

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikan koulutus

Koneautomaatiotekniikka

2021

Juuso Nieminen

# ROBOTTISOLUN KONETURVALLISUUS

– Vaatimukset ja ohjeistukset CE-dokumentointiin

Juuso Nieminen

# ROBOTTISOLUN KONETURVALLISUUS

## - Vaatimukset ja ohjeistukset CE-dokumentointiin

Työn tarkoituksena oli tehdä yritykselle selvitys CE-dokumentointiin ja CE-merkitsemiseen liittyvistä direktiiveistä ja standardeista sekä luoda näistä aineistot, joiden avulla yritys voi tehdä robottisoluun tarvittavat muutokset ja koota dokumentaatiot. Toimeksiantaja työlle on Stera Technologies Oy, joka on kansainvälisesti toimiva mekaniikan ja elektroniikan sopimusvalmistuskonserni. Robottisolua käytetään autoteollisuuden osienvalmistukseen.

Euroopan talousalueella vuonna 2009 voimaan tulleen konedirektiivin 2006/42/EY mukaan valmistajan on osoitettava koneen ja koneyhdistelmien vaatimustenmukaisuus. Vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa CE-merkinnällä ja vaatimustenmukaisuustodistuksella. Robottisolussa on huomioitava, että kaikki koneet ja laitteet, jotka solun toimintaan liitetään, täyttävät konedirektiivin 2006/42/EY.

CE-dokumentaation sisällön vaatimuksista tehtiin selvitys, riskin arvioinnista luotiin tiedosto, johon kerättiin standardien vaatimukset ja ohjeistukset, olemassa olevaan riskinarviointiin tehtiin ehdotuksia muutoksiin ja lisäyksiin sekä robottisolun turvalaitteista ja turvallisuustoiminnoista kerättiin standardien vaatimukset. Näiden lisäksi robottisoluun tehtiin pintapuolinen turvallisuusanalyysi ja havaittuihin turvallisuuspuutteisiin ehdotettiin korjaustoimenpiteet.

Työn lopputuotoksena saatiin koottua direktiivien ja standardien vaatimuksista aineistot, joiden avulla pystytään tekemään robottisoluun vaadittavat muutokset ja keräämään dokumentaatio. Näiden jälkeen pystytään osoittamaan robottisolun vaatimustenmukaisuus ja laittamaan CE-merkintä.

### ASIASANAT:

Koneturvallisuus, robottisolu, CE-dokumentointi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Machine Automation

2021 | 45 pages

Juuso Nieminen

# MACHINE SAFETY OF THE ROBOT CELL

- Requirements and guidelines for CE documentation

The purpose of the thesis was to make a report of the directives and standards related to CE documentation and CE marking for the target company. Furthermore, the aim of the thesis was to create materials on these directives and standards that would enable the company to make the necessary changes to the robot cell and compile the documentation. The thesis was commissioned by Stera Technologies Oy, an internationally operating contract manufacturing group for mechanics and electronics. The robot cells are used in the manufacturing industry in various ways, for instance to manufacture automotive parts.

According to The Machinery Directive 2006/42/EC, which entered into force in the European Economic Area in 2009, the manufacturer is required to demonstrate the conformity of machinery and combinations of machinery. Conformity may be demonstrated by the CE marking and by the certificate of conformity. In a robot cell, it should be noted that all machines and devices connected to the operation of the cell comply with The Machinery Directive 2006/42/EC.

During the writing of the thesis, the requirements for the content of the CE-documentation were assessed, a risk assessment file was created, standards requirements and guidelines were collected, proposals for changes and additions were made to the existing risk assessment, and standards were collected for the safety devices and safety functions of the robot cell. In addition to these, a superficial safety analysis was carried out on the robot cell and corrective measures were proposed for the safety deficiencies identified.

As deliverables of the thesis for the company, the work produced materials on the requirements of directives and standards that can be used to make the necessary changes to the robot cell and to assemble documentation. With the help of these deliverables, it is possible to demonstrate the conformity of the requirements of the robot cell and to put the CE marking on it.

