

Pekka Suomala

ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU VISUAL COMPONENTS -OHJELMALLA

ROBOTTISOLUN SUUNNITTELU VISUAL COMPONENTS -OHJELMALLA

Pekka Suomala
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Konetekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Pekka Suomala

Opinnäytetyön nimi: Robottisolun suunnittelu Visual Components -ohjelmalla

Työn ohjaaja: Juha-Matti Virpi

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2024

Sivumäärä: 22 + 0 liitettä

Opinnäytetyössä tutkittiin työstökoneen automatisointia yhteistyörobotilla virtuaalisesti Visual Components -ohjelmassa. Opinnäytetyö oli alun perin fyysisen työstökoneen automatisointi yhteistyörobotilla, mutta tilaajayhtiön tarpeiden muututtua opinnäytetyö muutettiin virtuaaliseksi työksi.

Opinnäytetyössä työstökoneella työstetään alumiinista valmistettuja peitelevyjä. Alumiinilevyihin koneistettiin pyöritykset kulmiin ja upotukset ruuvinkannoille levyn pintaan. Näitä alumiinilevyjä alun perin syötettiin koneeseen käsin ihmisen toimesta ja tämä työvaihe haluttiin automatisoida yhteistyörobotilla.

Opinnäytetyön muututtua virtuaaliseksi työ muutettiin tutkielmaksi, kuinka työ olisi mahdollisesti voitu suorittaa halutulla työstökoneella ja yhteistyörobotilla. Visual Components -ohjelmassa oli valmiina malli Universal Robotsin UR10e-yhteistyörobotista ja työhön sopivasta alipainetarttujasta. Alumiinilevyn malli täytyi mallintaa itse Solid Works -ohjelmassa ja Fanuc Robodrill α -t21iel -työstökoneen malli oli saatavilla internetissä.

Asiasanat: yhteistyörobotti, robotiikka, koneistus, konepalvelu, virtuaalinen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in mechanical engineering, Option of automation

Author(s): Pekka Suomala
Title of thesis: Designing a robot cell in Visual Components
Supervisor(s): Juha-Matti Virpi
Term and year when the thesis was submitted: spring 2024
Number of pages: 22 + 0 appendices

The thesis studied the automation of a machining centre with a collaborative robot virtually in Visual Components. The thesis was originally the automation of a physical machining centre with a collaborative robot, but as the needs of the client company changed, the thesis was transformed into a virtual work.

In this thesis, a machining centre is used to machine aluminium cover plates. The aluminium plates were machined with rounded corners and recesses for screw heads on the surface of the plate. These aluminium plates were originally manually fed into the machine by a human operator and it was desired to automate this process with a collaborative robot.

After the thesis became virtual, the work was transformed into a thesis on how the work could possibly have been carried out with the desired machining centre and collaborative robot. A model of the Universal Robots UR10e collaborative robot and a suitable sub-machining centre for the job was available in Visual Components. The aluminium sheet model had to be modelled in Solid Works and the model of Fanuc Robodrill α -t21iel was available on the internet.

Keywords: collaborative robot, cobot, machining, machine service

SISÄLLYS

SANASTO.....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 YHTEISTYÖROBOTTI.....	8
2.1 Yhteistyörobotit ja teollisuusrobotit.....	8
2.2 Turvallisuus.....	8
3 VISUAL COMPONENTS.....	10
4 LEAN-ROBOTIIKKA.....	11
4.1 Lean-tuotanto.....	11
4.2 Lean robotiikka.....	11
5 TYÖSOVELLUS.....	12
5.1 Tarttujan valinta.....	12
5.2 Robottisolun suunnittelu.....	13
5.2.1 UR10e.....	13
5.2.2 Fanuc robodrill α -t21iel.....	13
5.2.3 Työstettävä kappale.....	14
5.2.4 Tarttuja.....	16
5.2.5 Solun turvatoimet.....	18
5.3 Malli robottisolusta.....	19
6 RISKIEN ARVOINTI.....	20
7 POHDINTA.....	21
LÄHTEET.....	22

SANASTO

cobotti	Yhteistyörobotti, englanniksi collaborative robot, joka täyttää yhteistyörobotiikan ISO/TS-15066:n mukaiset standardit.
robottisolu	Kone, jossa hyödynnetään robotiikkaa.
yhteistoimintatila	Tila, jossa ihminen voi työskennellä robotin läheisyydessä.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön alkuperäisenä aiheena oli tutkia Fanuc Robodrill α -t21iel -työstökoneen automatisointia yhteistyörobotilla hyödyntäen. Työssä olisi käytetty Universal Robotsin UR10e yhteistyörobotia, joka olisi sijoitettu palvelemaan työstökoneita työn tilaajan koneistamolle. Työssä haluttiin alun perin kokeilla automatisointia alkuperäisen työn tilaajan, jossain työvaiheessa. Yrityksen tavoitteena oli nähdä, mitä hyötyjä eri vaiheiden automatisoinnilla yhtiö saisi. Keskustelujen tuloksena päädyttiin, että järkevää olisi sijoittaa yhteistyöroboti konepalveluun työstökoneelle.

