistettiin vielä osien sopivuus keskenään. Ohjelmassa voitiin liikuttaa tarttujaa kiinni ja auki, jolloin nähtiin imukupin toimivuus suhteessa kanteen.



Kuva 21. Muokattu tarttuja.

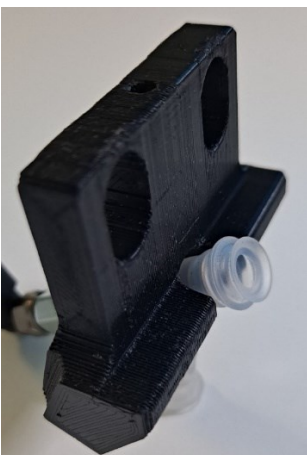
7.4 Mallin 3D-tulostus

Yrityksellä on oma 3D-tulostin, jolla on mahdollista tehdä pieniä varaosia, joten tarttujan leuan ensimmäinen mallikappale päätettiin tehdä 3D-tulostamalla. Aluksi oli helpompi ja nopeampi tehdä koeversiot leukapaloista muovista tulostamalla, kuin siten, että ne olisi valmistettu teräksestä tai alumiinista koneistamalla. SolidWorks-ohjelmalla mallinnettu 3D-kuva (PART) tarttujan leuasta (kuva 22) muutettiin tulostimen vaatimaan STL-tiedostomuotoon. Mallista tehty STL-tiedosto syötettiin 3D-tulostimelle, ja sen jälkeen ei tarvinnut periaatteessa muuta kuin käynnistää tulostin.



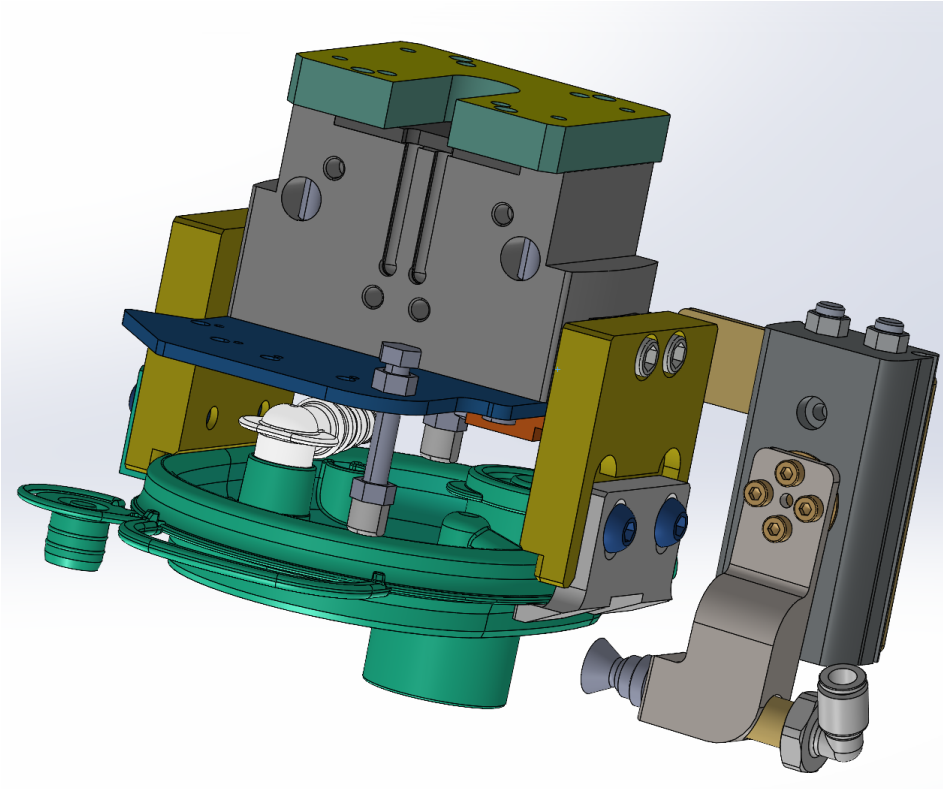
Kuva 22. Tarttujan leuka imukupilla.

Muovista tulostetulla mallikappaleella (kuva 23) voitiin varmistaa imukupin sopivuus leukapalaan ja sitten leuan sopivuus muovituotteen kanteen. Tässä vaiheessa tehtiin vielä pieniä muutoksia lopullisiin piirustuksiin. Vasta kolmannella tulostuskerralla saatiin imukupin poteron kulma ja syvyys oikeaksi ja todettiin, että tällä kokoonpanolla voitiin lähteä tekemään ensimmäisiä koeajoja robotilla.



Kuva 23. 3D-tulostettu tarttujan kynsi.

