

Opinnäytetyö (AMK)
Konetekniikan koulutus
2020

Ann-Marie Hamberg

KIINNITINPURISTIMEN AUTOMATISOINTI YHTEISTYÖROBOTILLA

Ann-Marie Hamberg

KIINNITINPURISTIMEN AUTOMATISOINTI YHTEISTYÖROBOTILLA

Opinnäytetyössä tutkittiin kiinnitinpuristimen automatisointia UR5e-yhteistyörobotilla ja investoinnin kannattavuutta yritykselle. Investoinnin kannattavuuteen saatiin viitteitä suorittamalla toimeksiantajan tiloissa testi, jolla voitiin selvittää sopiiko yhteistyörobotti ylipäättään yhteistyöhön kiinnitinpuristimen kanssa ja millaisia häiriöitä siinä esiintyy. Robottijärjestelmästä tuli suunnitella mahdollisimman modulaarinen ja helposti liikuteltavissa oleva versio.

Työssä on käsitelty teoriassa yhteistyörobotiikkaa ja alan turvastandardeja. Yhtenä työn osa-alueena oli valita robottisovellukseen tarrain, jolla kappaleita työstetään ja käsitellään. Vertailun tuloksena päädyttiin OnRobotin VG10 -imukuppitarttujaan. Lisäksi työssä esitetään suunniteltu robotin liikuteltava jalusta sekä kappaleiden tasausalusta, joiden suunnitteluun käytettiin SolidWorks-ohjelmistoa.

Robottijärjestelmän turvallisuusriskien arvioinnin jälkeen arvioidaan tarkemmin yhteistyörobotin investoimisen kannattavuutta. Kannattavuutta arvioidaan opinnäytetyössä tehtyjen testien perusteella. Testausjärjestelyiden ja todettujen häiriöiden jälkeen työn loppupuolella esitetään arvio, että mikäli häiriöitä ei saada kehitystoimilla karsittua olennaisesti, robottijärjestelmä ei ole kannattava investointi yritykselle. Työssä esitetään jatkokehitysehdotukset yhteistyörobottijärjestelmälle, joilla se testausvaiheesta voitaisiin saada toimivaksi kokonaisuudeksi. Näitä ovat robotin ja koneen välinen vuorovaikutus, konenäön lisääminen järjestelmään sekä itsetehty tarttuja.

ASIASANAT:

automatisointi, investointi, kiinnitinpuristin, joustava automaatio, pemmaus, riskianalyysi, yhteistyörobotiikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

29.2.2020 | 34 pages

Ann-Marie Hamberg

AUTOMATION OF THE FASTENER INSTALLATION MACHINE WITH A COLLABORATIVE ROBOT

The objective of this thesis was to study the automation of a fastener installation machine with the UR5e collaborative robot and the profitability of the investment for the company. The profitability of the investment was obtained by conducting a test in the premises of the company to find out if the collaborative robot fits for its purpose and what kind of interference occurs in the system. The robot system needed to be easy to modify and move between different handling machinery.

The thesis includes a theoretical introduction to collaborative robots and industry safety standards. Another objective of the thesis was to choose an ideal gripper with which the parts are processed in the robot system. As a result of comparison the OnRobot's VG10 Vacuum Gripper was chosen. In addition, the design of the robot's mobile stand and a paragraph alignment pad are presented. They were designed with SolidWorks.

A safety risk assessment as well as a more accurate assessment of the profitability of investing in a collaborative robot were done. The test methods and detected interferences are handled at the end of the work. Finally, proposals for further development are presented. The conclusion is that the investment is not profitable for the company, if interferences cannot be removed by development actions. These include robot-machine interaction, machine vision system and a self-made gripper.

KEYWORDS:

automation, collaborative robotics, fastener installation machine, flexible automation, investment, risk analysis

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Työn tavoitteet	6
1.2 Toimeksiantajan esittely	7
1.3 PEMSERTER Series 2000	7
2 YHTEISTYÖROBOTIIKKA	9
2.1 Historia ja tulevaisuus	9
2.2 Turvallisuus	10
2.3 ISO 10218:2011	11
2.4 ISO/TS 15066:2016	11
2.5 Universal Robots UR5e	12
3 TARTTUJAN VALINTA	14
3.1 Tarttujan vaatimukset robottijärjestelmässä	14
3.2 Robotiq EPick Vacuum Gripper	14
3.3 Robotiq Hand-E Adaptive Gripper	15
3.4 Robotiq 3-Finger Adaptive Robot Gripper	15
3.5 VG10 Vacuum Gripper	16
3.6 Tarkasteluun valittujen tarttujen vertailu	16
4 MEKANIKKASUUNNITTELU	18
4.1 Modulaarinen tasausalusta	18
4.2 Robotin jalusta	20
5 ROBOTIN JA KONEEN VUOROVAIKUTUS	21
5.1 Nykyiset häiriöt kiinnitinpuristimella ja niiden lähteet	21
5.2 Robotin kytkeminen kiinnitinpuristinkoneeseen	21
6 RISKIANALYYSI	23
6.1 Turvallisuusriskien arviointi	23
6.2 Investoinnin riskianalyysi	24
7 TESTAUS	26
7.1 Testausjärjestelyt	26
7.2 Havaitut häiriöt	27

8 TULOKSET	28
8.1 Vaikutukset tuotantoon	28
8.2 Henkilöstön suhtautuminen ja uudet osaamistarpeet	29
8.3 Investoinnin kannattavuus	30

9 POHDINTA	31
9.1 Työn onnistuminen tavoitteisiin nähden	31
9.2 Jatkokehitystarpeet	32

LÄHTEET	33
----------------	-----------

KUVAT

Kuva 1. Robotin tasausaseman malli	19
Kuva 2. Robotin jalustan malli	20

KUVIOT

Kuvio 1. Maksimikuorman suhde etäisyyteen robotin painopisteestä (UR5e)	13
---	----

TAULUKOT

Taulukko 1. Valittujen tarttujien ominaisuudet taulukoituna	16
Taulukko 2. Vertailtavien tarttujien ominaisuuksien sopivuus suunniteltuun käyttöön	17
Taulukko 3. Robottijärjestelmän riskien arviointi	24

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön aiheena on hyödyntää Universal Robots:in UR5e-yhteistyörobottia työstökoneen palvelussa. Työ on tehty toimeksiantona JL Levytekniikka Oy:lle ja sen tarkoituksena oli selvittää millainen vaikutus yhteistyörobotin investoimisella olisi yritykselle sekä testata käytännön valmistusta sillä. Demoamiseen valittiin aluksi vain yksi työstettävä kappale.

Ongelmaan pyrittiin hakemaan ratkaisua nimenomaan yhteistyörobotiikan avulla, koska se on teollisuusrobottia turvallisempi ratkaisu etenkin liikuteltavissa järjestelmissä.

Työssä tutkitaan ensisijaisesti PEM Serter-kiinnitinpuristimen automatisointia, joka on havaittu hetkittäiseksi tuotannon kapeikkokokhdaksi aikaisemmassa tarkastelussa, ja pyrkii pienentämään kyseistä vaikutusta tuotantoon robotiikalla. Lähes jokaiseen työstettävään kappaleeseen tulee joitain kiinnitinpuristimella tehtäviä kiinnikkeitä.

Työn keskeisinä kysymyksinä voidaan pitää yhteistyörobotiavusteisen tuotannon kustannustehokkuutta, takaisinmaksuaikaa ja valmistuksen häiriöitä sekä niiden lähteitä. Samalla pyritään selvittämään mahdollisia syntyviä uusia henkilöstön osaamistarpeita.

Työssä pohditaan millainen olisi ideaalitarrain sovellutukseen ja vertaillaan erilaisia tarraimia. Lisäksi työ sisältää mekaniikkasuunnittelua robotin jalustan ja kappaleiden alustan osalta. Lopussa esitetään arvio, olisiko investointi kannattava, mitä siinä tulisi erityisesti huomioida tällaista kohdetta automatisoidessa ja miten tulevaisuudessa robottijärjestelmää voisi kehittää.

Yksi työn tärkeä ehto on, että robotti ei rampauta konetta, vaan myös ihminen pystyy joustavasti työskentelemään siinä tarvittaessa. Yhteistyörobotti tulee olla helposti räätälöitävissä myös muihin työstökohteisiin.

Työssä ei keskitytä konenäön käyttöön kappaleiden käsittelyn yhteydessä eikä robotin ja kiinnitinpuristimen välisiin kytkentöihin tai robotin vuorovaikutukseen toiminnanohjausjärjestelmän kanssa.

1.2 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona JL Levytekniikka Oy:lle (jäljempänä Levytekniikka). Yrityksen liiketoiminta JL Levytekniikka Oy -nimellä käynnistyi vuonna 1994. Nykyiselle omistuspohjalle yritys siirtyi vuonna 2019. Aikaisemman omistuspohjan aikana vuonna 2001 JL Levytekniikka Oy muutti Turun ja Raision rajalle, josta käsin se toimii myös tällä hetkellä. Yrityksellä on noin 2100 m² :n tuotantotilat, joita hyödynnetään kokonaisvaltaisesti. Levytekniikka sopimusvalmistaa erilaisia tuotekokonaisuuksia ajoneuvo-, rakennus-, elektroniikka- ja sähköteollisuuteen. (JL Levytekniikka Oy 2019.)

Yrityksessä tuotetaan ohutlevytuotteita pääasiassa teräksestä, ruostumattomasta teräksestä, alumiinista, tinapronssista, kuparista, messingistä ja polykarbonaatista. Tuotantomenetelmiä ovat muun muassa särmäys, hitsaus, levyleikkaus, kokoonpanotyö ja kierteitys. Vuonna 2019 investoitiin laserkonelinjaan. (JL Levytekniikka Oy 2019.)