Työn tilaajan tarpeiden muututtua opinnäytetyötä jouduttiin muokkaamaan siten, että se voidaan suorittaa Microsoftin Visual Components -ohjelmaa hyödyntäen virtuaalisesti. Työssä siis tehtäisiin samoja koneita käyttäen virtuaalinen tutkimus, olisiko kyseisillä koneilla mahdollista suorittaa alun perin suunniteltu työvaihe. Opinnäytetyön päätavoitteeksi tuli tutkia Visual Components -ohjelman hyötyjä robottisolujen suunnittelussa ja valmistelussa.

Opinnäytetyön alussa piti suunnitella, millä yhteistyörobotilla ja robotin työkaluilla työ tultaisiin suorittamaan. Universal Robotsin valmistama UR10e käsivarsi yhteistyöroboti valikoitui työhön, koska Oulun ammattikorkeakoululla näitä oli käytettävissä. Työstökoneella työstettävä kappale on suora-kaiteen mallinen alumiinista pursotettu peitelevy, joten robotin tarttujaksi valikoitui alipainetarrain. Myös työssä hyödynnettyssä Visual Components -ohjelmasta löytyivät nämä edellä mainitut roboti ja haluttu tarrain. Työstettävä alumiinilevy mallinnettiin Solid Works ohjelmalla.

2 YHTEISTYÖROBOTTI

2.1 Yhteistyörobotit ja teollisuusrobotit

Yhteistyörobotit ovat teollisuuteen suunnattuja ohjelmoitavia suhteellisen pieniä robotteja, joita voidaan käyttää yhteistyössä ihmisten kanssa. Nimikin tulee englannin kielen nimityksestä collaborative robot. Merkittävimmät erot yhteistyöroboteissa ilmenee sovelluksen mukaan. Esimerkiksi yhteistyörobotti voi mahdollisesti toimia jatkuvassa yhteistyössä ihmisten kanssa tai toisessa ääripäässä on sovellus, jossa robotti toimii omissa aidatussa tilassa ja jos ihminen tulee aidatulle alueille robotin toiminnan aikana, robotti joko hidastuu merkittävästi tai jopa pysähtyy kokonaan siksi aikaa, kunnes ihminen poistuu robotin toiminta-alueelta. (10. s. 11 – 18.)

Harri Ruostemaa opinnäytetyössään kertoo (11. s. 11), kuinka on olemassa myös teollisuusrobotteja, jotka ovat käytännössä isompia versioita yhteistyöroboteista. Teollisuusroboteilla voidaan liikutella suurempia ja raskaampia kuormia kuin yhteistyöroboteilla. Myös teollisuusrobotit on lähtökohtaisesti tarkoitettu toimimaan täysin itsenäisesti tietyn tehtävän ajan. Teollisuusrobottien robotisolut on myös suunniteltu pysyvämmiksi ja yksilöidymmiksi verrattuna todellisen yhteistyörobotin soluun, jossa pitää olla tilaa sopeutua useampiin tehtäviin ja ihmisen yhteistyö huomioiden.

Yhteistyörobotti täytyy ohjelmoida suorittamaan haluttua tehtävää. Yhteistyörobotin ohjelmointi tapahtuu yleisesti ohjelmointikielellä, käsiohjauksella tallentamalla liikepisteitä tai simulointiohjelmalla. Yhteistyörobottien ohjelmoinnin helppous on suuri etu verrattuna teollisuusrobotteihin. Yhteistyörobotti on mahdollista ohjelmoida useampaan työtehtävään tai vaiheeseen, mutta tässä pitää ottaa huomioon kuinka kannattavaa on siirrellä yhtä robottia, johon vaihdetaan tarttuvia ja/tai ohjelmia työn vaatimusten perusteella. (12. s. 6 – 16.)

2.2 Turvallisuus

Raimo Vähä toteaa opinnäytetyössään (2, s. 10 - 11), että sovellukset, joissa käytetään yhteistyörobotteja, tulee täyttää standardien SFS EN ISO 10218-1 ja 10218-2 vaatimukset. Robottisolu tulee

suunnitella siten, että operaattori voi suorittaa häneltä vaaditut työtehtävät ilman riskejä. Operaattorilla täytyy myös aina olla mahdollisuus pysäyttää robotin toiminta esimerkiksi hätä-pysäytysnapilla tai poistua esteettömästi yhteistyötilasta.

