



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Samuli Telilä

ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU: ROBOTII- KAN HYÖDYNTÄMINEN TUOTANNON AU- TOMATISOINNISSA

Case SOP-Metal Oy

Tekniikka
2024

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Samuli Telilä
Opinnäytetyön nimi	Robottisolun Suunnittelu : Robotiikan hyödyntäminen tuotannon automatisoinnissa
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	45 + 6 liitettä
Ohjaaja	Juho Pölönen

Tämä opinnäytetyö tehtiin SOP-Metal Oy:lle. Työn tarkoituksena oli tutkia, miten särmäystä voidaan automatisoida. Työn tavoitteena oli suunnitella särmäyssolu, jonka avulla voitaisiin kartoittaa, mitä haasteita ja kipukohtia työtehtävän automatisoinnissa saattaa esiintyä.

Työn aikana käytiin läpi robotiikan historiaa ja toimintaperiaatteita. Tämän tiedon pohjalta lähdettiin tutustumaan robottisolussa toimiviin komponentteihin ja niiden hyötyihin ja haittoihin. Lopuksi tiedon pohjalta suunniteltiin särmäykseen soveltuva robottisolun, jonka avulla voitiin vertailla eri komponenttien toimivuutta SOP-Metallin ongelmassa.

Opinnäytetyön suunnittelu osoitti, että särmäysprosessi voidaan automatisoida, mutta robottisolun käyttöönotto vaatii jatkokehitystä ja tarkempaa tutkimusta. Esimerkkikappaleisiin verrattuna särmäyskone ja robotti olivat aivan liian suuria, mutta suurempien osien valmistukseen ne olisivat perusteltuja. Tarttujaratkaisujen osalta markkinoilta ei löytynyt särmäyskoneen ja robotin koko huomioiden sopivia vaihtoehtoja, joten mukautetun ratkaisun kehittäminen olisi tarpeen. Kokonaisuutena työ tarjosi selkeitä suuntaviivoja ja ratkaisuja tulevaisuuden kehitykselle.

ABSTRACT

Author	Samuli Telilä
Title	Designing a Robotic Cell: Utilizing Robotics in Production Automation
Year	2024
Language	Finnish
Pages	45 + 6 Appendices
Name of Supervisor	Juho Pölönen

This thesis was conducted for SOP-Metal Oy. The purpose of the study was to explore how bending processes can be automated. The focus was to design a bending robot cell to identify the challenges and issues associated with automating this task.

During the project, the history and principles of robotics were reviewed. Based on this knowledge, the study examined the components used in a robotic cell, evaluating their advantages and disadvantages. Finally, a robotic cell suitable for bending operations was designed to compare the functionality of different components in addressing SOP-Metal's challenges.

The thesis demonstrated that the bending process can be automated, but implementing a robotic cell requires further development and research. Compared to the example components, the bending machine and robot were excessively large, but this could be justified for manufacturing larger parts. Regarding gripping solutions, no suitable commercial options were available that matched the size requirements of the bending machine and robot, highlighting the need for a customized solution. Overall, the thesis provided clear guidelines and solutions for future development.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
	1.1 SOP-Metal Oy.....	8
	1.2 Opinnäytetyö	8
2	TEORIA	10
	2.1 Särmäys.....	10
	2.2 Robottiikka	11
	2.3 Robotit	14
	2.4 Teollisuusrobotit ja nivelvarsirobotit.....	15
	2.5 Robotisoitu särmäys	16
	2.6 Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysmalli.....	17
3	SUUNNITTELU JA TOTEUTUS	20
	3.1 Aikataulu ja resursointi	20
	3.2 Esimerkkikappaleet.....	21
	3.3 Vaatimuslista.....	22
	3.4 Konseptointi.....	22
	3.5 Särmäyskone.....	22
	3.6 Robotti	24
	3.7 Jamming Gripper (pallotarttuja)	25
	3.8 Alipainetarttuja	28
	3.9 Sormitarttuja.....	29
	3.10 Vuorottainen yhteistyösolu	30
	3.11 Aidattu robottisolu.....	32
	3.12 Materiaalin tuominen trukkilavalla	34
	3.13 Materiaalin tuominen kuljettimella.....	35
	3.14 Robottisolu.....	36

3.15 Robottisolun toiminnan kuvaus.....	39
4 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	43

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. SOP-Metallin logo (SOP-Metal, 2024a).....	8
Kuva 2. Särmäyksen periaate (Kiviluoto, 2018, s. 53).....	11
Kuva 3. Robottisolun suunnittelu: valitse ominaisuuksista kaksi.....	13
Kuva 4. CoastOne C15 särmäyspuristin (CoastOne, 2024a).....	23
Kuva 5. Jamming Gripper-pallotarttuja (Creative Machines Lab).	26
Kuva 6. Jamming Gripper-tarttujan toiminta (Brown ja muut, 2010, s. 3).....	27
Kuva 7. Imukuppimainen tarttuja (Robotiq, 2024).....	28
Kuva 8. Sienimäinen tarttuja (Mindman. n.d).	29
Kuva 9. Sormitarttuja (DH-Robotics, 2024).	30
Kuva 10. Vuorottaisen yhteistyösolun toimintaperiaate.	31
Kuva 11. Vuorottaisen yhteistyösolun konsepti.	31
Kuva 12. Aidatun robottisolun toimintaperiaate.	33
Kuva 13. Aidatun robottisolun konsepti.	33
Kuva 14. 3D-mallinnettu eurolavajigi.	34
Kuva 15. ABB Vision -tekoälykamera (ABB, 2024c).	36
Kuva 16. Robottisolu.....	36
Kuva 17. IRB 2600ID-8/2.0:n työskentelyetäisyydet (ABB, 2019, s. 1).....	37
Kuva 18. ABB smart gripper (RS Americas, 2024).....	38
Kuva 19. 3D-Mallinnettu CoastOne C15.	38
Kuva 20. Robotti hakemassa kappaletta.	40
Kuva 21. Robotti särmäämässä kappaletta.	40
Kuva 22. Robotti viemässä valmista kappaletta paikoilleen.	40
Taulukko 1. CoastOne C15/C15X Technical Data (CoastOne, 2024b).....	23

LIITELUETTELO

LIITE 1. Vaatimuslista

LIITE 2. Esimerkkikappale W015441-R03

LIITE 3. Esimerkkikappale W015443-R01

LIITE 4. Esimerkkikappale W015477-R05

LIITE 5. Esimerkkikappale W016032-R02

LIITE 6. Esimerkkikappale W016326-B

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin SOP-Metal Oy:lle. Työssä selvitettiin, miten särmäystä voidaan automatisoida suunnittelemalla robotisoitu särmäyssolu. Työn aikana haluttiin kartoittaa suunnittelussa esiintyviä haasteita, joita työtehtävän automatisoinnissa saattaa esiintyä.

Tässä luvussa luodaan pohja opinnäytetyölle ja tutustutaan SOP-Metal Oy:hyn tarkastelemalla yrityksen toimintaa ja historiaa. Lisäksi käydään läpi opinnäytetyön tehtävänanto.

1.1 SOP-Metal Oy

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii vaasalainen vuonna 1993 perustettu konepajayritys SOP-Metal (Kuva 1). Yritys työstää monipuolisia tuotteita aina kuparista alumiiniin ja erilaisiin terässeoksiin sekä tarjoaa asiakkailleen monipuolisia hitsaus-, leikkaus-, taivutus-, työstö- ja kokoonpanopalveluita. SOP-Metal Oy on erikoistunut sähkö- ja energiateollisuudessa käytettävien jäykkien ja joustavien virtakiskojen valmistukseen sekä suunnitteluun. (SOP-Metal, 2024b.)



Kuva 1. SOP-Metallin logo (SOP-Metal, 2024a).

Yrityksen päätoimipiste sijaitsee Vaasassa yrityksen tytäryhtiön Ultracut Oy:n kanssa. Lisäksi yrityksellä on sivutoimipisteet Lappajärvellä (SOP-Metal Oy) ja Virossa (SOP-Metal esti OÜ). SOP-Metal konserniin kuuluu myös Turussa sijaitseva V-S Mikromekaniikka Oy. (SOP-Metal, 2024a.)

1.2 Opinnäytetyö

Robottiikan suosio teollisuudessa on kasvanut huomattavasti viime vuosikymmenen aikana. Tämä on luonut toimintaympäristön, jossa pienilläkin konepajayrityk-

sillä on entistä suurempi paine kasvattaa omaa kilpailukykyään sijoittamalla robotiikkaan. Robotisoinnin painetta tulee myös asiakkailta, jotka saattavat vaatia tuotteiden valmistuksessa tarkkuutta, turvallisuutta ja tehokkuutta, joita ihmiset eivät voi saavuttaa yhtä tehokkaasti.

Oman kilpailukykyensä ja tuotannon tehokkuuden kasvattamiseksi SOP-Metal Oy on tehnyt päätöksen sijoittaa tuotannon robotisointiin ja automatisointiin. Yrityksellä on entuudestaan jo käytössä muutama robottisolun, ja tulevan syksyn aikana yrityksessä otetaan käyttöön uusi 1., miljoonan euron automaattinen EHRT -latan lävistys- ja varastointijärjestelmä (SOP-Metal, 2024c).

Nyt yritys haluaa tutkia automaattisen särmäyskoneen vaikutuksia tuotannon tehokkuuteen. Tällä hetkellä särmäys tapahtuu manuaalisesti asettamalla taivutettavia kappaleita särmäyskoneeseen. Valmiit kappaleet lajitellaan manuaalisesti laatikoihin ja/tai trukkilavoille jatkokäsittelyä varten.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, miten työkuormaa voitaisiin automatisoida. Työn aikana suunnitellaan teoreettinen särmäyssolun, jonka avulla voidaan tarkemmin kartoittaa, minkälaisia haasteita ja kipukohtia työkuorman automatisoinnissa esiintyy.

SOP-Metallilla oli jo entuudestaan ajatus, mitä kappaleita särmäyssolulla haluttaisiin valmistaa, joten näitä käytettiin esimerkkiosina opinnäytetyön aikana. Osiin keskittymällä pystytään tekemään tarkempia päätelmiä, mihin solun hankintavaiheessa kannattaa keskittyä. Opinnäytetyössä keskitytään särmäysratkaisun simuloimiseen ja solun käytössä huomioitavien seikkojen kartoittamiseen. Työssä ei perehdytä tarkemmin keksityn ratkaisun kannattavuuteen, valmistettavuuteen tai muihin ulkopuolisiin seikkoihin.

2 TEORIA

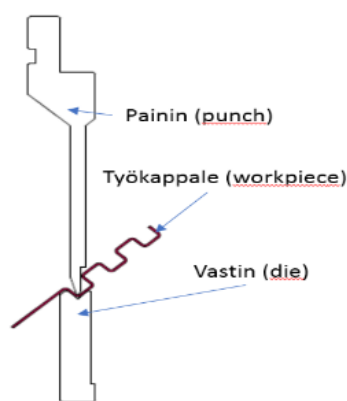
Teoriaosuudessa tutustutaan tarkemmin työn avainaiheisiin, kuten särmäykseen, robotiikkaan sekä robotisoituun särmäykseen. Luvussa perehdytään siihen, mistä särmäys on saanut alkunsa ja mikä tekee siitä relevantin valmistustekniikan yhä nykypäivänä. Lisäksi luvussa tutustutaan siihen, miten robottien suosio on noussut ja miten kehityksen uskotaan jatkuvan tulevaisuudessa. Lopuksi luvussa tarkastellaan, miltä näiden kahden teknologian yhdistyminen näyttää ja minkälaisia ratkaisuja robotisoidusta särmäyksestä on jo olemassa.