Paikan päällä tehdään myös tuotesuunnittelua, jossa pääasiallisena ohjelmistona toimii SolidWorks 3D CAD -suunnitteluohjelmisto. Toiminnassa hyödynnetään lean-ajattelusta tuttua Just On Time -periaatetta, jota myös tämä opinnäytetyö pyrkii edistämään. Yritys toimii ISO 9001:2015 sekä ISO 14001:2015 laatu- ja ympäristöstandardien mukaisesti. (JL Levytekniikka Oy 2019.)

1.3 PEMSERTER Series 2000

PEMSERTER Series 2000 on kiinnityspuristin, jolla painetaan haluttu itsetarttuva kiinnitin paikalleen. PEMSERTER 2000-sarjan koneita on manuaalisena, automaattisena sekä elektronisesti ohjattuna. Sillä aikaansaadaan 1.8 – 71,2 kN puristusvoima, jolloin keskimäärin kone kuluttaa paineilmaa 2,3 l/s. Puristusvoima aikaansaadaan hydraulisella sylinterillä, mutta hydraulisen järjestelmän ohessa on paineilmajärjestelmä, joka vaatii 6 – 7,5 bar paineen toimiakseen. Kitasyvyyttä laitteella on 61 cm. Laitteen korkeus on 193 cm, leveys 92 cm, syvyys 126 cm ja se painaa 1180 kg. Työstökone ei vaadi erityisiä tilavaatimuksia toimiakseen, mutta sijoittelussa huomioidaan työstettävien kappaleiden ja operaattorin vaatima tila. (PennEngineering 2019.)

Puristimen runko on pääosin valmistettu umpiteräksestä ja kaikki osat on suoraan tai välillisesti asennettu runkoon. Käyttäjän hallintalaitteisiin kuuluvat kosketusnäyttö, hätä-

pysäytyspainike, virtanapit, äänisummeri, jalkakytkin sekä kohdistusvalon painike. Kosketusnäyttöä käytetään asennukseen sekä automaattisen syötön asetuksiin, käyttöilmoituksiin ja vianetsintään. Jalkakytkimellä ohjataan puristusjakson alkamista. (Penn-Engineering 2019.)

Kiinnitinpuristimessa on tärisävä syöttösuppilo, joka automaattisesti siirtää erilaisia kiinnittämiä ja syöttää niitä puristimelle. Aikaisemmin tehtyyn reikään laitetaan asennusvarsi, jonka mukaan kiinnitin ohjataan oikeaan kohtaan. (PennEngineering 2019.)

2 YHTEISTYÖROBOTIIKKA

Yhteistyörobotti on robotti, jonka kanssa ihminen pystyy työskentelemään samassa tilassa ilman turva-aitaa. Niitä käytetään tuotannollisissa prosesseissa ihmisen apuna tehtävissä, jotka usein ovat pinoamista, kokoonpanoa, ruuvausta tai tarkastamista. Näissä tehtävissä robotin apuna on usein konenäkökamera tai osat ovat ennaltamäärätyissä paikoissa ja robotti seuraa määritettyä reittiä. (El Zaatari ym. 2019.)

Yleensä roboteilla koitetaan automatisoida toistuvaa, liikaista, vaikeaa, raskasta ja vaarallista työtä. Yritysten intressi automatisoida edellä kuvatun mukaisia töitä on suuri, koska sen tyyppisten töiden tekeminen aiheuttaa usein pidemmällä aikavälillä sairauspoissaoloja ja työtaturmia. Samalla pystytään vapauttamaan työvoimaa vaativampiin tehtäviin ja takaamaan tasaisempi työnlaatu, jolloin hävikin määrä vähenee. Robotteihin eivät vaikuta myöskään kaikki ulkoiset tekijät, kuten väsymys, jotka vaikuttavat ihmisiin. Taloudellisia hyötyjä voidaan saavuttaa robotin kyvyllä työskennellä vuorokauden ympäri ja sen palkattomuudella. (Dinwiddie 2019, 35–38.)

2.1 Historia ja tulevaisuus

Yhteistyörobottien historia alkaa jo 1990-luvulta autoteollisuudessa nähtyjien ensimmäisten ihmistä auttavien nostolaitteiden parissa. Näitä yhteistyökoneita ohjattiin tietokoneohjauksella ja ne kehitettiin pääasiassa avustamaan ihmistä raskaissa nostoissa ja parantamaan ergonomiaa. Ensimmäinen varsinainen pehmeistä materiaaleista rakennettu yhteistyörobottikäsi asennettiin käyttöön vuonna 2008, mikä nopeutti yhteistyörobottien kehittämistä. (Robotics Online Marketing Team 2019.)

Vuonna 2008 ensimmäinen yhteistyörobotti asennettiin tuotantotiloihin. Kyseistä vuotta voidaan pitää yhteistyörobottien kehityksen vuotena, koska sen jälkeen yritykset ovat olleet entistä kiinnostuneempia panostamaan yhteistyörobotiikkaan. (Robotics Online Marketing Team 2019.) Vuonna 2012 Rethink julkaisi Baxter-robotin, joka oli ensimmäisiä häkittömiä teollisuusrobotteja (RIA 2012).

Nykyään markkinoilla on monia eri yhteistyörobottien valmistajia, kuten ABB, BOSCH, FANUC ja Rethink Robotics sekä Universal Robots. Yhteistyöroboteihin lisätään yhä enemmän tekoälyä, jota voidaan käyttää esimerkiksi liikeratojen optimoimiseen tai tehokkuuden parantamiseen. (Dinwiddie 2019, 33–35.)

Tällä hetkellä yhteistyörobottien suurin kuormankäsittelykyky on 35 kg Fanucin CR-35iA -yhteistyörobotilla (Fanuc, 2020). EFFRA arvioi, että tulevaisuudessa yhtenä tehtaiden kasvun edellytyksenä ovat yhteistyörobotit. Yhteistyörobottien kehittämisessä EFFRA:n mukaan tulisi kuitenkin keskittyä yhä enemmän tekoälypohjaisiin tiedonkäsittelyn malleihin, kykyyn liikkua tehtaan sisällä itse sekä suurempaan kuormankäsittelykykyyn. (EFFRA. 2016.)

Yhteistyörobottien markkinoiden uskotaan kasvavan seuraavina vuosina. Tämän hetken ennusteet ennustavat yhteistyörobottimarkkinoiden olevan 7,5 miljardin dollarin arvoiset vuonna 2027. Sen arvioidaan kattavan silloin noin 29 % osuus kansainvälisistä teollisuusrobottimarkkinoista. Tulevan kasvun uskotaan johtuvan muun muassa auto- ja elektroniikkateollisuuden tarpeista, työvoimapulasta sekä kasvavista palkkauskustannuksista. (RIA.)

2.2 Turvallisuus

Yhteistyörobottien turvallisuus pohjautuu liikkeen hidastumiseen tai pysähtymiseen esteen lähellä erilaisilla antureilla saatavan tiedon pohjalta. Antureilla robotin työskentelyympäristö voidaan jakaa erilaisiin alueisiin ja määritellä robotin liikenopeus häirityn alueen mukaan (Dinwiddie 2019, 7.)

Yhteistyörobottien tulee läpäistä riskianalyysi. Vaikka robotissa on erilaisia sisäänrakennettuja turvallisuustoimia, ne eivät silti tee robottisolusta täysin turvallista. Robotti ei osaa huomioida osuuko se ihmisen käsivarteen vai päähän, joista jälkimmäinen ei ole missään tilanteessa sallittua. Myös käsiteltävät kappaleet tulee huomioida riskianalyyssissä, koska niissä voi olla ihmistä vahingoittavia teräviä kulmia. (El Zaatari ym. 2019.)

Robotilla on kolme pysäytysluokkaa, jotka määritellään IEC 60204-1 -standardissa. Pysäytysluokassa 0 robotti katkaisee virransyötön ja pysäyttää olemassa olevan liikkeen jarruilla. Kyseessä on kontrolloimaton pysäytys, jonka jälkeen laitetta uudelleenkäynnistettäessä ei voida olla varmoja koneen ohjelman suoritustilasta. Pysäytysluokassa 1 suoritetaan hallittu pysäytys, jossa suoritettava liike loppuu ja virrat katkaistaan vasta

tämän jälkeen ja jarrut lukitaan. Pysäytysluokassa 2 laitteen liike pysäytetään, mutta virransyöttöä ei katkaista eikä jarruja lukita. (Marvel & Norcross 2017.)

2.3 ISO 10218:2011

ISO 10218 on C-tyypin standardisarja, joka käsittelee robotteja ja robottilaitteita. Tämä on koettu tarpeelliseksi, koska robotin ominaisuudet voivat olla merkittävästi erilaiset muihin koneisiin ja laitteisiin verrattuna. Standardissa esitetään ohjeita turvallisuuden varmistamiseksi ja turvallisiin suunnitteluratkaisuihin. Osa 2 on täydentävä osalle 1, joka käsittää vain robotin. Ylempänä B-tyypin standardina on ISO 12100 –standardi ja useat ISO 10218 –standardin kohdat on tehty ottaen huomioon ylempään standardin (ISO 12100) vaatimukset. (ISO 10218.)

Yleisesti riskejä koitetaan ISO 10218:2015 -standardissa pienentää poistamalla vaaroja suunnittelun avulla ja estämällä operaattorin pääsy kosketuksiin vaarakohdan kanssa. ISO 10218 -standardissa riskin arviointi on määritelty hyvin samanlaiseksi prosessiksi kuin ISO 12100 -standardissa. Robottijärjestelmien kohdalla edellytetään myös työtehtävien tunnistamista. Robotin sopivuus työhön ja järjestelmään on ensisijaisen tärkeää. (ISO 10218.)

2.4 ISO/TS 15066:2016

Teknistä spesifikaatiota ei ole saatavilla vielä ammattikorkeakoulun tietokannoissa, joten lähteinä on jouduttu käyttämään aihetta popularisoivia lähteitä, kuten blogikirjoituksia *Robotic Industries Association*:in sivuilta.

