



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

OLLI MIIKKULAINEN

MBR400+ Huoltoalueen Turvaportti

MBR400+ Maintenance Area Safety Gate

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä Miikkulainen, Olli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Elokuu 2022
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi MBR400+ Huoltoalueen Turvaportti		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka, Insinööri		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoitus oli suunnitella ehdotus huoltoalueen turvaportista. Työssä tutkittiin myös turvaportin yhteydessä olevaa MBR400-robotin huoltoaluetta. Taustatietoa ja ohjeistuksia suunnitteluun hankittiin ajankohtaisista koneasetuksen osa-alueista sekä soveltuvista standardeista. Taustatietoa kerättiin myös Cimcorp Oy:n aikaisempien turvaporttiratkaisujen pohjalta. Työn tavoitteena oli kehittää turvallinen ratkaisuehdotus turvaportista, joka voidaan tulevaisuudessa tuottaa osaksi järjestelmää. Tavoitteena oli myös kehittää ehdotuksia huoltoalueesta robotin huoltotoimenpiteiden helpottamiseksi.</p> <p>Opinnäytetyön edetessä havaittiin aikaisempien turvaporttien ongelmia ennen uuden portin aktiivista suunnittelun aloitusta. Tutkinnassa selvisi huomioon otettavia kehityskohteita, joita olivat esimerkiksi portin alaosan suojamuovin huono käytettävyys sekä portin turhan painava rakenne.</p> <p>Suunnittelussa käytettiin aikaisempaa rakennetta hyväksi ja kohdistettiin siihen useita muutoksia. Suunnitellut suojarakenteet mitoitettiin asianmukaisten määräysten mukaan. Turvaportin runkorakenteelle suoritettiin myös lujustarkastelua, jossa todettiin sen keskeisyys ja luotettavuus soveltuvaksi tilanteeseensa.</p> <p>Huoltoalueen tutkimuksessa havaittiin puute tarttujan laskupaikasta, joka hankaloittaa robotin tarttujan huoltoa. Huomattiin kuitenkin, että ylimääräisen tilan hankkiminen huoltoalueella ja sen ympärillä on haasteellista. Tuotettiin kehitysehdotus, jolla tilaa pystytään hankkimaan lisää. Kehitysehdotuksen yhteydessä esitettiin myös pohdintaa uusien kustannusten hyväksymisestä, mikäli huoltoaluetta lähdetään jatkossa kehittämään.</p>		
<p>Avainsanat</p> <p>Konetekniikka, kehitystyö, mekaniikka, suunnittelu, CAD, koneensuunnittelu, turvallisuussuunnittelu, työturvallisuus, koneturvallisuus, teollisuusautomaatio, mekanismit</p>		

Author Miikkulainen, Olli	Type of Publication Thesis, AMK	Date August 2022
	Number of pages 40	Language of publication: Finnish
Title of publication MBR400+ Maintenance Area Safety Gate		
Degree programme Bachelor of Engineering		
<p>Abstract</p> <p>The purpose of the thesis was to design a proposal of a safety gate in the maintenance area. The thesis also studied the maintenance area of the MBR400 robot next to the safety gate. Information and guidelines for design were gathered from the topical sections of the Machinery Safety Regulation and relevant standards. Information was also collected based on Cimcorp Oy's previous safety gate solutions. The goal of the thesis was to develop a safe solution proposal of a safety gate, which in the future can be added as a part of the system. The goal was also to create proposals to improve maintenance work of the robot.</p> <p>As the thesis moved forward, problems regarding the previous safety gates were being recognized before the start of the active design process. The study revealed development targets that should be taken into account. Such as the poor usability of the plastic cover at the bottom of the gate as well as the unnecessarily heavy structure of the gate.</p> <p>In the design process, the previous structure was used and several changes were applied to it. The cover structures designed were dimensioned according to the relevant regulations. Safety gate's frame structure was subjected to structural strength analysis, where it was found that the durability and reliability of the structure were suitable for the application.</p> <p>In the study of the maintenance area, a lack of gripper's lowering location was found, complicating the maintenance of the robot's gripper. However, it was noticed that getting additional space in the maintenance area and its surroundings is a challenge. A proposal for gathering additional space was produced for future development. Consideration idea was also given regarding the acceptance of rising costs, if the maintenance area is to be developed in the future.</p>		
<p>Keywords</p> <p>Mechanical engineering, development, mechanics, design, CAD, machine design, safety design, industrial safety, safety of machinery, industrial automation, mechanisms</p>		

ALKUSANAT

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii ulvilalainen automaatioyritys Cimcorp. Toimeksiantajayrityksen puolesta kontaktihenkilönä ja työn ohjaajana toimii Mika Laine. Satakunnan ammattikorkeakoulun puolesta vastaavana henkilönä toimii Jarmo Juuso. Edellisten vuosien aikaisemmat työsuhteet kyseisen yrityksen eri tehtävissä ovat tuoneet sekä teorian, että käytännön kokemusta. Käytettävänä ohjelmistoina toimivat pääosin toimeksiantajayrityksen puolesta tarjottu 3D-mallinnukseen soveltuva PTC Creo Parametric 4.0 –suunnitteluohjelma sekä tietojenkäsittelyn helpottamiseksi Windchill PDM-järjestelmä. Opinnäytetyöaihe tulee tukemaan jatkuvaa oppimista mekaniikka-suunnittelun eri osa-alueista. Esitän tässä vaiheessa kiitokset toimeksiantajayritykselle mielenkiintoisen opinnäytetyöaiheen tarjoamisesta.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 CIMCORP OY	7
2.1 Ulvilalaisen automaatioyrityksen historiaa	7
2.2 Nykyaika	8
3 TEOREETTISET VAATIMUKSET SUUNNITTELUSSA	9
3.1 Konedirektiivi ja asetukset	9
3.1.1 Asetusten soveltaminen robottisolun ja sen turva-alueeseen.....	9
3.2 Turvallisuusstandardi EN ISO 13857	14
4 TIEDONKERUU	15
4.1 MBR400-järjestelmä ja huoltoalueen turvaportti.....	15
4.1.1 Lähtötilanne	16
4.1.2 Tavoitteet	17
4.1.3 Tulosten hyödyntäminen työturvallisuuden ja työergonomian kehittämisessä.....	18
4.1.4 Valmistettavuus, materiaalit ja kustannusten ennakointi.....	19
4.1.5 Vaadittavat turvallisuuteen liittyvät varmennukset	19
5 SUUNNITTELUVAIHE.....	21
5.1 Huoltoalueen turvaportin suunnittelu.....	21
5.1.1 Suunnitteluprojektin aloituksen järjestelyt	21
5.1.2 Suunnittelu ja keskeiset muutokset.....	21
5.1.3 Elektroninen turvallisuus	26
5.1.4 Turvallisuuden varmentaminen törmäyksessä.....	26
5.1.5 Turvaportin suunnittelun tulokset.....	30
6 TUTKIMUS ROBOTIN HUOLTOALUEESTA	33
6.1 Robotin tarttujan laskupaikka huoltoalueella.....	33
6.1.1 Havaintoja.....	33
6.1.2 Tulokset ja kehitysehdotukset.....	34
7 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on esittää ehdotus kehitetystä huoltoalueen turvaportista. Tämän ehdotuksen pohjalta voidaan tulevaisuudessa luoda tuotteistettu versio turvaportista. Työssä pyritään suunnittelemaan ja tuottamaan MBR400-robottijärjestelmän robotin huoltoalueen turvaportista käytännöllinen ja turvallinen ratkaisu. Turvaportti tulee erottamaan robotin työalueen ja huoltoalueen siten, että muut järjestelmään kuuluvat osiot voivat tarvittaessa toimia normaalisti mahdollisista huoltotoista välittämättä. Suunnittelussa tullaan huomioimaan ajankohtaiset turvallisuusvaatimukset.

Työ huoltoalueen turvaportista koostuu pääasiallisesti kolmesta osasta. Ensimmäisestä osiosta löytyvät suunnittelun teoreettiset vaatimukset, joihin kerätään ajankohtaista teoriatietoa suunnittelussa huomioon otettavista vaatimuksista. Toisessa osiossa, eli tiedonkeruuosiossa kerätään yleistietoa eri lähteistä, jotka tukevat suunnittelua kolmannessa osiossa. Viimeisessä osiossa, eli suunnitteluosiossa avataan suunnittelun kulkua ja tehtyjä päätöksiä. Osiossa esitetään myös lujuustarkastelun tuloksia sekä ehdotus valmiista porttirakenteesta.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan myös MBR400-järjestelmän huoltoaluetta, jonka uusi turvaportti eristää robotin työalueesta. Tarkastellaan ja tutkitaan mahdollisuuksia parantaa huoltoalueen käyttöä. Robotin huoltoalueen tutkimuksella luodaan kehitysehdotuksia, joita voidaan ottaa huomioon, mikäli varsinaista kehitystyötä myöhemmin tehdään.

2 CIMCORP OY

Cimcorp Oy on ulvilalainen sisälogistiikan automaatoratkaisuja tuottava automaatioyritys, joka valmistaa ja toimittaa automaatoratkaisuja ympäri maailmaa. Cimcorpin sisälogistiikkaratkaisut ovat keskittyneet pääosin kahdelle suurimmalle sektorille. Nämä sektorit ovat elintarviketeollisuuden jakelukeskukset sekä rengasteollisuuden tehtaot.



Kuva 1. Cimcorp Oy:n logo vuonna 2022 (Cimcorp Oy, 2022).

2.1 Ulvilalaisen automaatioyrityksen historiaa

Cimcorpin yrityksen historian juuret pohjautuvat aina 70-luvun alkupuolelle asti. Kyseisellä vuosikymmenellä yritys tunnettiin nimellä Rosenlew Automation. Vuonna 1975 Rosenlew Automation valmisti robottijärjestelmän suomalaisyritys Kemiralle. Tämä järjestelmä rakennettiin Vihtavuoren ruutitehtaalle, jossa sen tehtävänä oli kuljettaa räjähdemateriaalia tehtaalla. (Cimcorp Flow, 2015, s. 8).

Cimcorpin historia suurimpiin tapahtumiin lukeutuu vuonna 2014 tapahtuneet yrityskaupat, jolloin yrityksen omistajuus siirtyi ulkomaille. Japanilainen suuri perheyritys Murata Machinery osti Cimcorpin ja kaikki sen tytäryhtiöt. Yrityskaupan yhteydessä Cimcorp ei muuttanut nimeään, vaan säilytti oman nimensä sekä piti oman liiketoimintansa suhteellisen muuttumattomana.



Kuva 2. Murata Machinery, nykyinen logo (Murata Machinery Ltd, 2022)

2.2 Nykyaika

Cimcorp on ollut jo vuosia kasvava yritys, joka pyrkii jatkuvasti kehittämään ja luomaan uusia ratkaisuja. Automaatioyrityksen liikevaihto vuonna 2020 oli noin 123 miljoonaa euroa. Liikevoittoa edellisestä summasta kertyi noin 8,3 miljoonaa euroa. (Kauppalehti, 2022).

Cimcorpin henkilöstömäärä on lisääntynyt vuosi vuodelta. Vuoden 2018 ja 2020 välisenä aikana henkilöstömäärä on noussut 401 henkilöstä 501 henkilöön (Kauppalehti, 2022).

3 TEOREETTISET VAATIMUKSET SUUNNITTELUSSA

3.1 Konedirektiivi ja asetukset

Tässä teoriaosiossa tarkastellaan konedirektiivin sisältöä ja erotellaan sisällöstä ne määräykset, jotka ovat ajankohtaisia huoltoalueen turvaportin suunnittelussa. Kyseinen konedirektiivi 2006/42/EY on sisällytetty seuraavaan asetukseen:

”Asetus 400/2008, Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta”

Koneasetus on keskeinen kokoelma säännöistä ja määräyksistä. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §1)

3.1.1 Asetusten soveltaminen robottisoluun ja sen turva-alueeseen

Luetellaan koneasetuksen 400/2008 osa-alueita, jotka tulee ottaa huomioon mekaniikkasuunnittelussa ja erityisesti MBR400-järjestelmän huoltoalueen turvaportin suunnittelussa. Huomioidaan kohteita, joihin ohjeistuksia voitaisiin kohdistaa.