2.1 Särmäys

Valmistustekniikkana särmäyksen historia alkaa jo yli 5000 vuotta sitten pronssi- ja rautakaudelta (n. 3000 eaa.) taonnan ja yksinkertaisen metallin taivutuksen muodossa. Vaikka valmistustekniikka ei vielä vastannutkaan modernia särmäystä, perusajatus metallin muokkaamisesta ja taivutuksesta mekaanisen voiman avulla oli jo olemassa. (Kansallismuseo, 2017.) Nykyaikainen särmäys, jossa käytetään mekaanisia puristimia metallin taivutukseen, alkoi kehittyä vasta 1700–1800-luvuilla höyrykoneiden ja teollisen vallankumouksen myötä. Kuitenkin ensimmäinen moderni särmäyskone kehitettiin 1900-luvulla. Nykyään särmäys on pitkälle kehitetty valmistustekniikka, joka hyödyntää tietokoneohjausta, konenäköä sekä robotiikkaa tarkkojen ja monimutkaisten taivutusten tekemiseen nopeasti ja tehokkaasti. (Krrass, 2023; Mac-Tech, 2021.)

Särmäyksellä tarkoitetaan metalliteollisuudessa tapahtuvaa ohutlevyjen taivutusta. Ei kuitenkaan ole epätavallista törmätä käsitteeseen, vaikka puhuttaisiin yli 3,0 mm paksuisten materiaalien taivuttamisesta, jolloin ohutlevyn tekninen määritelmä ei enää toteudu. (Kiviluoto, 2018.) Taivutuksessa / särmäyksessä kappaletta muokataan taivuttamalla sitä materiaalin myötörajan yli jättämällä siihen pysyviä muodonmuutoksia. Yleisimmät taivutettavat materiaalit ovat erilaisia metalleja ja muoveja, mutta kaikkia aineita, joihin saadaan tehtyä taivuttamalla plastisia eli pysyviä muodonmuutoksia, voidaan särmätä. (Camcut, 2024.)

Modernissa särmäyksessä käytetään apuna särmäyspuristimia, jotka voivat toimia mekaanisesti, hydraulisesti tai sähköisesti. Puristimen voimalähteestä huolimatta sen toimintaperiaate on kuitenkin aina sama. Taivutettava kappale asetetaan koneeseen painin- (ylätyökalu) ja vastintyökalun (alatyökalu) väliin, minkä jälkeen painintyökalu puristaa kappaleen vastintyökalua vasten aiheuttaen taitoksen (kuva 2). Särmäyksen aikana taivutettava aine painuu kasaan taitoksen sisäpuolelta ja venyy sen ulkopuolelta. Tämä aiheuttaa materiaalin väsymistä ja jos tätä tapahtuu liikaa, taivutettava kappale heikkenee tai saattaa jopa murtua. (Asuintupa 2020; Kiviluoto, 2018.)



Kuva 2. Särmäyksen periaate (Kiviluoto, 2018, s. 53).

2.2 Robottiikka

Teollisuudessa robotiikan suosio on kasvanut huomattavasti viime vuosikymmenten aikana, eikä suotta: robottien avulla voidaan nopeuttaa tuotantoprosesseja, parantaa valmistettujen tuotteiden laatua sekä vähentää inhimillisten virheiden määrää tuotannossa, mikä vaikuttaa suoraan yrityksen kilpailukykyyn markkinoilla (International Federation of Robotics, 2023, s. 12). Lisäksi teknologian kehityksen myötä robottien kyvyt ja älykkyys ovat parantuneet ja robottien hinnat ovat laskeutuneet. Tämä on tehnyt roboteista entistä houkuttelevampia sijoituskohteita yrityksille. (Ahonen ja muut, 2023, s. 19–23.)

Robotiikan yleistymistä seuraa International Federation of Robotics eli IFR. IFR:n julkaisemien tilastojen mukaan vuonna 2022 käyttöön otettiin ennätyselliset 553 000 teollisuusrobottia. Tämä on viiden prosentin parannus vuoden 2021 edelliseen ennätykseen 526 000 kappaletta. (International Federation of Robotics, 2023, s. 12.) Suomen Robottiikkayhdistyksen mukaan Suomessa otettiin käyttöön 631 teollisuusrobottia samana vuonna. Tämä on lisännyt Suomen vuotuista investointia robotiikkaan yhdeksällä prosentilla eikä kasvun uskota loppuvan. IFR:n mukaan maailmanlaajuinen robotti-investointi tulee kasvamaan vuosittain seitsemällä prosentilla. (Suomen Robottiikkayhdistys, 2023, s. 24–25.)

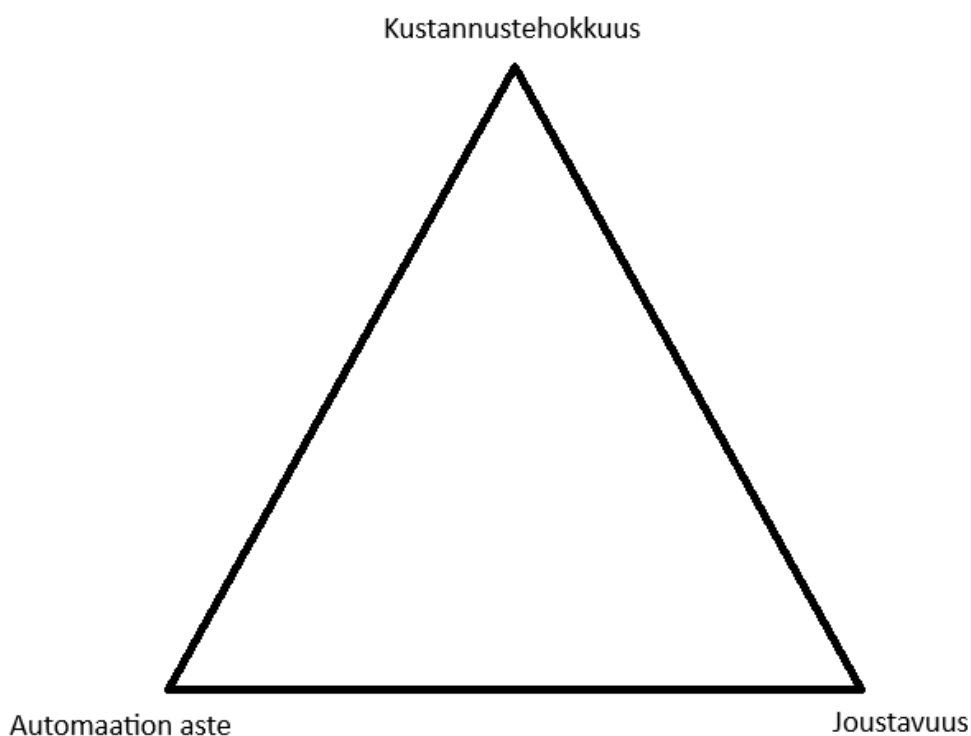
Eniten robotteja hyödynnetään elektroniikka- ja autoteollisuudessa. Konepajateollisuus tulee vasta kolmantena ja sen käyttämien robottien määrä kattaa vain puolet elektroniikka- ja autoteollisuuden roboteista. (International Federation of Robotics, 2023, s. 14.) Koska Suomen teollisuus koostuu suurimmaksi osaksi konepajateollisuudesta, robottien määrät ovat vähäiset verrattuna muihin maihin. Myös Suomessa tyypilliset pienet tuotantosarjat ovat rajoittaneet robotiikan suosiota, sillä pienten tuotantosarjojen valmistuksen automatisointi ei ole yhtä kustannustehokasta kuin suurten tuotesarjojen valmistus.

Robotiikan lisääntyessä myös pienemmillä konepajayrityksillä on entistä suurempi paine kasvattaa omaa kilpailukykyään, mikä taas on kannustanut yrityksiä investoimaan robotteihin ja tuotannon automatisointiin. Jotta automaatiota ja robotiikkaa voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti pienten tuotantosarjojen valmistuksessa, automaattioratkaisujen tulee olla entistä joustavampia ja helpommin muokattavia. (Ahonen ja muut, 2023, s. 16–33.)

Massatuotannon automatisoinnissa robotin tehtävänä on toteuttaa toistuva ennalta määritetty työvaihe, jonka jälkeen valmistettava tuote siirtyy työpisteeltä toiselle seuraavaa työvaihetta varten. Tällä tavalla valmistettavat kappaleet liikkuvat liukuhihnaisesti työpisteeltä toiselle, ja koko tuotantolinja voidaan optimoida yhden tietyn kappaleen valmistukselle. Tuotannon suunnittelussa massatuotantotyölinjaa voidaan ajatella yhtenä suurena kuljettimena, jonka varrella voi

työskennellä jopa kymmeniä robotteja samanaikaisesti eri työvaiheiden parissa. Tällaiset työlinjat voidaan helpommin optimoida valmistamaan suuria määriä samanlaisia tuotteita mahdollisimman tehokkaasti.

Sama lähestymistapa ei kuitenkaan toimi piensarjatuotannossa. Koska tuotantosarjat ovat pieniä ja valmistettavat tuotteet vaihtuvat usein, robotin on pystyttävä adaptoitumaan muutoksiin paljon nopeammin. Robottia voidaan joutua ohjelmoimaan uudelleen useaan kertaan työpäivän aikana. Tuotantosolua ei siis voida samalla lailla optimoida vain yhden kappaleen valmistukselle, vaan saatavilla olevat resurssit tulisi jakaa tasaisesti kaikkien valmistettavien tuotteiden välille. Tämä asettaa automaatiolle paljon omia vaatimuksia ja haasteita, joita ei massatuotannossa tarvitse miettiä (kuva 3). Piensarjatuotannossa olevia tuotantosoluja voidaan ajatella enemmän jyrsimen tapaisina yksittäisinä tuotantokoneina, joiden työtehtävät ovat paljon dynaamisempia verrattuna massatuotantolinjoihin.



Kuva 3. Robottisolun suunnittelu: valitse ominaisuuksista kaksi.

2.3 Robotit

Esimerkkejä roboteista löytyy monilta eri aloilta. Teollisuusrobotteja käytetään nykyään laajasti eri teollisuuden aloilla. Esimerkiksi autoteollisuudessa robotit suorittavat hitsaus- ja kokoonpanotöitä. Palvelusrobotteja, kuten robotti-imureita käytetään apuna kotitöissä ja lääkintärobotit, kuten kirurgiset robotit avustavat terveydenhuollon ammattilaisia vaativissa leikkauksissa.

Sanalla robotti ei kuitenkaan ole yhtä yleisesti hyväksyttyä määritelmää, vaan sen määritelmä voi vaihdella käytetyn lähteen mukaan. Löyhästi määriteltynä sanalla voidaan tarkoittaa järjestelmää, joka pystyy suorittamaan monimutkaisia tehtäviä joko itsenäisesti tai käyttäjän ohjaamana. Tämän määritelmän mukaan robotilla voidaan tarkoittaa tietokoneohjelmaa, kauko-ohjattavaa autoa tai automaattista varastoautomaattia. International Federation of Robotics (IFR) kuitenkin käyttää ISO 8373:2021 standardin mukaista määritelmää:

“Robotti:

Ohjelmoitu tai toimilaitteohjattu mekanismi, jolla on tietty autonomia suorittamaan liikkumista, manipulointia tai asemointia.”

Robotti on siis mekanismi, jolla on jonkinasteinen autonomia suorittaa sille annettuja fyysisiä tehtäviä. Esimerkiksi pelkästään tietokoneen silikonilla toimivat tietokoneohjelmat tai skriptit eivät enää mahdu määritelmän alle, sillä ne eivät operoi fyysisessä maailmassa. Robottien autonomian määrä voi kuitenkin vaihdella merkittävästi riippuen niiden käyttötarkoituksista. (ISO, 2021, s. 1.)