Vähän opinnäytetyössä (2, s. 16, 18) todetaan, että kaikissa roboteissa tai robottisolussa täytyy olla riittävä määrä hätä- ja suojapysäytystoimintoja. Tarvittava määrä määräytyy standardin SFS-EN ISO 13855:n mukaan. Laitesijoittelu robottisolussa on keskeisessä osassa vaarojen minimoimisessa. Laitesijoittelussa otetaan huomioon muun muassa, robottisolun fyysiset rajat, työtila, kulkuväylät ja välietäisyydet, mahdolliset käsityövaiheet, ergonomia ja työkappaleiden lastaus ja purku.

3 VISUAL COMPONENTS

Visual Components on 3D-simulaatio työkalu, jolla yritykset tai oppilaitokset pystyvät alustavasti tai pidemmällekin vietyinä suunnittelemaan simulaatioita tarvittavista sovelluksista esimerkiksi, varastotiloista, tuotantosoluista tai täysistä layouteista. Ohjelmaan pystyy myös tuomaan itse tehtyjä 3D-malleja ja käyttämään niitä osana simulaatiota. (7.)

Opinnäytetyössä käytettiin Visual Components Premium versiota 4.7. Visual Components ohjelma tarjoaa tuhansia valmiita malleja käyttöä varten heidän eCatalogistaan. Malleja löytyy niin automaatirobotteista, kameroista, valmiista CNC-työstökoneista ja jopa täysistä tehdas layouteista tunnetuilta teollisuuden ja automaation osajilta. (8.)

4 LEAN-ROBOTIIKKA

4.1 Lean-tuotanto

Lean tuotanto auttaa tuottajaa keskittymään tuottamaan lisää arvoa kuluttajalle tai asiakkaalle kuin samaan aikaan vähentämään hukkatuotantoa. Lean tuotannon koko päämäärä on palvella paremmin asiakasta. Asiakas voi olla yrityksen ulkoinen toimija, joka tuottaa tuloja rahaa antamalla tuotettua tuotetta vastaan tai jopa yrityksen sisäinen toimija, kuten eri tuotannon prosessit linjastolla saavat oikean määrän oikeita osia oikealla tavalla aseteltuna oikeaan aikaan. (3, s. 49.)

4.2 Lean robotiikka

Robottisolun pitää olla turvallinen ihmisille. Työntekijän turvallisuus on keskeinen osa yhteiskuntaa ja oikeudellisia määräyksiä. Robotti sovellusta tehdessä pitää ottaa huomioon ja tutkia mahdolliset riskit. Kuten minkä tahansa uuden laitteen kanssa, jota ollaan tuomassa tuotantoon, täytyy tehdä perusteellinen riskien arviointi. Riskien arviointi tulee suorittaa standardien kuten ISO/TS-15066 ja paikallisten määräysten mukaisesti.

Lean johtamisen näkökulmasta olisi hyödyllistä suunnitella robottisoluista helppokäyttöisiä ja ymmärrettäviä kaikille työntekijöille eikä vain henkilöille, jotka ovat koulutettu työskentelemään robotien parissa. Jos robotin toiminta on helposti ymmärrettävissä kaikille työntekijöille, hekin voivat tutkia lisämahdollisuuksia uusille robottisoluille eri työvaiheissa. Vaikkakin kaikki työntekijät eivät välttämättä voi tuoda tuotantoon uutta robottia, he voivat esittää hyviä ehdotuksia uusista robotisointi mahdollisuuksista henkilöille, jotka pystyvät ja osaavat tuoda uuden robotin tuotantolinjalle. Toinen hyöty robottisolun ymmärtämisessä työnantajan näkökulmasta on, että ei pääse tapahtumaan tilannetta, jossa ei ole henkilöä paikalla, joka ei pystyisi käyttämään robottia tarvittaessa. (3, s.44)

5 TYÖSOVELLUS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on virtuaalisesti mallintaa metallityöstökoneen automatisointi yhteistyörobotilla Visual Components -ohjelmassa. Työstökoneessa valmistetaan alumiinisia peitelevyjä. Työ on jaettu osiin toimintoihin, jotka ovat, robotin makasiinin täyttö, työstettävän peitelevyn poiminta, oikeansuuntaisuuden tarkastus, kappaleen asettaminen työstökoneeseen, valmiin kappaleen poisto työstökoneesta ja sen asettaminen haluttuun paikkaan.

5.1 Tarttujan valinta

Tarttumat ovat robotin tärkeimpiä lisävarusteita, joita ilman robotin on vaikea tehdä yhtään mitään. Tarttumuilla robotit pystyvät käsittelemään työkappaleita halutulla tavalla. Työhön hyvin suunniteltu tarttuja on kevyt eikä vie robotin kantokykyä, on tarpeeksi luja kestämään mahdolliset törmäykset, pystyy nostamaan halutun kappaleen, kestää olosuhteet, joihin se on sijoitettu ja olla varmatoiminen.