KEYWORDS:

Machine safety, Robot cell, CE documentation

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 YRITYSESITTELY STERA TECHNOLOGIES OY</b>	<b>2</b>
<b>3 KONETURVALLISUUS YLEISESTI</b>	<b>3</b>
3.1 Lainsäädäntö	3
3.1.1 Konedirektiivi ja koneasetus	3
3.1.2 Työturvallisuuslaki ja käyttöasetus	4
3.1.3 Pienjännite- ja EMC-direktiivi	5
3.2 Yhdenmukaistetut standardit	5
3.3 Vastuut	6
<b>4 ROBOTTISOLUN KONETURVALLISUUS</b>	<b>8</b>
4.1 Alueen suojaus, turvaetäisyydet ja turvallisuusvyöhykkeet	9
4.2 Ohjausjärjestelmä	14
4.3 Odottamattoman käynnistymisen estäminen	14
4.4 Vaaravyöhykkeellä työskentely	15
4.5 Nopeuden alentaminen	16
<b>5 ROBOTTISOLU PISTEHITSAUKSEEN JA LIIMAUKSEEN</b>	<b>18</b>
5.1 Pistehitsausrobotti ja hitsauslaitteisto	19
5.2 Kappaleenkäsittelyrobotti	19
5.3 Vertikaalisesti kääntyvät paikoituslaitteet	19
5.4 Hitsauselektrodien sorvauslaitteisto	20
5.5 Automaattinen liimalaite	20
5.6 Jigit ja tarttujat	20
5.7 Kuljetin	20
<b>6 TYÖN TOTEUTUS</b>	<b>21</b>
6.1 CE-dokumentaatio	21
6.1.1 Tekninen rakennetiedosto	22
6.1.2 EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus	22
6.1.3 CE-merkintä	23

6.1.4 Sovelletut standardit	24
6.2 Riskin arviointi	24
6.2.1 Standardien vaatimukset	25
6.2.2 Riskin arviointiin liittyvät ohjeet ja muutosehdotukset	28
6.3 Turvalaitteet ja turvallisuustoiminnot	34
6.4 Robottisolun turvallisuusanalyysi	36
6.4.1 Robotin tilarajat	36
6.4.2 Solun käyntiovet	38
6.4.3 Näkyvyys soluun	39
6.4.4 Pistehitsaus	40
6.4.5 Aukot solun suojuksissa	41
6.4.6 Kompastumisvaarat	42
<b>7 LOPUKSI</b>	<b>44</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>45</b>

## KUVAT

Kuva 1. Stera Technologies Turun tehdas.	2
Kuva 2. Ulottuminen suojarakenteen yli.	11
Kuva 3. Robottisolun layout-kuva.	18
Kuva 4. Teknisen rakennetiedoston sisältö.	22
Kuva 5. Koneasetuksen määrittelemä CE-merkki.	23
Kuva 6. Työssä sovelletut standardit.	24
Kuva 7. Standardista SFS-EN ISO 12100:2010 kerätyn aineiston sisältö.	26
Kuva 8. Standardista SFS-EN ISO 10218-2:2011 kerätty aineisto.	27
Kuva 9. Teknisestä raportista SFS-ISO/TR 14121-2:2010 kerätty aineisto.	28
Kuva 10. Seurausten vakavuuden viitteelliset lukuarvot asteikolla 1 ... 100.	31
Kuva 11. Riskin todennäköisyyden määrittely lukuarvoilla 0,1 ... 1.	32
Kuva 12. Tiedoston sisältö, turvalaitteet.	34
Kuva 13. Tiedoston sisältö, turvallisuustoiminnot.	35
Kuva 14. Robotin SafeMove turva-alueet RobotStudiassa.	37
Kuva 15. Solun toinen käyntiovi.	38
Kuva 16. Esimerkkejä suositeltavista varoituskylteistä.	39
Kuva 17. Käynnistyspaikalta heikko näkyvyys koko soluun.	40
Kuva 18. Pistehitsausrobotin roiskesuojat.	41
Kuva 19. Kääntöpöydän ympärillä olevat aukot.	42
Kuva 20. Kompastumisvaara soluun mentäessä.	43

## TAULUKOT

Taulukko 1. Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran estämiseksi. Mitat millimetreissä.	10
Taulukko 2. Ulottuminen suojarakenteen yli. Mitat millimetreissä.	12
Taulukko 3. Ulottuminen säännöllisen muotoisten aukkojen läpi. Mitat millimetreissä.	13
Taulukko 4. Riskiluokittelu.	32
Taulukko 5. Lukuarvojen jakautuminen riskitasoihin.	33
Taulukko 6. Tarvittavat toimenpiteet riskin suuruuden mukaan.	33