Tekninen spesifikaatio keskittyy täydentämään ja selventämään ISO 10218-1 ja ISO 10218-2 ohjelinjoja yhteistyörobotiikkaan ja siinä tehtävään riskien arviointiin. Monet yhteistyörobottien parissa työskentelevät hyödyntävät ISO/TS 15066 työssään. (Dinwiddie 2019, 34.)

Riskianalyysi tulee tehdä siitä huolimatta operaattorin turvallisuuden varmistamiseksi, että robotti on suunniteltu toimimaan yhdessä ihmisen kanssa. Riskien arvioinnissa tulee tunnistaa kaikki mahdolliset vaarat, jotta riskien pienentämiseen tarkoitettuja toimia voidaan lisätä ja tehdä järjestelmästä mahdollisimman turvallinen. (Anandan 2019.)

Tekninen spesifikaatio syventää myös tarvittavaa havainnoinnin määrää riskianalyysia

tehdessä tarkoituksenaan taata yhteistyörobottien turvallisuuskeskeinen kehittäminen tulevaisuudessa (Robotiq 2016).

Yksi perusajatuksista teknisessä spesifikaatiossa on, että mahdollisesta kontaktista ihmisen kanssa ei tulisi koitua kipua tai tapaturmaa henkilölle. Siksi ISO/TS 15066 antaa suunnittelua helpottavan ja ohjaavan listan yhteistyörobottijärjestelmissä käytettävistä voima- ja painetasoista riippuen siitä, mihin ihmiskehon osaan robotti voi osua. Tämän lisäksi teknisessä spesifikaatiossa linjataan suurimmat sallitut voima- ja nopeusrajat eri tasoilla. (Robotiq 2016.)

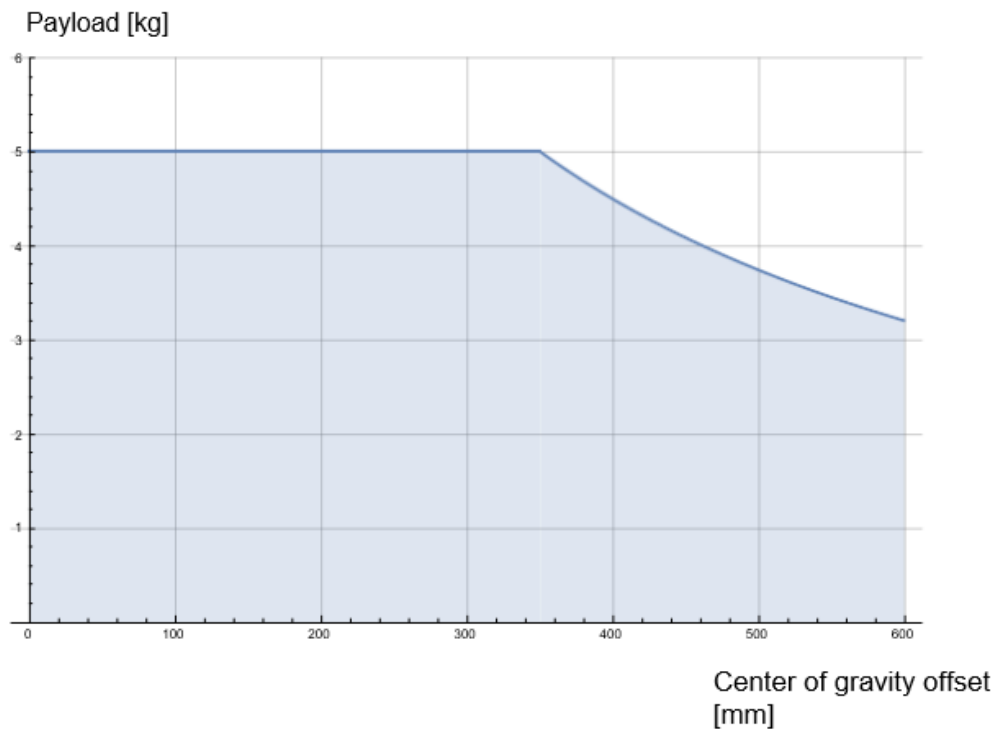
2.5 Universal Robots UR5e

Universal Robots on vuonna 2005 perustettu yhtiö, joka suunnittelee ja valmistaa yhteistyörobotteja. Vuonna 2008 yritys myi ensimmäiset UR5-robottinsa Tanskaan ja Saksaan, jonka jälkeen yrityksen toiminta alkoi laajenemaan huomattavasti. Yrityksellä on valikoimassaan neljä robottimallia, UR3, UR5, UR10 ja UR16, nimettynä robottikäden kantokyvyn mukaan. Yrityksen päätoimipiste on Odensessa, Tanskassa. Universal Robots on ollut vuodesta 2015 osa Teradyne-yritystä. (Universal Robots 2020.)

UR5e-yhteistyörobotti on Universal Robotsin kehittämä robotti, joka on tarkoitettu toimimaan yhdessä ihmisten kanssa. Robotti pysähtyy havaitessaan esteen liikeradallaan ja ilmoittaa siitä ohjausnäytöllä. (UR5e 2019.)

UR5e-robotin omapaino on 20,7 kg ja sen maksimikuorma on nimen mukaisesti 5 kg. Tarttuja ulottuu 850mm päähän robotin jalasta. Robotilla on kuusi vapausastetta ja sen voima-antureiden tunnistustarkkuus on 4 N. Energiankulutuksenn on arvioitu olevan 250 W normaalilla ohjelmalla, mutta se saattaa vaihdella ohjelmasta riippuen. Robotin runko ja ohjauspaneeli ovat suojausluokituksestaan IP54 ja robotin ohjausyksikkö on IP44. Robotti voi työskennellä ympäristössä, jonka lämpötila on -5 – 50 °C. Robotissa on turvallisuuskonfiguraatio, jossa määriteltyjä raja-arvoja ei ylitetä. (UR5e 2019.)

Robotin käytössä tulee huomioida suurin kuormankäsittelykyky ja etäisyyden vaikutus siihen. Kuviossa 1 on kuvattu tarkemmin robotin maksimikuorman suhdetta etäisyyteen.



Kuvio 1. Käsiteltävän kappaleen massakeskipisteen etäisyys robotin työkalulaipan keskipisteestä (UR5e)

UR-yhteistyörobotteja on kokemattomankin nopea ohjelmoida, koska robottia pystyy liikuttamaan suoraan robotin rungosta. Robotin ohjelmointi tapahtuu teach pendant – ohjauspaneelia käyttäen. (UR5e 2019.)

UR-roboteilla on nopeat takaisinmaksuajat, jotka ovat vaihdelleet tapauskohtaisesti muutamasta kuukaudesta vuoteen. Robotin toimintaan on liitettävissä konenäkö, joka mahdollistaa useampia sovelluskohteita ja vähentää yhteistyörobotin työskentelyn rajoitteita. Näin takaisinmaksuajasta saadaan entistä lyhyempi, kun investointi ei koske esimerkiksi pelkästään yhtä työstökoneetta, vaan se voidaan helposti mukauttaa useampiinkin kohteisiin. 80% roboteista toimii itsenäisesti työskennellen ilman valvontaa riskianalysin jälkeen. (Universal Robotics, 2019.)

3 TARTTUJAN VALINTA

Tarttujaa tarvitaan, jotta robotti voi siirrellä kappaleita paikasta toiseen. Tarttuja voi olla itsetehty tai valmiina ostettu riippuen tarvittavista ominaisuuksista. Tarttuja tulee valita käsiteltävien kappaleiden ominaisuuksien perusteella. Suurin käsittelykuorma riippuu sekä robotin että tarttujan rajoituksista. Robottijärjestelmät voivat sisältää useamman tarttujan, jolloin niitä voidaan vaihtaa käsiteltävän kappaleen mukaan ja saavuttaa siten ihanteellinen ote. Valinnassa on huomioitu vain valmiita kaupallisia tarttuja. Vaihtoehtona valmiille tarttujalle on myös käyttötarkoitukseen räätälöity tarrain.

3.1 Tarttujan vaatimukset robottijärjestelmässä

Tässä tapauksessa robotin tarttujan tulee olla sellainen, jolla voidaan käsitellä sekä tasomaisia, että taivutettuja ohutmetallituotteita. Käsiteltävien kappaleiden pinnat ovat yleensä suurimmaksi osaa tasomaisia. Kappaleiden pinnoilla saattaa olla jäämiä öljystä ja ne ovat useimmiten alle 5kg painoisia. Kappaleet eivät ole kovin likaisia pinnoiltaan muuten. Tässä työssä ei ole huomioitu vertailussa räätälöityä tarttujaa, koska sellaisen ominaisuudet ovat tarttujakohtaiset ja myös kaupalliset tarttumat sopivat näennäisesti tarkoitukseen.

Koska kyseessä on siirreltävä ja modulaarinen robottijärjestelmä, tulee se ottaa myös tarttujan valinnassa huomioon. Sähköinen imukuppitarttuja on käytännöllisempi liikutel-tavassa järjestelmässä, kuin paineilmakäyttöinen. Paineilman saatavuus ei tehdasym-päristössä ole ongelma, mutta se aiheuttaa lisäasennusta aina robottilaitteistoa siirret-täessä. Ihanteellinen tarttuja on tarkka eikä aiheuta mittatarkkuuksissa heittoa. Kappa-leeseen ei saa tulla vääntymiä tai muita laadullisia virheitä työstön aikana tartunnasta.

3.2 Robotiq EPick Vacuum Gripper

Imukuppitarttujalla saadaan helposti kiinni kappaleen yhtenäisestä tasaisesta pinnasta ja tasomaista kappaletta on helppo pyöräytellä vain yhdellä robotin nivelliikkeellä. Kappaleen pinnan tulee olla kuiva ja puhdas, jotta tarttujalla saataisiin ihanteellinen ote. Tarttuja on kooltaan melko pieni ja siro, joten se ei peitä suurta osaa käsiteltävästä kappaleesta. (Robotiq 2019.)

