

Robottiikan koulutustila

Mekaaninen suunnittelu

Teemu Elgfors

OPINNÄYTETYÖ
Elokuu 2022

Konetekniikka
Koneautomaatio

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

ELGFORS, TEEMU:
Robotiikan koulutustila
Mekaaninen suunnittelu

Opinnäytetyö 39 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Elokuu 2022

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella robotiikan koulutustila AGCO Power yhtiölle yhteistyössä Nokian Tredun ja Roboboost-hankkeen kanssa. Projekti valittiin opinnäytetyöntekijän harjoitteluopintojakson aiheeksi. Projekti osoittautui lopulta liian kunnianhimoiseksi neljän viikon pituiseen harjoitteluun, joten AGCO Powerin yhteyshenkilö ehdotti jatkaa projektia opinnäytetyön puitteissa. Työn tarkoitus perustui vanhan taukotilan uudelleenkäyttämiseen robotiikan koulutustilana. Tilaan otettiin kaksi robottia, joiden tavoitteena olisi kouluttaa robotiikan perusteita eri toimikunnille. Projekti ajoittui vuosille 2021 ja 2022. Opiskelijalle toimeksi valittiin tilan mekaaninen suunnittelu ja turvallistaminen.

Robotiikan koulutustilan projektityö ei tullut päätökseen opinnäytetyön aikana, mutta opiskelijan työntehtäviin kuuluvat aiheet saatiin päätökseen. Tuloksena saatiin suunnitelmat tilan mekaanisesta layoutista ja turvallistamisesta, jotka myös osittain toteutettiin.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

ELGFORS, TEEMU:
Robotics Training Centre
Mechanical Design

Bachelor's thesis 39 pages, appendices 1 pages
October 2022

This thesis and its project were commissioned by a company named AGCO Power in collaboration with Tampere vocational college Tredu and the Roboboost project. The student wasn't familiar with the company before the project. The project was launched in the summer of 2021 as the subject matter on an on-the-job training course and carried on till the autumn of 2022. The project was deemed too ambitious for such a short 4-week job training period, which gave the idea of continuing it as a thesis work.

The purpose of this project was to repurpose an old break room into a robotics training facility. The room would house 2 robots, with the objective of educating the basics of robotics to different audiences. The student was tasked with designing the mechanical layout of the room along with the safety system.

As of the completion of this thesis, the project was still ongoing, but the thesis work was completed, resulting in the completion of the mechanical design and safety grid, with the practical side partly finished.

Key words: mechanical design, safety grid, project

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	ROBOTTIEN TEORIA JA HISTORIA.....	8
2.1	Robottien teoria.....	8
2.2	Robottien historia	8
2.3	ABB robotin historia	9
2.3.1	Yleisesti	9
2.3.2	Projektin robotti.....	10
2.4	FANUC robotin historia	12
2.4.1	Yleisesti	12
2.4.2	Projektin robotti.....	12
2.5	Havainnot.....	14
3	TURVALLISUUSTARKASTELU	15
3.1	Riskinkartoitus.....	15
3.1.1	Riskin arviointi ISO 12100 mukaisesti	15
3.1.2	Riskien tunnistaminen robotiikan koulutustilassa	16
3.1.3	Riskin suuruuden määrittäminen	17
3.2	Koneturvallisuus yleisesti ja projektissa	19
3.2.1	Koneturvallisuuden standardit	19
3.2.2	Koneasetus	19
3.2.3	Konedirektiivi	20
3.2.4	Käyttöasetus.....	20
3.2.5	Työturvallisuuslaki	20
3.2.6	Rikoslaki	21
3.3	Turvallisuuteen liittyvät laskut	21
4	PROJEKTITYÖN SUUNNITTELU	23
4.1	Aloitukset ja opinnäytetyöprosessi	23
4.1.1	Opittu materiaali	23
4.2	Layout	23
4.3	Pöydät.....	25
4.4	Harjoitteluosat	27
4.5	ABB robotin tarttuja	28
4.6	Robottien jalustat	30
5	PROJEKTITYÖN MEKAANINEN TOTEUTUS	31
5.1	Fyysinen työskentely.....	31
5.1.1	Huoneen mitoitus.....	32
5.2	Pöytien tilaaminen.....	33

5.3 Robottien siirtäminen	33
5.4 Ilmastointi.....	34
5.5 Paineilman asennus.....	34
5.6 Robottien asettelu ja kiinnittäminen.....	34
5.7 Turvallistaminen.....	35
6 POHDINTA	36
LÄHTEET.....	37
LIITTEET	39
Liite 1. Metstan riskinarviontilomake	39

LYHENTEET JA TERMIT

AGCO	Agricultural Company
ASEA	Allmänna Elektriska Aktiebolaget
BBC	Brown, Boveri & Company
CAN	Controller Area Network
Esim.	Esimerkiksi
FANUC	Fuji Automatic Numerical Control
IO	Input/Output
mm.	Muun muassa
YuMi	You and Me

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on dokumentoida robottikoulutushuoneen suunnitteluprosessi alusta loppuun. Projekti sai alkunsa kesällä vuonna 2021 opiskelijan aiemman harjoittelun yhteydessä. Harjoittelun edetessä huomattiin, ettei aikaa ollut riittävästi projektin suorittamiseen kesäloma-aikaan. Täten ehdotettiin, että projekti vietäisiin loppuun opinnäytetyönä. Projekti jatkui ikään kuin samasta paikasta, kuin mihin se harjoittelussa jäi myöhemmin syksyllä vuonna 2021, kun opinnäytetyön sopimukset ja hyväksynyt olivat valmiit.

Tämä opinnäytetyöprojekti keskittyy robottikoulutushuoneen mekaaniseen ja suunnitteluorientoituneeseen puoleen. Koulutushuoneen harjoitteiden rakentamisosuus ja opintokokonaisuuden laatiminen ei kuulunut tähän opinnäytetyöhön. Opinnäytetyö on suoritettu AGCO Power:lle. AGCO Power on tunnetuin dieselmoottoreiden valmistamisesta, mutta se valmistaa myös aggregaatteja, pumppuja, hammaspyöriä ja vaihteistoja. AGCO Power on osana suurempaa AGCO-konsernia, joka on kansainvälinen suuryhtiö kohdistuen eniten maatalousalaan, mutta toimii myös merenkulun, teollisuuden, metsäteollisuuden ja varavoimantuoton parissa.

Opinnäytetyön kappaleessa kaksi käydään läpi robottien ja varsinkin projektissa esiintyvien robottien historiaa ja teoriaa. Kolmannessa kappaleessa ovat robottikoulutushuoneen turvallistamisen teoriaosuus ja käytännön toteutus. Neljännessä kappaleessa käydään prosessin suunnitteluvaihe ja viidennessä luvussa itse mekaaninen toteutus huoneen puolella. Opinnäytetyön lopuksi esitellään opinnäytetyön kirjoittajan omat päätelmät, lopputulokset ja ajatukset projektista ja sen kulusta.

2 ROBOTTIEN TEORIA JA HISTORIA

2.1 Robottien teoria

Oxfordin sanakirja määrittelee sanan ”robotti” lauseella: ”Kone, joka pystyy suorittamaan sarjan monimutkaisia tehtäviä automaattisesti.” Vaikka tämä lausahdus onkin totta, robotin ei tarvitse suorittaa niinkään monimutkaisia tehtäviä ollakseen määritelmältään robotti. Robotteja esiintyy monessa eri muodossa, joten sanalle on vaikeaa kehittää yhdenmukaista ja kattavaa määritelmää, joka kuvaisi sanan oikeaa merkitystä. (Oxfordin sanakirja, ei pvm.)

Moderni moniakselinen kättä muistuttava nivelletty robotti seuraa muutamaa tärkeää peruseriaatetta: Digitaalinen ohjelmointi, toistettavuus, tarkkuus ja luotettavuus.