## KÄYTETYT LYHENTEET

Lyhenne	Lyhenteen selitys
CE	Conformité Européenne. Eurooppalainen vaatimustenmukaisuus.
EMC	Electromagnetic Compatibility. Sähkömagneettinen yhteensopivuus.
EU	European Union. Euroopan unioni.
ISO	International Organization for Standardization. Kansainvälinen standardisoimisliitto.
PL	Performance Level. Suorituskyky tai suoritustaso.
SFS	Suomen Standardisoimisliitto.
SIL	Safety Integrity Level. Turvallisuuden eheyden taso.

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää CE-dokumentointiin liittyvät direktiivit ja standardit sekä tuottaa yritykselle aineistot, joista käy ilmi mitä vaaditaan, että kone voidaan CE-merkitä. Työssä selvitetään myös työn kohteena olevan robottisolun turvallisuuspuutteita ja esitetään kyseisille puutteille korjaustoimenpiteitä. Lisäksi työssä perehdytään koneturvallisuuteen. Konedirektiivin 2006/42/EY tullessa voimaan vuonna 2009 koko Euroopan talousalueella, valmistajan on osoitettava koneen ja koneyhdistelmien vaatimustenmukaisuus. Vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa CE-merkinnällä ja vaatimustenmukaisuustodistuksella. Robottisolussa on huomioitava, että kaikki koneet ja laitteet, jotka solun toimintaan liitetään, täyttävät konedirektiivin 2006/42/EY.

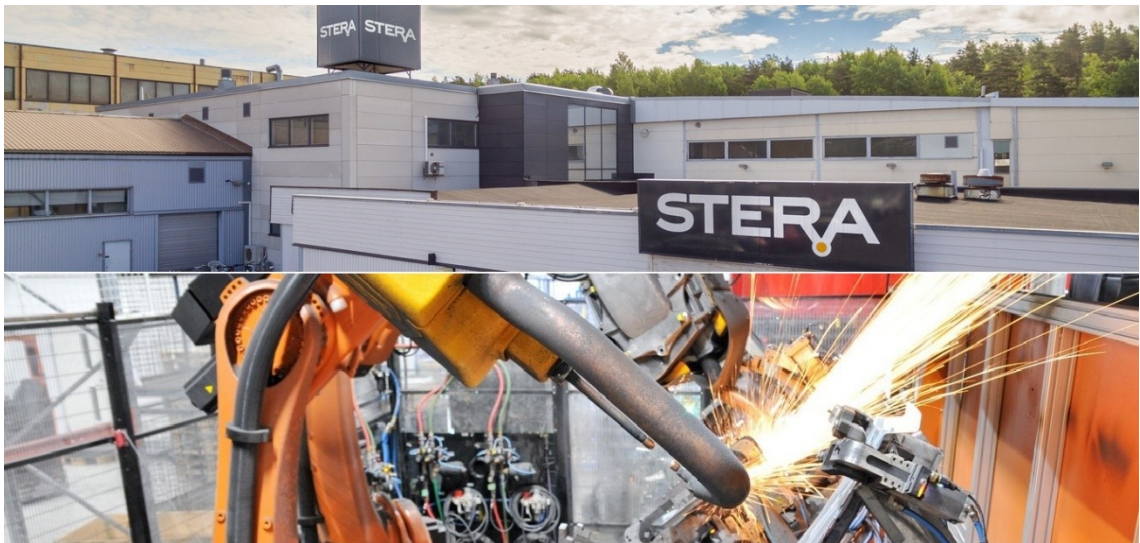
Opinnäytetyön toimeksiantaja Stera Technologies Oy kaipaa syvempää tutkimusta robottisolujensa CE-merkintöihin tarvittavaan aineistoon liittyen. Tämän vuoksi tämä selvitys tulee yritykselle tarpeeseen ja työn lopputuotoksen avulla yritys voi arvioida robottisolun vaatimustenmukaisuutta, tehdä tarvittavat muutostyöt sekä koota aineistot solujen CE-dokumentointiin.