EPick on yhdistetty robotin ranteeseen, eikä se tarvitse toimiakseen paineilmaa. Kyseessä on sähköinen imukuppitarttuja. EPick on kooltaan hieman isompi ja painavampi (710g) kuin AirPick, joka toimii paineilmalla. EPick-tarttuja on saatavilla yhdellä, kahdella ja neljällä imukupilla varustettuna. Suurin imunopeus on 12 l/min. (Robotiq 2019.) Imukuppien vähyys saattaa aiheuttaa ongelmia tartunnan tarkkuudessa.

3.3 Robotiq Hand-E Adaptive Gripper

Tarttuja on pihtimäinen tarttuja, joka on suunniteltu etenkin kokoonpanotehtäviin. Sen suojausluokitus tarraimelle on IP67. Tarttuja painaa 1 kg, ja sen positiotarkkuus on 0,2 mm. Tarttujalla pystytään muodostamaan tarttumisvoiman 20–130 N väliltä ja sen pihdit avautuvat enimmillään 50 mm. Tarttujassa on sisäänrakennettu kappaleentunnistus pihdeissä. (Robotiq 2019.)

Tarttujaa käytettäessä levyjen tulisi olla aseteltu pystysuunnassa siten, että jokaisen kappaleen välissä on riittävästi tilaa pihdeillä tarttumista varten. Kappaleen heiluminen työstön aikana on mahdollista, jos kappale on huomattavan suuri tartuntapinta-alaan verrattuna ja kappaleen pinnoilla on öljyjäämiä.

3.4 Robotiq 3-Finger Adaptive Robot Gripper

Neljä erilaista tarttumisotetta ja jokaista sormeaa voi ohjata erikseen. Tarttuja pystyy tarttumaan kaiken muotoisiin kappaleisiin. Muodonmukaisella tarttumisella pystyy nostamaan 10 kg kuorman, mutta kitkaan perustuvalla sormenpäätarttumisella vain 2,5 kg. Samalla otteella tarttumisvoima on 30–70 N. Sormien position toistotarkkuus on 0,05 mm ja sulkeutumisnopeus säädettävissä 22–110 mm/s. Tarttujan omamassa on 2,3 kg, ja se avautuu maksimissaan 155 mm. (Robotiq 2019.)

Tarttujassa on imukuppitarttujiin verrattuna melko pieni suositeltu kuormitus. Käsiteltävät kappaleet saattavat ylittää 2,5 kg massan, jolloin riski kappaleen putoamiselle kasvaa. Kappaleen pinnan öljyisyys pienentää kappaleen ja tarttujan sormien välistä kitkerointia, jolloin etenkin nopeissa liikkeissä kappale saattaa lähteä luistamaan otteesta.

3.5 VG10 Vacuum Gripper

Sähköinen imukupitarttuja, jossa kaksi itsenäisesti toimivaa osiota. Imukuppeja voi muokata kohteen mukaan ja niitä on yhteensä 16 tarttujassa. Imukupit on sijoiteltu neljään haaraan, joita voidaan liikuttaa eri asentoihin tasomaisesti. Suurin käsiteltävä kuorma on 15kg, mutta nimellinen hyötykuorma on 10kg. Tarttujan IP-luokitus on IP54. (OnRobot 2019.) Myös tällä tarttujalla kappaletta on helppo pyöryttää robotin yhden nivelen rotaatiolla.

Tarttujassa on robottia isompi kuormankäsittelykyky, joten se ei aiheuta ongelmia kappaleiden käsittelyn suhteen. Imukuppien lukumäärästä on etua paremman toistotarkkuuden saamiseksi ja joustava imukuppien määrän ja paikan vaihtelu auttaa asettelemaan imukupit optimaalisiin paikkoihin kappaleen pinnalla. Tarttuja on kooltaan kuitenkin melko suuri ja pienempiä kappaleita voi olla hankala käsitellä sillä.

3.6 Tarkasteluun valittujen tarttujen vertailu

Tarkasteluun valittiin aikaisemmin esiteltyt tarttumat siitä huolimatta, että joissain oli havaittavissa puutteita suunniteltua kappaleenkäsittelyä varten esimerkiksi suurimman kantokyvyn kohdalla. Vertailussa pyritään valitsemaan paras tarttuja, joka ihanteellisesti sopisi kaikkien kappaleiden työstöön eikä toista tarttujaa tarvittaisi esimerkiksi pienemmille tai isommille kappaleille. Tarttujen tiedot on koottu taulukkomuotoiseksi aiemman sanallisen esityksen lisäksi vertailutyötä helpottamaan. Taulukossa 2 on lisätty kuudella alueella tarttujan oletettavasti tärkeimmät ominaisuudet.

Taulukko 1. Valittujen tarttujen ominaisuudet taulukoituna

	Robotiq EPick Vacuum Gripper	Robotiq Hand-E Adaptive Gripper	Robotiq 3-Finger Adaptive Robot Gripper	VG10 Vacuum Gripper
Käyttötapa	Sähköinen	Sähköinen	Sähköinen	Sähköinen
Suurin kuorma (kg)	10	3	2,5	15
Tartunta-aika (ms)	150	-	-	350
Tartuntanopeus	-	20-150mm/s	110mm/s	-
IP-luokitus	IP4X	IP67	-	IP54
Paino (g)	710	1070	2300	1620

Taulukossa 2 on esitetty vertailtavien tarttujien ominaisuudet suunniteltuun käyttöön taulukon 1 tietojen pohjalta. Vertailussa ei ole otettu huomioon tarttujan mittoja, jotka saattavat vaikuttaa työstön onnistumiseen.

Taulukko 2. Vertailtavien tarttujien ominaisuuksien sopivuus suunniteltuun käyttöön

	Robotiq EPick Vacuum Gripper	Robotiq Hand- E Adaptive Gripper	Robotiq 3-Finger Adaptive Robot Gripper	VG10 Vacuum Gripper
Käyttötapa	+	+	+	+
Suurin kuorma (kg)	+	-	-	+
Tartuntanopeus	+	+	+	+
IP-luokitus	-	+	-	+
Paino (g)	+	+	-	+
Yhteenveto	4/5	4/5	2/5	5/5

Tehdyssä vertailussa parhaiten suoriutui VG10 Vacuum Gripper kaikissa viidessä vertailtavassa ominaisuudessa. Tarttuja sai taulukon 3 mukaan 5/5 plussaa. Jaetulle toiselle sijalle vertailussa sijoittuivat Robotiqin EPick Vacuum Gripper ja Hand-E Adaptive Gripper. Testaukseen valittiin kuitenkin VG10 Vacuum Gripper vertailun ja tartunnan suuren muokattavuuden perusteella.

4 MEKANIKKASUUNNITTELU

Käytettävässä robotissa itsessään ei ole liikkuvaa alustaa, mutta koska tällaista tarvitaan tehdasoloissa, opinnäytetyön yksi osa-alue on suunnitella sopiva liikuteltava jalusta robotille. Robotin jalustana voitaisiin käyttää myös mobiilirobottia, joka takaisi robotin itsenäisen liikkeen työstökoneelta toiselle. Tämän opinnäytetyön kannalta se ei kuitenkaan ole välttämätöntä, joten työssä on pitäyditty suunnittelemaan selkeästi investointikustannuksiltaan halvempi itsetehty jalusta robotille.

Jalustan lisäksi tarvitaan kappaleille makasiini, josta ne voidaan luotettavasti poimia työstöön. Tässä tapauksessa makasiiniksi on suunniteltu kauluksellinen EUR-lava, joka tuodaan pumppukärryillä valmiiksi täytettynä robotin luokse. Kappaleista riippuen lava voi olla myös paikallaan ja kappaleet kannetaan henkilövoimin lavalle. Kappaleet sijoitetaan lavan kaulusta vasten robottia lähinnä olevaan kulmaan. Kappalepinon ei tarvitse olla tarkalleen tietyssä paikassa, koska robotti käyttää kappaleen modulaarisessa tasausalustassa ennen työstökoneelle vieniä. Mikäli samalle lavalle mahtuu useampia kappalepinoja, ohjelmoidaan robotti hakemaan pinon vuorollaan. Kappaleiden tulee kuitenkin olla aina yhdenmukaisessa järjestyksessä pinoissa.

4.1 Modulaarinen tasausalusta

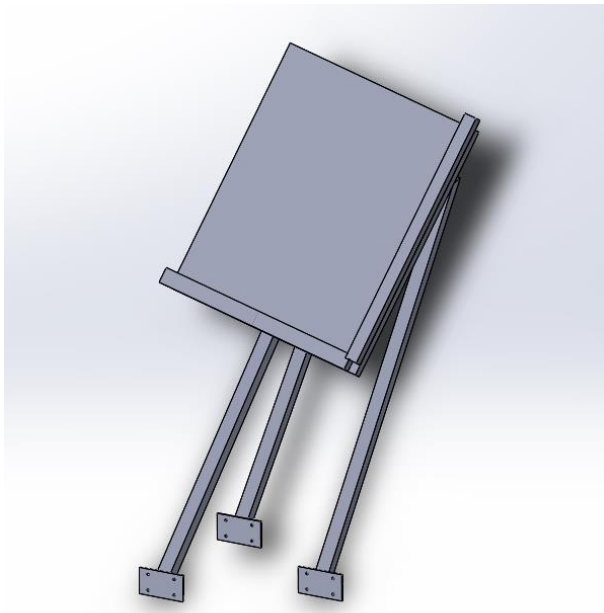
Makasiinin sijoitus saadaan tarkaksi mekaanisen paikoituksen lisäksi ohjelmallisesti konenäön avulla. Tällöin makasiinin ei tarvitse olla kiinni jalustassa eikä sen paikoituksen tarvitse olla niin tarkka robottiin nähden.