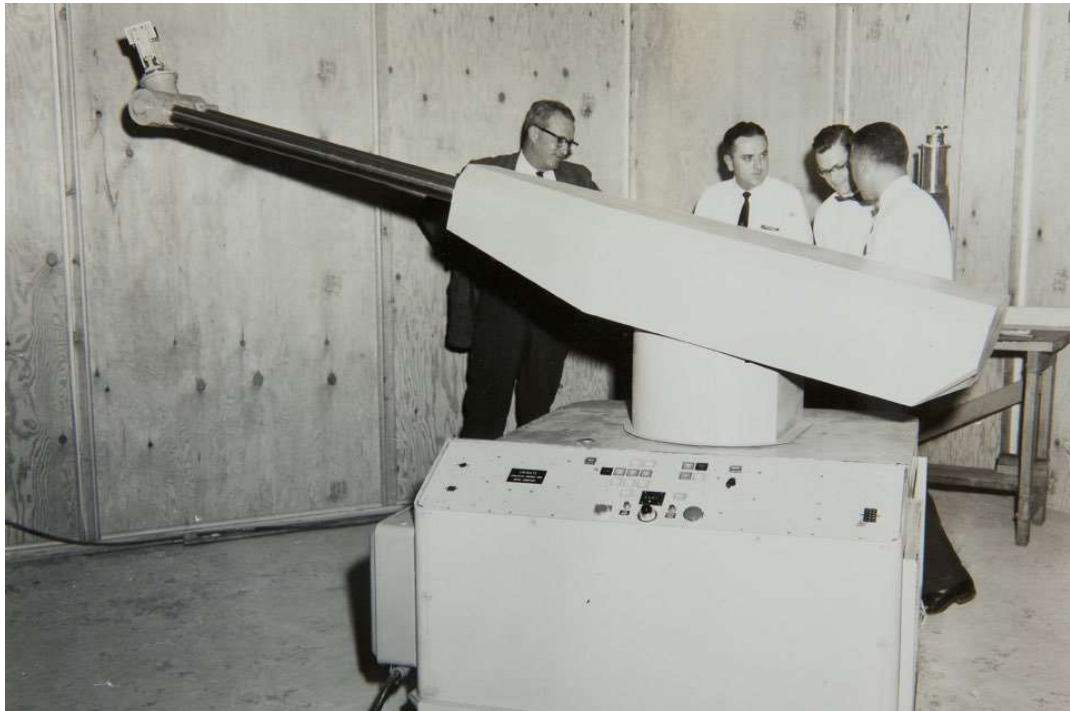
2.2 Robottien historia

Moderni robotiikka sai alkunsa fiktiivisistä tiedekirjoista, joiden suurin edelläkävijä oli Isaac Asimov. Asimov kirjoitti monia pientarinoita roboteista ja samalla kirjasi fiktiivisten robottien 3 sääntöä, joista ensimmäinen on ”Älä vahingoita” (Hockstein, 2007). Tämä sääntö pysyi mielessä, kun vuonna 1956 Joseph Engelberger tapasi keksijän nimeltä George Devol ja vuotta myöhemmin pari saivat rahoituksen kehittääkseen Devolin uutta keksintöä. Tämä keksintö sai ensimmäisen prototyypinsä kahta vuotta myöhemmin ja oli nimeltään ”The Unimate #001”. (Automate, ei pvm.)

Unimate robotit olivat ensimmäisiä massavalmistettuja teollisuusrobotteja automaatiokäyttötarkoitukseen ja niitä valmistettiin noin 450 kappaletta painevaluun General Motorsin tehtaaseen New Jerseyhyn.

Vuonna 1966 Engelberger lisensoi Suomen Nokian valmistamaan ja myymään Unimate-robotteja Skandinaviassa ja Itä-Euroopassa. Kolme vuotta myöhemmin Aasiassa hän lisensoi Kawasaki Heavy Industryn, joka tänä päivänä on nimeltään Kawasaki Robotics. General Motors oli siihen aikaan Yhdysvalloissa maailman

automatisoiduin autotehdas. Uusilla Unimate-pistehitsausroboteilla autoja pystyttiin valmistamaan tunnissa 110 kappaletta, joka oli puolet enemmän kuin mihin muut tehtaot siihen aikaan pystyivät. Onnistuneen robotiikan teollisuuden alun myötä monet muut autoteollisuuden jätit kuten BMW, Volvo, Mercedes Benz ja Fiat alkoivat automatisoimaan tehtaataan. (Automate, ei pvm.)



KUVA 1. Devol, Engelberger ja heidän työtoverinsa kehittämässä Unimate robotia (Kawasaki Robotics, ei pvm.).

2.3 ABB robotin historia

2.3.1 Yleisesti

BBC eli tunnettu sveitsiläinen Brown, Boveri & Company oli yksi Euroopan suurimmista sähköalan yrityksistä ja valmisti muun muassa sähkömoottoreita ja turbiineja. ASEA puolestaan oli ruotsalainen teollisuusyritys, joka valmisti sähköisiä lampunmenetelmiä ja aggregaatteja, sekä kuuluisasti useita Ruotsin ydinvoimaloita ja myöhemmin yhden ensimmäisistä teollisuusroboteista. (ABB, ei pvm.)

ASEA laajensi robottituotantoon ja sen robotit saivat kunnolla alkunsa vuonna 1974 heidän ensimmäisellä robotillaan, kun ASEA kehitti kokonaan sähköisellä mikroprosessorilla kontrolloidun IRB 6 -robotin. Seuraavana vuonna ASEA automatisoi kaarihitsauksen IRB 6 -robotilleen, jonka jälkeen vuonna 1979 ASEA kehitti myös ensimmäisen sähköisen pistehitsausrobotin nimeltään IRB 60.

ASEA laajensi Japanin markkinoille vuonna 1982 ja vuotta myöhemmin kehittivät ohjaimen, joka mahdollisti seitsenakselisen robotin ohjauksen. (ABB, ei pvm.)

ABB syntyi vuonna 1988 ASEA ja BBC yhtiöiden yhdistymisen myötä. Sen jälkeen ABB on tuonut markkinoille monia uusia robotteja, kuten vuonna 1998 valankumouksellisen RobotStudio-ohjelman ja nopeat FlexPicker delta -robotit siirto- ja paketoititarkoituksiin, sekä vuonna 2015 maailman ensimmäinen kokonaan yhteistyökykyisen YuMi-yhteistyörobotin. (ABB, ei pvm.)

2.3.2 Projektin robotti

Projektin ABB-robotti, joka näkyy kuvassa 2, oli nimeltään ABB IRB 140. IRB 140 on kompakti kuuden vapausasteen robotti, jota käytetään yleisesti materiaalin hallinnan yhteydessä. Robotin yleistiedot ovat listattuna taulukossa 1. (Robots Done Right, 2022.)

Materiaalin hallinta tarkoittaa kappaleiden tai osien liikuttamista pieniä matkoja yleisesti rakennuksen sisällä. Materiaalinhallintarobotti on hyödyllinen, kun halutaan poistaa ihmiseltä pitkäväteinen, yksitoikkoinen ja virhealtis tehtävä, kuten ruuvien ruuvaaminen tai kappaleen nostaminen paikoilleen liukuhihnalle tai työstösoluun. IRB 140 -robotti voidaan asentaa maahan, kattoon tai vaikka seinälle. IRB 140 -robottia voidaan myös hyödyntää hitsauksessa ja kokoonpanossa. (Robots Done Right, 2022.)

ABB

Nivelten määrä	6
Kuorma	6 kg
Kurotus	810 mm
Toistettavuus	± 0,03 mm
Robotin massa	98 kg
Rakenne	Nivelletty
Liikenopeus A1	200 °/s
Liikenopeus A2	200 °/s
Liikenopeus A3	260 °/s
Liikenopeus A4	360 °/s
Liikenopeus A5	360 °/s
Liikenopeus A6	450 °/s
Nivelen 1 ulottuvuus	± 360°
Nivelen 2 ulottuvuus	± 200°
Nivelen 3 ulottuvuus	± 280°
Nivelen 4 ulottuvuus	400°
Nivelen 5 ulottuvuus	± 230°
Nivelen 6 ulottuvuus	800°

TAULUKKO 1. ABB IRB 140 raja- arvot (Robots Done Right. 2022).



KUVA 2. ABB IRB 140

2.4 FANUC robotin historia

2.4.1 Yleisesti

FANUC perustettiin Japanissa vuonna 1956 tohtori Seuiemon Inaban toimesta. Inaba oli ensimmäinen, joka ehdotti koneiden numeerista ohjausta. FANUC on lyhenne ja tarkoittaa Fuji Automatic Numerical Control. FANUC oli aluksi numeerisella ohjauksella varustettuja koneita (NC- koneita) valmistava yritys 50 ja 60-luvulla. (Robots Done Right. 2022.)

1974 oli alku FANUC:n robottiaikakaudelle, kun ensimmäiset FANUC-robotit otettiin käyttöön tehtaisiin Japanissa. 70-luvun loppu omistettiin Eurooppaan laajenemiselle ja uusille ROBOCUT ja ROBODRILL-tuotteille. (Robots Done Right. 2022.)

FANUC:n menestys ei kuitenkaan alkanut vielä ennen 2000-lukua, vaan vasta kun he alkoivat kehittämään robottien ohjaimia ja ohjelmistoa 2000-luvun alussa. Nykyään FANUC:n robotit ovat maailman käytetyimpiä robotteja. (Robots Done Right. 2022.)

2.4.2 Projektin robotti

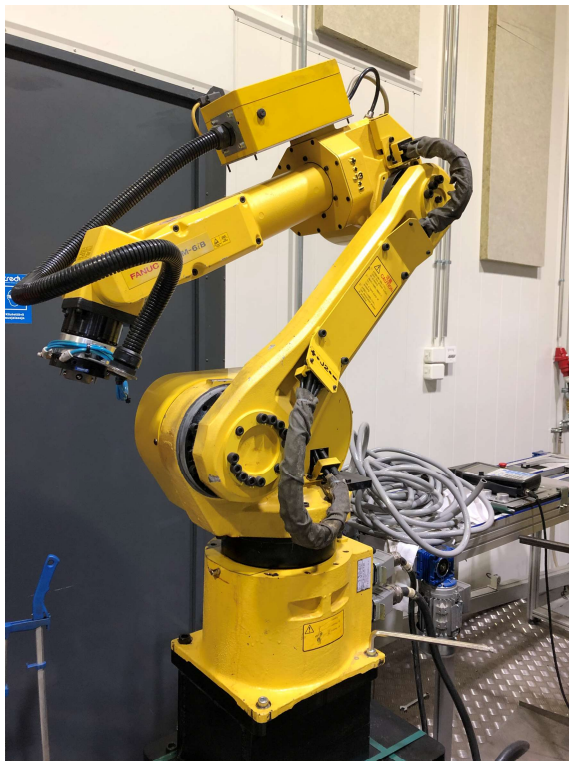
Projektin, eli kuvan 3 FANUC-robotti oli nimeltään FANUC M-6iB. Tämä robotti on kehitetty vähäisen kuorman materiaalinhallintaan, joka tulee ilmi taulukon 2 arvoista.