Koneasetuksen osa-alueita tutkiessa ja suunnittelua koskevia kriteerejä tarkkaillessa löytyy seuraava koneensuunnittelua koskeva yleisohjeistus:

”Kone on suunniteltava ja rakennettava niin, että se soveltuu tarkoitukseensa ja sitä voidaan käyttää, säätää ja huoltaa henkilöitä vaarantamatta silloin, kun nämä toimet tehdään tarkoitettulla tavalla, mutta ottaen huomioon myös sen kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö.” (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Huoltoalueen turvaportti oletetaan koneeksi, joten edellä mainitun määräyksen perusteella suunnittelussa on huomioitava mahdollinen virhekäyttö. Kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö tullaan huomioimaan turvaportin mekaniikan yksinkertaisuudella, sekä vaadittavilla turva-anturoinneilla.

Huoltoalueen turvaportin tulee kestää MBR400-robotin törmäysvoimat, joten todennäköisesti rakenne tulee olemaan pääosin terästä. Teräksinen rakenne on painava ja se asennetaan lattiatason yläpuolelle. Tämän vuoksi sen siirtäminen ja paikoilleen asentaminen on otettava huomioon. Koneiden rakenteiden painoista sekä niihin liittyvistä toimista mainitaan koneasetuksessa seuraavaa:

”Jos koneen tai sen eri komponenttien paino, koko tai muoto estää niiden liikuttamisen käsin, kone tai sen jokainen komponentti on varustettava kiinnityskorvakkeilla nostolaitteeseen kiinnittämistä varten, suunniteltava niin, että siihen voi kiinnittää edellä tarkoitettuja kiinnityskorvakkeita tai muotoiltava sellaiseksi, että tavallinen nostolaitte voidaan helposti kiinnittää siihen”. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14).

Turvaportti ei ole jokapäiväisessä käytössä, mutta silti sen käyttöergonomiaan on hyvä panostaa. Koneasetuksessa mainitaan, että koneen suunnittelussa on otettava huomioon koneen käyttäjään kohdistuva epämukavuus, käyttäjän väsymys sekä fyysinen ja psyykinen kuormitus. Näitä edellä mainittuja seikkoja on minimoitava ottamalla huomioon seuraavat ergonomiset periaatteet, kuten säädettävyyden käyttäjän fyysisten mittojen, kestävyys- ja voiman suhteen sekä käyttäjän riittävä tila liikkumiseen. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Portin rakenne on suhteellisen painava, joten portin operoimiseen tarvittavan fyysisen voiman tarve on minimoitava. Tähän yksi keino voisi olla riittävän pitkä kääntövarsi, jossa on tarpeeksi vipuvartta tarvittavan kääntövoiman vähentämiseksi. Kääntövarsi on myös oltava paikassa, jossa sitä voi esteettä käyttää.

Koneasetuksen seuraava määräys koskee laitejärjestelmän eri laite-elementtien yhteensovittamiseen vaadittavia turvallisuuden takaavia toimenpiteitä. Asetuksessa sanotaan tällaisten koneyhdistelmien yhteensovittamisesta seuraavaa:

”Jos useampi kone tai koneiden tietyt osat on suunniteltu toimimaan yhdessä, ne on suunniteltava ja rakennettava siten, että pysäytysohjaimet, hätäpysäytyslaitteet mukaan luettuina, pysäyttävät kyseessä olevan koneen lisäksi myös kaikki siihen yhteydessä olevat laitteet, jos niiden toiminnan jatkuminen voi aiheuttaa vaaraa.” (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Edellä mainittua tekstiä tulkitsemalla selviää, että huoltoalueen turvaporttiin vaaditaan turva-anturointeja. Turva-anturoinneilla luodaan niin kutsuttu turvaverkko laitteistojen ympärille.

Koneasetuksesta löytyy myös runsaasti määräyksiä erilaisten suojien ja turvalaitteiden vaatimuksista. Yleisistä turvalaitteiden vaatimuksista poimitaan tarkasteltavaksi seuraavaa:

”Suojusten ja turvalaitteiden on oltava rakenteeltaan kestäviä ja niiden on pysyttävä lujasti paikoillaan. Niiden on oltava sellaisia, ettei niistä aiheudu lisävaaraa. Ne on myös oltava sellaisia, ettei niitä ole helppo ohittaa tai tehdä toimimattomaksi. Suojukset ja turvalaitteet on myös sijoitettava riittävän etäisyyden päässä vaaravyöhykkeestä”. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Turvaportin rakenteesta on tehtävä kestävä. Niin kuin aikaisemminkin mainittu, on sen kestettävä robotin törmäysvoima. Portin yhteyteen tulevat mahdolliset lisäsuojukset on oltava tukevia. Erilaiset akryyli- tai polykarbonaattilevyt voivat hyvänä esimerkkinä toimia suojamateriaalina hyvin, mikäli ne ovat tuettu ja kiinnitetty paikoilleen tukevasti. Suojusten paikoittamisessa on otettava huomioon tarvittavat turvaetäisyydet vaaravyöhykkeelle. Tässä tapauksessa vaaravyöhykkeenä on robotin työalue.

Turvalaitteiden ja suojien erityisvaatimuksista sanotaan koneasetuksessa seuraavaa:

”Turvalaitteet on suunniteltava ja liitettävä ohjausjärjestelmään siten, että liikkuvat osat eivät voi käynnistyä, kun ne ovat käyttäjän ulottuvilla. Henkilöt eivät voi ulottua liikkuviin osiin, kun osat liikkuvat ja turvalaitteen yhdenkin komponentin puuttumisen tai vikaantumisen on estettävä käynnistyminen tai pysäytettävä liikkuvat osat.” (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14).

Tässä korostuu taas uudelleen turva-anturointien merkitys laitesuunnittelussa. Turvakytkimet on asetettava niin, että signaali käyttölaitteille lähtee vasta silloin, kun portin operointi on päättynyt. Toisin sanoen jokaisen portin käytön työvaiheen jälkeen on oltava oma paikkaansa soveltuva anturi varmistamassa, että vaihe on suoritettu suunnitellusti. Tässä tilanteessa väärinkäytön mahdollisuudet ovat myös otettava huomioon.

Seuraava osio tulee tarkempaan tutkintaan huoltoalueen kehitystutkimuksessa:

Asetuksessa mainitaan yleisesti koneen suunnittelusta, että se on suunniteltava ja rakennettava siten, että turvallinen pääsy on taattava mahdolliseksi kaikille sellaisille

alueille, joilla koneen käyttäjän puuttuminen toimintaan on välttämätöntä koneen käytön, säädön ja kunnossapidon aikana. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Huoltoalueen on vastattava edellä mainitun määräyksen vaatimuksiin.

Turvaportti on mekaanisesti suhteellisen yksinkertainen turvalaite. Pohditaan, millaiset ohjeistukset portti tarvitsee sen välittömään läheisyyteen. Voivatko nämä mahdollisesti sisältyä järjestelmän pääohjeistuksiin. Varoituskylteistä ja kiinnitettävistä merkinnöistä mainitaan koneasetuksessa seuraavaa:

”Koneeseen kiinnitetyt tiedot ja varoitukset olisi mieluiten esitettävä helposti ymmärrettävinä symboleina tai kuvatuksina. Kirjalliset tai suulliset tiedot ja varoitukset on ilmaistava yhdellä tai useammalla siinä jäsenvaltiossa käytössä olevalla yhteisön virallisella kielellä, jossa kone saatetaan markkinoille tai otetaan käyttöön; lisäksi ne voidaan ilmaista muilla käyttäjien ymmärtämällä yhteisön virallisilla kielillä.” (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Cimcorp toimittaa automaatiojärjestelmiä useihin eri maihin, joten tarvittavien varoitusten ja merkintöjen on täten vastattava kohdemaansa kieltä.

Mikäli turvaportin käytöstä luodaan erilliset käyttöohjeet, koneasetuksesta löytyy niiden sisällöstä omat vaatimuksensa. Ohjeiden laatimisen yhtenä yleisenä periaatteena mainitaan, että ohjeet on laadittava yhdellä tai useammalla yhteisön virallisella kielellä. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Yleisenä ohjeistuskielenä käytetään yleensä englannin kieltä. Ohjeiden käännöstä eri kielille asetuksessa mainitaan, että valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan tarkistamassa yhdessä tai useammassa käännöksessä on oltava maininta ”alkuperäiset ohjeet”. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Tämä edellä mainittu maininta on otettava mukaan ohjeisiin, kun ohjetta käännetään kohdemaan kielen mukaiseksi, pois luettuna tietenkin maat, jossa englannin kieli soveltuu ohjeisiin sellaisenaan. Jokaisen käyttöohjekirjan sisältöön on kuuluttava koneasetuksen mukaan vähintään muun muassa koneen yleinen kuvaus. Ohjekirjan on sisällettävä myös piirustukset, kaaviot, kuvaukset ja selitykset, jotka ovat koneen käytön, huollon ja korjauksen sekä sen oikean toiminnan tarkistamisen kannalta tarpeelliset. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14).

Koneasetuksessa on ohjeistuksia suojaamiseen mekaanisilta vaaroilta. Tämän alta löytyy seuraava maininta hallitsemattomien liikkeiden ennakoinneista:

”Kone on suunniteltava, rakennettava ja tarvittaessa sijoitettava liikkuvalla alustalleen siten, että konetta siirrettäessä sen painopisteen hallitsemattomat heilahdukset eivät vaikuta sen vakavuuteen tai aiheuta liiallista rasitusta sen rakenteeseen.” (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Suurin osa huoltoporttirakenteen massasta tulee keskittymään sen alaosaan, joka on kiinteästi kiinnitetty robotin johteiden pohjaan. Kiinteästi kiinnitetty rakenteen osa ei siis tule kokemaan hallitsemattomia liikkeitä. Portin kääntyvä puomiosa sen sijaan voi altistua hallitsemattomille liikkeille. Puomiosasta tulee kevyempi, mutta kuitenkin niin painava, että tarkastelua on hyvä tehdä. Portin puomiosan kiinnitys kiinteään runkoon on suunniteltava kestämään esimerkiksi tilanne, jossa portti lähtee käyttäjän hallinnasta ja paiskautuu auki muuta rakennetta vasten. Puomin kiinnitysten on kestettävä tällainen tilanne vaurioitumatta.

Seuraava koneasetuksen osa-alue liittyy suoraan turvaportin rakenteen kestävyuden varmentamiseen. Koneasetuksessa mainitaan eri rakenteiden kestävydestä seuraavaa: ”Koneen, nostoapuvälineiden ja niiden komponenttien on kestettävä niihin käytön aikana ja mahdollisesti myös, kun niitä ei käytetä, kohdistuvat kuormitukset, ennakoituissa asennus- ja toimintaolosuhteissa ja kaikissa asiaankuuluvissa kokoonpanoissa ottaen tarvittaessa huomioon ilmastolliset tekijät ja henkilöiden aiheuttamat voimat. Tämän vaatimuksen on täytyttävä myös kuljetuksen, kokoonpanon ja purkamisen aikana. Käytetyt materiaalit on valittava tarkoitettun käyttöympäristön mukaan ottaen erityisesti huomioon korroosio, kuluminen, iskut, äärimmäiset lämpötilat, väsyminen, hauraus ja vanheneminen.” (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14). Lujuuslaskennassa on otettava huomioon asianmukaiset varmuuskertoimet, jolla huoltoportin kestävyys voidaan taata varsinkin törmäystilanteissa, jossa huoltohenkilö työskentelee huoltoportin takana. Kerroin valitaan yleensä tapauskohtaisesti takaamaan riittävä ja varmistettu käyttöturvallisuus.

Koneasetuksen mukaan koneet on suunniteltava kestämään staattisten kokeiden ylikuorma ilman pysyvää vauriota tai näkyvää vikaa. Lujuustarkasteluissa on otettava huomioon staattisen testin kertoimen arvot, jotka on valittu riittävän turvallisuustason varmistamiseksi. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, §14).