Konenäkökameran kennon tulee olla riittävän suuri tarkan resoluution saamiseksi, sillä muuten mitoista tulee epätarkkoja. Lisäksi valaistuksen tulee olla paikkaan sopiva, jotta se tukee kameran toimintaa. (Dinwiddie 2019, 155-161.) Konenäkö voidaan yhdistää myös mekaaniseen paikoitustelineeseen, jolloin robotti hakee konenäön avulla kappaleita pinossa summittaisemmin ja tasaa sen jälkeen kappaleen tarttumipaikan teineessä. Konenäön avulla kappaleeseen tarttuminen tarkasti voidaan tehdä myös täysin ilman telinettä.

Konenäköpohjainen ratkaisu vaatii lisää tutkimustyötä onnistuneen lopputuloksen saavuttamiseksi. Kyseessä olevissa teollisuustiloissa valaistus voi vaihdella paljon päivän

mittaaan ja kappaleiden opettaminen robotille konenäön avulla vie aina enemmän aikaa kuin mekaaninen ja ”sokea” tartunnan tasaus.

Tässä työssä on päädytty mekaaniseen kappaleen tartuntapisteen paikoitukseen. Mekaanisesti paras ratkaisu on tasausalusta, joka on kiinni robotin liikuteltavassa jalustassa. Siten alustan sijoitteluun ei vaikuta ulkoisia tekijöitä, kuten ihminen. Modulaarinen tasausalusta kiinnitetään yhteensä 12 ruuvilla robotin jalustaan. Kuvassa 1 on esitetty havainnekuva tasausalustasta ilman robotin jalustaa. Alusta on vinossa, jolloin levyaihiot kohdistetaan alustan alakulmaan painovoiman avulla.



Kuva 1. Robotin tasausaseman malli

Alustan pohja on suunniteltu 450 mm leveille ja 450 mm korkeille kappaleille. Alustan kokoa on helppo suurentaa ja pienentää käytettävissä olevan tilan ja kappaleen koon mukaan. Vaikka kappale olisi suurempi kuin alustan pohja, se pystytään tasaamaan alustalla kappaleen oman jäykkyyden ansiosta. Kappaleen painopisteen tulee pysyä alustan pohjan äärirajojen sisäpuolella. Pysty- ja vaaka-akselilla olevat paneelit voidaan liu'uttaa irti tasausalustan rungosta ja korvata suuremmilla tarpeen vaatiessa.

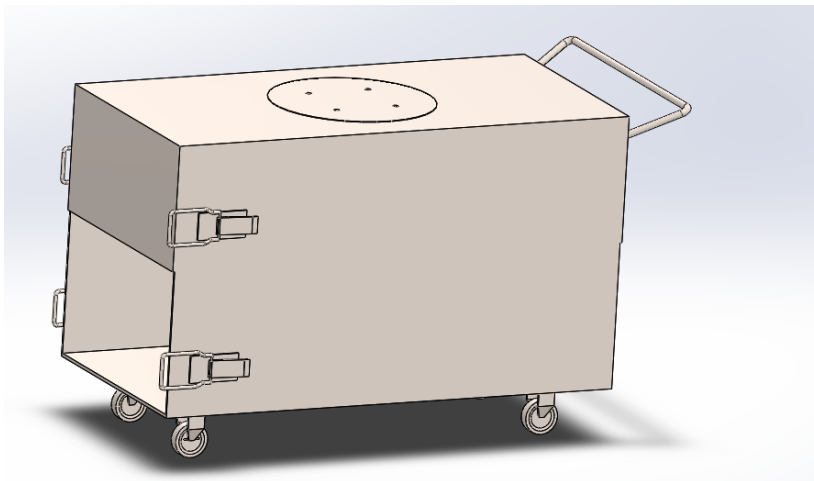
Kappaleen tartuntapisteen ohjelmoimisessa voidaan hyödyntää kiinteää alustalle tehtyä kappalekoordinaatistoa, jonka origo on sivupaneelien risteämiskohdassa. Näin tartuntapistettä voidaan helposti mukauttaa käsiteltävän kappaleen mittojen mukaan suoraan offline-ohjelmoinnilla.

4.2 Robotin jalusta

Haasteina liikkuvan alustan kanssa on sen tarkka sijoitus työstökoneeseen nähden. Työstön onnistuminen edellyttää hyvin tarkkaa jalustan sijoittamista, jotta robotin koordinaatisto olisi oikeassa paikassa ja työstettävästä kappaleesta tulisi toleranssien mukainen. Jalustan tulee olla myös heilumaton, jotta tästä ei aiheudu paikkamuutoksia työstökoneeseen nähden.

Robotin jalusta on 350 mm pitkä ja 700 mm leveä. Korkeutta sillä on 500 mm. Jalusta on tehty teräksestä ja sen ainepaksuudet vaihtelevat 3–5 mm välillä. Jalustaa voidaan liikutella sen alla olevien neljän pyörivän pyörän avulla. Tarkka sijainti koneeseen nähden saavutetaan neljällä vipulukolla, joiden vastakappaleet ovat kiinni työstökoneen rungossa.

Robotti kiinnitetään jalustaansa kiinteästi neljällä M8-pultilla ja niitä ei tarvitse avata robotin modulaarista siirtämistä varten. Robotin ohjausyksikkö kulkee jalustan mukana robotin alapuolella sijaitsevassa tyhjässä laatikkomaisessa tilassa. Samaan tilaan voidaan sijoittaa robotin käsiohjain silloin kun sitä ei käytetä. Jalustaa voidaan ohjaila vipulukoista vastakkaisessa päässä olevasta kahvasta. Alla esitetty havainnekuva robotin jalustasta.



Kuva 2. Robotin jalustan malli

Jalustan kiinnitystapa vaatii kiinnityspuristimen rungon modifiointia. Runkoon tulee lisätä työstökoneen etupuolelle levy, jossa jalustan vipulukkojen vastakappaleet ovat. Modifiointi saattaa hankaloittaa ihmisen työergonomiaa istuma-asennossa konetta käytettäessä.

5 ROBOTIN JA KONEEN VUOROVAIKUTUS

Työssä selvitettiin myös robotin ja kiinnitinpuristimen vuorovaikutusta toisiinsa. Tähän luettiin kuuluvaksi nykyisten häiriöiden selvittäminen ja työn myöhemmässä vaiheessa testauksessa selvitetty robottiaivusteiden tuotannon häiriöt. Nykyiset häiriöt kiinnitinpuristimella selvitettiin haastattelemalla JL Levytekniikan henkilöstöä.

Työssä kuvataan myös miten yksinkertaisimmillaan yhteistyörobottiin tehdyllä ohjelmalla voitaisiin käyttää kiinnitinpuristinta ja millaisia ohjelmallisia ratkaisuja vuorovaikutukseen voidaan luoda.

5.1 Nykyiset häiriöt kiinnitinpuristimella ja niiden lähteet

Kiinnitinpuristimella esiintyy pääasiassa syöttövirheitä automaattisella syötöllä. Näitä tapahtuu noin 1/100 kiinnittimen syötössä ja suurimmassa osassa syynä on paineilman syöttöpaineen vaihtelu. Syöttösuppilossa tulee olla myös riittävästi holkkeja tai muuten syöttöhäiriöiden taajuus kasvaa. Myös asetusten tulee olla kunnossa, jotta paineilma puhaltaa sopivalla paineella kiinnittimen tunnistimelle.

Kiinnitinpuristin saattaa jäädä ohjelmallisesti jumiin. Kone ilmoittaa kappaleen olevan valmis eikä suostu siirtymään muuhun tilaan tästä. Häiriö tapahtuu erittäin harvoin, sillä tuhannenkaan kappaleen sarjassa sitä ei tapahdu välttämättä kertaakaan. Kiinnitinpuristin joudutaan ajamaan alas ja käynnistämään uudelleen häiriön sattuessa.

Osassa käsiteltävien kappaleiden rei'istä saattaa olla purseita, jotka voivat haitata kiinnitinpuristimella holkin asentamista. Nämä on poistettu käsin työntekijän toimesta. Häiriö ei ole yleinen ja yrityksen uudet investoinnit levyleikkuuseen vähentävät häiriön mahdollisuutta. Yhtenä häiriönä toimivat myös virheelliset kiinnikkeet. Tämäkään häiriö ei ole kovin yleinen.

5.2 Robotin kytkeminen kiinnitinpuristinkoneeseen

Kiinnitinpuristimen käyttö robotin ohjauskeskuksella edellyttää kiinnitinpuristimen PLC-logiikan I/O-liitäntöjen muuttamista tai modifiointia. Tässä työssä ei muutettu kiinnitinpuristimen liitäntöjä testauksen aikana, vaan jalkapoljinta käytettiin mekaanisesti, sillä

robotin ja koneen väliset kytkennät eivät olisi tuoneet lisäarvoa työn testeihin. Tämä työ esittää vain teoriallisen ehdotelman liitäntöjen tekemiseen. Opinnäytetyössä suositellaan ensisijaisesti kytkentöjen tekemisen ulkoistamista siihen erikoistuneelle yritykselle. Samalla kytkentöjen lisäksi tulee suunnitella helppo tapa liittää robotti ja työstökone toisiinsa, jotta robottijärjestelmän modulaarisuus ja helppous säilyy.

Robotti on mahdollista kytkeä kiinnitinpuristimen PLC I/O-liitäntöihin, kun jalkapolkimelta tuleva viesti korvataan robotin lähdöltä tulevalla viestillä. Tällöin kiinnitinpuristin suorittaa saman työkierron kuin mekaanisesti jalkapoljinta painettaessa, eikä suurempia kytkentöjä tarvita. Ohjelmoinnissa kiinnitinpuristimen puristus aika on huomioitava odota-käskyllä. Tällä kytkennällä robotti ei huomioi häiriöitä työstössä tai viiveitä kiinnitinpuristimen puristustapahtumassa.