Kun ensimmäinen versio imusta saatiin koeajoon, alettiin suunnitella uutta versiota tarttujaan lisättävästä imusta. Tarkoituksena oli lisätä robotin tarttujaan pieni kääntösylinteri, jolla imukuppi saadaan kytkettyä muovituotteen kannen imureikään tarttujan mentyä ensin kiinni (kuva 24). Tavoitteena tällä uudella versiolla oli imukupin osuminen paremmin imureikään. Lisäksi tavoitteena oli tarttujan avautuessa, saada imukuppi irtoamaan kannesta ennen tuotteen putoamista.



Kuva 24. Robotin tarttujan uusi versio.

7.5 Pussin tyhjäys

Kun kaikki imuun tarvittavat ensimmäisen version osat oli valmistettu, voitiin aloittaa asennus robottiin. Tarttujaan vaihdettiin 3D-tulostettu kynsi, imukuppi ja sen runko letkuliittimellä. Tarttujalle menevää alipaineletkua varten lisättiin energiansiirtoputki ja sille tarvittavat kiinnitysraudat. Näin saatiin siisti ja turvallinen asennus. Tässä vaiheessa myös ohjelmoitiin robotin Z-akselin liikkeitä, koska uusi energiansiirtoputki ei olisi kestänyt melkein 180 asteen pyörähdyksiä.

Viikon testauksen jälkeen vaihdettiin tarttujan uusi versio Scara-robottiin ja aloitettiin koeajot myös sillä (kuva 25). Uusi versio imusta toimi paljon paremmin, eivätkä imukupit rikkoutu-
neet. Ainoa ongelma oli suodattimen nopea tukkeutuminen alipainelinjassa, mikä johtui imu-
pussista imetystä suodatinpölystä.



Kuva 25. Tyhjäksen uusi versio.

7.5.1 Alipainepumppu

Kokoonpanolinjastolla oli valmiina asennettu alipainepumppu. Pumppua käytettiin myös aikaisemmin imupussin tyhjäykseen, mutta se tehtiin käsin ennen pakkausta. Pumppua hyödynnettiin tässä työssä tarvittavan imun tuottoon. Imu ei voinut olla päällä koko aikaa, joten alipainelinjaan asennettiin venttiili, jolla ohjattiin imua päälle ja pois. Venttiilin ohjaus otettiin samasta I/O-kortin lähdöstä, jolla ohjataan myös robotin tarttujaa kiinni ja auki.

Alipainepumppuun oli lisätty jo aikaisemmin kahdeksan tunnin ajastin, jonka ohjauksella pumppu sammui niissä tilanteissa, jos kokoonpanolinjaa ei ajettu joka vuorossa. Ajastin tarvitaan, koska jos pumppu käy koko ajan monta päivää, voivat järjestelmän letkut vaurioitua. Vaurioitumista ehkäistiin myös vaihtamalla alipaineiset letkut vahvempiseinämäiseen malliin.

7.5.2 Imun riittävyyden testaus

Robotin liikkeen aika indeksikuljettimelta poistokuljettimelle, kun tarttuja oli kiinni ja imu päällä, oli robotin alkuperäisillä liikeradoilla 2,7 sekuntia. Ensimmäisissä testiajoissa muovituote ehti hyvin tyhjäntyä tässä ajassa. Robotin Z-akseli teki kuitenkin turhia pyöryksiä, ja muutenkin akseleiden liikkeet olivat liian nopeita ja teräviä.