Tarttujan valinnassa pitää ottaa huomioon kappaleen asettamiset ehdot, kuten paino, fyysinen koko, pinnan käsittely ja materiaali. Esimerkiksi paino estää pienempien ja tarkempiin sovelluksiin tarkoitettujen tarttujen käytön, fyysinen koko taas, jos kappale on iso voi estää erilaisten sormitarttujen käytön. Kappaleen materiaali, kuten muovi tai alumiini estää magneetin käytön tarttujassa tai pinnan käsittelyn pitää ottaa huomioon, että siihen ei tule jälkiä siirtelystä. Myös sillä on vaikutusta, miten päin kappale tarjotaan robotille.

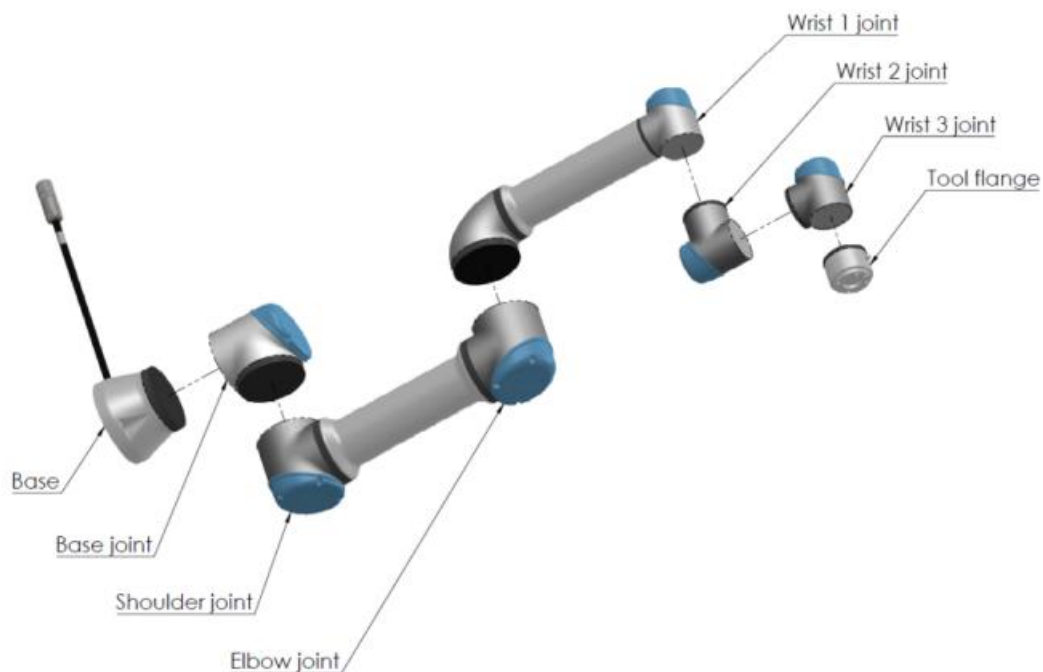
Tässä opinnäytetyössä työstettävä peitelevy on ohut alumiinista valmistettu peitelevy, joten tarttuja ei voi olla magneettinen, eikä sormitarttuja kappaleen laajan pinta-alan vuoksi. Mahdolliseksi valinnaksi käytännössä jää vain alipainetarrain käsiteltävän kappaleen laajan pinta-alan ja sen tasaisuuden vuoksi. Kappaleeseen ei myöskään saa tulla jälkiä tarrauspinnalle, koska se maalataan työstön jälkeen.

5.2 Robottisolun suunnittelu

Opinnäytetyön robottisolun on tarkoitus toimia ilman ihmisen valvontaa ja ihmistä tarvittaisiin vain täyttämään ja tyhjentämään työkappaleiden makasiinit. Robottisolun suunnittelu lähtee siitä, että selvitetään mihin robottisolun sijoitetaan, aidoitetaanko se ja mihin robotti sijoitetaan solussa. Soluun pitää myös paikoittaa alueet työstettäville kappaleille ja valmiille kappaleille. Robottisolun viimeistellään tarvittavilla turvajärjestelmillä, joita voivat olla esimerkiksi valoverhot, seinät, ovet, sammutusnapit ja hätäseisäkytkimet.