M-6iB on erittäin monipuolinen valinta teollisuuteen ja sopii myös hyvin automaattiseen hitsaukseen, kokoonpanoon, automaattiseen leikkaukseen ja materiaalin panostamiseen. M-6iB on työalueeltaan pienempi, mutta myös edullisempi kuin muut sen kaltaiset FANUC-robotit. (Robots Done Right. 2022.)

FANUC

Nivelten määrä	6
Kuorma	6 kg
Kurotus	1373 mm
Toistettavuus	± 0,08 mm
Robotin massa	135 kg
Rakenne	Nivelletty
Liikenopeus J1	150 °/s
Liikenopeus J2	160 °/s
Liikenopeus J3	170 °/s
Liikenopeus J4	400 °/s
Liikenopeus J5	400 °/s
Liikenopeus J6	520 °/s
Nivelen 1 ulottuvuus	170°
Nivelen 2 ulottuvuus	160°
Nivelen 3 ulottuvuus	145°
Nivelen 4 ulottuvuus	190°
Nivelen 5 ulottuvuus	140°
Nivelen 6 ulottuvuus	360°

TAULUKKO 2. FANUC M-6iB raja- arvot (Robots Done Right. 2022).



KUVA 3. FANUC M-6iB

2.5 Havainnot

ABB-robotti on tarkempi vapaammalla liikeradalla ja nopeammalla 1. nivelellä. FANUC:lla pidempi kurotus ja nopeammat äärinivelten liikkeet. Koulutushuoneen tarkoitukseen molemmille roboteille asetetaan hitaat nopeudet ja tarkkuuserolla ei ole väliä.

Projektin osalta FANUC oli käyttöönottovaiheessa paremmassa kunnossa eikä tarvinnut pintapuolista siivousta, eikä komponenttien vaihtamista. ABB oli erittäin likainen ja moni osa oli vaihdettava, jotta kyseinen robotti saatiin käynnistymään ja toimintakuntoiseksi.

3 TURVALLISUUSTARKASTELU

3.1 Riskinkartoitus

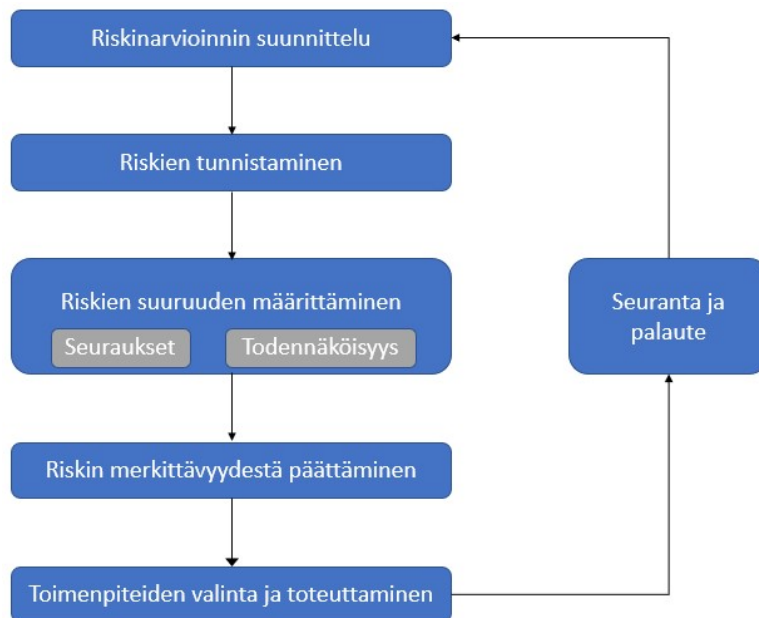
Tässä kappaleessa käydään läpi robottijärjestelmien riskinkartoitusta. Riskien kartoitus alkaa riskinarviointiprosessilla, riskien mahdollisella eliminoimisella tai pienentämisellä. (työsuojelu 8.7.2022.)

Kuvassa 4 on vuokaavio yleisestä riskinarviointiprosessin kulusta. Riskinarviointi on aina takaisinkytketty systeemi. Arvioinnin teoreettisen vaiheen jälkeen riskejä seurataan käytännössä, jolloin usein selviää teoreettisessa vaiheessa huomaamatta jääneitä seikkoja.

3.1.1 Riskin arviointi ISO 12100 mukaisesti

Riskin arviointi tarkoittaa prosessia, jossa arvioidaan työntekijöiden terveydelle ja turvallisuudelle työpaikalla ilmenevästä vaarasta aiheutuva riski (työsuojelu 8.7.2022).

Riskien arvioinnin vaiheet ovat arvioinnin suunnittelu, vaarojen tunnistaminen, riskin suuruuden määrittäminen ja todennäköisyyden määrittäminen (työsuojelu 8.7.2022).



KUVA 4. Riskinarvioinnin vaiheet

3.1.2 Riskien tunnistaminen robotiikan koulutustilassa

Mahdolliset riskit robotiikan koulutusluokan käytössä, jotka ovat opiskelijan itse laatimia:

1. Puristusvaara
2. Automaattiajossa robotin nopeus
3. Robottien etäisyys törmäyspinoista
4. Virtojen katkaisu ajon aikana
5. Muovisten leukojen rikkoutuminen

3.1.3 Riskin suuruuden määrittäminen

Vahingon esiintymistodennäköisyys	Vahingon vakavuus			
	Tuhoisa	Vaikea	Kohtalainen	Vähäinen
Erittäin todennäköinen	Suuri	Suuri	Suuri	Keskimääräinen
Todennäköinen	Suuri	Suuri	Keskimääräinen	Pieni
Epätodennäköinen	Keskimääräinen	Keskimääräinen	Pieni	Merkityksetön
Erittäin epätodennäköinen	Pieni	Pieni	Merkityksetön	Merkityksetön

[SFS-ISO/TR 14121-2]

TAULUKKO 3. Puristusvaaran riskin suuruuden arviointi.

Puristusvaara ilmenee robotin leukojen ja harjoitteille tarkoitetun pöydän välissä, tai itse harjoitteiden ja robotin välissä. Vaara arvioitiin suureksi taulukossa 3, sillä käsiajossa yksitoikkoista harjoitustehtävää suorittaessa ja keskittymiskyvyn heiketessä voi sattua tapaturma. Robotilla ja tarttujalla on tarvittava voima murskata esim. käden luut pöytää vasten, joka nostaa vahingon vakavuuden vaikeaksi.

Vahingon esiintymistodennäköisyys	Vahingon vakavuus			
	Tuhoisa	Vaikea	Kohtalainen	Vähäinen
Erittäin todennäköinen	Suuri	Suuri	Suuri	Keskimääräinen
Todennäköinen	Suuri	Suuri	Keskimääräinen	Pieni
Epätodennäköinen	Keskimääräinen	Keskimääräinen	Pieni	Merkityksetön
Erittäin epätodennäköinen	Pieni	Pieni	Merkityksetön	Merkityksetön

[SFS-ISO/TR 14121-2]

TAULUKKO 4. Automaattiajossa robotin nopeuden luoman riskin arviointi.

Automaattiajaja tulisi käyttää vain, kun kaikki turvapiirin komponentit ovat kytkettyinä pois, eli turvallisessa tilassa käyttää. Riskin suuruus taulukossa 4 on siis pieni, sillä vaikka vahingon vakavuus olisi hengenvaarallinen, sen tapahtumisen todennäköisyys on erittäin epätodennäköistä.

Vahingon esiintymistodennäköisyys	Vahingon vakavuus			
	Tuhoisa	Vaikea	Kohtalainen	Vähäinen
Erittäin todennäköinen	Suuri	Suuri	Suuri	Keskimääräinen
Todennäköinen	Suuri	Suuri	Keskimääräinen	Pieni
Epätodennäköinen	Keskimääräinen	Keskimääräinen	Pieni	Merkityksetön
Erittäin epätodennäköinen	Pieni	Pieni	Merkityksetön	Merkityksetön

[SFS-ISO/TR 14121-2]

TAULUKKO 5. Robotin etäisyyden törmäyspintoista luoman riskin arviointi.

Robotti tuottaa luonnollisia vaaratilanteita, kun sen etäisyys törmäyspintoihin on vähemmän, kuin robotin ulottuvuus. Koulutusluokan koon takia tätä riskiä ei voida mitätöidä. Riskin suuruus taulukossa 5 on perusteltu pieneksi epätodennäköisen esiintymisen ja vahingon keskimääräisen vakavuuden mukaisesti. Robottien käyttö käsiajolla varsinkin vaakasuunnassa robottiin nähden on hidasta, joten robotin seinään törmäminen on epätodennäköistä. Vahinkoa koituisi vain robotille ja pahimmassa tapauksessa robotin muoviset leuat saattavat lentää käyttäjää päin rikkoutuessa.