Jos puolestaan halutaan tehdä järkevämpi ja hieman älykkäämpi vaihtoehto, tuodaan kiinnitinpuristimen PLC:ltä paineilman purkuventtiilin signaali robotin tuloon. Näin ohjelma voidaan ohjelmoida jatkamaan vasta sitten, kun kyseinen signaali saadaan. Tämän lisäksi voidaan tuoda turva-anturilta signaali, milloin ohjaustappi työkalupäästä on tullut läpi tai kohdallaan. Tämä puolestaan voidaan ohjelmoida käynnistämään puristustapahtuma robotin jalkapolkimen lähdön kautta. Myös epäonnistunut puristustapahtuma on mahdollista tuoda PLC:n kautta robotin ohjelmointiin mukaan, jolloin kiinnittimen puristusta voidaan kokeilla uudelleen robotin odottaessa.

6 RISKIANALYYSI

Riskien arviointi on tehty tässä työssä ISO 12100 ja ISO/TR 14121-2 -standardien pohjalta huomioon ottaen ISO 10218 vaatimukset koskien robottijärjestelmiä. ISO 12100 -standardi määrittelee, että riskin arvioinnin ja pienentämisen tehdäkseen, suunnittelijan on toteutettava toimenpiteet standardissa osoitetussa järjestyksessä (ISO 12100.)

Riskin suuruuden arviointiin on määritelty erilaisia työkaluja ISO/TR 14121-2 -standardissa. Yleisiä menetelmiä ovat riskimatriisi, riskigraafi, numeerinen pisteytys ja yhdistelmätyökaluja, jotka perustuvat eri menetelmien yhdistelmiin. Kaikki menetelmät edellyttävät ISO 12100:2010 kohdan 5.5.2 kuvattavia riskin osatekijöiden huomioonottamista. Riskin suuruutta arvioidessa tulee ottaa huomioon sille altistuvat henkilöt, altistumisen ja sen vaikutusten suhde sekä inhimilliset tekijät (stressi, ergonomia, väsymys, henkilöiden vuorovaikutus jne.) sekä suojaustoimenpiteiden sopivuus ja kunnossapito. (ISO 12100 & ISO/TR 14121-2.)

6.1 Turvallisuusriskien arviointi

Tässä työssä robottijärjestelmän riskien arviointi turvallisuuden osa-alueelta tehtiin ISO/TR 14121-2 -standardin yhdistelmätyökalulla soveltaen siinä numeerista pisteytystä ja riskimatriisia. Riskien suuruuden arvioinnissa on käytetty aikaisemmin mainitun standardin kohdan 6.5.2. esimerkin laadullisia muuttujia ja niiden numeroarvoja. Riskien arvioinnissa arvioidaan tässä tapauksessa pääasiassa vain yhteistyörobottiin ja sen käsittelemiin kappaleisiin liittyvät riskit ja työstökoneiden riskien arviointi sivutaan kevyemmin. Työstökoneisiin ei keskitytä, koska niihin on suoritettu riskianalyysi jo aiemmissa vaiheissa.

Standardin mukaisessa yhdistelmätyökalussa huomioidaan riskin vakavuus (Se), taajuus (Fe), todennäköisyys (Pr) ja välttäminen (Av). CI saadaan laskemalla taajuus, todennäköisyys ja välttäminen yhteen, jonka jälkeen sitä verrataan standardin matriisiin yhdessä vakavuuden kanssa. Taulukossa 3 esitetään robottijärjestelmän turvallisuuden liittyvät riskit ja niiden suuruudet. Riskejä arvioidessa toteutettiin pahimman skenaarion menetelmää. Suurimmiksi riskiksi muodostui raajan puristusvamma työstökoneen mekaanisten osien välissä. Riski nro. 8 on todennäköisin robottia ohjelmoitaessa,

joten jos lopullisessa järjestelmässä päädytään pääasialliseen offline-ohjelmointiin, riskin suuruus pienenee. Myös toistuvat tuote-erät vähentävät riskin suuruutta, koska robottia ei tarvitse opettamalla ohjelmoida aina uudelleen mikäli offline-ohjelmointi ei ole mahdollisuus.

Taulukko 3. Robottijärjestelmän riskien arviointi

Viite nro.	Vaara	Se	Fr	Pr	Av	Cl	Arvio riskin suuruudesta
1	Kappale osuu ihmiseen vahingoittavasti (päähän)	2	3	2	1	6	Pieni
2	Kappale osuu ihmiseen vahingoittavasti (muu vartalo)	2	4	3	3	10	Keskimääräinen
3	Robottikäsi osuu ihmisen päähän	1	3	1	1	5	Pieni
4	Raaja jää puristuksiin robotin ja tason väliin robotin liikkuesssa	2	3	3	1	7	Pieni
5	Sähköisku robotin siirtojen yhteydessä	2	4	2	1	7	Pieni
6	Vaatteiden takertuminen kappaleeseen tai robottiin	2	4	3	3	10	Keskimääräinen
7	Kappaleen putoaminen	2	4	2	3	9	Keskimääräinen
8	Raajan puristusvamma työstökoneen mekaanisten osien välissä	4	3	3	3	9	Suuri

Muita keskimääräisiä riskejä robottijärjestelmässä olivat käsiteltävän kappaleen osuminen ihmisen vartaloon, vaatteiden takertuminen kappaleeseen tai robottiin sekä kappaleen putoaminen. Kyseisiä riskejä pystytään pienentämään olennaisesti työntekijöiden hyvällä tarkkaavaisuudella ympäristönsä suhteen ja käyttämällä riittäviä suojavaarusteita, kuten turvakenkiä. Opettaen ohjelmoidessa tulee operaattorin pysyä riittävän kaukana robotista ohjelman käynnistyessä ja kaikilla tuotannon työntekijöillä tulee olla riittävä yritysکوhtainen turvakoulutus taustalla robotin kanssa työskentelemisestä.

6.2 Investoinnin riskianalyysi

Tämä riskianalyysi on toteutettu lähinnä silmällä pitäen syitä, joiden takia robotti voisi jäädä käyttämättä tai se ei edistäisi yrityksen tuotantoa millään tavalla. Analyysissä ei ole otettu kantaa riskinhallinnalliseen ajatteluun yrityksen sisällä eikä mahdollisen investoinnin taloudellisiin riskeihin ja niiden vaikutuksiin yrityksessä. Tässä alaluvussa esitellään mahdolliset riskit ja niiden seuraukset. Varsinaisiin testauksen pohjalta todettuihin riskeihin palataan opinnäytetyön loppuluvussa.

Ensimmäinen riski on, että jos järjestelmässä esiintyy paljon häiriöitä, se ei ole kannattava. Silloin sitä ei voida jättää työstämään kappaleita esimerkiksi yöksi ja häiriöiden takia autonominen työskentelyaika jää hyvin pieneksi, jolloin kuormitetut työt jäävät tekevämmä valvomattomassa vuorossa ja niitä ei voida toimittaa asiakkaalle ajallaan. Puo-

lestaan jos järjestelmässä esiintyy paljon laatua huonontavia häiriöitä, ei voida olla varmoja asiakkaalle lähtevien kappaleiden laadusta tai oikeellisuudesta. Tämä saattaa vaikuttaa asiakkaiden tuleviin tilauksiin ja siten liikevaihtoon.

Jos laitteistolla ei ole ketään avainkäyttäjää, voi robotti jäädä käyttämättä tai mikäli robottijärjestelmä koetaan hankalaksi. Työntekijöiden tulee tuntee robotti hyödylliseksi ja myös heidän tulee huomata siitä saatava hyöty, jotta investoinnin mielekkyys ja motivaatio käyttää sitä ei kärsi. Järjestelmän tulee olla riittävän helposti käytettävissä ja saatavilla.

Myös jos robottiin investoiminen tarkoittaisi jonkun työntekijän irtisanomista, se luonnollisesti laskisi muiden työntekijöiden motivaatiota työskennellä yrityksessä. Ihmisiä ei tulisi ensisijaisesti irtisanoa robotti-investoinnin takia, vaan sijoittaa muihin entistä haastavampiin ja luovempiin tehtäviin.

7 TESTAUS

Testin tarkoitus oli selvittää, kuinka hyvin robotti suoriutuu kiinnitinpuristimella työskentelystä. Testissä selvitettiin myös tarttujan soveltuvuutta, etenkin kun kappaleiden pinnoilla oli jäämiä öljystä ja tarttujana käytettiin imukuppeja. Häiriöt ja niiden syiden selvittäminen olivat myös yksi suurimmista tavoitteista mahdollista investointia ajatellen. Tämän lisäksi testissä tuli saada suuntaa antava vertailukelpoinen kappaleen käsittely-aika ja yhden holkin kiinnittämisaika liikekomentoineen.

7.1 Testausjärjestelyt

UR5e-robotti asetettiin Turun AMK:n robotille tarkoitetun pöydän kanssa melko lähelle kiinnitinpuristinta. Etäisyydellä ei ollut tässä testissä väliä, koska robotti ohjelmoitiin opettamalla liikeradat sille. Työstettävät kappaleet asetettiin pinnoon pöydälle, mutta niiden sijainti vaihteli ± 1 cm kyseisessä pinossa. Robotti ohjelmoitiin hakemaan yksi kerrallaan kappale käsin tehtävään tartunnantasaukseen, jonka jälkeen se ohjelmoitiin jatkamaan kappaleen holkitukseen. Tämän jälkeen robotti vei kappaleen valmiiden kappaleiden pinnoon. Pinosta hakemisessa sekä pinoamisessa hyödynnettiin UR5e-robotin pinnantunnistus-liikekäskyä.