3.2 Turvallisuusstandardi EN ISO 13857

Selostetaan koneturvallisuusstandardin EN ISO 13857 sisältöä, jota tullaan käyttämään robottijärjestelmän turvaportin suunnittelussa sekä mahdollisesti robotin tarttujan laskupaikan muutosmahdollisuuksien tutkimisessa. Tutkitaan standardia EN ISO 13857, joka pohjautuu turvaetäisyyksien määrittämiseen kurottamistilanteissa. (ISO 13857:2019, 2019).

Standardin EN ISO 13857 luvussa 4.2.2 kuvataan suojarakenteiden mittavaatimuksia tilanteissa, joissa vaara-alue luokitellaan suuren riskin alueeksi. Suoja-aitarakenne mitoitetaan taulukossa 1 esitetyn menetelmän mukaan mittaamalla lyhimät etäisyydet vaaravyöhykkeen lähimpään kohtaan.

Suojarakenteen korkeus	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2500	2700
Yläraajan lähinnä olevan vaaravyöhykkeen pisteen korkeus	Vaakasuora turvaetäisyys pisteestä lähinnä yläraajan ulottuma-alueelta [mm]									
2700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2400	1100	1000	900	800	700	600	400	300	100	0
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	0	0
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	0	0	0
1800	1500	1400	1100	900	800	600	0	0	0	0
1600	1500	1400	1100	900	800	500	0	0	0	0
1400	1500	1400	1100	900	800	0	0	0	0	0
1200	1500	1400	1100	900	700	0	0	0	0	0
1000	1500	1400	1000	800	0	0	0	0	0	0
800	1500	1300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1400	1300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1400	1200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 1. Turvaetäisyydet suojarakenteiden yli ulottumisesta standardin EN ISO 13857 mukaan. (ISO 13857:2019, 2019).

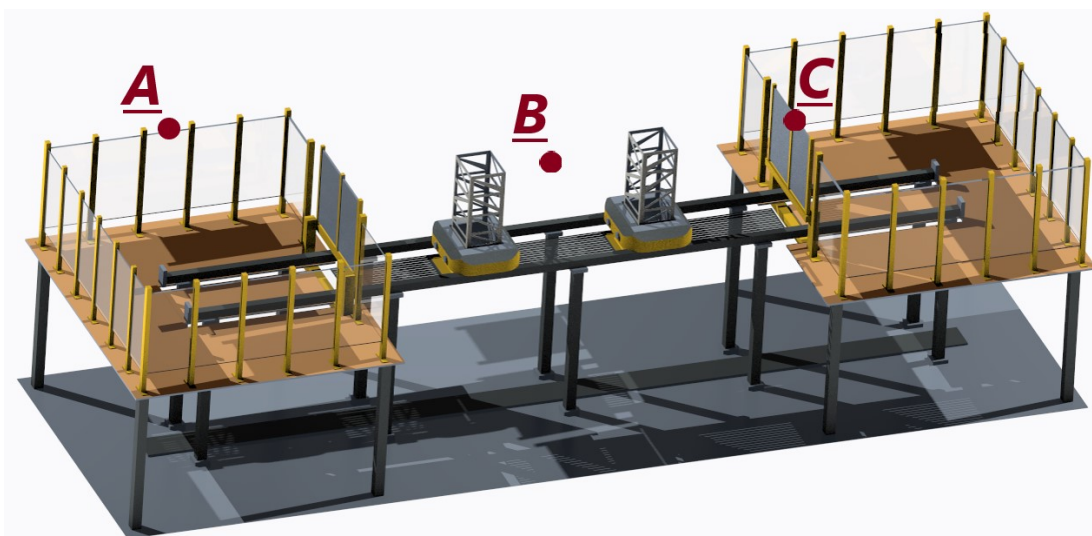
Mittauksen vertailutaso määritetään oletetusti pinnaksi, jossa henkilö seisoo. Vertailutasosta mitataan suojarakenteen ja vaaravyöhykkeen lähimmän kohdan pystysuorat korkeudet. Suoja-aitarakenteen korkeimmasta kohdasta mitataan puolestaan lyhyin vaakasuora kurotusetäisyys vaaravyöhykkeelle. Esimerkkinä suojarakenteen ollessa 2000 millimetriä korkea ja vaaravyöhykkeen korkeuden ollessa 2000 millimetriä, salitun vaakasuoran turvaetäisyyden vaaravyöhykkeelle on oltava vähintään 600 millimetriä. (Taulukko 1).

4 TIEDONKERUU

Tässä osiossa kerätään ja puretaan tietoa suunnitteluosioon sekä tutkimusosioon liittyvistä asioista. Puretaan tietoja asiaa koskevien haastattelujen pohjalta, sekä haluttujen tavoitteiden perusteella.

4.1 MBR400-järjestelmä ja huoltoalueen turvaportti

MBR400-järjestelmässä robotti liikkuu teräsjohteilla lattiataason yläpuolella. Peruskoordinaatistoa XYZ apuna käyttäen todetaan, että robotin liikeakselit ovat X-akseli ja Z-akseli. Robotti liikkuu siis lineaarisesti kahteen suuntaan ja poimii pystyakselin suuntaisesti laatikoita tai laatikkopinoja mukaansa. Robotilla on siis kaksi vapausastetta. Ensimmäisellä vapausasteella tarkoitetaan liikettä eteen ja taakse. Toisella vapausasteella vuorostaan tarkoitetaan tässä tapauksessa liikettä ylös ja alas.



Kuva 3. 3D-mallinnettu kuvituskuva MBR400-järjestelmästä. (Miikkulainen, 2022.)

Kuvassa 3 kirjain A esittää robotin huoltoaluetta ja kirjain C huoltoalueen turvaporttia. Selitetään lyhyesti MBR400-robottijärjestelmässä tarvittava huoltoalueen turvaportti ja sen toiminta. Turvaporttia käytetään pääosin robottijärjestelmän toteutuksessa, jossa liikkuu samanaikaisesti kaksi MBR400-typin robottia. Turvaporttia käytetään erottamaan robotin huolto- ja työalue toisistaan. Työalueella tarkoitetaan kuvassa 3 näkyvää aidattujen huoltotasojen välistä aluetta, joka on kuvaan merkitty kirjaimella C. Kun

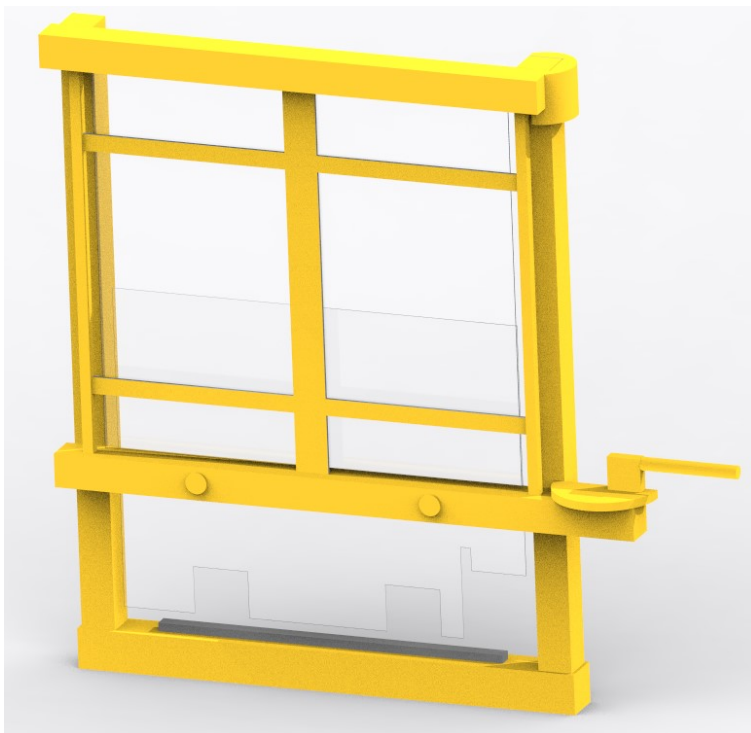
toinen roboteista ajetaan huollettavaksi huoltoalueelle, toinen robotti voi jatkaa toimintaansa suljetun turvaporin toisella puolella. Suljettu portti suojaa huoltoalueella työskentelevää henkilöä. Portti tullaan kiinnittämään robotin teräslohdekiskoihin siihen soveltuvalla kiinnitysmenetelmällä.

4.1.1 Lähtötilanne

Huoltoalueen turvaporista ei ole standardoitua ratkaisua MBR400-järjestelmässä. Aikaisemmat portin toteutukset ovat olleet käytettävyydeltään kankeita ja raskaita. Aikaisempien ratkaisujen pohjalta voidaan yhteenvedona todeta seuraavaa:

Turvaporiteissa on ollut ohuesta teräslevystä, tai ohuesta polykarbonaattilevystä valmistettu lisäsuojus, joka tullaan porttia sulkiessa laskemaan alas. Polykarbonaattisuojus estää jalkojen ja muiden ruumiinosien pääsyn robotin työalueelle. Aikaisemmissa ratkaisuissa nämä kyseiset suojukset eivät ole toimineet niin kuin olisi niiden haluttu toimivan. Suojus on kaikissa aikaisemmissa ratkaisuissa ollut erittäin hankala käyttää. Teräslevysuoja on painava ja terävä. Polykarbonaattilevystä valmistetun suojan huono puoli on ollut myös sen taipuvuus. Levy taipuu helposti ja jää jumittamaan suojuksen liikettä. Suojuksessa kiinni ollut kahva on myös aikaisemmissa toteutuksissa ollut teräksinen ja terävä. Levyn lukitseminen ylä- tai ala-asentoon on aikaisemmin toteutettu lukitusnastoilla, jotka ovat asennettu levyn kumpaankin reunaan. Ongelmaksi tälle on tullut suojalevyn leveys. Lukitusnastojen operoiminen yksin on haastavaa, sillä ne ovat niin kaukana toisistaan. Kun nastat ovat vapautettu, samanaikaisesti suojusta tulisi vielä nostaa. Tämä ei ole ollut ergonomian kannalta optimaalista.

Aikaisempi turvaporiti on kokonaisuudessaan ollut suuri ja sen liikkuvien teräsrakenteiden massassa on ollut käytännössä useita kymmeniä kilogrammoja ylimääräistä. Tämä aiheuttaa haasteita kokoonpano- ja asennusvaiheessa sekä lisää kuormitusta portin saranointiin.