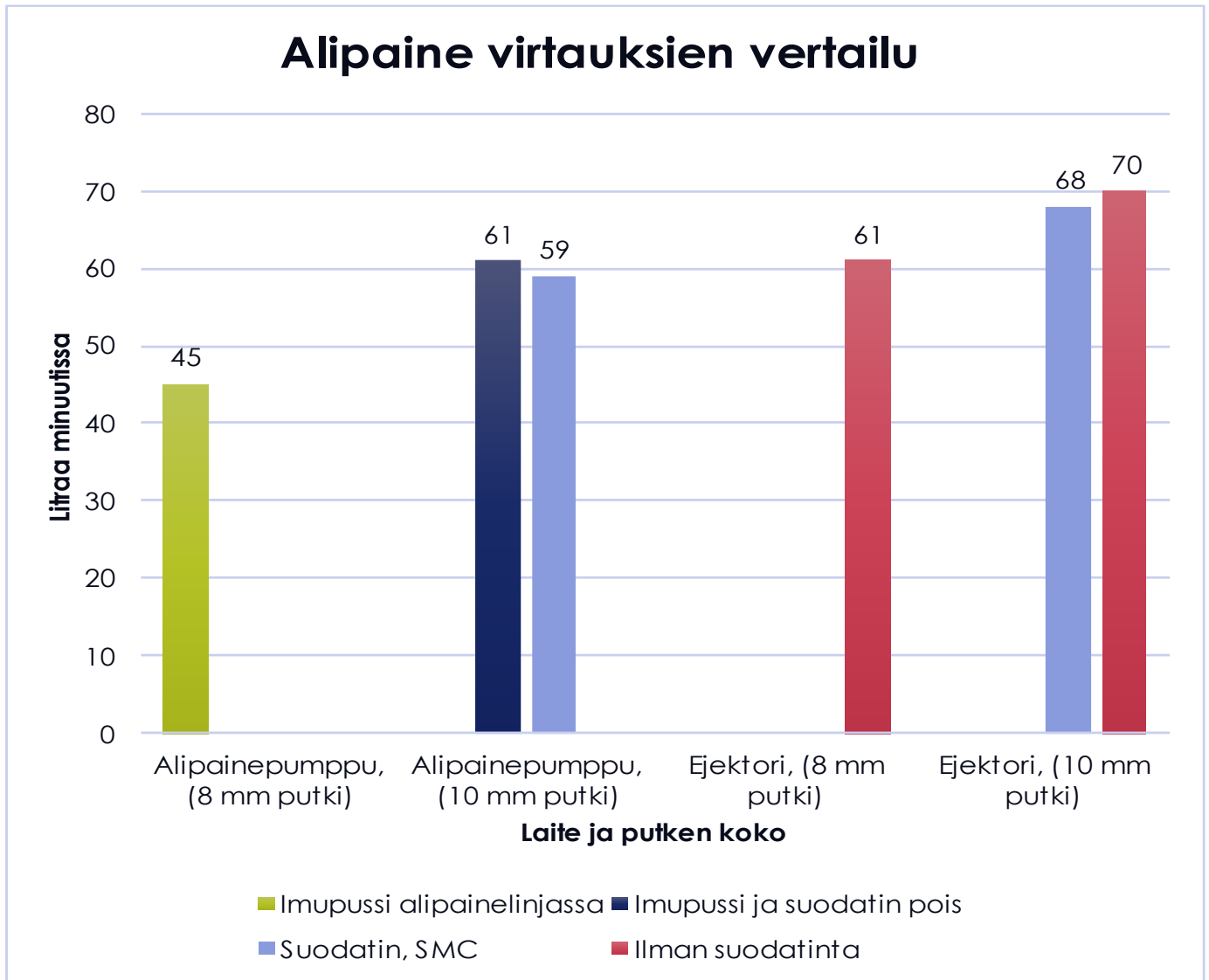
Taulukossa 1 esitellään eri komponenttien virtauksia. Taulukosta selviää, että imun ohjaukseen käytettävän venttiilin virtaus on riittävä. Myös alipainepumpun ja ejektorin imunmäärien pitäisi riittää hyvin tuotteen tyhjäykseen 2,7 sekunnissa. Taulukossa on esitetty valmistajan ilmoittamat virtausmäärät kyseisille komponenteille. Todelliseen virtaukseen vaikuttaa imuletkujen pituus ja halkaisija.

Taulukko 1. Valmistajan ilmoittamat virtausmäärät.

Virtaus	Ohjausventtiili	Alipainepumppu	Ejektori
l/min	900	266	155
l/s	15	4.43	2.58
l/2.7 s	40.5	11.9	6,9

Ohjelman ensimmäisen vaiheen päivityksen myötä robotin turhat liikkeet poistettiin ja pisteitä opetettiin uudestaan. Robotin liikeradan optimoinnin jälkeen saatiin imun päälläoloajaksi kaksi sekuntia. Robotin pussinpoistosityklin nopeutuessa huomattiin, että alipainepumpun imuteho ei ollut riittävä. Ongelman syyksi paljastuivat liian pitkät imuputkistot ohjausventtiililtä imukupille. Myös alipainelinjassa oleva suodatin ahdisti virtausta, ja letkujen halkaisijat olivat liian pieniä.

Virtausmäärien vertailua jatkettiin kokeilemalla alipainepumpulla ja ejektorilla erikokoisia putkistoja ja suodattimia. Ohjausventtiili siirrettiin robotin päälle, jotta saataisiin mahdollisimman lyhyt alipainelinja imukupille. Alla olevassa kaaviossa näkyy tuloksia erilaisten variaatioiden virtausmääristä.