Testissä holkitettiin alumiiniohutlevyä, joita ei ollut särmätty ennen kiinnittimien asentamista. Kappaleeseen tuli yhteensä 19 holkkia, joista kuusi oli kappaleen keskellä. Robotilla saatiin näistä kiinnitettyä onnistuneesti 12 kappaleen reunoille tullutta holkkia. Lopuissa holkkien paikoissa robotin VG10-imukuppitarttuja oli kokonsa vuoksi tiellä ja ne jätettiin tässä testissä holkitamatta. Kappaleisiin tartuttiin alkuun 0,300 bar alipaineella, mutta alipainetta kasvatettiin lopulta arvoon 0,405 bar.

Alkuun ohjelma ajettiin läpi puoleen väliin asti, joka käsitti kappaleen hakemisen summittaisesta kasasta, tarttumispisteen tasauksen ja kiinnitinpuristimen lähestymisen kappaleen kanssa. Tämän jälkeen ohjelmointia jatkettiin alavasteelle vientiin ja itse puristustapahtumaan. Jokaisen ohjelmakierron lopussa kappale vietiin pinottavaksi erilliselle pöydälle. Liikenopeudet puolitettiin alkussa, jotta voitiin varmistaa ohjelman oikeellisuus ja helpommin pysäyttää robotti tarvittaessa. Kun ohjelma saatiin ohjelmoitua alusta loppuun, nopeukset nostettiin täydelle teholle. Robotin turvarajoihin ei tehty muutoksia testissä.

7.2 Havaitut häiriöt

Ensimmäiset häiriöt johtuivat kappaleeseen tartuttaessa tarttujan imukuppien osumisesta reikien kohdalle. Tällöin alipainetta ei saatu muodostettua ja tartunta ei onnistunut, jolloin robotti pysäytti automaattisesti ohjelman.

Toinen häiriö muodostui kappaletta viedessä kiinnitinpuristimen alavasteelle. Kappaleen holkkien reiät eivät aina osuneet kiinnitinpuristimen alavasteelle, jolloin ohjaustappi ei tullut kokonaan läpi. Tämä aiheutti holkitustapahtuman epäonnistumisen. Koska testissä käytettiin yksinkertaista ohjelmaa eikä kytkentöjä tehty, robotti ei huomionut toiminnassaan holkitustapahtuman epäonnistumista ja jatkoi kolmen sekunnin kulluttua ohjelmaa. Tämän seurauksena myös seuraava holkitustapahtuma epäonnistui koneen turvatoiminnon suorittamisen myötä. Virhe tapahtui noin joka viidennessä kappaleessa keskimäärin kerran. Toisin sanoen 1/60 rei'ästä ei osunut kohdalleen. Häiriön syyksi epäiltiin testissä kappaleiden käsin tehdyn tarttumipaikoituksen epätarkkuutta ja häiriö luultavasti poistuisi työssä suunnitellulla tasausalustalla.

Toisinaan puristuksen jälkeen holkki ja levy takertuivat alavasteeseen siitä huolimatta, että alavasteen suhteen ei ollut paikoitusongelmia. Holkitettavat reiät, joissa häiriö tapahtui, vaihtelivat satunnaisesti. Levyn ylöspäin nostaminen täytyy suorittaa ehdottoman suorassa, jotta virheen mahdollisuus olisi mahdollisimman pieni. Kyseisellä toimintamallilla ei kuitenkaan voida täysin poissulkea häiriön mahdollisuutta. Häiriön takia kappaleeseen ei kuitenkaan syntynyt laadullisia ongelmia ja se toistui keskimäärin 1/200 holkissa.

VG10 tarttujana oli liian suuri testissä olleelle kappaleelle. Kappaleessa oli holkkipaikoja reunojen lisäksi myös keskellä kappaletta, jotka jäivät holkitamatta ilman otteen vaihtoa. Holkituksen onnistumiseksi olisi tarvittu otteenvaihto, joka ei olisi onnistunut ilman tarttujan imukuppioksien asennon muuttamista. Häiriön ratkaisemiseksi ehdotetaan eri tarttujaa pienemmille kappaleille.

Kaikki ennakkoon oletetut häiriöt eivät vaikuttaneet kappaleiden käsittelyyn. Kappaleiden rei'issä ei havaittu purseita, jotka olisivat haitanneet robottiaivusteista työstöä. Myöskään kappaleiden pinnoilla ollut pieni öljykerros ei aiheuttanut merkittäviä häiriöitä imukuppitarttujassa.

8 TULOKSET

Testissä käytetyllä täydellä nopeudella yhden kappaleen (12 holkkia) käsittelyaika kiinnitinpuristimella oli mittausten mukaan 1 minuutti ja 53 sekuntia aina aihioopinosta hakemisesta valmiin kappaleen pinoamiseen. Keskimäärin yhden holkin puristamiseen kului aikaa 4 sekuntia (sis. 3 s odotusta) riippuen holkkien keskinäisestä etäisyydestä. Luku on pyöristetty ylöspäin tasalukuun, jotta se tasaa paremmin pidempienkin etäisyyksien liikkumiseen kuluva aikaa. Robotin liikenopeudet ovat kuitenkin verrattain suuret holkkien etäisyyksiin nähden, joten todelliset erot ovat muutamia millisekunteja.

Imukuppeihin ei tarttunut merkittävästi öljyä kappaleiden pinnasta eikä imukuppien tartunnassa esiintynyt eroja päivän alun ja lopun välillä. Tartuntavoimaa jouduttiin kasvattamaan hieman öljyisen pinnan takia, jotta imukupit eivät liukuisi kappaleen pinnalla.

Valmiit kappaleet pinottiin siistiin pinoon, joka onnistui helposti UR5e-robotin pinnan-tunnistuksen avulla. Tämä tuo joustavuutta pinosta hakemisessa tai pinoamisessa, koska ohjelma ei keskeydy, vaikka kappaleita lisättäisiin tai vähennettäisiin välissä.

Investointina robotti ei olisi vielä kannattava, koska siinä esiintyy liikaa häiriöitä. Häiriöitä tulisi koittaa vähentää ainakin kytkemällä työstökone ja robotti yhteen, jolloin työstökoneen (tässä tapauksessa kiinnitinpuristin) toimintaa voitaisiin ohjata robotin ohjelmalla.

8.1 Vaikutukset tuotantoon

Kappale saadaan käsiteltyä robotilla keskimäärin 38,5 % nopeammin kuin ihmisen käsittelemänä. Jo tämä nopeuttaa kappaleiden käsittelyä, vaikka robotilla työstettäisiin autonomisesti kappaleita vain työvuorojen aikana. Robotti ei tarvitse taukoja, joten sillä voitaisiin työskennellä myös nämä ajat ja saavuttaa siten etua nopeudessa.

Suurin hyöty tuotannolle on kuitenkin robotin kyky työskennellä tulevaisuudessa vuorokauden ympäri, jolloin tuotantokapasiteettia voidaan kasvattaa riippuen robottijärjestelmän lopullisesta autonomisesta ajasta. Yhteistyörobottivälineillä valmistuksella saavutettaisiin joustavuutta tuotteiden valmistukseen ja tuotannon aikatauluun, koska robotilla voitaisiin työstää kappaleita myös yöllä. Tämän lisäksi yksi tuotannon työntekijä

voisi operoida tarvittaessa robotilla omassa vuorossaan ja samalla tehdä jotain vaativampia työtehtäviä.

Tuotannon laatu ei kiinnitinpuristimen kohdalla todennäköisesti kasvaisi, koska itse kiinnitinpuristin ohjaa levyn oikeaan asentoon käsin työstettäessä. Lavauksessa voidaan saavuttaa laadullista etua robotilla, koska voimantunnistusta käytettäessä pystytään muodostamaan siistejä pinoja ilman kolauksia.

Robotin käyttökustannukset ovat ihmisen palkkaa halvemmat, joten tuotteiden hintoja pystyttäisiin yhteistyörobotin tekemän työn avulla laskemaan tai voittomarginaalia lisäämään. Tämä puolestaan voidaan käyttää esimerkiksi uusien investointien tekoon, joka puolestaan jälleen edesauttaa yrityksen kilpailukykyä alati kiristyvässä kilpailussa alalla.

8.2 Henkilöstön suhtautuminen ja uudet osaamistarpeet

Opinnäytetyön alussa tehdyissä henkilöstön haastatteluissa suhtautuminen opinnäytetyöhön ja mahdolliseen tulevaisuuden investointiin oli pääasiassa positiivinen. Henkilöstöllä oli pieni huoli käytettävän kiinnitinpuristimen toimintavarmuudesta ja siinä ennestään esiintyvistä häiriöistä, joihin ihmisen toiminta koneella ei vaikuta.

Henkilöstön suhtautuminen testipäivänä oli positiivinen. Yhteistyörobotti herätti kiinnostusta ja sitä katseltiin mielellään työssään. Työntekijät ideoivat päivän aikana omatoimisesti myös muita käyttökohteita robotille muun muassa hitsaamisen parissa. Työntekijät toivoivat robotin ottavan haltuun etenkin tylsiä ja yksitoikkaisia työtehtäviä. Työntekijöiden työmotivaatio todennäköisesti kasvaisi samalla, kun yksinkertaiset ja toistuvat työvaiheet jäisivät pois työnkuvasta.

Osalla henkilöstöstä oli aiempaa kokemusta teollisuusrobottien ohjelmoinnista, mutta suurimmalle osalle robotin ohjelmointi oli täysin vieras aihealue. Yleensä yhteistyörobotti on teollisuusrobottia helpompi ohjelmoida, joten se ei tarvitse yhtä pitkää koulutusta kuin perinteisemmät teollisuusrobotit. Henkilöstö tulee perehdyttää hyvin yhteistyörobotiikassa esiintyviin turvallisuusriskeihin ja robotin kiinnittämistapaan. Yhteistyörobotin avainkäyttäjäksi tulee nimetä riittävä määrä henkilöitä, jotka operoivat pääasiassa robottia ja huolehtivat mm. sen sijoittelusta sekä kappaleiden latauksesta. Kyseisillä henkilöillä tulee olla riittävästi tietotaitoa, jotta heillä on valmiudet reagoida pieniin häiriöihin ja ongelmiin robottiin ja sen toimintaan liittyen.