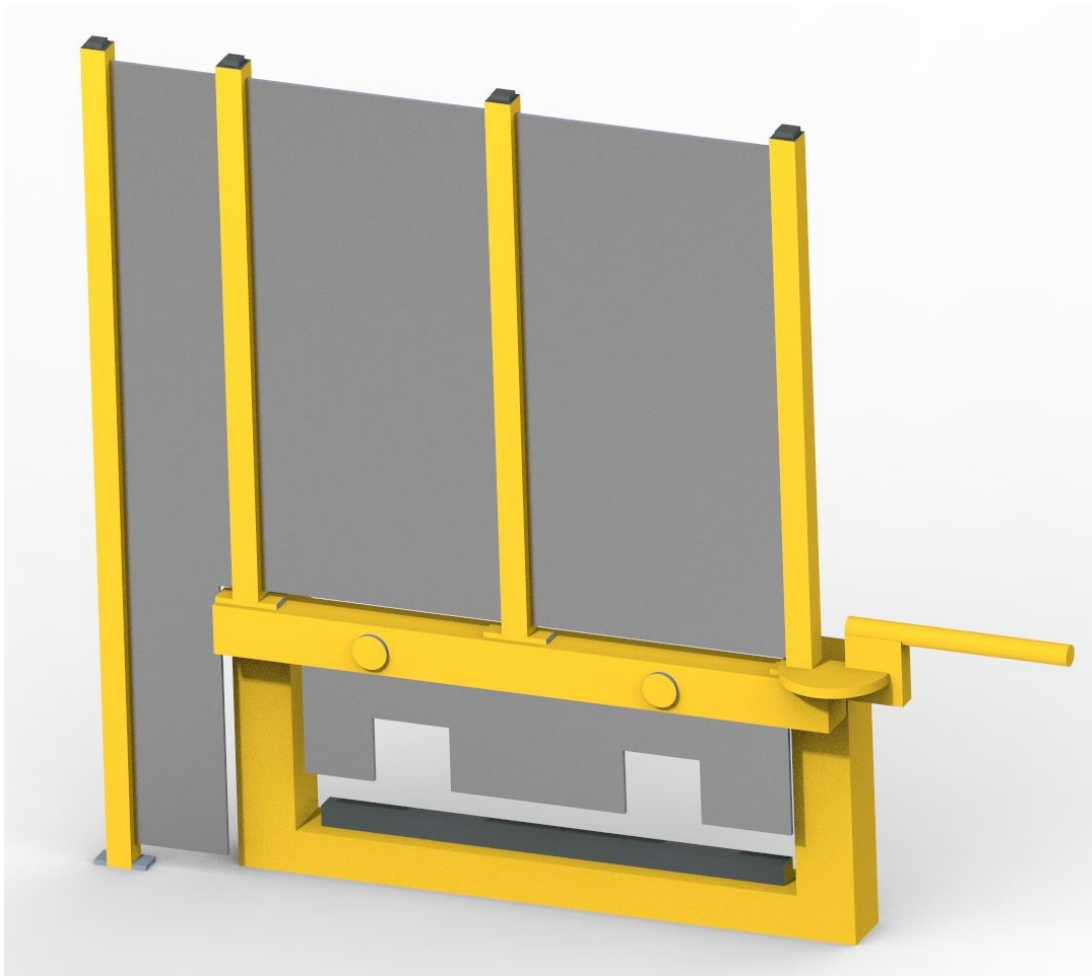


Kuva 4. 3D-mallinnettu kuvituskuva aikaisemmasta porttirakenteesta. (Miikkulainen, 2022.)

4.1.2 Tavoitteet

Turvaportin tavoitteina on erottaa robotin työ- ja huoltoalue toisistaan. Tarkoituksena on, että järjestelmän muuta toimintaa ei tarvitse pysäyttää yksittäisen robotin huollon ajaksi ja huoltoalueella voi suorittaa huoltotoimenpiteitä samanaikaisesti välittämättä muun järjestelmän toiminnasta. Tämä on toteutettava ennen kaikkea turvallisesti siten, että huoltoalueelta ei ole pääsyä robotin toiminta-alueelle.

Ratkaistaan edellisten toteutusten pohjalta havaitut ongelmakohdat sekä kehitetään rakenteesta käyttäjäystävällinen. Ensisijaisesti rakenteen tulee kuitenkin varmistaa huoltoalueella työskentelevän henkilön turvallisuus kaikissa tilanteissa, joista ääriesimerkeihin saattaa kuulua tilanne, jossa robotti tahattomasti törmää huoltoalueen turvaporttiin maksiminopeudellaan.



Kuva 5. 3D-mallinnettu konseptikuva mahdollisesta turvaportin rakenteesta. (Miikkulainen, 2022.)

4.1.3 Tulosten hyödyntäminen työturvallisuuden ja työergonomian kehittämisessä

Suojamuovin siirtokahvan materiaali tulee olemaan muovia, sillä aikaisemmat teräksiset kahvat ovat olleet tilanteeseen soveltumattomia. Teräskahva on ollut turvaton, sillä siitä on muodostunut viiltotapaturmariski, mikäli sitä operoidaan ilman kunnollisia hanskoja. Kahvaksi valitaan todennäköisesti jokin valmiskomponentti, joita on saatavilla useilta eri valmistajilta useita eri vaihtoehtoja. Työergonomian näkökulmasta suotavaa olisi, että kahva ja suojan asennon lukitusmekanismi olisivat lähellä toisiaan. Tällä välttyttäisiin epäergonomisilta asennoilta esimerkiksi tilanteissa, joissa yksi henkilö avaa suojamuovin lukituksia ja samanaikaisesti siirtää suojusta asentoa ylä- tai ala-asentoon.

Teräsrakennetta pyritään muokkaamaan sirommaksi ja kevyemmäksi, jotta sitä on käyttäjän mukavampi käsitellä. Keveys vähentää portin kääntöön vaadittavaa voimaa ja tätä kautta pienentää mahdollisuutta käyttäjän loukkaantumiselle.

4.1.4 Valmistettavuus, materiaalit ja kustannusten ennakointi

Suunnitteluprojektin edetessä ja erilaisten kappaleiden 3D-mallinnusta aloittaessa on suositeltavaa huomioida niiden valmistettavuus ja käytettävät materiaalit. Nämä heijastuvat aina kappaleiden lopullisiin kustannuksiin.

Mikäli kappaleiden vaatimukset sen sallivat, on suositeltavaa käyttää yleisiä hyvällä saatavuudella olevia materiaaleja. Tällaisia ovat esimerkiksi S235 ja S355 rakenneteräkset, ruostumaton teräs X5CrNi18 sekä alumiinilaadut EN AW-5754 ja EN AW-5083. Materiaalien, esimerkiksi S355J2G3 lujuuksia tarkastellen, standardin SFS EN 10025-2 mukaan ohutlevyn nimellispaksuuden ollessa alle 16 millimetriä teräksen myötöraja on 355 megapascalina (MPa) (SFS-EN 10025-2:2019, 2019, s. 26). Nimellispaksuuden ollessa yli kolme millimetriä, mutta alle sata millimetriä teräksen murto-
lujuus vaihtelee 470 ja 630 megapascalin (MPa) välillä. Kyseinen teräs on siis ominaisuuksiltaan tarpeeksi kestävä useaan tilanteeseen. Yleisimpiä saatavilla olevia muovilaatuja ovat esimerkiksi polyasetaali (POM), polyuretaani (PUR) ja erilaiset akryylilevyt.

Erilaisia kappaleita suunnitellessa kannattaa suosia yleisimpiä valmistus- ja työstötekniikoita. Yleisimpiin valmistusmenetelmiin kuuluvat esimerkiksi MIG/MAG-hitsaus, sorvaus, jrsintä sekä laser- ja plasmaleikkaukset.

4.1.5 Vaadittavat turvallisuuteen liittyvät varmennukset

Valmistellaan suunnitelmapohjaisesti turvaportille tehtävät turvallisuuteen liittyvät varmennukset, eli rakenteille tehtävät lujuustarkastelut. MBR400-järjestelmän huolto-

alueen turvaportin on kestävä teoriassa suuriakin voimia. Turvaportti on niin sanottu tulilinjalla nopealla vauhdilla liikkuvan robotin kanssa. Tästä johtuen portin on kestävä robotin törmäysvoima sen maksiminopeudella.

Lujuustarkastelussa käytetään myös varmuuskertoimia. Asetetaan laskentaan varmuuskerroin 1,1 jonka rakenteen on kestävä vahingoittumatta. Robotin törmäystilanne porttiin on erittäin harvinainen, joten tällä kertoimella laskenta voidaan suorittaa. Tarkastelua tehdään myös suuremmalla kertoimella. Tällöin pysyvät muodonmuutokset sallitaan, pois lukien tilanteessa, jossa robotti ei pysähdy puomiin. Laskennat tuliaan suorittamaan maksimitörmäysvoimalla, joka syntyy tilanteessa, jossa robotti tahattomasti ajaa huippunopeudellaan suljettua turvaporttia päin. Loogisesti voidaan ajatella, että muut mahdolliset pienemmät törmäykset jotka aiheuttavat pienempiä voimia, eivät myöskään aiheuta vaaraa, mikäli rakenteen kestävyys mitoitetaan kyseiselle tilanteelle sopivaksi. Todetaan, että varmuuskerroin 1,1 soveltuu käytettäväksi huoltoalueen turvaportin runkorakenteen vauriottomaan tarkasteluun.

Huoltoalueen turvaportin rakennemateriaali koostuu suurimmaksi osaksi teräksestä. Käytetyn teräksen tyyppi rakennepalkeissa on pääasiassa S355 rakenneteräs. Tämän teräksen myötölujuus on edellä mainitusti tyypistään riippuen vähintään 355 megapascalia (MPa).

5 SUUNNITTELUVAIHE

5.1 Huoltoalueen turvaportin suunnittelu

Tässä osiossa selostetaan suunnittelutyö ja sen vaiheet. Suunnittelun pohjatiedot perustuvat opinnäytetyön teoria- ja tiedonhakuosiossa kerättyihin vaatimuksiin.

5.1.1 Suunnitteluprojektin aloituksen järjestelyt

3D-suunnittelua aloitettaessa avataan uusi workspace eli työtila Windchill PDM-järjestelmään. Työtila toimii henkilökohtaisena verkkopohjaisena tallennusalueena uusille ja muokattaville Creo-suunnitteluohjelmalla luoduille 3D-malleille sekä osa- ja kokoonpanopiirustuksille. Oma työtila erillisille suunnitteluprojekteille helpottaa tietojenkäsittelyä, sillä usein yksittäisellä suunnittelijalla saattaa olla samanaikaisesti useampia työn alla olevia projekteja.

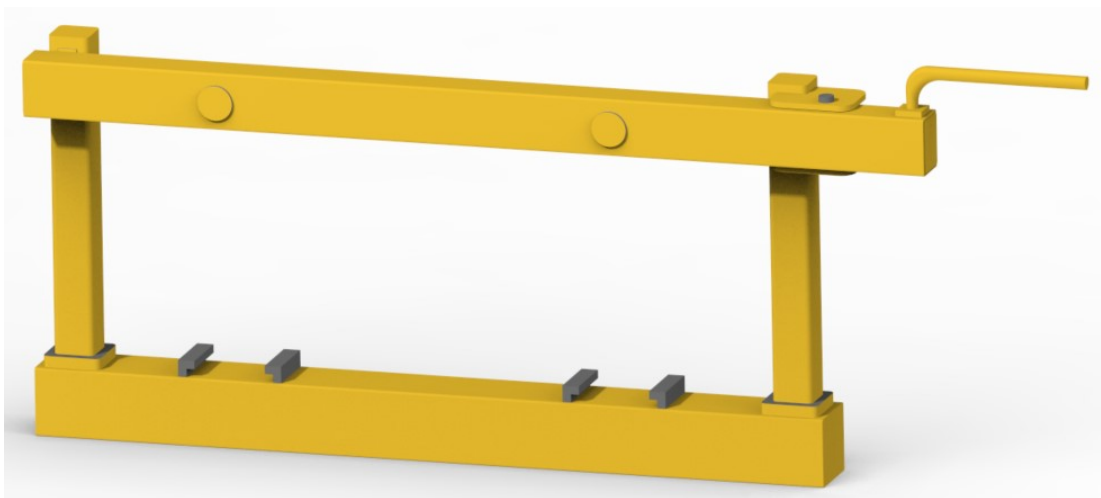
Uuden turvaportin suunnittelua ei ole järkevää aloittaa täysin tyhjältä pöydältä, jos suunnittelutyötä nopeuttavia keinoja on tarjolla. Luodaan uuteen työtilaan kopio vanhasta turvaporttirakenteesta. Vanha turvaportti pysyy tällöin järjestelmissä koskemattomana ja uutta porttia voidaan lähteä työstämään välittämättä vanhasta 3D-mallista.

5.1.2 Suunnittelu ja keskeiset muutokset

Huoltoalueen turvaportin eri osien rakenteet koostuvat pääasiassa rakenneteräksestä. Rakenteen huomioväriinä tullaan käyttämään keltaista värisävyä RAL1018.

Turvaportin runkorakenne kokee suuria muutoksia. Molemmat sekä liikkuva, että paikallaan oleva robotin johteisiin kiinnitetty osa muuttuvat. Kuvassa 4 esitetyn aikaisemman turvaportin runkorakenteeseen verrattuna uudesta rungosta on karsittu pois lähes kaikki puomin yläpuoliset teräsrakenteet.