Vahingon esiintymistodennäköisyys	Vahingon vakavuus			
	Tuhoisa	Vaikea	Kohtalainen	Vähäinen
Erittäin todennäköinen	Suuri	Suuri	Suuri	Keskimääräinen
Todennäköinen	Suuri	Suuri	Keskimääräinen	Pieni
Epätodennäköinen	Keskimääräinen	Keskimääräinen	Pieni	Merkityksetön
Erittäin epätodennäköinen	Pieni	Pieni	Merkityksetön	Merkityksetön

[SFS-ISO/TR 14121-2]

TAULUKKO 6. Robottien virtojen katkaisun luoman riskin arvio.

Taulukossa 6 on esitetty virtojen katkaisulle pieni riski. Virtojen katkaisuun johdettu virtakatko kyseisessä tilassa on erittäin epätodennäköistä ja johtaisi pahimmassa tapauksessa kohtalaiseen vahinkoon, jos joku on robotin lähetyvillä esim. automaattiajon aikana. Virtojen katkaisu laukaisisi robotin sähkömoottoreiden jarrut. Kovassa vauhdissa äkkipikaisen pysäytyksen tehnyt robotti voi tehdä arvaamattomia vahinkoja.

Vahingon esiintymistodennäköisyys	Vahingon vakavuus			
	Tuhoisa	Vaikea	Kohtalainen	Vähäinen
Erittäin todennäköinen	Suuri	Suuri	Suuri	Keskimääräinen
Todennäköinen	Suuri	Suuri	Keskimääräinen	Pieni
Epätodennäköinen	Keskimääräinen	Keskimääräinen	Pieni	Merkityksetön
Erittäin epätodennäköinen	Pieni	Pieni	Merkityksetön	Merkityksetön

[SFS-ISO/TR 14121-2]

TAULUKKO 7. Muovisten leukojen rikkoutumisen tuottaman riskin arviointi.

ABB-robotille suunniteltiin ja tulostettiin muovista tarttujan leuat. Leuat käyvät hyvin opetustarkoitukseen, mutta niiden hauraus voi aiheuttaa riskitilanteen. Taulukossa 7 riskille on annettu keskimääräinen suuruus. Tarttujan leukojen rikkoutuminen oppimiskäytössä on todennäköistä ja sen tuottaman vahingon vakavuus voi olla keskimääräistä.

3.2 Koneturvallisuus yleisesti ja projektissa

3.2.1 Koneturvallisuuden standardit

Koneturvallisuusstandardit luokitellaan kolmeen eri tyyppiin:

Tyyppi A määrittelee koneturvallisuuden peruseriaatteet ja terminologian (SFS EN ISO 12100). (Siivonen J. 2020)

B-luokka määrittää yleisiä vaatimuksia turvallisesta suunnittelusta ja valinnoista, kuten suojaetäisyyksistä ja ergonomiasta. B-tyyppi jaetaan kahteen kategoriaan B1 ja B2. B1-kategoria kuvaa yksittäisiä turvallisuuskäsitteitä eli esim. turvaetäisyyksiä ja vastaavasti B2 kuvaa suojausteknisiä laitteita eli esim. suojuksia (Esim. SFS EN ISO 13851:2019). (Siivonen J. 2020)

C-tyyppi määrittelee tarkempia turvallisuusvaatimuksia tiettyjen koneiden tai niiden ryhmien osalta (Esim. SFS EN ISO 102182:2011) (Siivonen J. 2020).

3.2.2 Koneasetus

Koneasetuksen tarkoituksena on määrittää koneiden suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä olennaisia terveyst- ja turvallisuusvaatimuksia, sekä niiden vaatimuksemukaisuuden osoittamista, markkinoille saattamista ja käyttöönottoa. Koneasetus määrittää myös vastuun koneiden valmistajille, omistajille ja käyttäjille sen velvoitteiden noudattamisesta. Tämä koskee myös itse omaan käyttöön rakennettuja koneita. (Koneasetuslaki 2008/400.)

Koulutustilan suunnittelussa turvallisuuspuoli on koneasetuksen kannalta oleellinen. Tilan suunnittelun aikana pyrittiin pitämään tila mahdollisimman turvallisena kompromisoimatta sen käytännöllisyydestä. Terveydelliset haitat, jos huoneessa mahdolliset, johtuisivat kokonaan mahdollisista sisäilman ongelmista. puhtaan ilman riittävyys ja happipitoisuuden laatu varmistettiin. Turvallisuusvaatimukseen pyrittiin aina pääsemään, jonka takia suoritettiin riskinkartoitus ja turvallistaminen. Koneet, eli projektin kannalta robotit ovat täysin standardin mukaiset, joten vastuu niiden oikeasta käytöstä on niiden käyttäjillä/valvojilla.

3.2.3 Konedirektiivi

Konedirektiivi määrittää vähimmäisvaatimukset jokaiselle koneelle Euroopan valtioissa ja on Suomessa pantu toimeen koneasetuksena. Näihin vaatimuksiin kuuluu: koneen suunnittelu ja rakennus koneasetuksessa määriteltyjen olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti. (Konedirektiivi 2006/42.)

Kone pitää olla CE-merkitty ja koneasetuksen mukaiset yksilöintimerkinnot pitää näkyä. Koneen toimittamisen yhteydessä pitää mukana olla koneen käyttö- ja huolto-ohjeet, sekä EU- vaatimustenmukaisuusvakuutus. (Konedirektiivi 2006/42.)

3.2.4 Käyttöasetus

Tämä asetus vastaa työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta:

Käyttöasetuksessa säädetään koneiden, välineiden ja muiden teknisten laitteiden sekä niiden yhdistelmien (työvälineiden) käytöstä ja tarkastamisesta työturvallisuuslaissa tarkoitetussa työssä (Käyttöasetus 2008/403).

Käyttöasetuksen mukaista työvälineiden turvallista käyttöä ei todettu oleelliseksi projektin suunnitteluvaiheessa, mutta fyysisessä toteutuksessa niitä sovellettiin. Työvälineinä käytettiin vain toimivia ja tarkistettuja työvälineitä, sekä varmistuttiin niiden käytön osaamisesta.

3.2.5 Työturvallisuuslaki

Tätä lakia sovelletaan työsopimuksen perusteella ja siinä käydään läpi esim. työnantajan yleiset velvollisuudet, Työntekijän velvollisuudet työstä pidättäytymiseen ja työolosuhteita koskevia yleisiä säännöksiä (Työturvallisuuslaki 2002/738).

Projektin aikana työturvallisuuden varmistaminen ei ollut tarpeellista. Opinnäytetyön projektin suurin osuus tehtiin kotona ja fyysinen työ robottien läheisyydessä oli vähäistä. Ennen robottien kanssa työskentelyä kerrattiin turvallista menettelyä. Työolosuhteet todettiin olevan työnkuvaan sopivat.

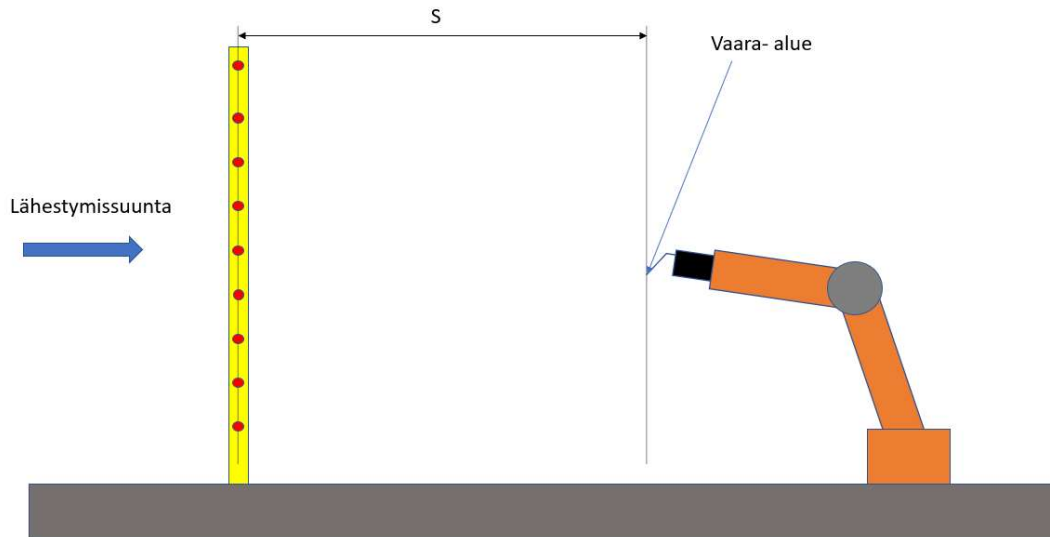
3.2.6 Rikoslaki

Rikoslaista projektiin liittyen keskeisin on työrikos, jossa itsessään keskeisimmät ovat: Työturvallisuusrikos, jossa työnantajaa rangaistaan, jos työnantaja rikkoo työturvallisuusmääräyksiä tai aiheuttaa työturvallisuusmääräysten vastaisen tilan jatkumisen. Työaika-suojelurikos, jossa työnantajaa rangaistaan, jos hän laiminlyö työaika- tai vuosilomakirjanpitoa. Vastuun kohdentuminen, jossa työnantajaa tai vastaavaa rangaistaan velvollisuuksien vastaisesta teosta tai laiminlyönnistä. (Rikoslaki 1995/578.)