5.2.1 UR10e

Opinnäytetyössä käytetään mallia Universal Robotsin valmistamasta UR10e käsivarsi yhteistyörobottista (Kuva 1),

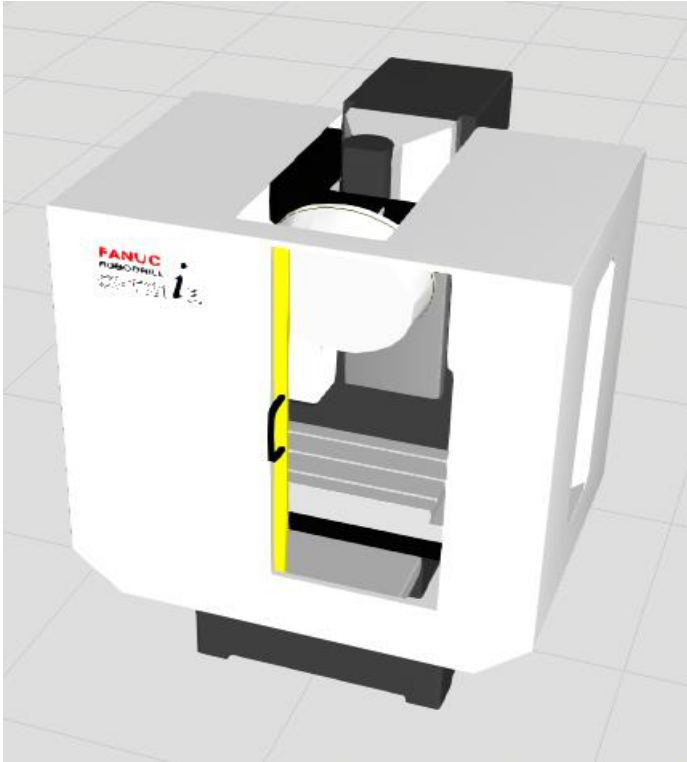


KUVA 1. UR10e räjäytyskuva (9. s. 2)

5.2.2 Fanuc robodrill α -t21iel

Fanuc robodrill α -t21iel on 3-akselinen työstökone. Työstökoneen X-akselilla on liikkuma va-
raa 700 mm, Y-akselilla 400mm ja Z-akselilla 330mm. Työstökoneen työstettävän kappaleen

massa saa olla enintään 250kg. Työstökoneen karaa voi pyörittää noin 100 – 10 000 kierosta minuutissa ja työstökoneeseen mahtuu 21 erilaista työkalua. Työstökone vie noin 2m*2m tilan lattialta ja painaa noin 2100kg (Kuva 2). (5.)



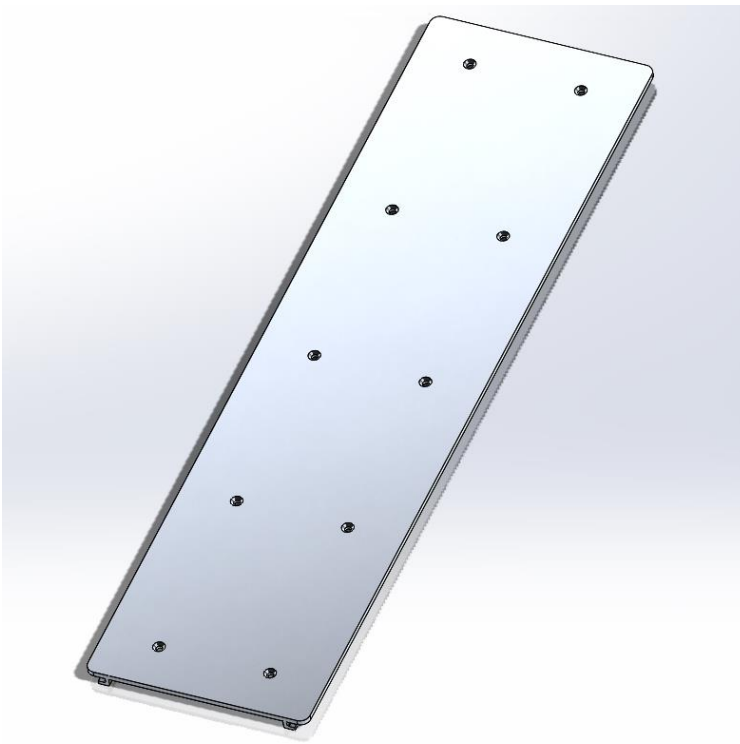
KUVA 2. Fanuc Robodrill α-t21iel 3D-malli.

5.2.3 Työstettävä kappale

Kappale on pursotettua alumiiniprofiilia, joka tulee valmistajalta noin 3 metrin mittaisina tankoina ja materiaali on noin 3mm paksuista. Työstettävät kappaleet leikataan mittaan 450mm x 120mm ja ne painavat 0.48 kg kappaleelta (Kuva 3). Työstökoneella kappaleiden reunat pyöristetään ja kappaleisiin porataan 10 kappaletta M3 ruuvireikiä ruuvinkantojen upotuksilla (Kuva 4).



KUVA 3. 3D-malli koneistamattomasta peitelevystä



KUVA 4. 3D-malli koneistetusta peitelevystä.