Joissain käyttötarkoituksissa, kuten robottiruohonleikkureissa tai pölynimureissa, laitteen autonomian taso on yleensä korkea. Laitteet suorittavat ennalta ohjelmoituja tehtäviä automaattisesti ja vaativat ihmisen väliintuloa vain joissain kriittisissä tilanteissa, kuten pölypussin vaihdossa. Vastaavasti kirurgisissa roboteissa auto-

nomian taso on hyvin alhainen. Nämä robotit toimivat lähes täysin ihmisen ohjauksessa. Robotit mahdollistavat kirurgin hienovaraisen ja tarkan työskentelyn, mutta ne eivät tee itsenäisiä päätöksiä tai suorita leikkauksia itsenäisesti.

Koska robottien määritelmä on erittäin löyhä, standardissa on pyritty luokittelemaan erilaisia robotteja omiin alaluokkiinsa niiden käyttötarkoitusten mukaan. Esimerkiksi lääkintärobotit, palvelurobotit ja teollisuusrobotit kuuluvat omiin alaluokkiinsa. Tämä jaottelu auttaa paremmin ymmärtämään erilaisten robottien roolit ja käyttökohteet.

2.4 Teollisuusrobotit ja nivelvarsirobotit

Nykyään teollisuudessa robotit hoitavat monenlaisia työtehtäviä, kuten hitsausta, varastointia, maalausta ja kokoonpanoa. Teollisuudessa käytettyjen robottien tarkoituksena on kasvattaa tuottavuutta ja parantaa työn laatua vähentämällä manuaalisen työn määrää. Kehityksen ja automaation lisääntymisen myötä myös monet tuotantokoneet täyttävät nykyään robotin määritelmän. Voidaan esimerkiksi argumentoida, että modernit CNC -koneet tai varastoautomaatit täyttävät robotin määritelmän, vaikka niitä ei kutsutakaan teollisuusroboteiksi.

Teollisuusrobotit ovat yksi robottien määrittelyn apuna käytetty robottien alaluokka, jonka avulla ne voidaan erotella muista roboteista ja automaattisista tuotantokoneista. International Federation of Robotics (IFR) käyttää robottien määrittelyssä ISO 8373:2021 standardia, jossa on annettu teollisuusroboteille oma määritelmänsä.

“Teollisuusrobotti:

automaattisesti ohjattu, uudelleen ohjelmoitava monikäyttöinen manipulaattori, joka on ohjelmoitavissa kolmella tai useammalla akselilla ja joka voi olla kiinteästi asennettu paikalleen, tai kiinnitetty liikkuvalla alustalle teollisuuden automaatio-sovelluksissa”

Standardissa teollisuusrobotit määritellään erityisesti monikäyttöisiksi ja uudelleen ohjelmoitaviksi laitteiksi, jotka kykenevät suorittamaan monia erilaisia tehtäviä. Tämä erottaa teollisuuden robotit vaikkapa CNC-koneista ja varastoautomaateista, sillä ne on suunniteltu tietty työtehtävä mielessä. (ISO, 2021, s. 2.)

Yleisimmät käytössä olevat teollisuusrobotit ovat nivelvarsirobotteja, jotka muistuttavat ihmisen käsivartta. Nimensä mukaisesti nivelvarsirobotit koostuvat nivellillä toisiinsa liitetystä tukivarsista, jotka liikkuvat suhteessa toisiinsa. Robotit luokitellaan omiin kategorioihinsa ohjelmoitavien vapausakselien määrän mukaan. Yleensä nivelvarsiroboteilla on 4–7 vapausakselia, mikä mahdollistaa monipuolisen liikkeen ja soveltuvuuden erilaisiin teollisuuden tehtäviin, kuten hitsaukseen, kokoonpanoon, maalaukseen ja materiaalien käsittelyyn. 6-akseliset nivelvarsirobotit ovat yleisimpiä. (Ahonen ja muut, 2023, s. 19.)

6-akselisissa nivelvarsiroboteissa on kuusi vapausastetta. Robotti pystyy siis liikkumaan vapaasti X-, Y- ja Z-akseleilla. Tämän lisäksi robotti kykenee pyörittämään kolmea tukivarttaan niiden omien akselien ympäri. Käytännössä siis robotti kykenee työskentelemään samassa pisteessä useasta eri asennosta. Tämä tekee 6-akselisista roboteista ihanteellisia moniin eri työtehtäviin, joissa vaaditaan monimutkaisia liikeratoja ja vaikeapääsyisten alueiden käsittelyä. Esimerkiksi autoteollisuudessa nivelvarsirobotteja käytetään laajasti hitsaustöissä, koska niiden joustava liike mahdollistaa tarkkuutta vaativan työskentelyn eri kulmista ja asennoista.

2.5 Robotisoitu särmäys

Särmäyksessä metallilevyjä taivutetaan tarkasti haluttuun muotoon särmäyspuristimella. Prosessin nopeuden, monipuolisuuden ja kustannustehokkuuden ansiosta särmäystä hyödynnetään laajasti eri teollisuudenaloilla. Näistä syistä myös monella teollisuudenalalla on suuri kiinnostus särmäyksen automatisoinnin tason nostamiseen robottien avulla.

Valmistusprosessin robotisoinnilla on potentiaalia tuoda mukanaan paljon etuja. Jos robotisointia voidaan hyödyntää oikeanlaisiin työkuormiin, teollisuusrobottien avulla on mahdollista parantaa työvaiheen tehokkuutta, vähentämällä kappaleiden läpimenoaikoja. Robotti pystyy tekemään tarkkoja ja toistettavia liikkeitä, jotka vähentävät inhimillisten virheiden määrää ja parantavat valmistettujen tuotteiden laatua. Myös henkilöstöön kohdistuvat kulut vähentyvät ja työturvallisuus paranee, kun vaaralliset ja fyysisesti raskaat työvaiheet ulkoistetaan robotille. (Ahonen ja muut, 2023, s. 22.)

Kiinnostus robotisoituun särmäykseen on luonut markkinaraon, jota eri laitevalmistajat ovat pyrkineet täyttämään. Esimerkiksi Yaskawa ja Ama-Prom ovat tuoneet markkinoille omat ratkaisunsa robotisoidusta särmäyksestä. (Ama-Prom, 2024; Yaskawa, 2024a.)

Molemmat laitevalmistajat tarjoavat useita eri ratkaisuja asiakkaan tarpeiden mukaan. Tästä huolimatta solujen toimintaperiaate on kuitenkin aina sama. Robotti osallistuu särmäykseen syöttämällä metallilevyjä särmäyspuristimeen, pitämällä ja kääntelemällä levyjä särmäyksen aikana ja lopuksi poistamalla valmiin kappaleen puristimesta. Ratkaisuissa ihmisen tehtäväksi jää koneiden ohjelmoiminen sekä solun täyttö ja tyhjennys. (Vossi Group Oy, 2024.)

Robotisoidussa särmäyksessä on kuitenkin omat haasteensa. Solu on mitoitettava oikein tuotantotarpeen mukaan ja tuotantomäärien on oltava tarpeeksi suuria, jotta automatisoinnilla saadaan toivottuja hyötyjä. Liian pienet tuotantomäärät voivat rajoittaa särmäyskoneen tehokkuutta, sillä robotti ja särmäyspuristin tulee kalibroida aina uudelleen jokaiselle valmistettavalle tuotteelle.

2.6 Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysmalli

Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysmalli on systemaattinen lähestymistapa tuotesuunnitteluun. Malli tarjoaa selkeän rakenteen ja vaiheittaisen menetelmän, joka auttaa suunnittelijoita kehittämään uusi tuotteita tehokkaasti ja systemaattisesti.

Mallissa suunnitteluprosessi jaetaan lineaarisesti kuuteen eri vaiheeseen. (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16.)

1. Vaihe: Suunnittelu

Ensimmäisessä vaiheessa pyritään ymmärtämään asiakkaan tarpeet ja kartoittamaan asiakkaan toiveet, joiden perusteella määritetään tuotteen keskeiset ominaisuudet. Lisäksi vaiheessa kartoitetaan keskeiset tuotevaatimukset, kuten teknilliset standardit, aikataululliset vaatimukset sekä esille nousevat rajoitteet. Tämän vaiheen tarkoituksena on luoda selkeät rajat tuotteen kehittämiseksi ja määrittää vaatimukset, jotta tuote vastaa asiakkaan tarpeita. (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16.)

2. Vaihe: Konseptin kehitys

Toisessa vaiheessa tarkoituksena on tuoda esiin erilaisia ideoita tuotteelle ja löytää parhaiten asiakkaan tarpeita vastaava konsepti, joka lähdetään seuraavissa vaiheissa kehittämään lopulliseksi tuotteeksi. (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16.)

3. Vaihe: Järjestelmätason suunnittelu

Järjestelmätason suunnittelussa tuotteelle määritetään tarkempi arkkitehtuuri ja päämitat. Lisäksi se jaotellaan omiin moduuleihinsa. Vaiheen loppu pitää sisällään geometrisen suunnitelman, moduulien toiminnallisuuden määrittelyn sekä suunnitelman loppukokoonpanon valmistukselle. (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16.)

4. Vaihe: Yksityiskohtien suunnittelu

Yksityiskohtaiseen suunnitteluvaiheeseen kuuluu materiaalien, geometrioiden ja toleranssien tarkempi määrittely. Suunnitteluvaiheessa myös määritetään tarkemmin eri osien tuotantosuunnitelmat ja tuotteiden 3D-mallit sekä piirustukset

valmistetaan. Lisäksi suunnitellaan mahdolliset valmistuksessa käytettävät työkalut. Tässä vaiheessa tuotteen toiminnallisuus lukitaan, eikä sitä voi muuttaa jatkossa. (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16.)

5. Vaihe: Testaus ja jatkokehitys

Viidennessä vaiheessa tuotteesta valmistetaan prototyyppi / prototyyppijä ja hienosäädetään tuotteessa havaittavia vikoja. Vaiheen tarkoituksena on varmistaa, että tuote vastaa asiakasvaatimuksia sekä kartoittaa tuotteen luotettavuutta ja suorituskykyä. (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16.)

6. Vaihe: Tuotannon käynnistys

Viimeisessä vaiheessa käynnistetään tuotteen tuotanto. Tämän vaiheen tarkoituksena on testata tuotteelle suunniteltua valmistusprosessia sekä samalla kartoittaa tuotannossa havaittavia tuotantohaasteita. Tuotannon käynnistysvaiheessa tarkastellaan ja arvioidaan tuotetta teknisen ja kaupallisen näkökulman kautta. Tavoitteena on kartoittaa kehityskohteita seuraavalle projektille. (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16.)

3 SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tämä luku keskittyy automaattisen särmäyssolun valmistukseen ja tässä luvussa paneudutaan tarkemmin särmäyssolussa toimiviin komponentteihin ja eri ratkaisujen hyviin ja huonoihin puoliin. Luvun lopussa eri komponenteista ja ratkaisuista suunnitellaan lopullinen robottisolun.

3.1 Aikataulu ja resursointi

Opinnäytetyön alussa luotiin projektisuunnitelma, jossa työ jaettiin kolmeen eri työvaiheeseen. Työvaiheiden tarkoituksena oli jakaa työkuormaa ja toimia runkona työn tekemiselle.

Vaihe 1. Työn Ideointi ja aiheeseen tutustuminen

Ensimmäisessä työvaiheessa pyrittiin luomaan hyvä pohja opinnäytetyön tekemiselle. Tätä työvaihetta voisi verrata Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysmenetelmän kahteen ensimmäiseen työvaiheeseen: suunnitteluun ja konseptointiin (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16).