Runkorakenteen sekä kiinteä, että kääntyvä puomiosa on valmistettu seinämävahvuudeltaan viiden millimetrin putkipalkista. Rungossa käytetään putkipalkin materiaalina S355J2G3 rakenneterästä.



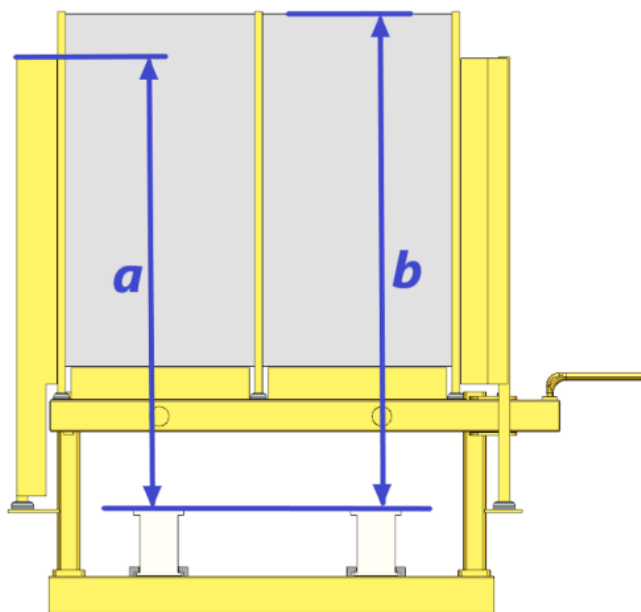
Kuva 6. Ehdotus turvaportin uudesta runkorakenteesta. (Miikkulainen, 2022.)

Alkuperäisen teräsrunkorakenteen massa on noin 315 kilogrammaa. Edellä mainittujen muutosten jälkeen runkorakenteen massa on noin 259 kilogrammaa, kun suoja-aitakomponentteja ei huomioida. Teräsrunkorakenteen massavähennys on täten noin 56 kilogrammaa. Portin puomin saranointi ja laakerointi on toteutettu samalla tavalla kuin aikaisemmissa ratkaisuissa. Runkorakenteen ja puomin lävistää toisesta päästään vahva tappi, joka tukeutuu puomiin upotettuihin liukulaakereihin. Saranoinnin toteutus on tukeva ja voidaan olettaa sen kestävän myös hallitsemattomia liikkeitä, kuten paiskautumista auki porttia avattaessa. Puomin laakeroinnin toteutusta voidaan tulevaisuudessa vielä kehittää, mikäli tämä koetaan tarpeelliseksi.

Huoltoalueen turvaportin teräsrunko kiinnitetään robotin x-liikkeen johteiden alapintaan. Rungon kiinnityksessä johteisiin käytetään aikaisemminkin käytettyjä pultattavia metallikiinnikkeitä, jotka ovat koneistettu muotoonsa.

Portin puomin päälle asennetaan suoja-aitaa edellisessä osiossa kuvassa 5 esitellyn konseptin mukaisesti. Puomissa käytetään valmiita Axelentin aitaelementtejä. Käytetyn aitaelementtien Premium-teräsverkon tiheys on valmistajansa mukaan 50 x 20 millimetriä (Axelent, 2022). Suoja-aitarakenne on mitoitettu standardin EN ISO 13857 mukaan tilanteeseen, jossa henkilö seisoo suorassa robotin johteiden päällä ja pyrkii kurottamaan käsillään turvaportin yli. Robotin johteiden päällä oleskelu huoltoalueella ei ole normaalitoimintaa. Mitoitus on tehty kuvatun tilanteen pohjalta, sillä se kuvaa väärinkäyttötilannetta, joka tässä tapauksessa on helppo ennakoida.

Mitoitettu etäisyys robotin x-liikkeen johteen yläpinnasta sivusuojien yläosaan on noin 2150 millimetriä. Kuvassa 7 tätä etäisyyttä kuvataan kirjaimella *a*. Vastaava etäisyys johteen pinnasta suoja-aitaelementin yläpintaan on noin 2400 millimetriä. Tätä etäisyyttä kuvassa 7 kuvaa kirjain *b*.



Kuva 7. Suojarakenteiden korkeudet verrattuna robotin johteisiin. (Miikkulainen, 2022.)

Suoja-aitarakenteen sivuille ja alapuolelle on suunniteltu lisäsuojukset ohuesta teräslevystä. Ylimääräiset lisäsuojarakenteet on mitoitettu ja paikoitettu työn teoriaosiossa määritetyn standardin EN ISO 13857 mukaan.

Liikkuva suojalevy valmistetaan viisi millimetriä vahvasta polykarbonaattilevystä. Levyn geometria vastaa suurilta osin vanhempien porttitoteutusten suojalevyn muotoa. Alaosassa olevat leikkaukset väistävät robotin johdekiskoja ja peittävät niiden ympäriltä vapaan tilan. Ylempi vasemmalla oleva leikkauskohta väistää kaapelikourua.



Kuva 8. Havainnekuva polykarbonaattisuojan geometriasta. (Miikkulainen, 2022.)

Lineaarijohteesta ja kuulakelkoista koostuva kokoonpano kiinnittyy polykarbonaattisuojan ja turvaportin väliin. Tällä mekanismilla toteutetaan suojan sulava liike ja se on mitoitettu tarvittavan suojamuovin liikeradan mukaan.



Kuva 9. Ehdotus suojamuovin liukumekanismista. (Miikkulainen, 2022.)

Suojamuovin molempiin reunoihin asennetaan ohjaimet, jotka pitävät suojamuovin tukevasti paikallaan ala- sekä yläasennossa. Ne ovat säädettävät, jotka asetetaan sopivaan välykseen. Sivuohjaimet valmistetaan teräslevystä ja siihen tehdään tarvittavat taivutukset ja pintakäsittelyt. Ohjaimet pultataan portin kääntyvään puomiin.



Kuva 10. Ehdotus suojamuovin säädettävästä sivuohjaimesta. (Miikkulainen, 2022.)

Nostettavan suojan kahvaksi on valittu sopiva muovinen valmiskomponentti. Kahva paikoitetaan polykarbonaattisuojamuoviin sen painopisteen mukaan. Suojamuovin painopiste saadaan laskettua suunnittelussa käytetyllä Creo Parametric 4.0-ohjelmalla. Ohjelma laskee kokoonpanon painopisteen suhteuttamalla sen eri osien geometrian toisiinsa ja ottamalla huomioon yksittäisille osille määritetyn massa. Osien massa peilautuu painopisteen laskentaan puolestaan niille asetetun materiaalin kautta. Polykarbonaattilevyn painopiste sivuttaissuunnassa on 79,5 millimetriä keskikohdasta oikealla. Kahvakokoonpano koostuu muovikahvasta, sen taustalevystä ja lukitustapeista, jotka yhdistetään metalliputkella. Muovikahva kiinnittyy kulmaan, jolloin lukitustapeista koostettu mekanismi saadaan sijoitettua ergonomisesti kämmenelle hyvin soveltuvaan asentoon. Kahvakokoonpanon ajatuksena on toimia samanaikaisesti lukituksen ja suojamuovin siirtokahvana. Suojamuovin käsikahvan lukituspinnit voivat vaatia tulevaisuudessa lisätarkastelua, mikäli nykyinen kaksipinninen lukitus ei toimi ongelmitta. Tässä tilanteessa kahvakokoonpanoon voidaan suunnitella ratkaisu, jossa lukitus on toteutettu vain yhdellä pinnillä.



Kuva 11. Kehitetty kahvakokoonpano lukkomekanismilla. (Miikkulainen, 2022.)

Turvaportin paikallaan pysyvään runkorakenteen reunoihin asennetaan suoja-aitatolat, joiden kautta mahdollistetaan portin yhdistäminen huoltoaluetta ympäröivään suoja-aitaan sopivaa aitaelementtiä käyttäen. Tällä tavalla turvaportin ulkonäkö sulautuu huoltoalueen muuhun yleisilmeeseen.

5.1.3 Elektroninen turvallisuus

Cimcorpin robottijärjestelmissä yleisinä elektronisina turvaratkaisuuina toimivat erilaiset anturoinnit, peilit sekä valoverhot. Portin rakenteeseen kuuluu kaksi erilaista anturia. Toinen anturi tunnistaa portin auki-asennon. Toinen turva-anturi puolestaan on lukkomallinen ja liittyy polykarbonaattisuojan ja portin kiinni-asennon tunnistamiseen. Tämä anturi on kaksiosainen, joka koostuu itse anturista ja anturiin sopivasta lukkokielestä. Lukkokieli on kiinnitetty teräsketjuun, jonka toinen pää on kiinni liikuttavassa suojamuovissa. Ideana tällä on se, että ketjussa tukevasti kiinni oleva lukkokieli yltää turvalukkoon ainoastaan polykarbonaattisuojan ollessa ala-asennossa. Tällä toimintamallilla poistetaan kohtalaisen väärinkäytön mahdollisuus. Mikäli huolto- tai korjaustoimenpiteitä suorittava henkilö tahallisesti poistaa tai irrottaa lukkokielen vähentääkseen tarvittavien turvallisuustoimenpiteiden määrää, tätä ei enää luokitella kohtalaiseksi väärinkäytöksi.

5.1.4 Turvallisuuden varmentaminen törmäyksessä

Huoltoalueen turvaportin runkorakenteelle suoritetaan lujuustarkastelu, jotta varmistetaan sen kestävydestä huonoimmassa oletetussa tilanteessa, jossa robotti tarkoituksetta ajautuu törmäämään porttiin. Törmäystilanteen lujuustarkastelua suoritetaan opinnäytetyön tiedonhakuosiossa määritetyn kerroinarvon 1,1 mukaan.

Kyseisen törmäystilanteen lujuustarkasteluun tarvitaan maksimivoima, joka kohdistuu robotista porttiin törmäystilanteessa sen maksiminopeudella. Robotti on normaalitilanteessa varustettu iskunvaimentimilla. Maksimitörmäysvoima lasketaan tässä tilanteessa seuraavalla Newtonin johdannaisella kaavalla 1. (GIGACalculator, 2022).

$$F = \left(\frac{0.5 \cdot (m_1 + m_2) \cdot v^2}{d} \right) \quad (1),$$

Voiman laskukaavaa käytetään tässä tilanteessa antamaan suuntaa antavat törmäysvoiman tulokset. Kaavaa voidaan käyttää esimerkiksi vaakatasossa liikkuvan kohteen iskuvoiman laskentaan. (GIGACalculator, 2022). Tuloksia voidaan tulevaisuudessa tarkentaa. Kaavassa F vastaa laskettavaa törmäysvoimaa, m_1 robotin ominaismassaa, m_2

robotin maksimaalista kantokuormaa, v robotin maksiminopeutta ja d robotin törmäysmatkaa:

$$F_{\text{törmäys}} = \left(\frac{0,5 \cdot (\text{MBR400 omamassa} + \text{MBR400 max. kuorma}) \cdot \text{MBR400 max. nopeus}^2}{\text{törmäysmatka}} \right)$$

Robotti on normaalitilanteessa varustettu iskunvaimentimilla, jotka pehmentävät törmäystä ja joiden on tarkoitus estää robotin kimpoaminen takaisin törmäystilanteessa. Törmäysmatka d on tässä tilanteessa oletettu iskunvaimentimen kärjen ja robotin rungon väliseksi etäisyydeksi. Tämä etäisyys on noin 500 millimetriä.

MBR400-robotin massa on käyttövalmis ominaismassa m_1 ja maksimikuorma m_2 yhteenlaskettuna yhteensä 1264 kilogrammaa.