5.2.4 Tarttuja

Tarttujaksi valikoitui Robotiqin Epick sarjan alipainetarttuja (Kuva 5). Robotiqin tarttujan ovat helposti integroitavissa Universal Robotsin laitteisiin ja kyseessä oleva tarttuja oli saatavilla Visual Componentsissa. Epickissä on sisäänrakennettu alipainepumppu.



KUVA 5. Robotiq Epick kahdella imukupilla

Tarttujan valintaa varten laskettiin tarttujan alipaineen tuottama voima 60% tyhjiöllä (Kaava 1), (Kuva 6). Kaksi imukupia 60% tyhjiöllä tuottaa 152,73N voiman. 60% alipaine on valittu Robotiqin tukiasiakirjasta (6, s. 81-82).

$$F_p(N) = \frac{A \times P \times n}{1000}$$

A= Suction cups internal surface (mm²)

P= Vacuum Level (kPa)

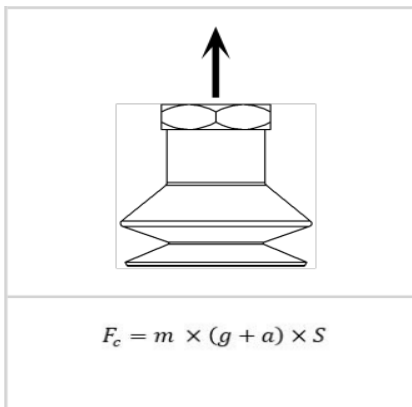
n= Quantity of suction cups to lift-off

KAAVA 1. Imukuppien tuottaman voiman kaava (6, s. 79)

Imukupin pinta-ala (r=20mm)			
$A=\pi*r^2$			
Imukuppien määrä			
2			
60% alipaineen tuottama voima			
60,8	kPa		
Tarttujan laskennallinen voiman tuotto			
152,7296	N		

KUVA 6. Tarttujan laskennallinen voiman tuotto.

Työstettävään kappaleeseen kohdistu 21,14N voima 4 kertainen turvakerron huomioon otettuna robotin nostaessa se koneeseen (Kaava 2), (Kuva 7). Kiihtyvyyys 1,2 m/s² on valittu Robotiqin tukiasiakirjasta (7, s. 81-82).



Where:

- M = mass (kg)
- G = gravitational acceleration (m/s²)
- A = robot acceleration (m/s²)
- μ = friction coefficient
- S = safety factor

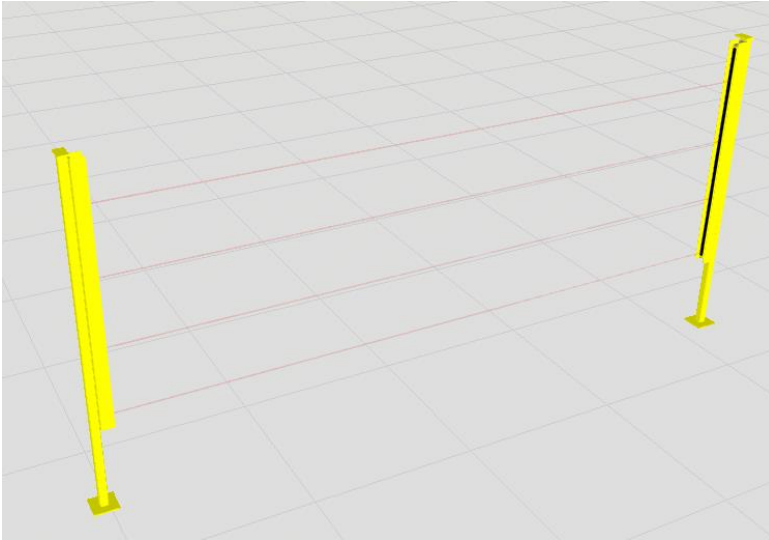
KAAVA 2. Kappaleeseen kohdistuvan voiman kaava vertikaalisessa liikkeessä (6, s. 80)

Kappaleen massa		
m=0,48	kg	
Kiihtyvyyys		
a=1,2	m/s ²	
Turvakerron		
4		
Kappaleeseen kohdistuva voima		
21,14	N	

KUVA 7. Kappaleeseen kohdistuva voima.

5.2.5 Solun turvatoimet

Robottisolun turvatoimina käytetään valoverhoa (Kuva 8) ja turvarajakytkimiä (kuva 9). Raine Ruohola kertoo opinnäytetyössään kuinka, valoverho on käytännössä monta valokytkintä yhdessä laitteessa. Valokytkin toimii lähettämällä valonsäteitä vastaanottimeen ja jos tämä valonsäde katkeaa, valoverhon takana oleva laite pysähtyy. (4, s. 22) Esimerkkinä käytetään Sickin turvarajakytkintä ES21-SA11H1:stä, joka toimii hätäseispainikkeena ja resetoimaan valoverho, jos se on katkaistu.