## 2 YRITYSESITTELY STERA TECHNOLOGIES OY

Stera Technologies Oy on mekaniikan ja elektroniikan sopimusvalmistukseen erikoistunut kansainvälinen konserni. Yritys työllistää yli 800 henkilöä Suomessa, Virossa ja Intiassa. Tuotantopaikkoja Suomessa ovat Turku, Kaarina, Paimio, Kaavi, Vaasa ja Tamela, Virossa Allika sekä toimihenkilöpalveluja on Intian Chennaissa. Yrityksen palveluvalikoimaan kuuluu suunnittelupalvelut, mekaniikkavalmistus, hitsatut rakenteet ja koneistus, elektroniikka ja johdinsarjat, elektromeaaniset kokonaisuudet sekä autoteollisuuden sopimusvalmistus. Lisäksi yrityksellä on omina tuotteina SteraLux LED-valaistusjärjestelmät, Stera laite- ja jakokaapit ja Stera SmartFactory. (Stera Technologies 2020.)

Steran Turun tehtaan (kuva 1) tuotanto on keskittynyt suurimmalta osin autoteollisuuden sopimusvalmistukseen. Tähän kuuluu osien valmistus ja kokoonpano sekä valmistettujen osien testaaminen ja 3D-mittaukset. Tehtaalla on lisäksi myös työkalu- ja ohutlevyvalmistusta.



Kuva 1. Stera Technologies Turun tehdas (Stera Technologies 2020).

## 3 KONETURVALLISUUS YLEISESTI

Koneturvallisuus perustuu direktiivien ja niitä tukevien standardien vaatimusten noudattamiseen. Perusta löytyy kuitenkin yhdenmetyistä kansallisista lainsäädännöistä. Direktiivien, standardien ja lainsäädännön tarkoituksena on, että EU- ja ETA-maissa valmistetut, markkinoille saatetut ja jo olemassa olevat koneet olisivat kaikkien terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisia.

### 3.1 Lainsäädäntö

EU:n säädöksissä uudeksi koneeksi määritellään koneet, jotka asetetaan markkinoille tai otetaan käyttöön Euroopan talousalueella (ETA). Tämä tarkoittaa sitä, että myös vanhat koneet, jotka on tuotu ETA-alueen ulkopuolelta määritellään uudeksi koneeksi. Silloin koneen Euroopan talousalueelle tuojan tai muun koneesta vastuun ottavan henkilön tai yrityksen on tehtävä koneesta kunnollinen tekninen rakennetiedosto. Vastuun ottavan henkilön on myös varmistuttava, että kone täyttää kaikki sitä koskevat vaatimukset ja tämän pohjalta voidaan koneelle tehdä vaatimustenmukaisuusvakuutus. (Siirilä 2008b, 27.)

Suomessa koneiden turvallisuuden perusta lakitasolla on konelaisissa 1016/2004 ja työturvallisuuslaissa 738/2002. Konelaki koskee koneiden valmistajia, maahantuojia, myyjiä sekä muita henkilöitä, jotka luovuttavat koneen markkinoille tai käyttöön Suomessa. Heidän vastuullaan on, että kone täyttää kaikki sitä koskevat terveys- ja turvallisuusvaatimukset. (Siirilä 2008b, 27.)

#### 3.1.1 Konedirektiivi ja koneasetus

Koneen valmistajaa velvoittaa koneiden turvallisuuden perusedirektiivi eli EU:n konedirektiivi 2006/42/EY. Alkujaan direktiivi on vuodelta 1989, ja se uusittiin vuonna 2006, jolloin se sai nykyisen muotonsa. Konedirektiivi koskee kaikkia koneita, joita ei koske jokin erikoisdirektiivi, kuten traktoridirektiivi tai lääkintälaitedirektiivi. Sotilaalliseen käyttöön tarkoitettut koneet eivät kuulu konedirektiivin piiriin. Konedirektiivin ja yhtenäisten koneita koskevien määräysten periaatteena on koneiden vapaa liikkuvuus koko Euroopan talousalueella. EU:n konedirektiiviä vastaavat säädökset ovatkin voimassa

samanlaisina koko Euroopan talousalueella, ja näin ollen direktiivi velvoittaa EU:n jäsenmaiden lisäksi myös Islantia, Norjaa ja Liechtensteinia. Konedirektiivin vaatimusten mukaisuus koskee myös itselle omaan käyttöön valmistettuja koneita sekä tiettyyn paikkaan rakennettuja suuria konelinjoja tai tuotantojärjestelmiä.