Rikoslaissa ei ole mainintaa työntekijään kohdentuvista määräyksistä ja niiden laiminlyönnin rangaistuksista, joten tätä lakia on vaikea soveltaa kyseisessä tapauksessa. Projektin aikana mitään mainittuja rikoslain kohtia ei rikottu.

3.3 Turvallisuuteen liittyvät laskut

Valoverhojen etäisyyden laskeminen standardin ISO 13855 mukaisesti.



KUVA 5. Valoverhon etäisyys

Lasketaan valoverhon asennusetäisyys robotin vaara-alueesta. Robotin vaara-alue määrittyy maksimikurotuksesta työkalun kanssa. Koska FANUC-robotti on vaarallisempi joka vaiheessa, laskut perustuvat FANUC:n raja-arvoihin.

Keholle, jossa K on ihmisen arvioitu kävelynopeus, T on maksimiaika koneiden pysähtymiseen valoverhoon koskettaessa ja C on ihmisen arvioitu valoverhoa läpäisevän raajan pituus:

$$S = K \cdot T + C$$

$$, \text{ kun } 40 < d \leq 70, \text{ ja jossa } K = 1600 \frac{\text{mm}}{\text{s}}, \quad T = 0,5 \text{ s ja } C = 850 \text{ mm}$$

$$S = 1600 \frac{\text{mm}}{\text{s}} * 0,5 \text{ s} + 850 \text{ mm}$$

$$S = 1,65 \text{ m}$$

Kädelle, jossa K on käden arvioitu nopeus läpäistäessä valoverhon, T on maksimiaika koneiden pysähtymiseen valoverhoon koskettaessa ja d on kyseisen valoverhon tunnistamiskyky:

$$S = K \cdot T + 8(d - 14)$$

$$, \text{ kun } d \leq 40, \text{ ja jossa } K = 2000 \frac{\text{mm}}{\text{s}}, \quad T = 0,5 \text{ s ja } d = 25$$

$$S = 2000 \frac{\text{mm}}{\text{s}} * 0,5 \text{ s} + 8(25 - 14) \text{ mm}$$

$$S = 1,08 \text{ m}$$

Koska FANUC:n kurotus on 1373 mm ja tarttujan syvyys 320 mm, lasketaan valoverhon minimietäisyys niiden summalla.

$$S + k + t = S_{kok}$$

$$S_{kok} = 1,65 \text{ m} + 1,373 \text{ m} + 0,32 \text{ m} = 3,343 \text{ m}$$

Ottaen huomioon robotin sijainnin huoneessa ja minimietäisyyden robotin ensimmäisen nivelen akselin keskipisteestä, valoverhot tulisi asentaa kuvassa 7 näkyvän FANUC:n ohjaimen kohdalle.

4 PROJEKTITYÖN SUUNNITTELU

4.1 Aloitus ja opinnäytetyöprosessi

Projekti aloitettiin kesällä 2021 ensimmäisenä harjoitteluna, joka kesti vain neljä viikkoa. Näiden neljän viikon jälkeen aikaansaannoksia ei ollut juuri ollenkaan, joten jatkettiin syksyllä opinnäytetyön puitteissa. Opinnäytetyön hyväksymispalaveri käytiin 27.9.2021, jonka jälkeen projekti sai kunnolla alkunsa. Hyväksymispalaveripäivän aamu käytettiin tutustuen AGCO Powerin tiloihin Linnavuoreessa. Oppilaille sovittiin kunnostettavaksi ja käyttöönotettavaksi ABB robotti ja Nokian Tredun väelle FANUC. Opinnäytetyön aihe hyväksyttiin lokakuun alussa ja palautettiin valmis projektilomake. Tässä vaiheessa olisi kuulunut tehdä projekti-suunnitelma ja pitää ensimmäinen ohjauspalaveri, mutta se jäi reippaasti seuraavalle vuodelle.

4.1.1 Opittu materiaali

Projektin alussa ei itse projektityöskentelyyn ollut vielä mahdollisuutta, joten siihen valmistautuakseen opittiin mm. koodaamaan ja kerrattiin robotiikan koulutuksia. Robotiikan koulutuksessa hyödynnettiin Robotstudio-ohjelmaa, jossa pääkielenä toimii koodikieli Rapid. Ajan kuluksi opittiin myös koodaamaan Python-kielillä ja harjaannuttiin RoboDK-ohjelmiston toimintoihin.

4.2 Layout

Ensimmäiseksi tehtäväksi sovittiin vanhan kahvihuoneen tilan layoutin määrittäminen. Layout tulisi sisältää molemmat robotit niille kaikkein sopivimpiin paikkoihin ja mallintaa niiden harjoitusalueille pöydät ja itse roboteille jalustat. Ensimmäinen luonnos huoneen asettelusta näkyy kuvassa 6, jossa FANUC robotti eristettäisiin sen koon ja ulottuvuuden takia huoneen takaperälle ja ABB kokonsa puolesta saisi olla vapaana. Tämä idea kuitenkin hylättiin väärän FANUC robotin 3D mallin ja tilan sommittelun puolesta. Robottien 3D mallit saatiin suoraan ABB:n ja FANUC:n sivuilta sähköpostitse kysyen, mutta FANUC:n malli oli suuremman M710- iC/50 robotin malli.



KUVA 6. Alkuperäinen ajatus Layoutista

Alkuperäisessä luonnoksessa ABB-robotin pöytä tulisi olla integroituna sen jalustaan, joka säästäisi kannan mallintamisen vaivan, mutta tämä vaihtoehto hylättiin myöhemmin uuden pöydän muotoilun takia. Kuvassa 6 huoneen mitoitus oli vääränlainen sillä huoneessa ei oltu vielä käyty fyysisesti. Tässä kohtaa projektia opittiin brändäyksestä ja muotoilusta ja niitä hyödynnettiin projektin edetessä. FANUC:n pöydän haluttiin olevan samanlainen kuin ABB:n pöytä. Koska huoneen muotoiluun tuli yhtä aikaa suuria muutoksia, koko huone sai samalla huomattavan kuvan 7 mukaisen päivityksen. Huoneen toimivuus tuli myös kyseeseen, kun robottien sijoitus päätettiin huoneen takaseinälle. Näin ollen huoneen etuosa jäisi vapaaksi oppilaiden ja opettajan käyttöön ja se voitaisiin varustaa pöydillä, tuoleilla ja muilla hyödyllisillä elementeillä. Lopullisessa layoutissa oli huomioitu koko huoneen eri mitat, ikkunoiden paikat, kourut, putket ja ovi. Tämä auttoi sommitteluprosessia, sillä kuvan 6 huoneen koko oli todellista pienempi, ja suuren FANUC-robotin asettelu oli siksi hankalaa. Lopullisen huoneen suunnittelusta puuttuu edelleen sen brändi-identiteetin määrittely, joka ulkoistettiin sisustusopiskelijoiden toimesta. Kuvassa 7 puinen pöytä ja jakkarat eivät kuulu osaksi huoneen lopullista layoutia.

layoutiin lisättiin myöhemmin valoverhot, mutta niiden sijoittelu turvallisuusstandardien mukaisesti vaatisi niiden asentamisen liian kauas roboteista, jättäen

opettamiselle ja oppimiselle liian vähän tilaa. Robottien eteen suunniteltiin lopuksi turvaseinä, joka mahdollistaisi huoneen optimaalisen toiminnan ja täyttäisi turvallisuusvaatimukset.



KUVA 7. Huoneen lopullinen layout

4.3 Pöydät

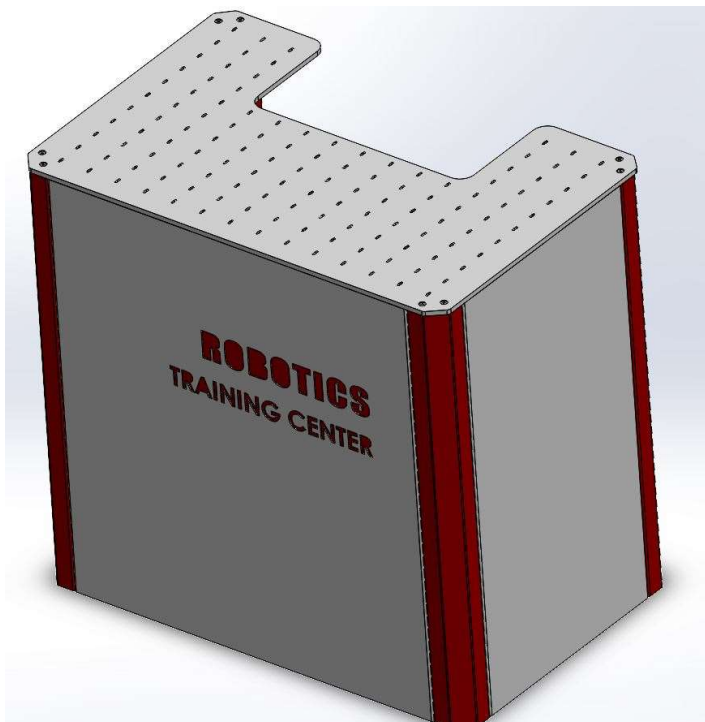
Pöytien alkuperäinen sommitelma oli kuvan 8 kaltainen, josta kumminkin luovuttiin uusien pöytien mekaanisen ominaisuuden ja ulkonäön takia. Kuvan 9 Pöytä suunniteltiin sillä ajatuksella, että sen saa kahtena eri kokona molemmille roboteille ja silti säilyttäisi täysin muotonsa ja toiminnallisuutensa. Pöydän päälle suunniteltiin pikaliitoshahlot, jotta harjoitusaluksia saataisiin vaihdettua nopeasti ja vaivattomasti paikasta toiseen. Epäkeskoisen tekstin syy on osittain sommittelupäätös, mutta myös siksi, että se näkyy huoneen tukipilarin takaa. Pöytää suunniteltaessa pidettiin mielessä AGCO:n värimaailma.