KUVA 8. 3D-malli valoverhosta



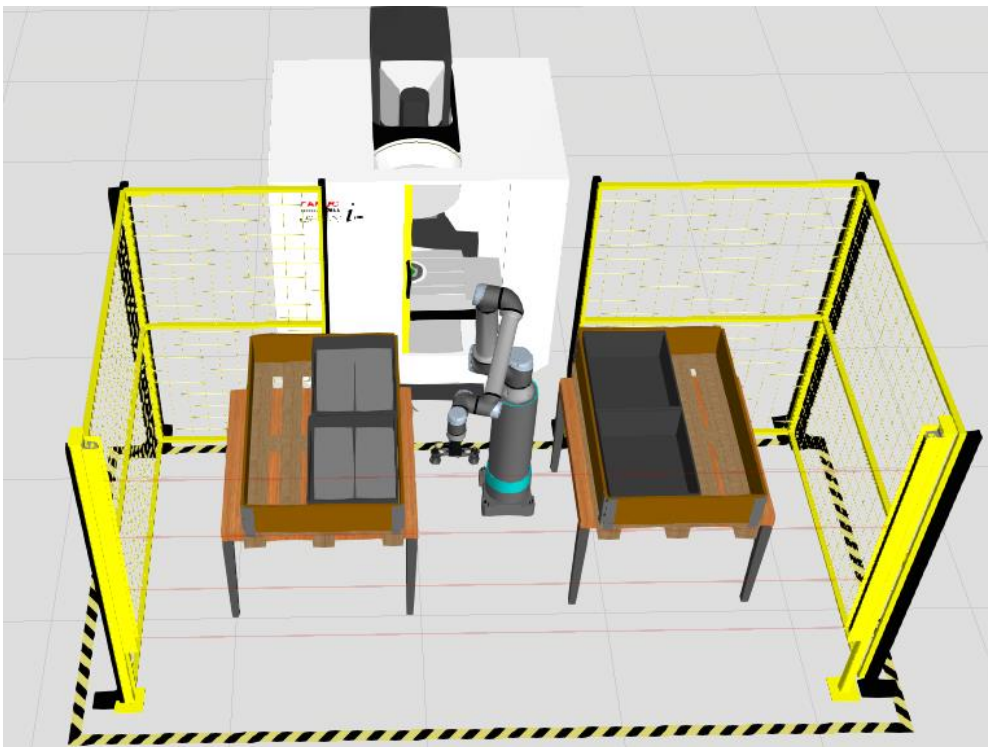
KUVA 9. Esimerkkikuva turvarajakytkimestä Sick ES21-SA11H1

5.3 Malli robottisolusta

Robottisolu on suunniteltu tilan suhteen joustavaksi ja todellisessa käyttöönotossa mahdollisesti jouduttaisiin tinkimään tilasta mitä on käytettävissä. Solu on suunniteltu siten, että robotti toimii itsenäisesti solussa ja ihminen tuo uudet työkappale aihiot joko trukilla tai pumppukärryillä ja vie valmiit kappaleet seuraavaan työvaiheeseen.

Robotti on sijoitettu sille edulliseen paikkaan työstökoneen eteen, mistä robotti pystyy helposti poimimaan työstämistä vaille olevat kappaleet, ja asettamaan ne työstökoneeseen. Työstökoneen ovea liikutetaan joko robotin voimin tai koneeseen voidaan asentaa lineaarisen liikkeen tuottava kisko, joka liikuttaa ovea, kun on saanut signaalin robotilta, että robotti on liikkunut pois koneesta. Työstön jälkeen robotti poimii kappaleen koneesta ja asettaa sen oikealle puolelle järjestelmällisesti laatikkoon tai makasiiniin.

Robottisolu on aidattu, jotta solun ympärillä tapahtuva toiminta ei haittaa robotin työskentelyä. Esimerkiksi jos robotin työalue olisi rajattu vain laserskannerilla, joka havaitsee sen alueella tapahtuvan toiminnan, se herkästi johtaisi siihen, että robotin työ katkeilisi tai hidastuisi turhaan.



KUVA 10. Robottisolun malli

6 RISKIEN ARVOINTI

Riskin arviointi ja pienentäminen suoritetaan tietyssä järjestyksessä. (2, s.12):

- määritetään koneen raja-arvot, jotka sisältävät tarkoitetun käytön ja kohtuudella ennakoitavan väärinkäytön
- tunnistetaan vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet
- arvioidaan riskin suuruus jokaisen vaaran tai vaaratilanteen osalta erikseen
- arvioidaan riskin merkitys ja tehdään päätös riskin pienentämisestä
- poistetaan vaara tai pienennetään vaaraan liittyvää riskiä asiaan sopivalla suojaustoimenpiteellä.