Työvaiheessa tutustuttiin tarkemmin robotiikkaan ja tuotannon tehostamiseen sekä kartoitettiin tarkemmin asiakastarvetta. Työvaiheen aikana luettiin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja vierailtiin konepajamessuilla, jotta saataisiin luotua hyvä pohjakuva erilaisista automaattisista särmäysratkaisuista. Lisäksi asiakastarpeeseen tutustuttiin tarkemmin vierailemalla SOP-Metallin tehtaalla sekä tutustumalla suunniteltavan robottisolun työkuormaan.

Työvaiheen lopussa asiakkaalle esiteltiin robottisolun vaatimuslista sekä alustavia ideoita robottisolun toiminnasta. Asiakkaan hyväksymien ideoiden ja vaatimusten pohjalta siirryttiin seuraavaan vaiheeseen, jossa robottisolua lähdettiin tarkemmin suunnittelemaan.

Vaihe 2. Suunnittelu ja tutkimustyö

Opinnäytetyöprojektin toinen vaihe oli pyhitetty robottisolun suunnittelu- ja tutkimustyölle. Verrattaessa Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysmenetelmään, suunnittelun ja tutkimustyön aikana keskityttiin järjestelmätason ja yksityiskohtien suunnitteluun (Ulrich & Eppinger, 2016, s. 14–16). Työvaiheen aikana ei kuitenkaan ollut tarkoitus suunnitella käyttöönottovalmista robottisolua, vaan tarkoituksena oli luoda lopullista robottisolua kuvaava 3D-malli, jonka avulla voidaan simuloida solun toimintaa ja kartoittaa sen kitkakohtia.

Robottisolun 3D-simulaatioympäristö rakennettiin ABB:n Robotstudio -ohjelmaan. Simulaatioympäristöä rakentaessa pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon Robotstudiosta valmiiksi löytyviä malleja sekä internetistä löytyviä avoimen lähdekoodin malleja. Jos valmiita malleja ei kuitenkaan löytynyt, ne mallinnettiin Siemensin NX12-ohjelmalla

Vaihe 3. Analysointi ja opinnäytetyön kirjoittaminen

Opinnäytetyön kolmannessa vaiheessa keskityttiin robottisolun simuloimiseen ja simuloinnissa saatujen tulosten analysointiin. Lisäksi suuri osa vaiheesta oli pyhitetty lopullisen opinnäytetyön kirjoittamiselle ja muiden opinnäytetyöhön kuuluvien dokumenttien viimeistelyyn.

3.2 Esimerkkikappaleet

Opinnäytetyön alussa SOP-Metallilta saatiin piirustuksia esimerkkikappaleista (Liitteet 2–6), joiden avulla särmäyssolua voitaisiin testata. Näistä piirustuksista valikoitui viisi osaa, jotka 3D-mallinnettiin ja joilla särmäyssolua testattiin. Osat olivat kooltaan varsin pieniä, joten ne eivät antaneet täyttä kuvaa solun tuotekirjastosta, mutta niiden avulla voitiin testata solun toimivuutta. (SOP-Metal, 2024d.)

3.3 Vaatimuslista

Ennen robottisolun suunnittelua särmäyssolulle laadittiin alustava vaatimuslista (Liite 1). Listaan merkittiin erilaisia toiveita ja vaatimuksia ominaisuuksista, joita robottisoluun haluttiin. Listan tarkoituksena oli toimia apuna suunnittelun rinnalla ja antaa karkeita suuntaviivoja robottisolulle ja sen sisällä toimiville laitteille.

3.4 Konseptointi

Robottisolun konseptointiin ei käytetty paljon aikaa. Solun toimintaperiaate valittiin markkinoilla jo olemassa olevien särmäysrobottien perusteella. Näissä soluissa tuotantosolu koostui kolmesta pääelementistä: robotista, särmäyskoneesta ja kuljettimista, joiden yhteistoiminta mahdollisti särmäyssolun itsenäisen toiminnan.

Koska SOP-Metallin tilauskanta vaihtelee paljon, robottisolun tulisi kyetä adaptoitumaan nopeasti näihin vaihteluihin. Tämä tarkoittaa, että solun jokaisen pääelementin tulisi kyetä käsittelemään monenlaisia kappaleita, jotta solua voitaisiin hyödyntää mahdollisimman paljon.

3.5 Särmäyskone

SOP-Metallin toiveesta solua lähdettiin suunnittelemaan CoastOne C15 (kuva 4) servokäyttöisen särmäyskoneen ympärille. Haluttiin, että särmäyskone vastaisi ominaisuuksiltaan yrityksessä jo valmiiksi olevia koneita. Näin pystyttiin varmistamaan, että särmäyskone pystyisi käsittelemään kaikkia yrityksen tilauskannan mukaisia tuotteita.

Servokäyttöinen CoastOne C15 särmäyskone kuuluu laitevalmistajan pienimpiin C-sarjan särmäyspuristimiin. C-sarjan särmäyskoneiden toiminta perustuu kuularuuveihin ja servomoottoreihin, joiden ansiosta koneet ovat erittäin tarkkoja ja helppokäyttöisiä. Lisäksi servokäyttöisiin koneisiin ei tarvitse vaihtaa hydrauliiikkaöljyjä tai suodattimia. (CoastOne, 2024a.)

C15 särmäyspuristin on C-sarjan puristimista suurin. Kone on mitoiltaan noin 2 m x 2 m x 1,5 m, sen taivutuksen maksimipituus on 1,6 m ja koneeseen mahtuu n. 1,5 m leveitä kappaleita. C15-puristimesta on myös olemassa X-versio, joka tarjoaa korkeamman avauman monimutkaisemmille kappaleille ja korkeammille työkaluille. Muuten puristimet ovat ominaisuuksiltaan samanlaiset (Taulukko 1). (CoastOne, 2024.)



Kuva 4. CoastOne C15 särmäyspuristin (CoastOne, 2024a).

Taulukko 1. CoastOne C15/C15X Technical Data (CoastOne, 2024b).

TECHNICAL DATA	DIM.	C15	C15 X
Press tonnage	kN(US tons)	440(48)	440(48)
Motor power	kW	2x5	2x5
Max. bending length (D)	mm	1600	1600
Distance between side frames	mm	1550	1550
Frame width (A)	mm	2230	2230
Frame Height (B)	mm	2150	2500
Frame depth (C)	mm	1550	1550
Throat depth	mm	150	150
Table Height	mm	820	820
Weight	kg	3000	3000
daylight	mm	500	650/800
Y-axis stroke	mm	250	250
Y-axis repeting accuracy	mm	±0.002	±0.002
Y-axis max working speed	mm/s	10 (20°)	10 (20°)
Y-axis approach speed	mm/s	100	100
Y-axis return speed	mm/s	100	100
X-axis speed	mm/s	500	500
X-axis accuracy	mm	±0.025	±0.025
X-axis stroke	mm	600	600
X-axis max position dimentions	mm	750	750
Delta X-axis speed	mm/s	100	100
Delta X-axis accuracy	mm	±0.025	±0.025
Delta X-axis stroke	mm	±50	±50
R-axis speed	mm/s	100	100
R-axis accuracy	mm	±0.05	±0.05
R-axis stroke	mm	200	200
Z-axis speed	mm/s	1000	1000
Z-axis accuracy	mm	±0.5	±0.5
Z-axis stroke	mm	120 to 1480	120 to 1480

3.6 Robotti

Robotin valinnassa robotit jaoteltiin kahteen eri luokkaan: raskaat käsivarsirobotit ja kevyet käsivarsirobotit. Raskaat käsivarsirobotit kykenevät nimensä mukaan käsittelemään suuria massoja, minkä takia ne olivat varteenotettava vaihtoehto särmäyssoluun. Robottien käsittelypainosta ei tulisi pullonkaulaa, ja robotin pitkän ulottuvuuden ansiosta robotti kykenisi toimimaan koko solussa ilman erillisiä lisälaitteita kuten kiskoja.

Yksi raskaista käsivarsirobotivaihtoehdoista oli ABB:n IRB 5710 sarjan robotit. Sarjan robottien ulottuvuus vaihtelee mallin mukaan 2,3 ja 2,7 metrin välillä. Robotti siis ylettyisi työskentelemään suurenkin särmäyskoneen ja useamman trukkilavan ympärillä ilman apuvälineitä. Lisäksi mallin mukaan robotin käsittelypainot vaihtelevat 70 - 110 kg:n välillä, joten robotti kykenisi käsittelemään trukkilavan pituisia lattatankoja. (ABB, 2024a.)

Muiden valmistajien, kuten Yaskawan GP tuotesarjan GP70L – GP110 ja Fanucin R-1000iA tuotesarjan robotit vastaavat ominaisuuksiltaan paljon ABB:n robotteja. Robottien ulottuvuudet vaihtelevat 2,2 – 2,7 metrin välillä ja käsittelypainot 70 – 130 kg:n välillä. Kaikkien valmistajien robotit pystyisivät siis käsittelemään samoja lattamateriaaleja ja niiden ulottuvuudet riittäisivät särmäys solussa operointiin ilman erillisiä kiskoja tai muita apuvälineitä. (ABB, 2024a; Fanuc, 2024a; Yaskawa, 2024b.)

Raskaisiin robotteihin ei kannata sijoittaa, sillä robotilla ei ole tarvetta käsitellä niin suuria massoja. Opinnäytetyötä varten saatujen esimerkkikappaleiden perusteella yli 2 kg:n käsittelypaino riittää hyvin robotille. Robotin ulottuvuuden piti kuitenkin olla tarpeeksi pitkä, jotta se ylettyisi työskentelemään särmäyssolussa. ABB:n valikoimasta IRB1300-7/1.4 – IRB2600 tuotesarjojen robotit sopisivat tähän tehtävään, mukaan lukien ID-tuotesarjojen robotit. Nämä robotit on lähtökohtaisesti

tarkoitettu hitsaukseen ja eri työkalujen operointiin, mutta niitä voidaan käyttää myös kevyiden kappaleiden käsittelyyn. (ABB, 2024b.)

Raskaisiin käsivarsirobotteihin verrattuna edellä mainitut ABB:n robotit ovat käsittelypainoltaan hieman kevyempiä, ja ne eivät ylety aivan yhtä pitkälle. Kuitenkin 7 – 20 kg:n käsittelypainolla ja 1,4 – 1,85 metrin ulottuvuudella robotit pystyisivät operoimaan särmäyssolussa. Myös muilta valmistajilta kuten Yaskawalta ja Fanucilta löytyi vastaavia robotteja. Yaskawan GP8L – GP25 tai Fanucin M10 tuoterperheen robotit ovat verrattavissa ABB:n robotteihin, joten nekin kykenisivät suoriutumaan tehtävästä. (Fanuc, 2024b; Yaskawa, 2024b.)