Pöytien suunnittelussa olisi pitänyt ottaa huomioon osien liittämisen helppous ja ohuen pellin taittuvuus. Mittavirheiden ja painon takia etupaneeli joutuu väkisin

taipumaan yläsaumasta, jolloin se tuottaa epämiellyttävän aukon sen ja pöytäta-son väliin, kuten kuvassa 10. Rakenteellinen jyrkyys olisi voitu korjata esim. taittamalla peltien jokainen sivu, mutta vain pystysuuntaiset sivut kantattiin.



KUVA 8. Alkuperäinen ajatus robottien pöydistä



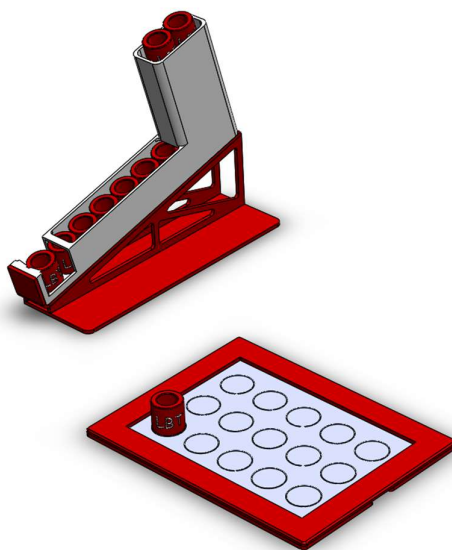
KUVA 9. Lopullinen suunniteltu pöytä



KUVA 10. Pöytä todellisuudessa

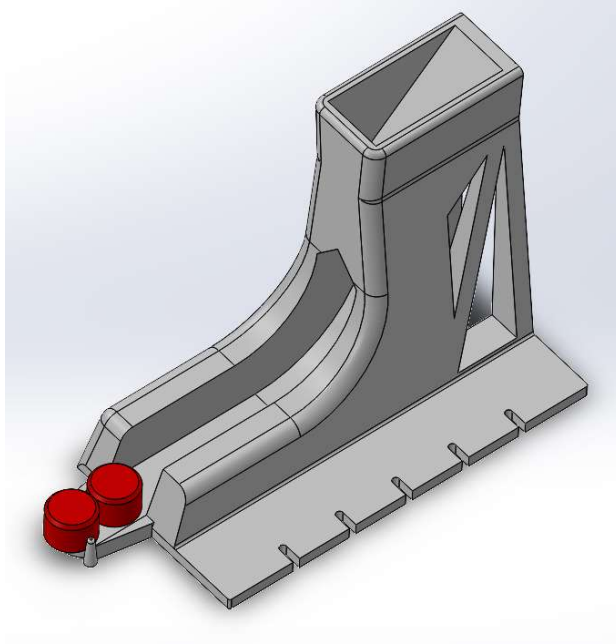
4.4 Harjoitteluosat

Harjoitteluosiksi tulee vähintään valmistaa kaukalon mallinen materiaalin syöttöä kuvastava osa, liikutettava materiaali.



KUVA 11. Pick and Place -harjoituksen luonnoskappaleet

Pick and Place -harjoituksen tarkoituksena on materiaalin käsittelyä ja palleointia kuvastava harjoitus. Kuvan 11 kappaleet olivat luonnoskappaleita opettajalta, jonka muotoja ja toimivuutta sovellettiin lopullisessa osassa.

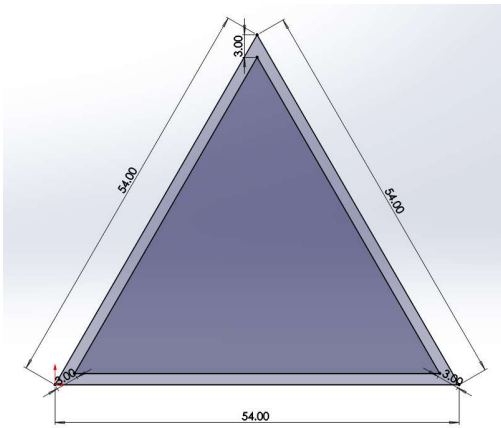


KUVA 12. Lopullinen kaukalo

Kaukalo tulisi valmistaa 3D-tulostamalla, joten sen muodot optimoitiin tähän tarkoitukseen. Kuvan 12 Kaukalo oli liian suuri tulostettavaksi sellaisenaan, joten se printattiin kahdessa eri osassa. Kaukalo itsessään tulostetaan valkoiseksi ja harjoituskiekot punaiseksi.

4.5 ABB robotin tarttuja

Robotin tarttujaksi valittiin Schunk paineilmalla ohjattu tarttuja. Tarttujaa ohjataan IO- taulun kautta robotin teach pendantilta. Tarttujan mukana tulleet sormet olivat liian lähekkäin harjoittelutarkoitukseen, joten ne piti suunnitella ja valmistaa uudelleen. Tarttujasta otettiin mitat aukinaisena ja kiinni, jotta saatiin selville sen liikerata. Mitat vietiin Solidworks:in ja laskettiin uusien sormien etäisyys toisistaan, kun haluttiin tarttua 40 mm halkaisijan kappaleesta kiinni. Kuvan 13 kolmion kulmat ovat uloimpien ruuvien paikalla tarttujassa.

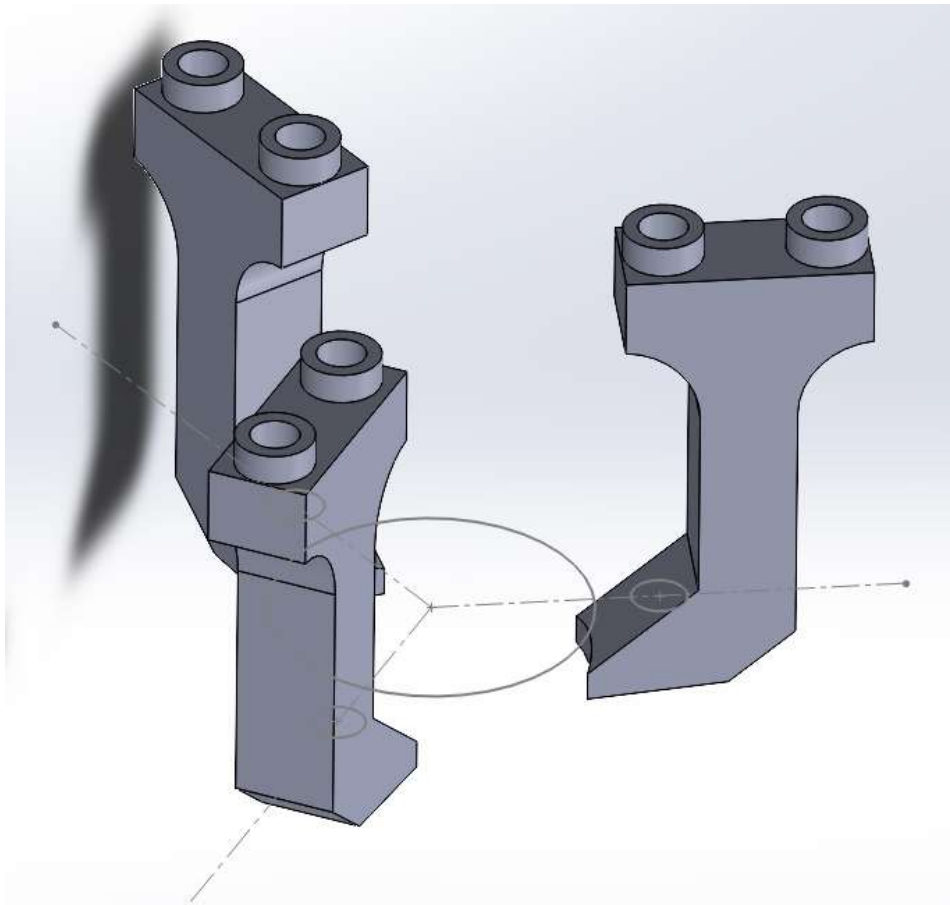


KUVA 13. Solidworks laskennat



KUVA 14. Robotin alkuperäinen tarttuja

Kuvassa 14 näkyy ABB-robotin mukana tulleen tarttujan metalliset leuat, jotka olivat koulutuskäyttöä huomioiden valmistettu liian pienille kappaleille. Ideana oli valmistaa tarttujan uudet sormet aluksi 3D-tulostamalla ja mahdollisesti myöhemmin metallista koneistamalla.