Tätä prosessia noudattamalla mahdolliset riskit saadaan hyväksyttävälle tasolle. (2, s.12)

Turvallisuus koneen suunnitteluvaiheessa otetaan huomioon seuraavassa järjestyksessä, luontaisesti turvalliset suunnitteluratkaisut, suojaustekniset ja täydentävät suojaustoimenpiteet ja käyttöä koskevat ohjeet, varoituskilvet, varoituslaitteet ja koulutus. (2, s.12)

7 POHDINTA

Opinnäytetyön alussa oli tarkoitus valmistaa prototyyppi robottisolusta teollisuusyritykselle, mutta heidän yrityksen tarpeidensa muututtua työstä sovellettiin virtuaalinen simulaatio samantyyppisestä työstä. Työn tuloksena saatiin toteutettua teoriassa toimiva robottisolun malli, jossa pystytään tuottamaan haluttuja kappaleita ilman ihmisen osallisuutta työhön muuten kuin tuomalla aihiota ja viemällä valmiiksi koneistetut kappaleet pois.

Kun työ muuttui virtuaaliseksi simulaatioksi, jo alussa ajattelin, että työn laajuus tulee kärsimään huomattavasti verrattuna oikean robottisolun suunnitteluun verrattuna ja tulee olemaan haastavaa miettiä kaikkia mahdollisia työvaiheita, jotka olisivat mahdollisesti olleet helpompi huomata oikean robotin tuotantoon siirtämisessä. Vaikkakin työ mahdollisesti jäi suppeammaksi, sai tästä silti hyvää oppia Visual Components -ohjelmasta, jota on käsitelty opiskeluaikana vain kevyesti yhdellä ryhmätyökurssilla.

LÄHTEET

1. Oulun ammattikorkeakoulu. Mitä ovat cobotit? Hakupäivä 15.10.2023. <https://www.oamk.fi/fi/tutkimus-ja-kehitys/tki-ja-hanketoiminta/rokka/rokka-mita-ovat-cobotit>
2. Vähä, Raimo 2019. Yhteistoimintarobotiikan turvallisuussuunnittelu PK-yrityksissä. Oulun ammattikorkeakoulu. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 10.10.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/167393/Vaha_Raimo.pdf?sequence=2&isAllowed=y
3. Bouchard, Samuel. Lean Robotics, A Guide to Making Robots Work in Your Factory.
4. Ruohola, Raine 2011. Robottisolun turva-alue suunnittelu. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Opinnäytetyö. Hakupäivä 5.12.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36367/Ruohola_Raine.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Intelligent High Speed CNC Drill with Versatility. Hakupäivä 5.12.2023. https://machinetools.com.au/amtshowroom/milling/milling10_eseries.PDF
6. Robotiq EPick Vacuum Gripper for e-Series Universal Robots. Hakupäivä 4.12.2023. https://assets.robotiq.com/website-assets/support_documents/document/EPick_Instruction_Manual_e-Series_PDF_20200420.pdf
7. Visual Components. Hakupäivä 6.12.2023 <https://www.visualcomponents.com/>
8. Visual Components. eCatalog. Hakupäivä 6.12.2023 <https://www.visualcomponents.com/ecatalog/#/>
9. Universal Robots. Universal Robots e-Series User Manual. Hakupäivä 31.1.2024. [Universal Robots - User manual - UR10e e-Series - SW 5.9 - English international \(en\) \(universal-robots.com\)](https://www.universal-robots.com/Universal-Robots-User-manual-UR10e-e-Series-SW-5.9-English-international-en)
10. Timo Salmi, Otso Väättäinen, Timo Malm, Ilari Marstio, VTT. Ihmisen ja robotin yhteistyö – haasteita ja mahdollisuuksia. Konepajateollisuuden tulevaisuus ja tekniikat seminaari, 30.9.2014 Hakupäivä

22.2.2024. <https://docplayer.fi/19640030-lhmissen-ja-robotin-yhteisty-haasteita-ja-mahdollisuuk-sia.html>

11. Ruostemaa, Harri 2020. Yhteistyörobotti yritys- ja oppimisympäristössä. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu. Energiatekniikka. Opinnäytetyö. Hakupäivä 22.2.2024. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/347214/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
12. Posicraft Oy. Yhteistyörobotiikka. Hakupäivä 22.2.2024. <https://docplayer.fi/36078867-Mita-ovat-yhteistyrobotit-yhteistyrobotit-ovat-uusia-tyokavereita-robotteja-jotka-on-tehty-tyoskentele-maan-yhdessa-ihmisten-kanssa.html>