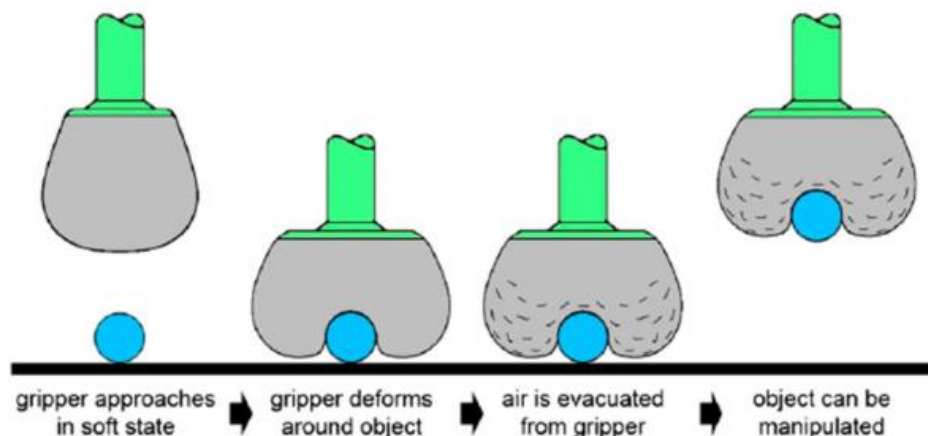
3.7 Jamming Gripper (pallotarttuja)

Alun perin robotin tarttujaksi pohdittiin Jamming Gripperiä tai pallotarttuja tyylistä tarttujaa (Kuva 5). Pallotarttuja pystyy muotoutumaan vaihtelevan kokoisten ja muotoisten kappaleiden ympärille. (Ahonen ja muut, 2023, s. 211–212.) Tästä syystä se sopisi täydellisesti särmäyssoluun, jossa kappaleiden koot ja muodot tulisivat vaihtelemaan paljon. Jokaiselle kappaleelle ei tarvitsisi ohjelmoida omaa poimintapistettä, vaan kaikkien kappaleiden poimintaan voitaisiin käyttää ennalta määriteltyjä pisteitä. Lisäksi tarttujalla ei olisi ongelmaa poimia kappaleita, joiden muodot muuttuvat työvaiheen aikana.



Kuva 5. Jamming Gripper-pallotarttuja (Creative Machines Lab).

Universaalin pallotarttujan toiminta perustuu ilmapallomaiseen ulkokuoreen ja sen sisällä oleviin rakeisiin (Kuva 6). Kun poimittavaa kappaletta lähestytään, tarttujan ulkokuoresta tehdään pehmeä täyttämällä se paineilmalla. Tämän jälkeen tarttuja painetaan nostettavan kappaleen ympärille, ja tarttujan sisällä oleva ilma päästetään ulos. Pallon sisällä olevat rakeet / granulaatti puristuvat tartuttavan kappaleen pintaan kiinni, minkä jälkeen kappaletta voidaan liikutella vapaasti. (Ahonen ja muut, 2023, s. 211–212.)



Kuva 6. Jamming Gripper-tarttujan toiminta (Brown ja muut, 2010, s. 3).

Valitettavasti Jamming Gripper -tyyliset tarttujat eivät ole vielä täysin kaupallistuneet, joten tarttujatyyppeä ei valittu tähän projektiin. Yksi tarttujen suurimmista ongelmista on tartuntapinnan pitkäaikainen kestävyys. Pinnan kestävyys vaihtelee merkittävästi riippuen tartuttavien kappaleiden pinnankarheudesta sekä siinä esiintyvistä terävistä kulmista. Esimerkiksi Empire Roboticsin myymässä tutkimuskäyttöön tarkoitettussa Versaball-gripperissä kalvon kestävyys voi vaihdella 5000:n ja 90 000:n tartuntakerran välillä. (Amend ja muut, 2016.)

Vaikka Jamming Gripper tarttujat eivät vielä sovellu teollisiin sovelluksiin, niiden kehitystä kannattaa seurata. Tarttujia kehitetään jatkuvasti ja esimerkiksi vuonna 2019 julkaistussa tutkimuksessa pallotarttujalla onnistuttiin nostamaan jopa 120 kg painava metallisylinteri (Miettinen ja muut, 2019, s. 427). Tulevaisuudessa pallotarttujilla on paljon potentiaalia toimia valitussa työtehtävässä. Jokaiselle osalle ei tarvitsisi ohjelmoida uniikkeja tartuntapisteitä, mikä yksinkertaistaisi huomattavasti solun ohjelmointia ja täten vähentäisi myös operoinnista syntyviä kustannuksia.

3.8 Alipainetarttuja

Jamming Gripper -tarttujen tapaan alipainetarttijat ovat hyviä yleistarttujia. Tarttujalla voidaan tarttua eri mallisiin kappaleisiin, kunhan kappaleessa on tasainen tartuntapinta, mitä vasten vakuumi saadaan muodostettua. Alipainetarttujen etuna on, että kappaleeseen voidaan tarttua yhdestä suunnasta, eivätkä tyypillisesti pehmeät tartuntapinnat naarmuta tai vahingoita poimittavaa kappaletta. Koska tyypillisesti kappaleeseen tartutaan vain yhdestä suunnasta, riskinä on, että kappale voi irrota tarttujasta, jos siihen kohdistuu liian suuria liikevoimia. (Ahonen ja muut, 2023, s. 207–209.)



Kuva 7. Imukuppimainen tarttuja (Robotiq, 2024).

Alipainetarttujista on olemassa useita eri kaupallisia malleja, jotka soveltuvat myös teolliseen käyttöön. Kaupalliset alipainetarttijat voidaan jakaa kahteen kategoriaan: imukuppimalliset tarttijat (Kuva 7) ja sienimalliset (Kuva 8) tarttijat. Näistä kahdesta mallista imukuppitarttijat ovat huomattavasti yleisempiä. Niitä on saatavilla heti valmiina paketteina sekä modulaarisina rakennussarjoina, jolloin

tarttujasta saadaan rakennettua tarpeen mukainen (Schmalz, 2024; Universal Robots, 2024.). Opinnäytetyössä suunniteltuun robottisoluun ei kuitenkaan löytynyt valmiiksi sopivaa kaupallista tarttujaa, joten se jouduttaisiin suunnittelemaan itse.



Kuva 8. Sienimäinen tarttuja (Mindman. n.d).

Sienitarttujissa vakuumi muodostetaan imukupin sijaan pesusienimäisen solumuovin läpi. Sienimäinen tartuntapää mukautuu tartuttavan kappaleen ympärille, joten kappaleen ei tarvitse olla täysin tasainen. Joissain sienimäisissä tarttujissa on joko aktiivisesti tai passiivisesti ohjattuja tartunta-alueita, jotta tarttujalla voidaan nostaa eri kokoisia kappaleita ilman alipainehäviötä. (Strategies, 2018.)

3.9 Sormitarttuja

Sormitarttuja (Kuva 9) ovat yksi suosituimmista tarttujamalleista. Yksittäisillä sormitarttujilla voidaan käsitellä suuriakin kappalekirjastoja. Riippuen siitä toimiiko tarttuja sähköllä, pneumatikalla vai hydraulikalla sormitarttujalla, voidaan nostaa

painaviakin kappaleita. Sormitarttujan avulla voidaan käsitellä erimuotoisia kappaleita, kunhan se ylettyy ottamaan kiinni kappaleen ympäriltä. (Ahonen ja muut, 2023, s. 204–205.)

Särmäyssolussa sormitarttujen huonona puolena on, että tarttujan pitää ylettyä tartuttavan kappaleen ympärille. Vaikka tämä todennäköisesti onnistuisi monen osan kohdalla, niin ominaisuus saattaisi rajoittaa robotin käyttöä verrattuna alipainetarttujaan. Esimerkiksi opinnäytetyöhön saatujen esimerkkikappaleiden käsittelyyn sopivat pienikokoiset sormitarttijat eivät soveltuisi suurempien kappaleiden käsittelyyn. Sama pätee myös toisin päin: suurempien kappaleiden käsittelyyn paremmin soveltuvat tarttijat ovat yleensä liian kömpelöitä pienien esimerkkikappaleiden käsittelyyn.

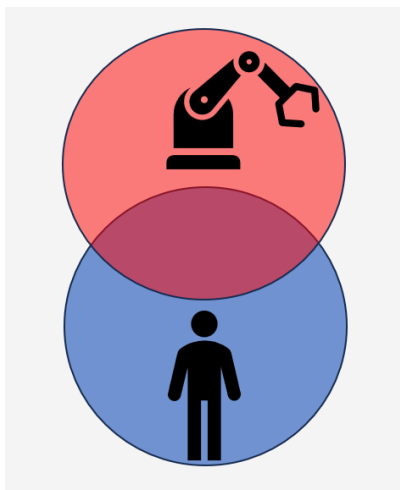


Kuva 9. Sormitarttuja (DH-Robotics, 2024).

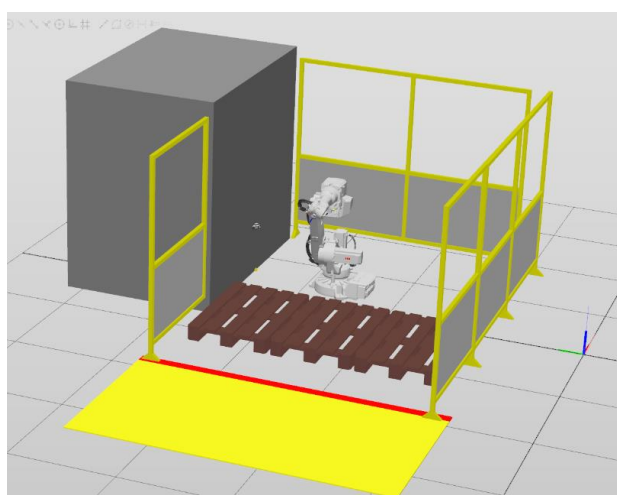
3.10 Vuorottainen yhteistyösolu

Yhtenä materiaalin käsittelyvaihtoehtona pidettiin vuorottaista yhteistyösolua. Tässä ratkaisussa ihminen ja robotti jakavat saman työtilan, mutta työskentelevät

siellä vuorotellen (Kuva 10). Tällainen vaihtoehto mahdollistaa helpon ja kivuttoman yhteistyön ihmisen ja robotin välillä. (Ahonen ja muut, 2023, s. 73–74.)



Kuva 10. Vuorottaisen yhteistyösolun toimintaperiaate.



Kuva 11. Vuorottaisen yhteistyösolun konsepti.

Vuorottaisessa yhteistyösolukonseptissa [Kuva 11] tarkoituksena oli, että ihminen tuo käsiteltävät kappaleet trukkilavalla robotille. Antureiden ja skannereiden avulla havaitaan, kun ihminen lähestyy robottisolua, jolloin robotin vauhti hidastuu. Jos ihminen ylittää suojapysäytysrajan, robotti menee suojapysäytystilaan ja pysähtyy kokonaan. Kun robotti on suojapysäytystilassa, ihminen pystyy tuomaan

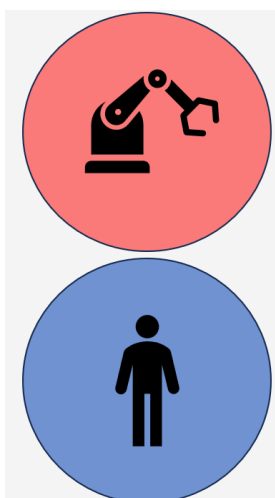
soluun uusia trukkilavoja ja viemään vanhoja pois. Kun ihminen on poistunut robottisolusta, suojapysäytystila voidaan kytkeä pois päältä ja robotti pystyy jatkamaan särmäystä. (Ahonen ja muut, 2023, s. 73–74.)

Vuorottaisen yhteistyösolun etuna on ehdottomasti ihmisen ja robotin välisen yhteistyön kivittomuus. Teoreettisesti tällaisessa ratkaisussa robottisolun tarvitsee pysähtyä ainoastaan trukkilavojen vaihdon ajaksi ja robottisolua pystyttäisiin käyttämään lähes jatkuvasti. Lisäksi ongelmatilanteen sattuessa ihmisen on helppo astua robotin työtilaan korjaamaan ongelma. (Ahonen ja muut, 2023, s. 73–74.)