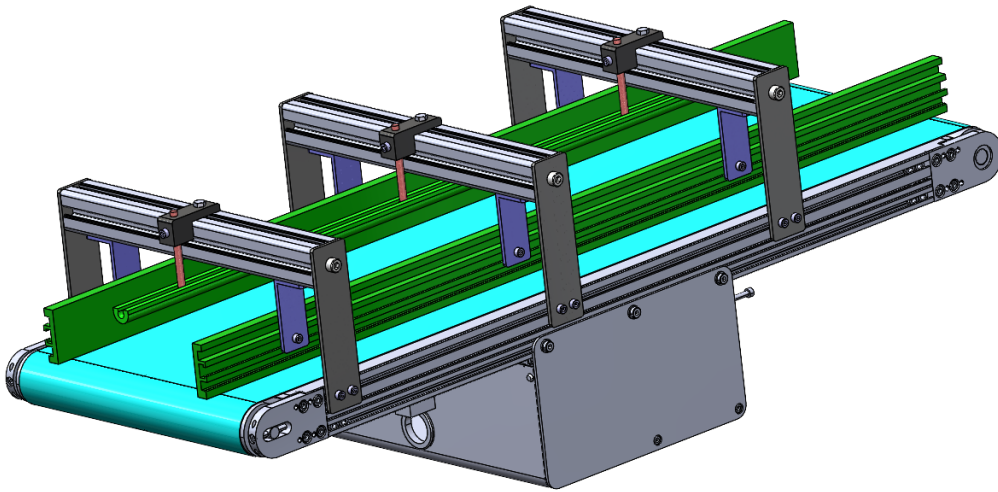
Kuvio 2. Alipainevirtauksien vertailu.

7.5.3 Ejektor

Vertailun tuloksista nähdään, että paras virtaus eli 70 litraa minuutissa oli ejektorilla, 10 mm:n letkulla ja ilman suodatinta. Vuorokauden testauksen jälkeen ejektorin ulostulon äänenvaimennin oli kuitenkin mennyt tukkoon, ilmeisesti paineilmalinjastossa olevan öljyn päästyä äänenvaimentimeen. Vaikka ejektorilla saatiin paras virtaus, päätettiin lopulliseen tyhjäkyseen valita alipainepumppu, jossa käytettiin alipainelinjassa erillistä suodatinta. Virtausmäärä tällä kombinaatiolla oli 59 litraa minuutissa.

7.6 Tuotteen poistokuljetin

Poistokuljettimen suunnittelussa otettiin pohjaksi toimeksiantajan 3D-malleista löytyvä linjalla jo oleva hihnakuuljetin. Tähän kuljettimeen lisättiin sivukaiteet ja yläkaide ohjaamaan imupussia. Suunnittelussa piti ottaa huomioon riittävät säädöt, joilla saatiin estettyä kuljettimen matkalla tuotteen sisään palaavan ilman määrää. Lopulliset säädöt riippuivat myös siitä, että tuote ei jäisi jumiin kuljettimeen, jos kaiteiden välit säädetään liian tiukalle.



Kuva 26. Poistokuljetin.

7.7 Tuotteen jättöpaikka ja laskostus

Projektin viimeisessä vaiheessa ohjelmoitiin vielä robotin jättöpaikan pisteitä. Z-akselin iskun pituutta lisättiin ja kääntökulma muutettiin 100 asteesta 190 asteeseen. Näillä muutoksilla oli tarkoitus saada tuote lähemmäs kuljetinta ja toivottuun asentoon (kuva 27). Koska kyseisen robotin Z-akselin iskunpituudesta loppuivat säätövarat, jouduttiin poistokuljetinta nostamaan paremman laskostuksen saavuttamiseksi. Uusi versio tyhjäyksestä paransi tuotteen irtoamista tarttujasta, koska kääntösyylinteri irrotti imukupin tuotteen kannesta ennen tarttujan avautumista.

Robotin poistoliikettä myös hidastettiin, jotta alipaineella olisi enemmän aikaa tyhjätä imupussi. Nopeuksien muutoksissa piti kuitenkin ottaa huomioon linjaston jaksoaika, koska jos poisto on liian hidas, ei robotti ehdi hakemaan uutta tuotetta hakupaikalta ajoissa. Tällöin linjaston jaksoaika pitenee.

Robotin työkierron liiallista hidastumista saatiin rajoitettua lisäämällä hidastus vain alaspäin menevään Z-akselin liikkeeseen. Liikkeen nopeudeksi asetettiin 25 prosenttia, kun robotin muiden liikkeiden nopeus on 80 prosenttia. Näillä toimenpiteillä ehdittiin tyhjästä imupussi ja päästiin kokoonpanolinjan jaksoaikaan.



Kuva 27. Pussin poisto ja laskostus.

8 Tulokset

Työssä suunniteltiin ja valmistettiin useita erilaisia versioita tarttujaan kiinnitettävistä imulaitteista. Aluksi ajatuksena oli kiinnittää imukuppi tarttujan kynteen, mutta imukupin osuminen kannen imureikään todettiin haastavaksi. Tyhjäys kuitenkin toimi tällä versiolla, kun imukupin kulma ja pituus saatiin oikeaksi. Viikon koeajon jälkeen imukuppi rispaantui eikä enää ollut tiivis, ja tästä seurasi imuvoiman heikentyminen. Imukupin rikkoutuminen johtui tuotteen kannen reunan raapaisusta imukuppiin aina, kun tarttuja avautui ja tuote tippui. Tuotteen huono irtoaminen tarttujasta taas johtui alipaineesta, joka oli vielä päällä, kun tarttuja avautui. Muovituotteen parempi irtoaminen tarttujasta olisi voitu ratkaista ohjaamalla imua ohjaava venttiili kiinni vähän aikaisemmin, ennen tarttujan avautumista.