Robotin teoreettinen maksimiliikenopeus on 4 metriä sekunnissa (m/s). Nämä sijoitetaan käytettävään voiman laskukaavaan (Kaava 1) ja saadaan tulokseksi seuraavaa:

$$\left(\frac{0,5 \cdot (1264\text{kg}) \cdot \frac{4^2\text{m}}{\text{s}}}{0,5\text{m}} \right) = 20224\text{N} = 20,2\text{kN}$$

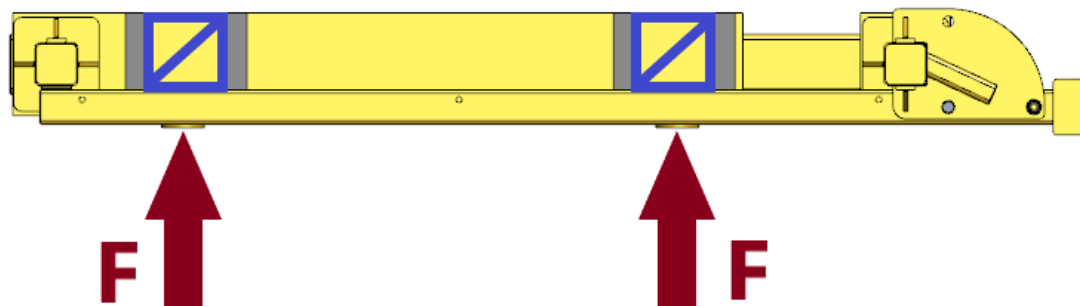
Vastaukseksi saadaan 20,2kN, joka kerrotaan varmuuskertoimella 1,1.

$$\text{Törmäysvoima } 20,2\text{kN} \cdot \text{Varmuuskerroin } 1,1 = 22,22\text{kN}$$

Kohdistettavaksi voimaksi törmäystilanteen lujuuslaskentaan saadaan tällöin $F=22,2\text{kN}$. Suoritetaan lujuustarkastelu käyttämällä molempia lukuarvoja. Käytettävät törmäysvoimien arvot ovat siis 20,2kN ja 22,2kN.

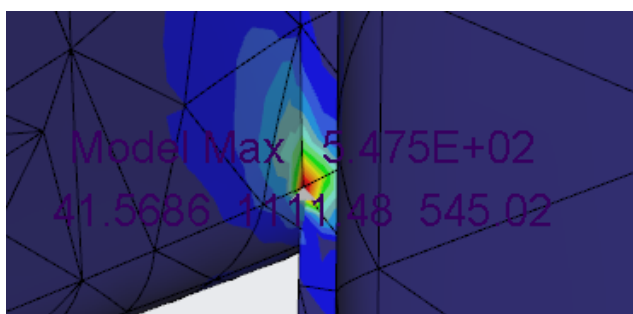
Laskentaohjelmistona käytetään Creo Parametric 4.0-suunnitteluohjelmaa. Laskentaan otetaan mukaan turvaportin teräksinen runko, puomirakenne sekä niiden yhdistämiseen vaadittavat osat, kuten liukulaakerit ja niiden läpi laskettava tappi. Törmäysvoima kohdistetaan tasaisesti kahdelle pisteelle portin puomin keskialueelle iskunvaimentimien vastekohtiin. Robotti liikkuu johteilla suorassa, joten näin voidaan

tehdä. Laskennassa ilman varmuuskerrointa törmäysvoimaa määritetään tasaisesti 10,1kN erikseen kumpaankin vastekohtaan. Varmuuskertoimella vastaava kuormitusarvo on 11,1kN kumpaankin vastekohtaan. Runkorakenteeseen asetetaan kiinnityspisteiksi alueet, joihin robotin johteet koskettavat portin ollessa kiinnitettynä.



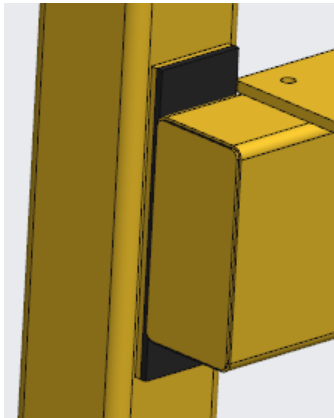
Kuva 12. Voimien kohdistuminen ja rakenteen kiinnityspisteet. (Miikkulainen, 2022.)

Ensimmäisellä laskentakerralla havaitaan ongelma. Pääosa rakenteesta todennäköisesti kestää törmäyksen vaurioitumatta, mutta puomin ja pystytolpan väli on suuren rasituksen alla. Tolpassa kiinni olevan teräsvastelevyn reuna murtuu ja puomiin tulee näkyviä vaurioita. Varmuuskertoimella 1,1 laskettuna nurkkaan kohdistuu noin 547 MPa:n jännitys, joka ylittää materiaalin myötörajan 355 MPa reilusti, joten pysyviä muodonmuutoksia syntyy. Tällaisessa ääritilanteessa myötörajan ylityksestä huolimatta portti kyllä pysäyttää johteilla liikkuvan robotin liikkeen, mutta vaurioituu törmäyksessä käyttökelvottomaksi ja vaatii korjaustoimenpiteitä sen uudelleen käyttöön ottamiseksi.



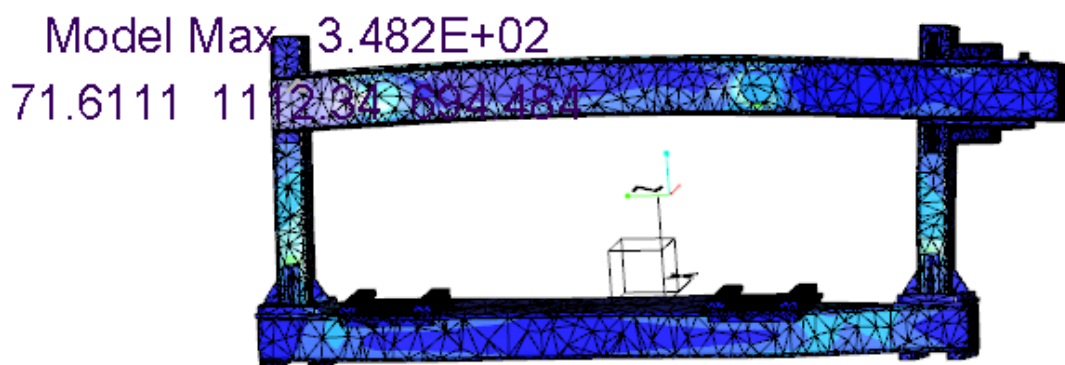
Kuva 13. Puomin ja tolpan välinen suurin rasitus. Puomin ja pystytolpan välille alosaan kohdistuu törmäystilanteessa 547 MPa:n jännitys. (PTC Creo Parametric 4.0, 2017)

Vallitsevaa tilannetta, eli lujuustarkastelun tuloksia pyritään parantamaan lisäämällä polyuretaanilevystä valmistettu vaimenninlevy teräsvastelevyn päälle. Vastelevyn päälle asetettu polyuretaanilevy on materiaaliltaan kestävä, mutta hyvin joustavaa. Levy ottaa puomilta kohdistuvan iskun vastaan ja vaimentaa sitä siten, ettei teräsvas-teeseen tai puomiin kohdistu niin terävää pistevoimaa. Vaimenninlevyn materiaali ote-taan huomioon seuraavissa lujuuslaskennoissa.



Kuva 14. Polyuretaanivaimennin kiinnitettyä pystytolppaan. (Miikkulainen, 2022.)

Muutoksen jälkeinen ensimmäinen laskenta suoritetaan ilman varmuuskerrointa voi-malla 20,2kN. PUR-vaimentimen kanssa laskettuna suurin rakenteelle kohdistuva jän-nitys on 317 MPa. Maksimisiirtymä laskennassa paikantuu puomin keskikohtaan ja on 5,19 millimetriä. Toinen laskenta suoritetaan varmuuskertoimella 1,1. Tällä varmuus-kertoimella laskettaessa suurin jännitys on kuvan 15 mukaan 348 MPa. Maksimisiir-tymä varmuuskertoimella laskettaessa on 5,71 millimetriä ja se paikannetaan myös puomin keskivaiheille.



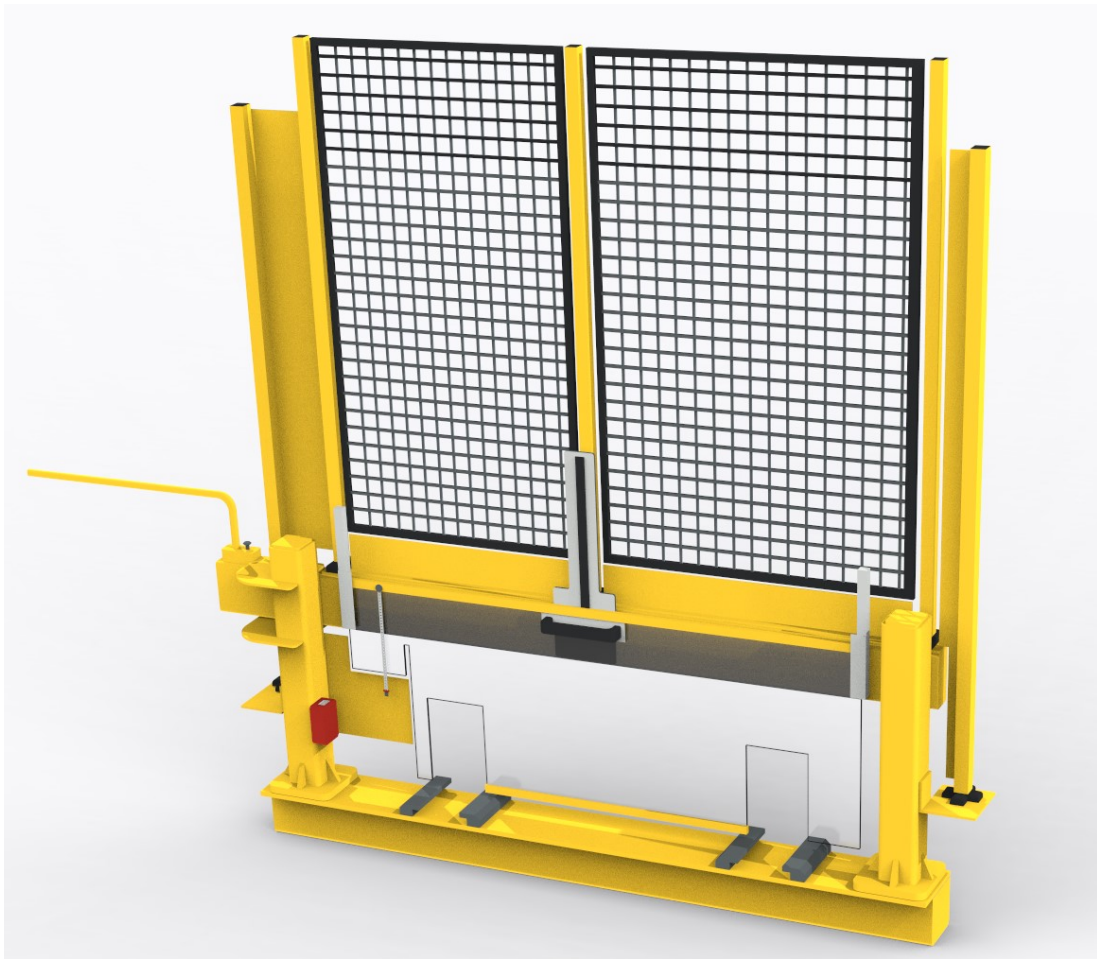
Kuva 15. Lujuustarkastelun suurin jännitys ja sen paikka varmuuskertoimella 1,1. (PTC Creo Parametric 4.0, 2017)

Näiden kahden lujuuslaskennan tuloksista voidaan todeta, että rakenne kestää ja maksimijännitykset pysyvät lisätyn polyuretaanivaimentimen ansiosta alle materiaalin myötörajan 355 MPa. Tästä todetaan myös, että pysyviä muodonmuutoksia ei rakenteelle synny kahden ensimmäisen lujuuslaskennan seurauksena.