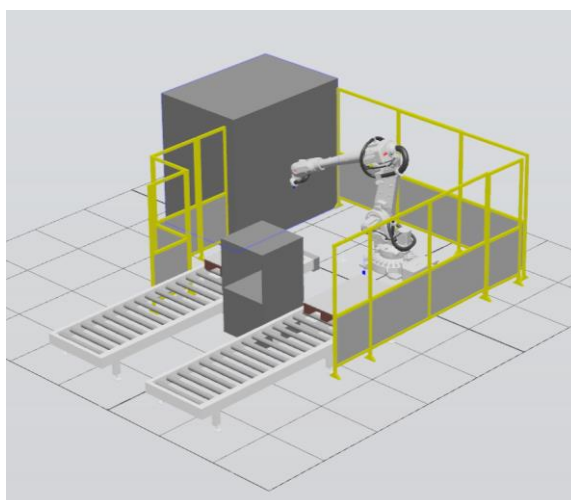
Vuorottaisen yhteistyösolun ongelmaksi havaittiin kuitenkin ohjelmien toistettavuus, minkä takia konseptista luovuttiin. Ilman automaattista poimintapisteiden kalibrointia jokaisen lavanvaihdon yhteydessä robotille jouduttaisiin opettamaan lavan ja siellä olevien kappaleiden paikkapisteet. Tämä vuorostaan hidastaisi robotin käyttöä huomattavasti. (Ahonen ja muut, 2023, s. 73–74.)

3.11 Aidattu robottisolu

Aidattu robottisolu (Kuva 13) muistuttaa paljon vuorottaista yhteistyösolua. Aidatussa robottisolussa robotti ja ihminen eivät jaa missään kohtaa samaa työtilaa, vaan molemmat työskentelevät omissa tiloissaan [Kuva 12]. Materiaalit liikkuvat erilaisten kuljettimien avulla soluun ja sieltä pois. Tällainen toimintaperiaate mahdollistaa teoriassa robotin yhtäjaksoisen ajamisen täydellä tuotantonopeudella, eikä robottia tarvitse pysäyttää ollenkaan. (Ahonen ja muut, 2023, s. 73–74.)



Kuva 12. Aidatun robottisolun toimintaperiaate.

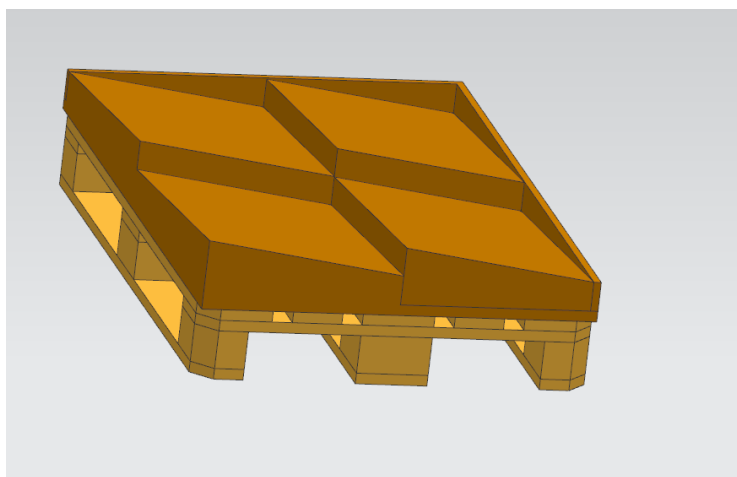


Kuva 13. Aidatun robottisolun konsepti.

Aidatun robottisolun suurin etu on kuitenkin helpompi materiaalin seuranta. Kuljettimilla materiaalin seuraaminen on huomattavasti helpompaa kuin ihmisen tuomana. Kun soluun saapuvia osia voidaan seurata aktiivisesti eri antureiden avulla, robotille ei tarvitse opettaa manuaalisesti jokaista poimintapistettä erikseen, vaan se voi automaattisesti laskea jokaisen poimintapisteen kappaleen sijainnista. Tämä vähentää robotin operoimiseen käytettyä aikaa. (Ahonen ja muut, 2023, s. 73–74.)

3.12 Materiaalin tuominen trukkilavalla

Projektin alusta lähtien oli tarkoituksena, että materiaali kulkisi soluun ja sieltä pois trukkilavan avulla. Trukkilavojen käyttö on tärkeää, sillä ne ovat yleinen standardoitu alusta logistiikassa ja tavarankäsittelyssä. Materiaalin liikuttelussa ja varastoinnissa voitaisiin hyödyntää olemassa olevaa infrastruktuuria, sillä trukkilavoja käytetään kaikkialla. Jos niitä voitaisiin hyödyntää robottisolussa, materiaalia ei välttämättä tarvitsisi liikutella trukkilavalta erilliselle syöttimelle tai ulostulolta takaisin lavalle.



Kuva 14. 3D-mallinnettu eurolavajigi.

Perinteisen trukkilavan käyttäminen robotin syöttimellä aiheuttaa kuitenkin myös ongelmia. Trukkilavalle lastatut materiaalit ovat helposti sekaisin lavalla ja niiden asennot sekä sijainnit vaihtelevat huomattavasti. Tästä syystä syöttimellä toimivan trukkilavan päälle suunniteltiin jigi (Kuva 14).

Eurolavajigin kaltevat pinnat ja porrastettu rakenne estävät materiaalin liikkumisen kuljetuksen aikana ja eliminoi tarpeen lisätä robottisoluun kappaleen tunnistuslogiikkaa. Koska jigi on rakennettu EURO-lavastandardin (SFS, 2003) mukaisesti, sen avulla voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa infrastruktuuria, mikä säästää aikaa ja vähentää materiaalin ylimääräistä käsittelyä. Särmäystä edeltävän työvai-

heen yhteydessä särmättävät materiaalit voidaan valmiiksi lastata jigiin, minkä jälkeen ne voidaan kuljettaa suoraan särmäyssoluun tai sille varatulle varastopaikalle.

3.13 Materiaalin tuominen kuljettimella

Eurolavan lisäksi solussa haluttiin tutkia, miten pienten kappaleiden ja kuluerien särmäystä voitaisiin automatisoida. Vaikka niiden kuljettaminen lavoilla on mahdollista, se ei aina ole järkevä vaihtoehto logistiikan kannalta. Jos kappaleet voidaan varastoida trukkilavaa pienempiin laatikoihin, on se logistisesti parempi ratkaisu.

Tällaisia tilanteita varten robottisoluun lisättiin liukuhihna toiseksi syöttimeksi. Jotta liukuhihnan kanssa työskentely olisi mahdollisimman kivutonta robottiin lisättiin ABB:n Conveyer Tracking module (CTM module). Moduulin avulla voitiin seurata useiden kappaleiden tarkkaa sijaintia kuljettimella ja robotin liikkeet synkronoitiin kuljettimen liikkeisiin ilman, että kuljettimen tarvitsi pysähtyä. (ABB, 2018.)

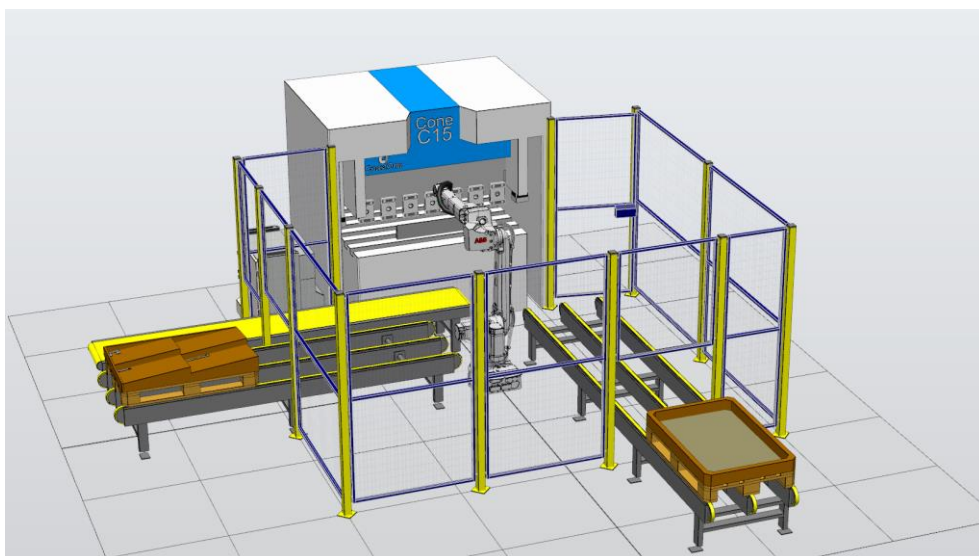
Jos CTM-moduuli yhdistetään tunnistusjärjestelmän, kuten ABB Vision -moduulin kanssa (Kuva 15), kappaleiden poiminta voidaan automatisoida kokonaan. CTM-moduuli seuraa kappaleiden tarkkaa sijaintia kuljettimella, ja vision -moduulin avulla voidaan tunnistaa kappaleet ja niiden orientaatiot. (ABB, 2024c.) Näiden tietojen avulla järjestelmälle ei tarvitse erikseen kertoa, mitä kappaleita liukuhihnalle syötetään eikä kappaleiden orientaatiolla ole väliä. Järjestelmä osaa automaattisesti tunnistaa kappaleen ja viedä sen oikeassa asennossa särmäyskoneelle.



Kuva 15. ABB Vision -tekoälykamera (ABB, 2024c).

3.14 Robottisolu

Särmäyssolu (Kuva 16) suunniteltiin ABB:n Robotstudio 2024 -ohjelmalla. Robottisolu suunniteltiin aidattu robottisolu -menetelmällä, jossa robottisolun ympärille rakennetaan turva-aita. Tämä vähentää henkilövahinkojen riskiä ja mahdollistaa robotin toiminnan täydellä nopeudella.

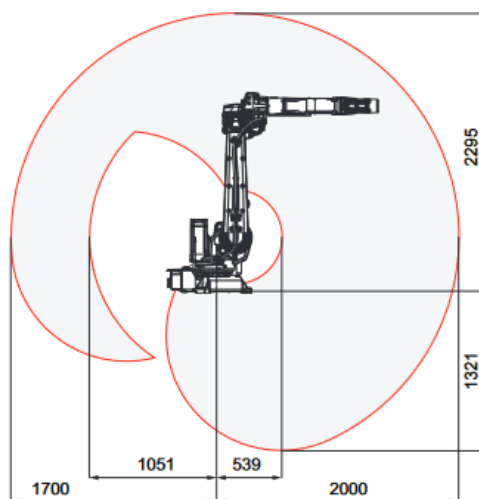


Kuva 16. Robottisolu.

Koska opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten särmäystä voitaisiin automatisoida, soluun suunniteltiin kaksi erilaista tapaa tuoda materiaalia: trukkilavalla ja kuljettimella. Trukkilavamenetelmässä hyödynnettiin eurolavajigiä, josta robotti voi poimia kappaleita tarkasti ennalta määritetyistä poimintapisteistä. Kuljettimella

puolestaan hyödynnettiin ABB:n conveyor tracking moduulia (CTM) ja Integrated Vision konenäkökameraita, joiden avulla kappaleiden poiminta automatisoitiin. Näiden kahden vaihtoehdon ansiosta simulaatiolla voitiin testata molempien menetelmien toimivuutta.

Robotiksi valittiin ABB:n IRB 2600ID-käsivarsirobotti 8 kg:n käsittelypainolla ja 2 metrin ulottuvuudella (kuva 17). Robotilla pystyi helposti käsittelemään opinnäytetyön esimerkkikappaleita ilman erillisiä apuvälineitä. Integrated Dressing eli ID-järjestelmän ansiosta robotin sykliajat lyhenevät jopa 15 prosenttia, sillä robotin kaikki kaapelit ja letkut ohjautuvat robotin ylävarren ja ranteen sisäpuolelle. (ABB, 2019, s. 1–2.)