Uutta versiota tarttujasta alettiin suunnittelemaan heti, kun ensimmäinen versio saatiin koeajoon. Uudessa versiossa robotin tarttujaan lisättiin pieni paineilmatoiminen toimilaite, jolla oli tarkoitus kääntää imukuppi kannen imureikään tarttujan mentyä ensin kiinni. Ohjaus sylinterille otettiin tarttujasynterin paineilmasyötöstä. Kääntösylinterin varteen kiinnitettiin imukuppi ja siihen kytkettiin jo olemassa oleva alipainelinja. Sylinterin paineilmasyöttöön kytketyllä vastusvastaventtiilillä saatiin säädettyä kääntö niin tarkaksi, että imukuppi irtosi kannesta ennen tarttujan avautumista.

Pieniä ongelmia tuotteen irtoamisessa tarttujasta ilmeni myös tällä versiolla. Tuotteen kansi jäi kiinni tarttujan kynteen, kun tarttuja avautui. Kunnollinen irtoaminen ratkaistiin lyhentämällä ja pyöristämällä tarttujan kynsiä ja säätämällä tarttujan avautumisen jälkeistä viivettä. Näiden pienien korjauksien jälkeen saatiin tarttujan uusi versio tuotteen tyhjäyksessä toimimaan ja imukupit kestävämmän.

Seuraavaksi olivat vuorossa robotin nopeuksien ja pisteiden muutokset. Ensimmäisessä vaiheessa yksinkertaistettiin robotin liikerataa poistamalla Z-akselin kiertoliikkeitä. Linjaston työkuormituksesta johtuen ei ehditty ohjelmoida muuta. Toisessa vaiheessa robotin poistoliikkeitä hidastettiin, niin että muovituote ehtii tyhjäytyä ennen hihnakuljettimelle vientiä. Robotin pisteitä muokattiin ja poistokuljetinta nostettiin tuotteen poistopaikan optimoimiseksi. Tuote haluttiin asettaa robotilla mahdollisimman lähelle poistokuljetinta, niin että tuote laskostuisi siististi ja tuotteen kansi jäisi oikeaan asentoon. Näillä kaikilla toimenpiteillä oli tarkoitus estää ilman palaaminen tuotteen sisälle kuljettimen matkalla.

Muovituotteen tyhjäys onnistui ja tuote laskostui poistokuljettimelle hyvin, eikä ilma palannut tuotteeseen kuljettimen matkalla. Alussa hihnakuljettimelle suunniteltuja kaiteita ei tässä vaiheessa asennettu.

Lopuksi huomattiin, että jos jälkikäsittelijä ei ehtinyt jatkokäsittelmään tuotteita linjaston tahtiin, ongelmaksi muodostui ilman palautuminen tuotteeseen takaisin. Tämän projektin tuloksena valmistunut muovituotteen ilmanpoisto rajoittui vain robotin poistoliikkeeseen, joten tuotteen hihnakuljettimen jälkeiseen ilman palaamiseen takaisin tuotteeseen ei voitu enää vaikuttaa.

9 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän työn tavoitteena oli automaattisen tuotantolinjan valmistamien muovituotteiden jatkokäsittelyn helpottaminen. Tarkoituksena oli poistaa ilma tuotteesta robotin siirtoliikkeen aikana ja laskostaa tuote poistokuljettimelle niin, että ilma ei pääsisi palaamaan tuotteeseen ennen pakkaamista. Yrityksessä panostetaan innovointiin ja tuotantolaitteiden ja prosessien jatkuvaan parantamiseen ja kehittämiseen, joka oli myös tämän opinnäytetyön tarkoitus.

Työ alkoi robotin tarttujan muokkaamisella sopivaksi imua varten. Tämän jälkeen asennettiin pumpulta tuleva alipainelinja, suodatin ja imulle tarvittava ohjausventtiili. Tarttujan leuasta tehtiin useita erilaisia versioita, joita koeajettiin linjastolla. Koeajoilla varmistettiin paras ratkaisu tähän kohteeseen. Lopuksi ohjelmoitiin robotin pisteitä ja nopeuksia. Työ sujui hyvin ja suunnitellussa aikataulussa, vaikka sairastumiset ja linjaston työkuormitus viivästyttivät hie- man työn etenemistä.