Suomessa konedirektiivi on tuotu lainsäädäntöön valtioneuvoston koneasetuksessa 400/2008, joka on otettu käyttöön 29.12.2009. Koneasetus koskee käytännössä kaikkia koneita, jotka on hankittu vuoden 1994 jälkeen. Soveltamisala on laaja, sillä kone määritellään hyvin yleisesti: kone on muulla energialla kuin lihasvoimalla käytettävä toisiinsa liitettyjen osien yhdistelmä, jossa ainakin yksi osa liikkuu. Koneasetuksessa määritellään valmistajan, eli koneen markkinoille saattajan tai koneen omaan käyttöön valmistavan, velvollisuudet konetta koskevien olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten suhteen. (Siirilä 2008a, 22–28.)

### 3.1.2 Työturvallisuuslaki ja käyttöasetus

Työturvallisuuslaki 738/2002 on työssä käytettäviä koneita- ja työnteon turvallisuutta koskeva ns. perustuslaki. Laki velvoittaa sekä työnantajaa, että osaltaan myös työntekijää. Lain tarkoituksena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita sekä turvata ja ylläpitää työntekijän työkykyä. Työnantajalta tämä edellyttää työhön sopivien koneiden käyttöä, työympäristön ja koneiden turvallisuuden tarkkailua sekä niihin liittyvien riskien arviointia, vähentämistä ja poistoa. Laissa sanotaan myös, että koneiden on oltava sellaisia, että niillä ei satu tapaturmia eikä niistä aiheudu muitakaan terveyshaittoja. Laki koskee sekä vanhoja että uusia koneita. Nykyinen työturvallisuuslaki on tullut voimaan 1.1.2003. (Työturvallisuuslaki 738/2002; Siirilä 2008b, 27.)

Työturvallisuuslakiin perustuva valtioneuvoston asetus 403/2008 työvälineiden turvallisuudesta käytöstä ja tarkastamisesta eli niin sanottu käyttöasetus tuli voimaan 1.1.2009. Asetus koskee pääasiassa ennen vuotta 1994 käyttöön otettuja koneita. Tämän jälkeen käyttöön otettujen koneiden turvallisuutta koskee koneasetus 400/2008. Käyttöasetus velvoittaa työnantajia, joiden vastuulla on muun muassa varmistaa käytettävien koneiden turvallisuus koko elinkaaren ajan, hankkia vain määräysten mukaisia koneita, suorittaa tarvittavat huolto-, kunnossapito- ja tarkastustoimenpiteet, päivittää koneiden turvallisuutta tekniikan kehittyessä sekä järjestää perehdytys koneen käyttäjille. (Siirilä 2008a, 40–43.)

### 3.1.3 Pienjännite- ja EMC-direktiivi

Koneita, jotka ovat sähkökäyttöisiä tai käyttävät sähköä esimerkiksi ohjauksjärjestelmässä, koskee konedirektiivin lisäksi myös pienjännitedirektiivi 2014/35/EU ja sähkömagneettista yhteensopivuutta koskeva EMC-direktiivi 2014/30/EU. Pienjännitedirektiivin tarkoituksena on varmistaa, että markkinoilla olevat, tietyllä jännitteellä käytettävät sähkölaitteet ovat turvallisia niin ihmisille, kotieläimille kuin omaisuudelle. Pienjännitedirektiivissä luetellaan yleisiä turvallisuusvaatimuksia, jotka sähkölaitteiden on täytettävä. Vaatimuksia ovat muun muassa:

- Suorasta tai välillisestä sähköisestä kosketuksesta ei saa aiheutua vaaraa
- vaaraa aiheuttavia lämpötiloja, valokaaria tai säteilyä ei saa esiintyä
- eristyksen on oltava sopiva
- laitteen on kestävä ennakoitavissa olevat mekaaniset rasitukset
- ylikuormittumisesta ei saa aiheutua vaaraa.

Direktiivin yleisten turvallisuusvaatimusten täyttäminen osoitetaan tekemällä ja testamalla kone tai sähkölaite sitä koskevien yhdenmukaistettujen standardien mukaisesti. (Tukes 2020; Siirilä 2008a, 34–35.)