Turvaportin runkorakenne kuitenkin hoitaa tehtävänsä myös suuremmilla siihen kohdistuvilla voimilla. Esimerkiksi varmuuskertoimella 2 laskettuna rakenteeseen kohdistetaan voimaa 40.4 kN. Tällöin useisiin kohtiin kohdistuu myötörajan reilusti ylittäviä jännityksiä, joista suurimmat kohdistuvat rungon pystypalkkien alaosaan ja puomin laakerointiin. Siirtymät rakenteilla ovat kuitenkin alle 15 millimetrin luokkaa. Näistä lujuustarkastelun tuloksista todetaan seuraavaa: Rakenne pysäyttää robotin liikkeen huoltoalueen ulkopuolelle, mutta turvaporttiin syntyy pysyviä muodonmuutoksia.

5.1.5 Turvaportin suunnittelun tulokset

Teräsrakenteen massa on vähentynyt ja portin kääntäminen on tästä johtuen helpompaa. Alaosan suojalevyn oletetaan liukuvan vaivattomasti lineaarijohteella. Lukkomekanismin käyttö ja alasuojan liikutus toimivat yksinkertaisesti, sillä suojan siirtokahva ja lukitus ovat yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi. Suojalevyn turva-anturointi on järjestetty siten, että metalliketjussa kiinni oleva vastelevy ei ylety turvakyttimeen kuin ainoastaan asennossa, jossa liu'utettava suojamuovi on suljettuna ala-asennossa. Huoltoalueen turvaportin teräsrakenteelle on tehty vaadittavat lujuuslaskennat ja varmistettu sen kestävydestä. Rakenteen eri kappaleille on tehty asianmukaiset valmistus- ja kokoonpanopiirustukset.

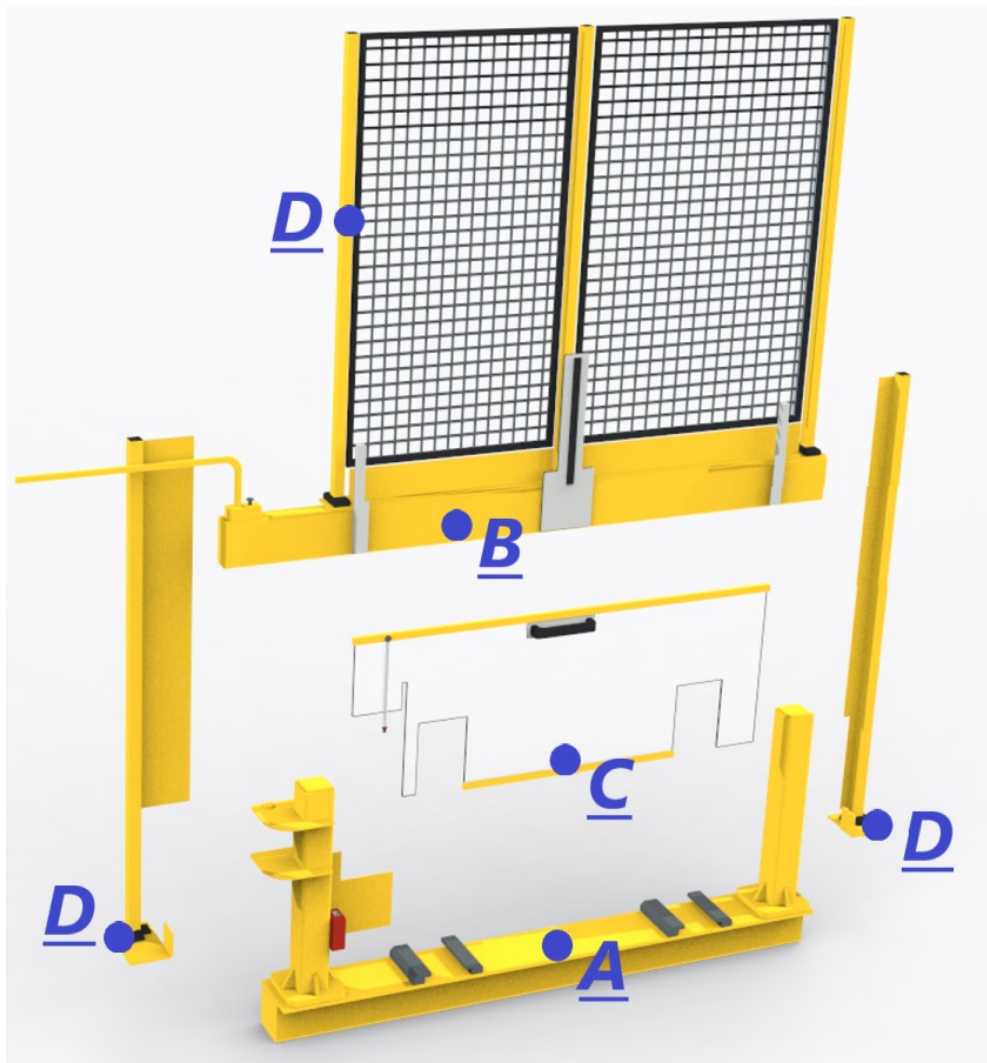


Kuva 16. Suunniteltu ehdotus huoltoalueen turvaportista. (Miikkulainen, 2022.)

Huoltoalueen turvaportin kasaus jakautuu pääosin viiteen eri kokoonpanoon. Nämä kokoonpanot koostuvat kiinteästä robotin johteisiin kiinnittyvästä rungosta, kääntyvästä puomirakenteesta, alas liu'utettavasta suojamuovimekanismista ja puomiin kiinnitettävistä suojarakenteista. Irralliset rakenteet ovat esitetty kuvassa 17. Kaikkien edellä mainittujen kokoonpanojen ollessa kasattuna, liitetään ne toisiinsa yhdeksi suureksi kokonaisuudeksi. Tämä mahdollista myös rakenteen purkamisen pienempiin osiin helpottamaan sen pakkausta ja lähetystä. Rahtimaksut ovat yleensä myös sitä matalampia, mitä pienempään tilaan kuljetettavat tavarat saadaan pakattua.

Painavimpaan kahteen kokoonpanoon on muotojensa vuoksi yksinkertaista kiinnittää nostoapuvälineitä. Kiinteää runkoa nostettaessa paikoilleen sen poikittaiseen runkopalkkiin voidaan asettaa nostoliinoja, tai vaihtoehtoisesti nostaa pohjasta esimerkiksi trukilla. Trukilla nostettaessa on varmistettava, ettei runko pääse putoamaan noston

aikana. Puomia voidaan nostaa vastaavalla tavalla, mikäli se asennetaan paikoilleen erillisenä.



Kuva 17. Räjätyskuva turvaportin päärakenteista. Kuvassa A esittää kiinteää runko-rakennetta, B kääntyvää puomia, C liu'utettavaa suojaa ja D runkoon ja puomiin kiinnittyviä suojarakenteita. (Miikkulainen, 2022.)

Turvaporttirakenteen käytön yksinkertaisuuden johdosta on mahdollista, että kaikki tarvittavat ohjeet saadaan sisällytettyä robottijärjestelmän yleisiin ohjeisiin. Tällöin erillistä ohjetta ei tarvita. Järjestelmän käytön kannalta voitaisiin kuvitella olevan suotuisampaa, että käyttö- ja muut ohjeistukset löytyvät pääosin samasta paikasta. Käyttöohjeiden laitteen huoltoa koskevasta kohdasta löytyy osio, jossa selostetaan turvaportin käyttö. Ohjeita on täydennettävä siten, että maininta turva-anturointien oikeanlaisesta kytkemisestä lisätään porttia käsittelevään osioon.

6 TUTKIMUS ROBOTIN HUOLTOALUEESTA

6.1 Robotin tarttujan laskupaikka huoltoalueella

Tutkitaan robottijärjestelmän huoltoaluetta toteutuksessa, jossa toimii samanaikaisesti kaksi MBR400-robottia. Järjestelmästä löytyy yksi tarpeellinen tutkimusta vaativa kohde, johon tässä osiossa tullaan perehtymään. MBR400-tyypin robotilla ei ole turvaportin takana huoltoalueella positiota, jossa robotin tarttujaa saataisiin laskettua alas huoltotoimenpiteiden suorittamista varten. Tilanteen ollessa tällainen, tarttujan huoltotoimet joudutaan suorittamaan robottien työalueella, jolloin kaikki muun järjestelmän toiminnot on ajettava alas. Robotin tarttuja on kokonaisuus, joka saattaa tarvita muuta, kuten esimerkiksi robotin runkorakennetta enemmän säätöä tai huoltoa. Pyritään selvittämään mahdollisuuksia robotin tarttujan laskupaikan sijoittamiselle huoltoalueen sisäpuolelle. Laskupaikka kuitenkin vaatii oman tilansa.

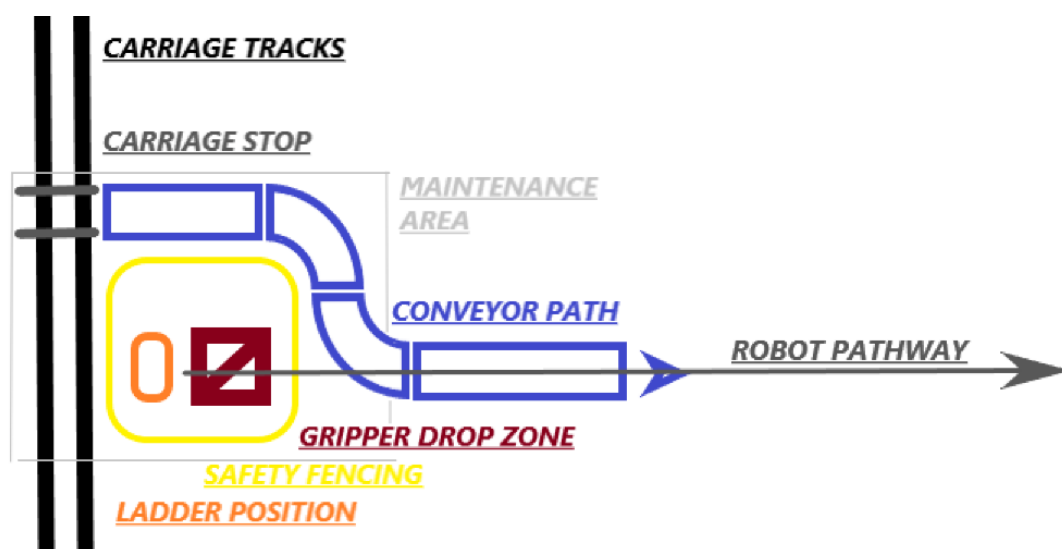
6.1.1 Havaintoja

Cimcorpin robottijärjestelmät rakennetaan yleisesti ottaen suhteellisen kompakteiksi ja tilatehokkaiksi, josta voidaan todeta, että ylimääräisen tilan hankkiminen saattaa tuottaa ongelmia. Tarvittavan tilan hankkiminen todennäköisesti vaatii olemassa olevien järjestelmän eri rakenteiden paikoittamista uudelleen. Joissain Cimcorpin toimitamissa järjestelmissä MBR400-robotin johteiden välit on peitetty verkotuksella, joka mahdollistaa johteiden alta kulkemisen järjestelmän ollessa käynnissä. Verkotukseen on rakennettu automaattiset luukkukoneistot aina robotin tarttujan laskupaikkojen kohdille. Reunimmainen laskupaikka sijaitsee robotin työalueelle kulkevan pinokuljetinlinjan yläpuolella. Tämä kuljetinlinja on suoraan robotin huoltoalueen alapuolella ja kulkee samassa linjassa robotin liikeradan kanssa. Ensimmäisenä havaintona voidaan todeta, että huoltoalueen alla kulkeva kuljetinlinja on todennäköisesti siirrettävä muualle. Huoltoalueelle mahdollisesti sijoitettavan tarttujan laskupaikan luukun ei tarvitse olla millään tavalla automaattisesti toimiva. Riittää, kun se saadaan tarvittaessa huoltotilanteessa avattua helposti ja turvallisesti. Automaattimekanismista luopuminen tulee myös säästämään runsaasti luukkumekanismille vaadittavaa tilaa. Huoltoalueelta katsottuna ensimmäinen robotin työalueella sijaitseva tarttujan laskupaikka on

lähellä huoltoaluetta. Tämän seurauksena laskupaikan luukun mekanismin rakenteet ylettyvät huoltotason alapuolelle. Tämä puolestaan rajoittaa huoltoluukun paikoittamista huoltoalueella.