KUVA 15. Mallinnetut sormet

Uudet sormet aseteltiin kokoonpanoksi ja sommiteltiin paikoilleen siten että ne ovat oikean mittaiset. Kuvan 15 mallinnetuissa sormissa ei oltu ennen tulostusta huomioitu ruuvien kierteen halkaisijan kokoa, ulokkeen paksuutta tai kuusioruuvien kannan upotusta, joten asennus ei onnistunut ensimmäisellä yrityksellä. Sormet valmistettiin kuitenkin helposti muokattavasta materiaalista, joten niiden muokaus oli vaivatonta.

4.6 Robottien jalustat

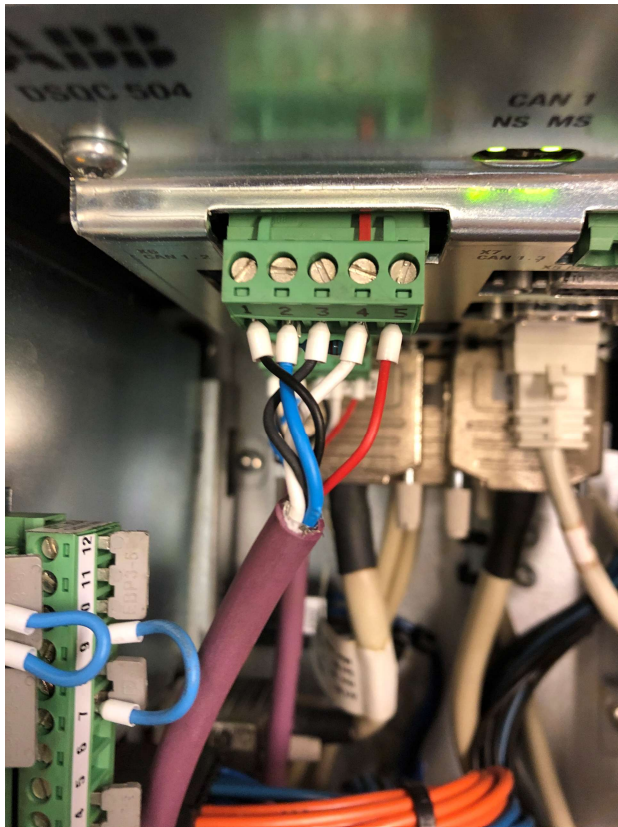
Robottien jalustojen mallintaminen ja valmistaminen oli aluksi osana pääsuunnitelmaa. Robottien alkuperäiset kannat olivat kuitenkin riittävät jo kyseiseen tarkoitukseen, joten jalustojen suunnittelu jätettiin pois. FANUC-robotin alkuperäinen jalusta oli toivottua korkeampi ABB-robotin jalustaan verrattuna, mutta vaikka robottien korkeusero on huomattava, uusia jalustoja ei suunniteltu.

5 PROJEKTITYÖN MEKAANINEN TOTEUTUS

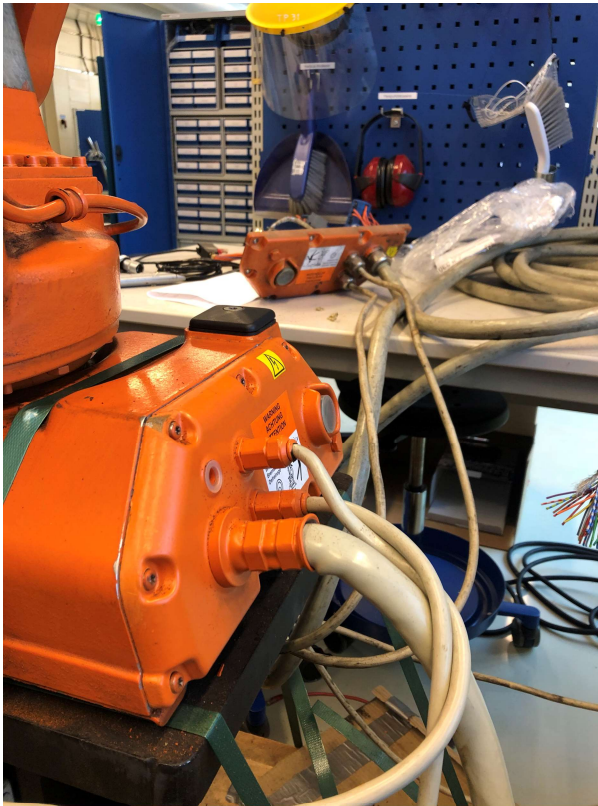
5.1 Fyysinen työskentely

Tämä kohta on omistettu projektityöskentelyn fyysiselle osalle, eli robotin siivomiselle, siirtämiselle, käyttöönotolle ja uudelleenjohtukselle.

Robotissa alkuperäiset kaapelit olivat poistettu suoraan kannasta leikkaamalla, joten ne piti vaihtaa. Uudet johdot tilattiin opinnäytetyön ohjaajan kanssa. Robotissa oli myös puutteelliset IO-kaapeloinnit. CAN-väylälle tarvittiin uusi DeviceNet-kaapeli, joka johdatettiin ohjaimen puolelle kuvan 16 kaltaisesti.



KUVA 16. CAN väylän DeviceNet kaapelin liitos



KUVA 17. Vaihdetut johdot (taustalla vanhat)

Koska robotin johdot olivat siirtoa varten leikattu poikki, ne jouduttiin vaihtamaan uusiin kuten kuvassa 17 näkyy. Samalla vaihtui myös robotin takapaneeli.

5.1.1 Huoneen mitoitus

Kuvan 18 huoneen mitoitus tapahtui paikan päällä Linnavuorella AGCO Powerin omissa tiloissa. Rullamittalla mitaten merkattiin ylös kaikki erilaiset mitat huoneen sisäpuolelta. Tähän kuului muun muassa oven paikoitus, ikkunoiden paikoitus, putket, johtokourut ja keskimäinen tukipylväs.



KUVA 18. Koulutustila

5.2 Pöytien tilaaminen

Pöytien tilaamiseen vaadittiin valmiiksi mallinnetuista pöydistä 1:1-mittakaavakuvat DFX-muodossa ja mitoitettut piirrokset hitsausmerkinnöillä. Pöydistä pyydettiin tämän jälkeen tarjouskysely- ja toimitusaika-arviot. Pöydät tilattiin keväällä 2022 ja ne saapuivat aikataulussa.

5.3 Robottien siirtäminen

Robotit siirrettiin aluksi Linnavuoresta AGCO Powerin tiloista TAMK:iin ja Treduun, jossa niitä kunnostettiin ja käyttöön otettiin useita kuukausia, kunnes ne siirrettiin takaisin Linnavuoreen 2022 keväällä. Robotit piti asetella kuljetusta varten käyttöoppaan mukaisesti tukevasti ja kuvissa esitettyyn asentoon. Robotit olivat lavojen päällä helpon kuljetuksen vuoksi.

5.4 Ilmastointi

Huoneen ilmastointi tapahtuu seinään poratun reiän kautta. Reikään asennettiin ilmastointiputki, joka johdatettiin ulos asti raikkaaseen ilmaan. Koulutushuoneen ja ulkoilmaventtiilin väliin asennettiin suodatin ja puhallin, jotta ilmaa saataisiin vaihdettua riittävällä tilavuusvirralla ja ettei huoneeseen joutuisi eläimiä tai roskaa.

Huoneen sisällä ilmastointi on johdatettu katonrajaa pitkin huoneen keskelle, josta aukeaa kolme tuloilman aukkoa, jotta tuloilma levittyisi tasaisesti huoneeseen ja että se sekoittaisi jämähtäneen sisäilman. Sisäilma löytäisi tiensä ulos ylipaineen avulla huoneen poistoilma-aukosta.

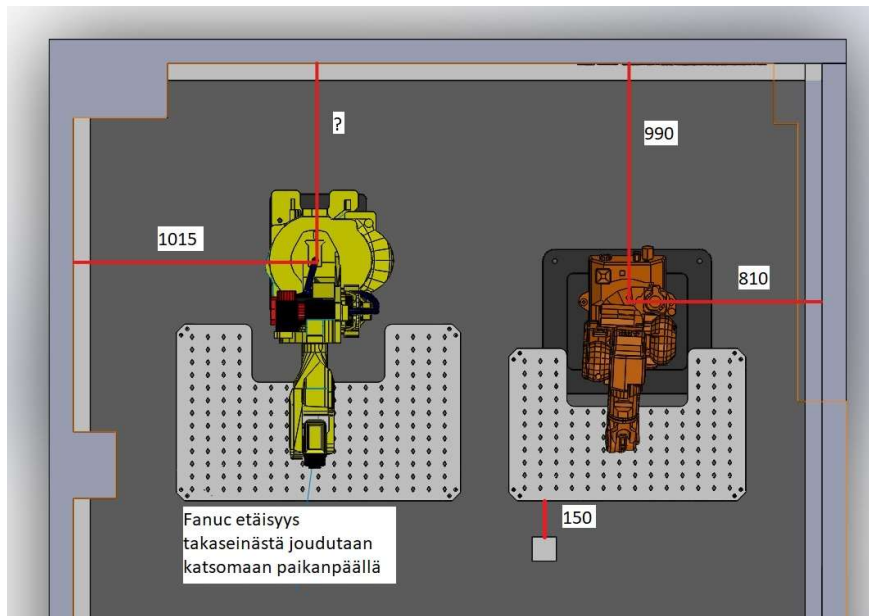
Ilmastointi jouduttiin toteuttamaan vähintään tällä tavalla, jotta huoneessa ei olisi tukala olla. Talvea varten ulkoilman ja koulutushuoneen välille saatetaan joutua asentamaan lämmityselementti.