Lopputuloksena tästä projektista saatiin toimiva sovellus muovituotteen tyhjäykseen. Alussa asetettuihin tavoitteisiin päästiin hyvin ja viimeisin tarttujan imuversio otettiin käyttöön linjastolla. Myös toimeksiantaja oli tyytyväinen tässä opinnäytetyössä kehitettyyn ratkaisuun tuotteen tyhjäyksestä. Yritys pystyy hyödyntämään tässä työssä suunniteltua ja valmistettua tyhjäystarttujaa myös muilla kokoonpanolinjastoilla.

Tulevaisuudessa, kun muovituotteen tyhjäyksestä ja jatkokäsittelyn helpottumisesta saadaan tarkempaa mittausdataa ja kokemuksia, voidaan tyhjäys lisätä kaikille linjastoille. Muissa kokoonpanolinjoissa tuotteen siirto linjastolta jatkokäsittelyyn tapahtuu pneumaattisella manipulaattorilla, joten suunnitelmat ja komponentit vaativat vain pieniä muutoksia, joilla imu saadaan sopimaan kaikille kokoonpanolinjoille.

Tämä projekti oli opinnäytetyöksi sopivan laaja ja haastava. Toimeksiantaja, muut työntekijät ja kokoonpanolinjastot olivat ennestään tuttuja, joten työn aloitus ja tekeminen oli helppoa ja vaivatonta. Aikataulu työn toteutukseen oli sopiva, eikä työ itsessään ollut liian laaja. Työn toteutuksen aikana opittiin paljon yrityksen toimintatavoista suunnittelijan näkökulmasta tuotantoteknologian kehitysosastolla. Jatkossa tulen olemaan mukana jo olemassa olevien linjastojen kehittämisessä ja uusien kokoonpanolinjastojen suunnittelussa.

LÄHTEET

- Ahmed, K. (10.6.2019). Portaalirobotti. <https://grabcad.com/library/cartesian-arm-robot-1>
- BR-Automation. (i.a.). Delta robotti. <https://www.br-automation.com/en/products/machine-centric-robotics/robotics-portfolio/maximum-performance-with-delta-robots/>
- Busch vacuum. (i.a.). Tyhjiöpumppu. <https://www.buschvacuum.com/global/en/products/r5-ra-rc-0010-0016-c.html>
- Creativity AU. (i.a.). FDM 3D tulostin. <https://www.creativityau.com.au/collections/creality-fdm-3d-printer>
- Direct industry. (i.a.). Indeksikuljetin. <https://www.directindustry.com/prod/motion-index-drives-inc/product-59219-389570.html>
- Festo. (i.a.). Vacuum generators. https://www.festo.com/us/en/p/vacuum-generator-id_OVEM/?q=~:festoSortOrderScored
- Flexlink. (i.a.). Palettikuljetin. <https://www.flexlink.com/en/solutions/product/xt-twin-track-pallet-conveyors>
- Fonselius, J., Hautanen, J., Mutikainen, T., Pekkola, K., Salmijärvi, O., Simpura, A. (2000). *Pneumatiikka: Koneautomaatio*. Edita. (Alkuperäinen teos julkaistu 1997).
- Gupta, A., Arora, S., & Westcott, J. (2017). *Industrial automation and robotics: 13.4 Industrial Robot*. Mercury Learning and Information.
- Hautala, M., & Peltonen, H. (2016). *Insinöörin (AMK) Fysiikka osa 1*. Lahden Teho-Opetus.
- Howtorobot. (31.08.2021). Types of industrial robots and their different uses. <https://www.howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>

International Organization for Standardization (ISO). (2021). Manipulating industrial robots. Coordinate systems and motion nomenclatures (ISO Standard No. 8373:2021).

Javanmiri, A. (2011). Kokoonpanorobotisointi konepajateollisuudessa [Kandidaatintyö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto]. Lutpub. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/70843/nbnfi-fe201109132386.pdf?sequence=3>

Kalaskar, D. M. (2017). *3D Printing in Medicine* - 1.1 3D Printing is the Latest Industrial Revolution. Elsevier.

Konta, A., Garcia, M., & Serrano, D. (2017). *Personalised 3D printed medicines: Which techniques and polymers are more successful?* https://www.researchgate.net/publication/319987351_Personalised_3D_Printed_Medicines_Which_Techniques_and_Polymers_Are_More_Successful

Kortelainen, J. (2019). Opas 3D-tulostuksen yleisimpiin tekniikoihin ja niiden haasteiden ratkaisemiseen [ylempi AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/265740/Kortelainen_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Masinawerk. (i.a.). Rullakuljetin. <https://masinawerk.ee/fi>

Omron. (i.a.). XG series Scara robot. <https://industrial.omron.fi/fi/products/x-series>

Profigan. (i.a.). Hihnakuuljetin. <https://profican.fi/tuote/kuljettimet/hihnakuuljetin-bc-50-gm/>

Putkiaivot. (i.a.). Lamellikuuljetin. <https://www.kuljettimet.fi/lamellikuuljettimet>

Schmid, S., Schraft, D. R., & Neugebauer, J-G. (2001). Automation and robotics: Classification of Assembly Types and Choice of Assembly Methods. Teoksessa G. Salvendy (toim.), *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management* (3. p., s. 357–359). John Wiley & Sons.