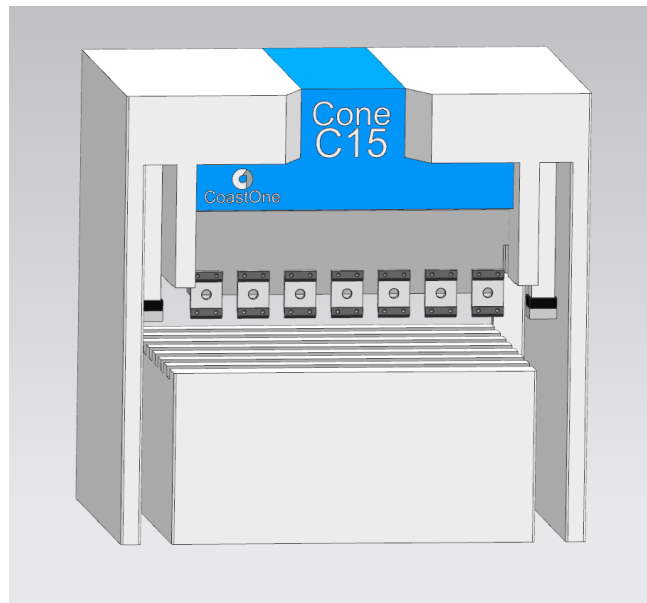
Kuva 17. IRB 2600ID-8/2.0:n työskentelyetäisyydet (ABB, 2019, s. 1).

Robotille ei löydetty tarttujaa, joka olisi kyennyt täyttämään kaikki robottisolun vaatimustenmukaiset tehtävät. Tarttujaksi kuitenkin valikoitui ABB:n smart gripper (Kuva 18), jota tyypillisemmin käytetään ABB:n yhteistyöroboteissa, kuten YuMissa. (ABB, 2024d.) Tarttuja pystyi käsittelemään kaikkia SOP-Metallilta saatuja esimerkkiosia, mutta solun muihin komponentteihin verrattuna tarttuja oli aivan liian pieni. Todellisuudessa suurempi versio smart gripperistä olisi erittäin hyvä ratkaisu robottisolun.



Kuva 18. ABB smart gripper (RS Americas, 2024).

Särmäyskoneeksi RobotStudioon mallinnettiin Siemens NX12 ohjelmalla luonnos CoastOne C15 särmäyskoneesta (Kuva 19). Malli koostui kahdesta eri kappaleesta: särmäyskoneen rungosta ja painimesta. Tämä rakenne mahdollisti särmäyskoneen toiminnan simuloimisen RobotStudiassa, jossa painimen ylös alas liike voitiin animoida. Särmäyskoneen mallia käytettiin apuna sen päämittojen kuvaamisessa ja solun virtuaalisessa suunnittelussa.



Kuva 19. 3D-Mallinnettu CoastOne C15.

3.15 Robottisolun toiminnan kuvaus

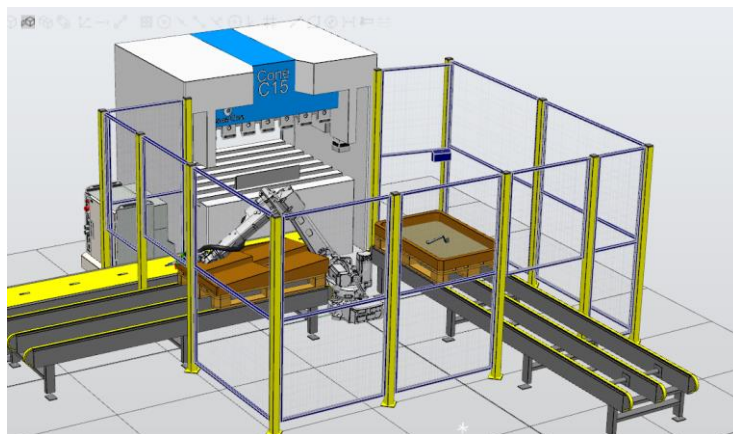
Simulaatiossa särmäyssolua ohjattiin kokonaan robotin ohjaimella. Eri toimilaitteiden toimintaa on simuloitu RobotStudio Smart Componenttien avulla. Smart componentit ovat älykkäitä mallinnuskomponentteja, joiden avulla voitiin simuloida oikeiden laitteiden ja järjestelmien toiminnallisuutta robottisolussa. Niiden avulla luotiin myös esimerkiksi liikkuvia elementtejä tai simuloitiin erilaisten anturien toimintaa.

Robotin ohjelmat jaettiin kolmeen eri ohjelmamoduuliin: MainModule, Movement Module ja IOModule. Näiden moduulien tarkoituksena oli helpottaa robotin työkierron ymmärtämistä ja nopeuttaa ohjelmointia. MainModulessa sijaitsi robotin pääohjelma, joka kertoi robotille, mitä toimintoja sen pitäisi tehdä ja kuinka monta kertaa. Movement moduuliin sen sijaan oli määritetty eri kappaleiden ja toimintojen työkiertoja. Jokaisella kappaleella oli moduulissa oma ohjelma, joka voitiin tarvittaessa kutsua MainModuulista. IOModule taas piti sisällään robotin eri IO (Input / Output) komentoja, joita voitiin tarvittaessa kutsua Main- tai Movement moduuleista.

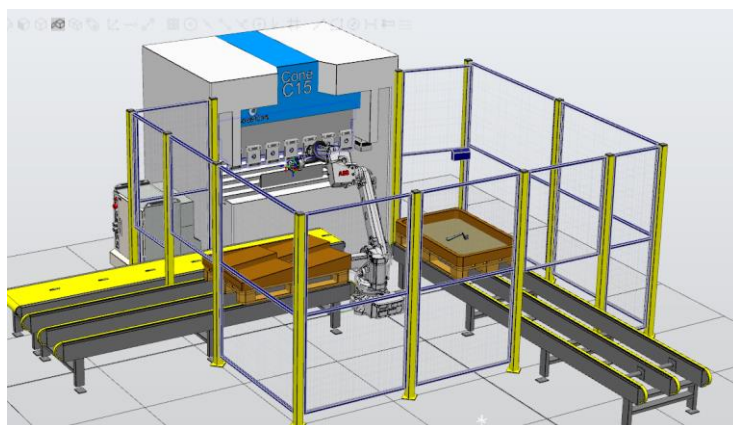
Jokainen robotilla ajettu ohjelma alkoi solussa olevien toimilaitteiden kotiuttamisella eli jokainen toimilaite ajettiin omaan kotiasentoonsa. Näin varmistettiin, että jokaisen laitteen tila tiedettiin solussa ja välttyttiin turhilta virheiltä sekä törmäyksiltä. Viimeistään tässä vaiheessa robotille alettiin syöttämään materiaalia.

Kappaleet, jotka syötetään kuljetinta pitkin, robotti tunnistaa ja poimii automaattisesti. Eurolavajigillä tuodut kappaleet robotti poimii etukäteen määritettyjen poimintapisteiden mukaisesti (kuva 20). Poiminnan jälkeen robotti vie kappaleet särmäyspuristimelle särmättäväksi ja antaa särmäyskoneelle IO-käskyn särmätä kappale (kuva 21). Kun särmäyskone on lopettanut oman työkiertonsa, robotti voi tarvittaessa kääntää särmättävän kappaleen ja toistaa työkierron. Vaihtoehtoisesti se vie valmiin kappaleen trukkilavalle tai sen päälle asetettuun laatikkoon

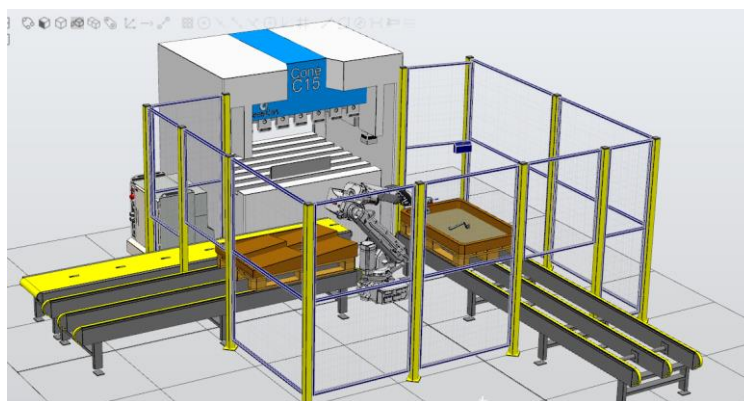
(kuva 22). Kun kaikki kappaleet on särmätty, ihminen voi hakea valmiit kappaleet robotin ulostulolta ja ne voidaan viedä jatkokäsittelyyn.



Kuva 20. Robotti hakemassa kappaletta.



Kuva 21. Robotti särmäämässä kappaletta.



Kuva 22. Robotti viemässä valmista kappaletta paikoilleen.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, miten särmäysprosessi voitaisiin automatisoida robottisolun avulla. Lisäksi työn aikana haluttiin kartoittaa ongelmia, joita ratkaisun käyttöönotossa saattaisi ilmetä. Opinnäytetyön aikana suunniteltu robottisolu toimii hyvänä esimerkkinä särmäysprosessin automatisoinnista. Suunnittelun aikana ilmeni kuitenkin ongelmia, joita kannattaa tulevaisuudessa tutkia tarkemmin ennen automaattisen särmäuskoneen käyttöönottoa.

Työn aikana suunniteltiin monipuolinen malli, joka sisälsi kappaleiden syötön sekä trukkilavalta että kuljettimelta. Molemmat ratkaisut todettiin toiminnallisuudeltaan kannattaviksi, mutta ratkaisujen samanaikainen integroiminen soluun ei välttämättä ole tuotannon kannalta järkevin ratkaisu. Lisäksi havaittiin, että särmäyskone osoittautui tarpeettoman suureksi esimerkkikappaleille, jolloin koneen mukaan valittu robottikin oli liian suuri.

Jos solussa halutaan valmistaa myös esimerkkikappaleita suurempia osia, havaittiin, että markkinoilla ei ole yksitäistä toimivaa tarttujaratkaisua robottisolun vaatimuksille. Käyttöönotettavassa solussa jouduttaisiin todennäköisesti hyödyntämään useita eri tarttujia, tai soluun pitäisi suunnitella mukautettu tarttujaratkaisu. Tämä tarttuja voisi yhdistää erikokoisia alipaine- ja servotarttujia sekä integroidun konenäköratkaisun.

Työn eteneminen oli kokonaisuudessaan suunniteltua hitaampaa, ja jälkikäteen katsottuna joitain asioita oltaisiin voitu tehdä toisin. Kokonaisuutena työ on kuitenkin onnistunut, sillä sen aikana suunniteltu robottisolu toimii ja vastaa opinnäytetyön alussa asetettuja vaatimuksia. Solu ei kuitenkaan ole valmis käyttöönotettavaksi, vaan sen kehitystä pitää jatkaa. Solun suunnittelussa ja simuloinnissa olisi vielä tehtävää ja läpikäytäviä asioita, jotka pitää huomioida ennen solun käyttöönottamista.

Suunnittelun kannalta robottisolu pitäisi rakentaa uudestaan täysin kaupallisista osista ja laitteista, jotta solun valmistuskustannuksia voitaisiin arvioida. Tällä hetkellä solun aidat ja kuljettimet eivät ole kaupallisia malleja vaan soluun rakennettuja kuvituksia. Lisäksi soluun pitäisi etsiä tai vaihtoehtoisesti suunnitella sopiva tarttujaratkaisu, jotta tarttuja ei olisi solun suurin pullonkaula.

Simuloinnin kannalta ennen lopullisen särmäyssolun käyttöönottoa, solun toimintaa tulisi testata erikokoisilla esimerkkikappaleilla. Lisäksi solun kannattavuutta voitaisiin tutkia ja laskea tarkemmin suuremmalla määrällä esimerkkikappaleita.