5.5 Paineilman asennus

Huoneen vähimmäisvaatimukseen kirjataan paineilmaliitännät, sillä tarttujien toiminta perustuu siihen. Seinään asennettiin paineensäätöventtiilillä varustettu sisääntulo paineilmalle. Sisääntuloja on kaksi kappaletta, joista johdatettiin ilma suoraan roboteille. Koska vain toinen roboteista on käytössä kerrallaan, tarttujan painetta voidaan rajoittaa suoraan rajoittimesta.

5.6 Robottien asettelu ja kiinnittäminen

Robottien asennuksessa piti ottaa huomioon niiden etäisyydet seinistä, toisistaan ja huoneen keskellä olevasta tukipilarista. Robotit asennettiin lopulta kuvan 19 mittojen mukaisesti seinistä. FANUC-robotin etäisyys takaseinästä oli mitattava koulutushuoneessa siten, ettei se törmää seinään linkkuasennossa. Kuvassa 19 mitat ovat millimetreinä.



KUVA 19. Robottien etäisyydet seinistä

5.7 Turvallistaminen

Huoneen turvallistaminen alkoi riskinkartoituksella, jonka puitteissa suunniteltiin turvapiiriä. Turvapiirin vähimmäisvaatimuksena olisi riittävän kauas asetettu valoverho ja opettavalle taholle asennettava käyttöliittymä. Valoverhoista luovuttiin minimietäisyyden määrittämisen jälkeen. Tilalle asennettiin läpinäkyvät turvaseinät, jossa oviaukko roboteille pääsyä varten.

Käyttöliittymään tulisi asentaa hätäseis nappi, sekä virrankatkaisuun paikalleen lukittuva avain. Vain opettajalla on avain käyttöliittymään. Käyttöliittymässä on myös kiittauspainike virhetiloille. Piirillä on velvollisuus pitää huolta robottien liikkeistä eri parametrien puitteissa. Esim. kun aitauksen ovi on auki, robotit eivät liiku.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteisiin päästiin. Tavoitteena oli suunnitella huoneen mekaaninen layout, joka toteutettiin myös käytännössä, sekä käyttöönottaa robotit ja suunnitella osat ja harjoitekappaleet koulutustilalle. Projekti olisi voinut olla kattavampi sisällöltään, sillä sisällöltään opinnäytetyön teksti on liian yksinkertaista. Opinnäytetyön tekeminen ja itse projekti tahditettiin toisistaan liian erilleen. Projektia ei saatu päätökseen vielä yli vuoden jälkeenkään, vaikka opinnäytetyön suorituksen kannalta tarpeellinen materiaali oli saavutettu jo vähän yli puolen vuoden jälkeen sen aloituksesta.

Opinnäytetyön projekti alkoi opiskelijan kannalta hyvään aikaan. Yrityksen ehdotus jatkaa projektia opinnäytetyönä oli osittain jo tiedossa, mutta sen tarjoaminen oli opintojen kannalta tärkeää. Opinnäytetyön valvoja oli projektissa mukana alusta loppuun ja hän toi erinomaista tukea projektin ja opinnäytetyön valmistumiselle.

LÄHTEET

ABB. Industrial Robots. <https://new.abb.com/innovation/industrial-robots#:~:text=ABB%20pioneered%20the%20world's%20first,robot%2C%20YuMi%2C%20in%202015.>, luettu 9.7.2022

Automate. Unimate // The First Industrial Robot. <https://www.automate.org/a3-content/joseph-engelberger-unimate>, luettu 9.7.2022

Finlex. Rikoslaki. 16.8.1996. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1889/18890039001#L47>, Luettu 9.7.2022.

Finlex. Työturvallisuuslaki. 23.8.2002. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>, Luettu 9.7.2022.

Finlex. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. 12.6.2008. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L1>, Luettu 9.7.2022.

Hockstein, N.G., Gourin, C.G., Faust, R.A. et al. A history of robots: from science fiction to surgical robotics. J Robotic Surg 1, 113–118 (2007). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11701-007-0021-2>, Luettu 9.7.2022

Kawasaki Robotics. Birth of an Industrial Robot in the US. https://robotics.kawasaki.com/en/1/anniversary/history/history_01.html, luettu 9.7.2022

Oxford Learner's Dictionaries. "Robot". https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/american_english/robot#:~:text=%2F%CB%88ro%CA%8Ab%C9%91t%2F,cars%20are%20built%20by%20robots., Luettu 9.7.2022

Työsuojelu. Vaarojen arviointi. 8.7.2022. <https://www.tyosuojelu.fi/tyosuojelu-tyopaikalla/vaarojen-arviointi>, luettu 9.7.2022

Keyence. Calculating the Safety Distance according to ISO 13855. <https://www.keyence.eu/ss/products/safetyknowledge/caution/>, luettu 9.7.2022

Robots Done Right. 2022. ABB IRB 140. <https://robotsoneright.com/ABB/100-Series/ABB-IRB-140.html>, Luettu 9.7.2022.

Robots Done Right. 2022. FANUC M6ib. <https://robotsoneright.com/FANUC/M-Series/FANUC-M-6ib.html>, Luettu 9.7.2022.

Robots Done Right. 2022. History of ABB Robots. <https://robotsoneright.com/Articles/history-of-abb-robots.html>, Luettu 9.7.2022.

Robots Done Right. 2022. History of FANUC Robots. <https://robotsoneright.com/Articles/history-of-fanuc-robots.html#:~:text=FA-NUC%20was%20founded%20in%201956,NC%20machines%20for%20manufacturing%20automation>. Luettu 9.7.2022.

Robots Done Right. 2022. Material Handling Robots. <https://robotsdone-right.com/applications/material-handling-robots.html>, Luettu 9.7.2022.

Siivonen J. Robottijärjestelmien turvallisuusstandardit. PDF dokumentti. 2.12.2020, luettu 9.7.2022.

Sosiaali- ja terveysministeriö. Käyttöasetus. 24.1.2017. <https://stm.fi/hanke?tunnus=STM105:00/2017>, Luettu 9.7.2022.

LIITTEET

Liite 1. Metstan riskinarviontilomake



Toimintokeskeinen, työn suorittaja ja työvälinekehoituksen riskinarviointi standardin EN ISO 12100:2010 mukaan
 Operation-centered, operator and working phase specific risk assessment according to the standard EN ISO 12100:2010

OHJE: "Suositeltavat korjaukset" on annettu sen mukaan, miten johtaminen on toteutettu, ja annettujen aikojen välillä on tilaa. Suositeltujen korjausten jälkeen jatketaan riskinarviointia.

Henkilötiedot: **Yhtiö:** Kotkan Kattajat (Kotkanrakentajat, Fin.), **normaali kotirakentajan työn toteutus teollisella laeilla.**

Riskinarviointi tekijä: **Etunimi:** _____ **Sukunimi:** _____

Päivämäärä: **Date:** 20.6.2022

Kone: **Machine:** Fanuc M-60 ja ABB IRB 140

Konekuva: **Machine area:** _____

HUOMIO ATTENTION	Nr. No.	Vaara-tyyppi Hazardous area	Työväline Working phase	Vaara-tila Hazardous situation	Vaaran aiheuttaja Hazardous event	S	F	D	A	Riskin arvio Risk Index	Riskin luonne Estimated risk	Suositeltavat korjaukset, Recommended actions	Toteutettu suojaustoimenpide, Realized protective action	S	F	D	A	Jäljellä olevan riskin Residual Risk Index	Jäljellä olevan riskin luonne Estimated residual risk	Jäljellä olevan riskin Residual risk	Terveysturvallisuus Important restriction	Kuvaus vaaran vaikutuksesta Description of consequence	Korjauksen toimenpiteet Corrective measures	Korjauksen aika Time to correct	Korjauksen toteutus Realized	Korjauksen tarkistus Checked	
																											Käsiteltävä toimenpide Action
	1	Suositella alustaa	Normaali työvaihe Aiemmin tai manuaalisesti	Porakoneiden Porakoneiden	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	2	2	3	1	6	Korkea	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle		2	1	2	1	2	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle				
	2	Suositella alustaa	Normaali työvaihe Aiemmin tai manuaalisesti	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	2	2	2	1	4	Kokonaan	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle		1	2	2	1	1	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle				
	3	Suositella alustaa	Normaali työvaihe Aiemmin tai manuaalisesti	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	1	1	3	2	2	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle		1	1	3	2	2	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle				
	4	Suositella alustaa	Normaali työvaihe Aiemmin tai manuaalisesti	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	1	1	3	2	2	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle		1	1	1	2	1	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle				
	5	Suositella alustaa	Normaali työvaihe Aiemmin tai manuaalisesti	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	1	1	1	1	1	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle		1	1	1	1	1	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle				
	6	Suositella alustaa	Normaali työvaihe Aiemmin tai manuaalisesti	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	Suositella alustaa suojavälikäytävällä	2	1	3	1	3	Kokonaan	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle		2	1	1	1	2	Vähäinen	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle	Alustan asentaminen suojavälikäytävälle				