6.1.2 Tulokset ja kehitysehdotukset

Ylimääräinen tila on ilmennyt haasteeksi. Voidaan pyrkiä hankkimaan lisätilaa paikoittamalla vaunuradan ja robotin työalueen välistä pinokuljetinlinjaa pois robotin kululinjasta aikaisemmista toteutusmalleista poiketen.



Kuva 18. Ehdotus tarttujan laskupaikasta ja kuljetinlinjan uudelleenasettelusta. (Miikkulainen, 2022.)

Kuvan 18 mukaan kuljetinlinja kiertää pienehkön aidatun alueen, jonka sisälle on paikoitettu robotin tarttujan laskupaikka. Kuvaan 18 punaisella merkityn laskupaikan kohdalle lattiaan voidaan asentaa teline, johon tarttuja voidaan laskea. Tällä ratkaisulla mahdollistetaan laskupaikan sijoittaminen huoltoalueelle siten, että vaunurata, kuljetin sekä toinen järjestelmässä liikkuva robotti voi jatkaa toimintaansa huoltoalueella tapahtuvista huoltotoista riippumatta. Tilaa on kuitenkin oltava riittävästi, jotta suojaitarakenteet saadaan paikoitettua siten, että vaatimukset turvaetäisyyksistä ympäröiviin vaara-alueisiin saadaan toteutettua.



Kuva 19. Havainnekuva muutetusta huoltoalueesta kuvan 18 mukaan. (Miikkulainen, 2022.)

Kulku robotin huoltoalueen alapuolella sijaitsevalle aidatulle tarttujan huoltoalueelle tapahtuu tikkain kuvan 19 mukaisesti. Tikkaiden paikoitus ja alue niiden ympäriltä on todettava turvalliseksi koneasetuksen vaatimusten mukaan. Kulku huoltoalueelle tikkain ei saa aiheuttaa käyttäjän loukkaantumisvaaraa. Kurotusetäisyysrajat vaara-alueelle eivät saa missään kohtaa tikkailla liikkeessa alittua. Robotin huoltoalueen lattiaan sahatun huoltoaukon päälle asennetaan kansi. Huoltoluukun kansi voidaan toteuttaa yksinkertaisella, mutta kestäväällä teräs- tai alumiinilevyrakenteella, joka on kuitenkin tarpeeksi kevyt sen siirtämiseksi pois käsin huoltotoimien ajaksi. Kannen on kestettävä ihmisen paino. Huoltoalueen lattiassa olevan huoltoluukun sijainti huoltoalueen sisällä on esitetty kuvassa 19.

Erilaisilla muutoksilla on usein vaikutusta kustannuksiin. Kuvissa 18 ja 19 esitetty tarttujan laskupaikka ja kuljetinlinjan asettelu nostavat robottijärjestelmän kokonaiskustannuksia. Kuljetinlinjan siirto ei ole aivan yksinkertainen, sillä pinokuljettimista ei ole tilanteeseen valmista kaartopala. Kuljetinlinjan siirron toteuttamiseen vaaditaan erikseen suunniteltu ratkaisu. Kuljettimien siirron toteutuksen lisäksi kuljettimiin tul- laan todennäköisesti tarvitsemaan lisäohjaimia, jotka varmistavat, että kuljettimella liikkuvat laatikkopinot pysyvät halutussa linjassa. Lisäksi tarvitaan ainakin kuvassa 19

näkyvät tarttujan huoltoalueelle pääsyyn vaadittavat tikkaat ja sitä ympäröivät suojarakenteet.

Edellä mainitut lisäykset ja muutokset luovat kustannuksiin huomattavan lisäyksen sekä eri komponenttien, ylimääräisen suunnittelutyön, että ylimääräisen kokoonpano- ja asennustyön osalta. Suunnittelijan on huomioitava entistä tarkemmin kuljetinlinjan vaatima tila, sekä turvaetäisyydet tarttujan huoltoalueelta vaara-alueelle.

Kustannusten noustessa on hyvä pohtia, että kuinka suuri kustannuslisä on tilanteeseen hyväksyttävä ongelman vakavuuden ja sen onnistuneen ratkaisemisen kannalta. Tässä tilanteessa on pohdittava, että ovatko nousevat kustannukset oikeutettuja siinä tapauksessa, että tarttuja saadaan laskettua alas huoltoalueella siten, että muu järjestelmä saa toimia tilanteesta huolimatta. On pohdittava, että kuinka usein vastaan tulee tilanteita, jossa tarttuja vaatii huoltoa tai korjaustoimenpiteitä, jotka voidaan toteuttaa ainoastaan tarttujan ollessa ala-asennossa.

Mahdollisen myöhemmin kehitettävän ratkaisun ei välttämättä tule olla vakiona mukana robottijärjestelmässä. Ratkaisua voidaan tarjota ja myydä asiakkaalle lisähinnasta mahdollisena järjestelmän lisäosana, mikäli asiakas kokee tämän hyödyttävän heidän omaa toimintaansa. Asiakkaiden toimintamalleissa saattaa olla suuriakin eroja, joten tässä osiossa selvitetty huoltoalueen ratkaisuehdotus ei välttämättä sovellu kaikille. Tällä keinolla voidaan paremmin hyväksyä kohonneita kustannuksia. Asiakaskohtaisessa ratkaisussa toteutustapaa voidaan myös tarvittaessa soveltaa heidän tarpeidensa mukaan.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tuotettiin ehdotus Cimcorpin suunnitteleman ja valmistaman MBR400+ -robottijärjestelmän robotin huoltoalueen turvaportista. Turvaportin pohja-aineistoina on käytetty aikaisempien ratkaisujen perusteella kerrytettyä tietoa, ajan-kohtaisia ja kohdistettuja koneasetuksen ja eri standardien ohjeistuksia ja määräyksiä. Turvaportin aikaisemmat ongelmat, kuten liu’utettavan suojamuovin toimivuus ja käyttö on kehitetty toimivammaksi. Portin teräksisen runkorakenteen massaa on vähennetty poistamalla siitä muun muassa ylimääräistä teräspalkkia ja korvaamalla sitä valmiilla suoja-aitakomponenteilla. Taulukossa 2 esitetään turvaportin kehitystyön tulokset lyhennetyin selittein.

Turvaportin tärkeimmät parannukset		
Kohde	Alkuperäinen portti (Kuva 4).	Uusi portti (Kuva 16).
Runkorakenne	Teräksinen palkkirakenne ala- ja yläosassa. Kiinteän osan reunatolpat ylettyvät yläosaan asti. Puomiosa on tuettu ylä- ja alaosaan (Kuva 4).	Rungosta on poistettu lähes kaikki puomin yläosan rakenteet. Kiinteässä osassa olevat reunatolpat ovat lyhennetty puomin tasalle. (Kuva 6).
Ruogon massa ja kustannus	Runkorakenteen massa alkuperäisessä turvaporttirakenteessa on noin 315 Kg	Kehitetyn runkorakenteen massa on noin 259 Kg. Massavähennelmä uusien suoja-aitarakenteita lukuun ottamatta on täten noin 56 Kg. Pois jääneen teräksen määrä laskee kohtuullisesti rakenteen hintaa.
Suojaukset	Teräslevystä leikattu tukirakenne, joka on hitsattu kiinni puomiosaan. Tukirakenteeseen on kiinnitetty polykarbonaattilevy, joka peittää liikkuvan puomin yläosan avoimet alueet. (Kuva 4).	Puomin yläosan tukirakenne ja polykarbonaattilevy on korvattu suoja-aitatolpilla ja verkkoelementeillä. Puomin alaosan suojaus on toteutettu karsitulla polykarbonaattilevyllä (kuva 8), joka liikkuu lineaarijohteiden avulla (kuva 9). Suoja on reunoistaan tuettu säädettävillä teräsohjureilla (kuva 10). Rakenteen reunoille on myös lisätty teräslevysuojia.
Alasuojan mekanismi	Suuri polykarbonaattilevy. Lukitus toteutettu reunoilla olevilla lukitustapeilla. Teräskahva.	Karsittu polykarbonaattilevy (kuva 8). Uusi muovinen nostokahva. Nostokahva ja lukkomekanismi on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi.

Taulukko 2. Turvaporttiin kohdistuneet tärkeimmät parannukset. (Miikkulainen, 2022.)

Opinnäytetyössä selvitetään myös huoltoalueen huoltomahdollisuuksien mahdollista kehitystä. Tarkastelun kohteena tutkimuksessa oli robotin tarttujan huolto- ja korjaustoimenpiteiden helpottaminen. Tutkinnassa havaitaan, että robottijärjestelmässä ei tilatehokkuutensa vuoksi ole paljoa ylimääräistä tilaa. Lisätilan saamiseksi on ehdotettu, että huoltoalueen alta robotin työalueelle kulkevaa pinokuljetinlinjaa paikoitetaan uudelleen tekemällä siihen tarvittavat käännökset. Pinokuljetinlinjan siirrosta koituvat haasteet, kuten ylimääräinen vaadittava suunnittelu- ja kokoonpanotyö sekä tarvittavat lisärakenteet on huomioitu. Lisärakenteet koostuvat esimerkiksi lisäkuljettimista ja suoja-aitarakenteista. Tutkinnan tuloksena on tämän seurauksena todettu, että kuljetinten uudelleensijoittelu ja siihen liittyvät toimet nostavat merkittävästi järjestelmän kokonaiskustannuksia. Tutkinnan tulosten perusteella voidaan pohtia ovatko uudelleensijoittelusta johtuvat kustannukset oikeutettuja. Selvityksen pohjalta voidaan tulevaisuudessa tehdä tarvittavia ratkaisuja huoltoalueen kehityksen tarpeellisuudesta. Tarkastelun kohteena tutkimuksessa oli robotin tarttujan huolto- ja korjaustoimenpiteiden helpottaminen.

LÄHTEET

PTC Creo Parametric 4.0. (2017). Creo (Version 4). [Tietokoneohjelma]. PTC. Haettu 20.7.2022 osoitteesta <https://www.ptc.com/en/products/creo>

Kauppalehti. (18.3.2022). Yritystiedot. Cimcorp Oy. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/cimcorp+oy/18528284>

Cimcorp Flow 1/2015. (2015). Cimcorp Oy. Haettu 18.3.2022 osoitteesta https://cimcorp.com/app/uploads/magazines/cimcorp_flow_2015-01_lowres.pdf

Cimcorp Oy. (18.3.2022). Cimcorp logo [valokuva]. Cimcorp. <https://cimcorp.com/>

Murata Machinery Ltd. (18.3.2022) Muratec logo [valokuva]. Muratec. <https://www.muratec.net/>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. §1. Haettu 25.4.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L1P1>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. §14. Mekaaninen lujuus. Haettu 25.4.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L4P14>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. §14. Suojaaminen mekaanisilta vaaroilta. Haettu 28.4.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L4P14>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. §14. Kunnossapito. Haettu 28.4.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L4P14>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. §14. Olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Haettu 28.4.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L4P14>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. §14. Ohjausjärjestelmät. Haettu 28.4.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L4P14>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. §14. Suojuksilta ja turvalaitteilta vaadittavat ominaisuudet. Haettu 20.3.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L4P14>

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. §14. Tiedot. Haettu 28.4.2022 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400#L4P14>

Axelent. (15.6.2022). X-Guard. Mesh panel Premium. <https://www.axelent.com/products/machine-guarding/x-guard/panels/mesh-panel-premium/>

SFS-EN 10025-2:2019. (2019). Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 2: Seostamattomat rakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot. Suomen Standardisoimisliitto. Viitattu 20.8.2022. <https://online.sfs.fi>

ISO 13857:2019. (2019). Safety of machinery. Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs. International Organization for Standardization. Viitattu 20.8.2022. <https://www.iso.org/standard/69569.html>

GIGACalculator. Impact Force Calculator. Impact Force Formula. Haettu 21.8.2022 osoitteesta <https://www.gigacalculator.com/calculators/impact-force-calculator.php>