Serres. (i.a.). Tarinamme. <https://www.serres.com/fi/tarinamme>

SMC. (i.a.). Vacuum pads. <https://www.smc.eu/fi-fi/products/vacuum-products~28914~nav>

Technavio. (31.08.2018). 6 major types of industrial robots used in the global manufacturing 2018. <https://blog.tecnavio.org/blog/major-types-of-industrial-robots>

Vijayalakshmi, S. & Muruganand, S. (2020). *Embedded Vision: An Introduction*. Mercury Learning and Information.

Välimäki, P. (2015). Delta robotin mekaniikkasuunnittelu [AMK-opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. Theseus. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90191/Valimaki_Pasi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Westerland, L. (2000). *The extended arm of man: A history of the industrial robot*. Informationsförlaget.

Wiredworkers. (i.a.). Yhteistyörobotti. <https://wiredworkers.io/product/ur3/>

Zepf, P. J. (2009). Can seamers to corrugated plastic: Conveying Teoksesta K.L. Yam (toim) *Wiley encyclopedia of packaging technology* (3. p., s. 336) John Wiley & Sons.

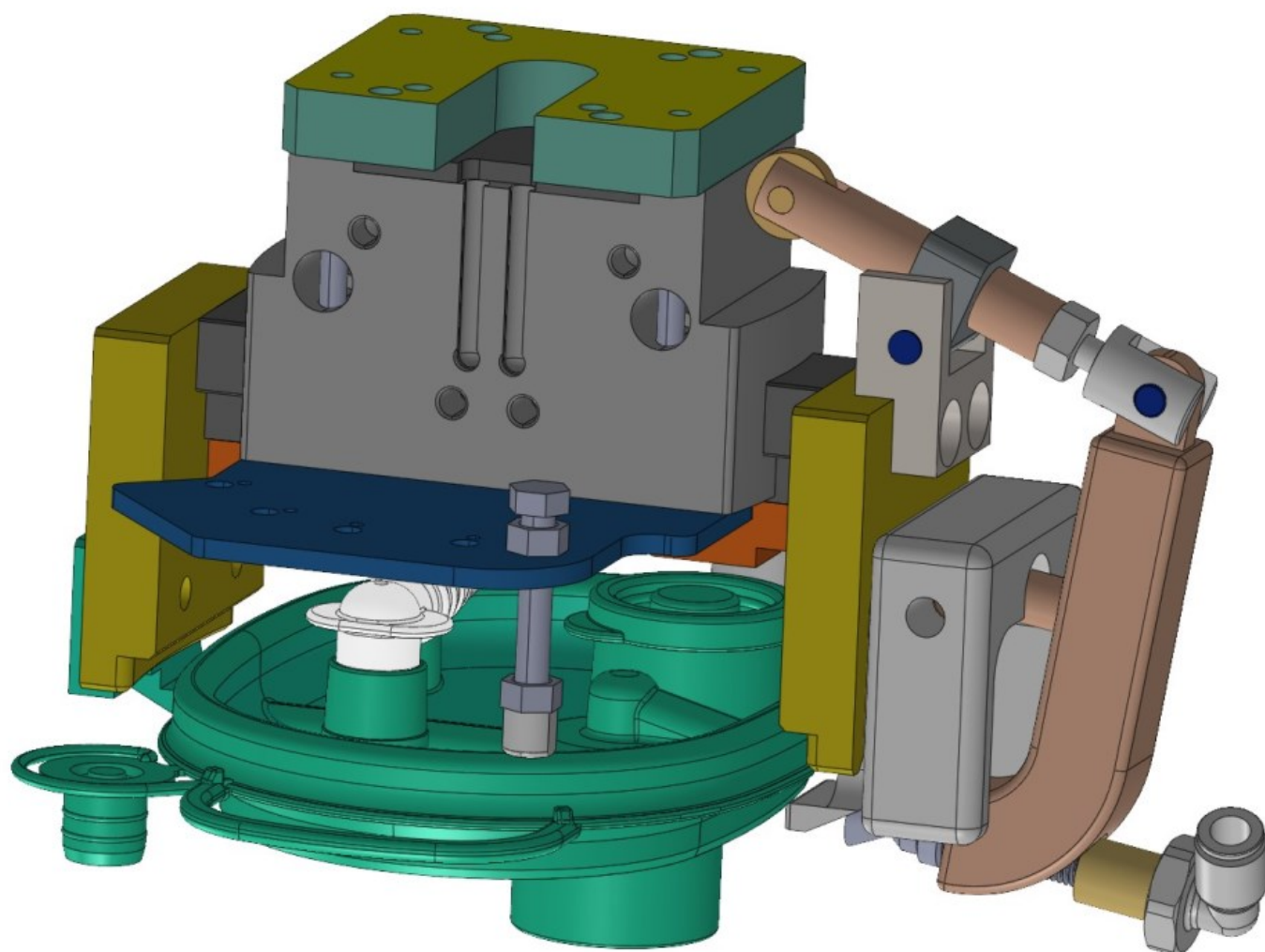
LIITTEET

Liite 1. Tarttuja versio 4

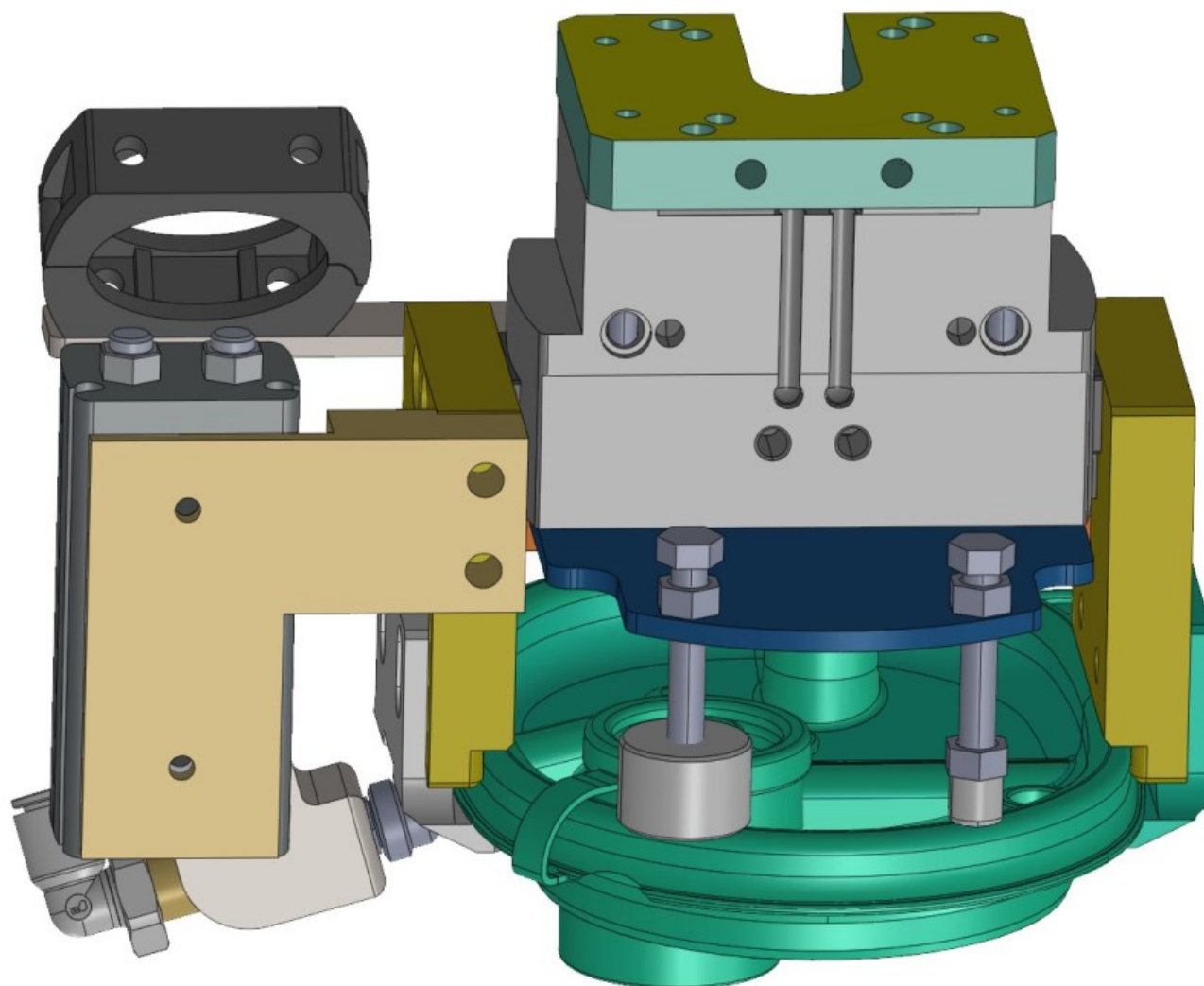
Liite 2. Tarttuja versio 5

Liite 3. Tarttuja versio 6

Liite 1. Tarttuja versio 4



Liite 2. Tarttuja versio 5



Liite 3. Tarttuja versio 6