Jos yritys haluaa tulevaisuudessa investoida särmäyssoluun, kannattaa sen tutustua tarkemmin markkinoilla oleviin valmiisiin ratkaisuihin. Valmis robottisolu tunnetulta laitevalmistajalta voisi olla helpompi, halvempi ja käytännöllisempi ratkaisu verrattuna oman robottisolun suunnitteluun. Ei kuitenkaan tule unohtaa mukautetun robottisolun etuja skaalattavuudessa ja yhteensopivuudessa muun tuotannon rinnalla.

Vaikka työn aikana ei onnistuttu suunnittelemaan käyttöönotettavaa robottisolua, se onnistui vastaamaan kaikkiin työn alussa sille annettuihin tavoitteisiin. Lisäksi työn aikana onnistuttiin keksimään ratkaisuja ja tarjoamaan selkeitä suuntaviivoja, joita voidaan hyödyntää myös jatkossa.

LÄHTEET

- ABB. (2018). *Conveyor Tracking Module*. Haettu 21.11.2024 osoitteesta
<https://library.e.abb.com/public/1c8cb39c0b8b40e585901d487eac10a1/Conveyor-Tracking-Module-CTM-presentation-rev.A-9AKK107046A7025.pdf>
- ABB. (2019). *IRB 2600ID Industrial robot*. Haettu 21.11.2024 osoitteesta data sheet.
https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0205EN_A&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch
- ABB. (2024a). *IRB 5710 Large size robot for material handling, payload from 70kg to 110kg*. Haettu 2.1.2024 osoitteesta
<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108466A6229&Language->
- ABB. (2024b). *Our Portfolio*. Haettu 4.4.2024 osoitteesta Articulated robots.
<https://new.abb.com/products/robotics/robots>
- ABB. (2024c). *Integrated Vision*. Haettu 21.11.2024 osoitteesta
<https://new.abb.com/products/robotics/equipment-ecosystem/vision-systems/integrated-vision>
- ABB. (2024d). *Dual-arm YuMI® - IRB 14000*. Haettu 5.4.2024 osoitteesta
<https://new.abb.com/products/robotics/robots/collaborative-robots/yumi/dual-arm>
- Ahonen, T-P., Aro, J., Asikainen, J., Billing, M., Christophe, F., Gautam, M., Haapakoski, T., Holamo, O-P., Kapiainen, P., Karvonen, H., Kolehmainen, P., Kytöharju, J., Lanz, M., Latokartano, J., Leinonen, J., Lempiäinen, J., Liljamo, J., Liuha, A., Närhi, J., Paasio, L., Partanen, A., Pöysäri, S., Röning, J., Salmela, A., Siltala, N. & Skriko, T. (2023). *Teollisuuden robotiikka*.
- Ama-Prom. (2024). *Robotisoitu Särmäys*. Haettu 19.9.2024 osoitteesta
https://www.ama-prom.fi/koneet/robotisoitu-sarmays?_im-LZXzSjtn=8377940640997598029

- Amend, J., Cheng, N., Fakhouri, S. & Culley, B. (2016). *Soft Robotics Commercialization: Jamming Grippers from Research to Product*. Soft Robotics. <https://doi.org/10.1089/soro.2016.0021>
- Asuintupa, N. (2020). *Särmäyksen asetusaikojen lyhentäminen*. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoki: <https://www.theseus.fi/handle/10024/503132>
- Brown, E., Rodenberg, N., Amend, J., Mozeika, A., Steltz, E., Mitchell, Z. R., Lipson, H. & Jaeger, H. M. (2010). *Schematic of operation*. New York: Cornell University. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1009.4444>
- Camcut. (2024). *Plastinen muodonmuutos*. Haettu 16.9.2024 osoitteesta <https://www.camcut.fi/tuki/konepajasanasto/plastinen-muodonmuutos/>
- CoastOne. (2024a). *Koneemme C-Sarjan Särmäyspuristimet*. Haettu 17.11.2024 osoitteesta <https://coastone.fi/>
- CoastOne. (2024b). *CoastOne Cone C15/C15X Technical Data Sheet*. Haettu 4.4. 2024 osoitteesta <https://www.coastone.co.uk/downloads/techsheets/techspec-c15-c15x.pdf>
- DH-Robotics. (2024). *AG-105-145 sormitarttuja*. <https://en.dh-robotics.com/product/ag>
- Fanuc. (2024a). *Fanuc R-1000-series*. Haettu 4.4.2024 osoitteesta <https://www.fanuc.eu/se/en/robots/robot-filter-page/r-1000-series>
- Fanuc. (2024b). *M-10 Series*. Haettu 4.4.2024 osoitteesta <https://www.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filter-page/m-10-series>
- International Federation of Robotics. (2023). *World Robotics 2023 - Industrial robots*. IFR statistical department. Frankfurt: IFR (International Federation of Robotics). Haettu 21.7.2024 osoitteesta [https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive Summary WR Industrial Robots 20](https://ifr.org/img/worldrobotics/Executive_Summary_WR_Industrial_Robots_20)
- ISO. (2021). *ISO-8373-2021 Robotics - Vocabulary*. ISO [International Organization for Standardization].

- Creative Machines Lab. *Jamming Gripper*. Haettu 17.11.2024 osoitteesta <https://www.creativemachineslab.com/jamming-gripper.html>
- Kansallismuseo. (2017). *Pronssikausi*. Haettu 16.9.2024 osoitteesta <https://web.archive.org/web/20170702181245/http://www.kansallismuseo.fi/fi/kansallismuseo/opetus/opetuspaketit/esihistoria/tietoa/pronssikausi>
- Kiviluoto, M. (2018). *Särmäyksen tehostaminen suunnittelu huomioiden*. Turun Ammattikorkeakoulu. Turku: Theseus.fi. <https://www.theseus.fi/handle/10024/147476>
- Krrass. (2023). *The History and Future of Press Brake Machines*. Haettu 16.9.2024 osoitteesta <https://www.krrass.com/the-history-and-future-of-press-brake-machines/?srsltid=AfmBOopcHBwOyQ4SPy7IAGJ0zSEnsWi0fyYI-Lw38PQvrPvPGrq2CwdP>
- Mac-Tech. (2021). *The History Of Hydraulic Press Brakes*. Haettu 16.9.2024 osoitteesta <https://mac-tech.com/articles/the-history-of-hydraulic-press-brakes/>
- Miettinen, J., Frilund, P., Vuorinen, I., Kuosmanen, P. & Kiviluoma, P. (2019). *Granular jamming based robotic gripper for heavy objects*. Estonian Academy. <https://doi.org/10.3176/proc.2019.4.12>
- Mindman. (n.d). *Vacuum Gripper Sealing Foam Pad (VGM)*. Haettu 17.11.2024 osoitteesta <https://www.mindman.com.tw/category-Vacuum-Gripper-092.html>
- Robotiq. (2024). *PowerPick Vacuum Gripper*. Haettu 17.11.2024 osoitteesta <https://robotiq.com/products/vacuum-grippers#PowerPick>
- RS Americas. (2024). *ABB Robotics 1512.13.14 Servo gripper with dual vacuum for IRB14050 roboti*. Haettu 23..11.2024 osoitteesta <https://us.rs-online.com/product/abb-robotics/1512-13-14/73631980/>
- Suomen Robotiikkayhdistys. (2023). *Automaatioväylä 2023 Robotiikkatilastot*

- SFS. (2003). SFS-EN 13698-1 Kuormalavat. Osa 1: 800 mm x 1200 mm puisen kuormalavan rakenne.
- Schmalz. (2024). *Modular Gripper System PXT*. Haettu 1.4.2024 osoitteesta <https://www.schmalz.com/en-fi/vacuum-technology-for-robotics/modular-gripper-system/modular-gripper-system-pxt/>
- SOP-Metal. (2024a). *SOP-Metal*. Haettu 10.9.2024 osoitteesta <https://www.sop-metal.fi/>
- SOP-Metal. (2024b). *Sähkö- ja energiateollisuuden kumppani*. Haettu 10.9.2024 osoitteesta https://www.esitteemme.fi/SOP-Metal_Oy/WebView/
- SOP-Metal. (2024c). *SOP-Metal on investoinut yli 1,5 miljoonaa euroa uuteen latanlävistyskoneeseen sekä automaattiseen varastojärjestelmään*. Haettu 10.9.2024 osoitteesta <https://www.sop-metal.fi/sop-metal-on-investoinut-yli-15-miljoonaa-euroa-uuteen-latanlavistyskoneeseen-seka-automattiseen-varastojarjestelmaan>
- SOP-Metal. (2024d). *SOP-Metal esimerkkiosat* [rajattu saatavuus].
- Strategies, P. (2018). *Vacuum Gripper is Small, Flexible and Powerful*. Haettu 1.4.2024 osoitteesta <https://www.packagingstrategies.com/articles/90572-vacuum-gripper-is-small-flexible-and-powerful>
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development, Sixth Edition* (Osa/vuosik. 6). Mc Graw Hill Education.
- Universal Robots. (2024). *Suction Cups Vacuum Gripper, CVGL335XA50C1*. Haettu 1.4.2024 osoitteesta <https://www.universalrobots.com/fi/plus/products/coval/suction-cups-vacuum-gripper-cvgl335xa50c1/>
- Vossi Group Oy. (2024). *Robotisoitu särmäys – Konepajamessut 2024*. Tampere.
- Yaskawa. (2024a). *Robotisoitu särmäys*. Haettu 19.9.2024 osoitteesta https://www.yaskawa.fi/j%25C3%25A4rjestelm%25C3%25A4/seriesdetail/serie/robotisoitu-sarmays_771

Yaskawa. (2024b). *GP Series*. Haettu 4.4.2024 osoitteesta

https://www.yaskawa.eu.com/products/robots/handling-mounting/seriesdetail/serie/gp-series_494

LIITE 1 . Vaatimuslista

1. Versio 5.3.2024			
Yritys / projekti		Vaatimuslista - SOP-Metal Robottisolun yleiset vaatimukset	Lehti 1 Svu 1
Muutokset pvm	V T	Vaatimukset V=vaatimus, T=Toivomus	Muutoksen tekijä
	V	Viivästysten minimointi	
	V	- Materiaalia helppo syöttää ja ottaa pois	
	T	- Materiaaleille välivarasto ja työjono	
	V	- Robotti voi käsitellä useita tuotteita	
	V	- Etäohjelmointi on mahdollista	
	T	- Paikoituspisteet määritetään automaattisesti	
	V	- Valmistettavia tuotteita voidaan vaihtaa helposti	
	V	Kätevyyden maksimointi	
	V	- Robotin liikeradat pidetään lyhyinä	
	V	- Vältetään turhia edestakaista liikettä	
	V	Virheiden korjaus	
	T	- Robotti pystyy automaattisesti korjaamaan virheet	
	V	- Robotti havaitsee virheet automaattisesti	
	V	Operointivaatimuksia	
		Esimerkkiosat	
		Käsittelypaino \geq 2kg	
		Materiaalit = Cu, Fe, Al	
		Max Leveys = 120mm	
		Min Leveys = 20mm	
		Max Pituus = 250mm	
		Min Pituus = 50mm	
	V	Robotti pystyy vaihtamaan särmättävän osan tartuntakohtaa	
	V	Kamera / anturi särmäyksen tarkastamiseksi	
	V	Robotti voi tarkistaa, että vain yksi levy on tarttunut matkaan	
	T	Robotilla kyky käsitellä osia työjonosta	
	V	Robottisa paineilmalinjat vakuimitarttujaa varten	
	T	Robotti ylettyy käyttämään koko särmäyssolua ilman apuvälineitä	