8.3 Investoinnin kannattavuus

Robottijärjestelmän investointiin kuuluisivat UR5e-yhteistyörobotti, robotin jalusta ja ta-sausalusta itse tehtyinä sekä VG10-tarrain. Tarkemmat mahdolliseen investointiin liitty-vät kustannukset ja takaisinmaksuajat rahoituskuluineen tulee laskea uudelleen inves-tointia tehdessä. Investoinnin kannattavuuden arvioinnissa on huomioitu vain järjestel-män hankintahinnat eikä ollenkaan asennus- ja koulutuskuluja, koska ne on vaikea ar-voida ilman varsinaista tarjousta.

Tällä hetkellä sovelluksessa on niin paljon häiriöitä, että robottijärjestelmään investoimi-nen ei ole järkevää. Investoinnin kohdalle suositellaan lykkäystä, joka tuo lisää aikaa kehittää robottijärjestelmää. Suunnittelutyötä häiriöiden poissulkemiseksi tulee jatkaa, jotta robottijärjestelmän autonominen häiriötön aika kasvaisi huomattavasti nykyisestä.

Pakollisten kehitystoimenpiteiden jälkeen yhteistyörobotti-investoinnin kannattavuus on laskettu alla annuiteettimenetelmällä. Pitoaikana on käytetty 6 vuotta, jonka jälkeen ole-tettu jäännösarvo on romuarvo. Nettotuottona on käytetty arviota työntekijän vuosipal-kasta, joka ilman investointia suorittaisi yhteistyörobotilla tehtävän työn. Nettotuotoiksi saatiin 31 540 € työnantajan maksamien sivukulujen kera. Todellisuudessa tähän lisä-tään vielä kappaleiden myynnistä saatu tuotto. Tuottovaatimus on 12 %, jolloin annui-teettitekijä on 0,243225... Tällöin vuosittainen annuiteetti on 7 905 € ja potentiaalisesti tulokseksi saadaan 23 535 €.

Robotin takaisinmaksuaika on noin 1 vuosi ja 1 kuukausi. Investoinnin takaisinmaksu-ajan laskemisessa on käytetty vertausta työntekijän keskimääräisiin palkkauskuluihin työnantajan sivukuluineen.

9 POHDINTA

9.1 Työn onnistuminen tavoitteisiin nähden

Työn tavoitteena oli testata ja suunnitella kiinnitinpuristimen automatisointi yhteistyörobotilla sekä selvittää onko tämä ylipäätään mahdollista. Sovelluksesta ei haettu valmista ja täysin toimivaa versiota alun alkaenkaan, vaan pääasiallinen tavoite työlle oli selvittää mahdollisen investoinnin kannattavuutta ja kohtia, joita tulisi huomioida tarkemmin järjestelmää suunniteltaessa. Kannattavuuden tulokseksi riitti kyllä tai ei vastaus. Työssä on kuitenkin laskettu hieman investoinnin kannattavuutta kahdella yleisesti käytetyllä menetelmällä.

Samalla esitettiin arvio, että tällä häiriöiden määrällä robottiin ei kannattaisi investoida ainakaan pelkästään kiinnitinpuristimen automaattista käyttöä varten. Testeissä ei onnistuttu tekemään kovin montaa kappaletta häiriöttä, joten sillä saralla on ehdottomasti paljon kehitettävää. Yllättävintä työssä oli se, että vaikka holkitus tapahtui robotilla ja nosto oli lineaarisesti ylöspäin, holkitettu kappale jäi kiinnitinpuristimen alaleukaan toisinaan jumiin. Alavasteen kanssa oli odotettavissa vaikeuksia, joten sen toteaminen merkittävä häiriönä ei yllättänyt niinkään.

Testien pohjalta laskettu yhden kappaleen käsittelyaika 19 holkille on jonkin verran epäluotettava, koska sitä ei ole mitattu suoraan testeistä, vaan se on soveltamalla laskettu. Tämä vaikuttaa työssä kuitenkin vain arvioon, kuinka paljon nopeammin robotti työstäisi saman määrän kappaleita ihmiseen verrattuna.

Työ oli mielenkiintoinen ja haastava alusta loppuun. Työn tekeminen opetti samalla paljon eikä antanut mitään ilmaiseksi. Vaikeuksista huolimatta työ valmistui ajallaan ja siihen oltiin ilmeisen tyytyväisiä kaikkien sidosryhmien osalta. Opinnäytetyö opetti yhteistyörobotiikan lisäksi paljon suunnittelijamaista ajattelua tällaisista automatisointitöistä ja korosti työpaikoilla vallitsevan hiljaisen tiedon voimaa. Teorian ja käytännön ero konkretisoitui hyvin testivaiheessa.

9.2 Jatkokehitystarpeet

Kaikki jatkokehitystarpeet eivät ole suinkaan tarpeita, vaan osa on listattu mahdollisuuksina kehittää yhteistyörobottijärjestelmää entistä paremmaksi ja joustavammaksi. Kehitystarpeet on listattu tärkeysjärjestyksessä robottijärjestelmän toimintaa ajatellen ylhäältä alaspäin.

Työssä havaittiin seuraavia kehitystarpeita sekä -mahdollisuuksia:

- Robotin ja kiinnitinpuristimen väliset kytkennät
- Konenäön liittäminen robottijärjestelmään
 - o tuote-erän automaattinen vaihto leimalla
 - o kappaleen asennon ja tarkan tarttumispisteen hakeminen kuvasta
 - o alavasteen ohjaustapin läpitulon tarkastaminen
 - o laatutarkastus jokaisen valmiin kappaleen jälkeen
- Itsetehty tarttuja investoinnin kustannusten pienentämiseksi, koska työssä suositeltu VG10 muodostaa huomattavan osan järjestelmän investointikustannuksista.
- Keskustelu ylemmän järjestelmän, kuten MES tai ERP, kanssa, jotta tuote-erien seuranta on helpompaa. Samalla voidaan tehostaa tuotannosuunnittelua.
- Modulaarisuuden ja helppokäyttöisyyden parantamiseksi mobiilirobotti jalustan tilalle. Näin yhteistyörobotti saadaan tarvittaessa työstämään sama tuote-erä autonomisesti esimerkiksi kiinnitinpuristimella ja särmäyskoneella. Yhteistyörobotti kulkisi siis itseksensä tehdasympäristössä, eikä ihmistä tarvittaisi sen liikutteluun.

LÄHTEET

- Anandan, Tanya M. Testing Thresholds for Collaborative Robot Safety. RIA blogiteksti, 27.8.2019. Viitattu 23.2.2020. https://www.robotics.org/content-detail.cfm?content_id=8324
- Delfoi www-sivut 2020. Viitattu 27.2.2020. Saatavilla verkossa. <https://www.delfoi.com/fi/ratkaisu/tuotannon-suunnittelu-ja-ohjaus/>
- Dinwiddie, K. 2019. *Industrial Robotics*. Cengage. 1. painos.
- EFFRA, 2016. Viitattu 22.10.2019. https://www.effra.eu/sites/default/files/factories40_beyond_v31_public.pdf#page=31&zoom=100,90,525
- El Zaatari, S; Marei, M; Weidong, L. & Zahid, U. 2019. *Cobot programming for collaborative industrial tasks: An overview*. Robotics and Autonomous Systems. Numero 116, sivu 162.
- JL Levyteknikka Oy www-sivut 2019. Viitattu 10.6.2019. <https://jl-levyteknikka.fi/>
- Logistiikan maailma www-sivut 2020. Viitattu 27.2.2020. Saatavilla verkossa. <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/ohjausjarjestelmat/toiminnanohjausjarjestelma/>
- Marvel, J. & Norcross, R. 2017. *Implementing speed and separation monitoring in collaborative robot workcells*. Robotics and Computer Integrated Manufacturing. Numero 44, sivu 146.
- OnRobot www-sivut. Viitattu 29.1.2020. Saatavilla verkossa. <https://onrobot.com/en/products/vq10-electric-vacuum-gripper>
- PennEngineering www-sivut 2019. Viitattu 20.6.2019. Saatavilla verkosta. <https://www.pem-net.com/pemserter/pdf/series2009/Finnish.pdf>
- RIA (Robotic Industries Association): *Rethink Robotics Revolutionizes Manufacturing with Humanoid Robot*. Blogiteksti, 21.09.2012. Viitattu 13.6.2019. https://www.robotics.org/content-detail.cfm?content_id=3658
- Robotiq, 2016. *ISO/TS 15066 Explained*. RIA blogiteksti, 25.5.2016. Viitattu 23.2.2020. https://www.robotics.org/content-detail.cfm?content_id=6084
- RIA (Robotic Industries Association). Päiväämätön julkaisu. *The Future of Collaborative Robots*. Viitattu 22.2.2020. <https://www.robotics.org/collaborative-robots/the-future-of-collaborative-robots>
- Robotics Online Marketing Team. *A Brief History of Collaborative Robots*. RIA blogiteksti. 26.02.2019. Viitattu 13.6.2019. <https://www.robotics.org/blog-article.cfm/A-Brief-History-of-Collaborative-Robots/142>
- Robotiq www-sivut 2019. Viitattu 10.07.2019. <https://robotiq.com/>
- SFS-EN ISO 10218-1. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 10218-2. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-ISO/TR 14121-2. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.
- Universal Robotics www-sivut 2019. Viitattu 20.02.2020. <https://www.universal-robots.com/>

UR5e manuaali. Päivämätön julkaisu. Viitattu 16.6.2019. Saatavilla netistä. <https://www.manualslib.com/manual/1459555/Universal-Robots-Ur5e.html?page=1#manual>