EMC-direktiivin vaatimukset liittyvät sähkölaitteiden ja -laitteistojen synnyttämiin sähkömagneettisiin häiriöihin ja laitteiden kykyyn sietää häiriöitä sähköverkon kautta tai sähkömagneettisten kenttien tai säteilyn muodossa. Tarkoituksena siis, että laite tai kone toimisi oikein häiriöistä huolimatta ja esimerkiksi pysähtyisi turvallisesti. EMC-direktiivin vaatimusten täyttäminen todennetaan yleensä vain testausten perusteella. Ongelmaksi tässä koituu suurten koneiden tai konejärjestelmien osalta niiden vaikea testattavuus. Yhteensopivuuden varmistaminen voidaan tehdä tällaisissa tapauksissa vain niin, että kootaan järjestelmä EMC-testatuista osista ja asennetaan huolellisesti asennusohjeiden mukaisesti. (Siirilä 2008a, 35–36.)

### 3.2 Yhdenmukaistetut standardit

Yhdenmukaistetut standardit ovat eurooppalaisen standardointiorganisaation laatimia standardeja, jotka on vahvistettu EU:n komission koneturvallisuuden asiantuntijakonsulttien toimesta. Yhdenmukaistetut standardit laaditaan helpottamaan tuotteiden valmistusta EU:n lainsäädännön vaatimukset täyttävästi. Yhdenmukaistetuksi standardiksi

hyväksymisen ehtona on, että standardin mukainen turvallisuustaso on vähintäänkin sama kuin tietyn direktiivin taso. Vahvistetut standardit saavat kyseisen maan standardoimisjärjestön tunnuksen, joka Suomessa on SFS, joten standardien tunnus on SFS-EN. Kaikki SFS-EN-standardit eivät kuitenkaan ole yhdenmukaistettuja. Tiedot yhdenmukaistetuista standardeista julkaistaan EU:n virallisessa lehdessä. (Siirilä 2008a, 58–61.)

Koneturvallisuuteen liittyvät A-, B- ja C-tyyppin standardit muodostavat kolmitasoisen järjestelmän. A-tyyppin standardit ovat kaikille koneille sovellettavia peruststandardeja, joita käytetään mikäli yksityiskohtaisempia standardeja ei ole olemassa. B-tyyppin standardit käsittelevät tietyn ongelman mittaamista tai poistamista ja turvalaitteita. C-tyyppin standardit koskevat tiettyä konetta tai koneryhmää. (Tukes 2020; Siirilä 2008a, 58–61.)

Toisin kuin direktiivit, standardit ovat suosituksia ja periaatteessa niiden käyttö on vapaaehtoista. Käytännössä standardeja on kuitenkin lähes aina noudatettava. Mikäli standardista poikkeaa, on muute pystyttävä osoittamaan, että ratkaisu on direktiivin olennaisien terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukainen.

### 3.3 Vastuut

Koneasetuksen 400/2008 mukaan valmistajan tai valtuutetun edustajan vastuulla on ennen koneen markkinoille saattamista tai käyttöönottoa:

- Varmistaa koneen täyttävän kaikki sitä koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset
- varmistaa, että tekninen rakennetiedoston on koottu
- varmistaa, että konetta koskevat tiedot ja ohjeet ovat saatavilla
- huolehdittava, että vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely on suoritettu oikeanlaisesti
- laadittava koneesta EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus, ja
- kiinnitettävä koneeseen CE-merkintä.

Euroopan talousalueen ulkopuolella valmistetun koneen ETA-alueelle tuovan henkilön vastuu muuttuu valmistajan kaltaiseksi, mikäli alkuperäinen valmistaja ei ole ottanut itselleen vastuuta. On hyvä ottaa huomioon myös se, että laajan konelinjan tai konejärjestelmän rakentava yritys on vastuussa kokonaisuudesta, sillä tällöin kaikkia laitteita tarkastellaan yhtenä koneena. Vastuu koneen turvallisuudesta ulottuu myöskin

työnantajaan, sillä työnantajan on varmistuttava, että käyttöön otettu kone on turvallisuusvaatimustenmukainen ja sopiva juuri siihen käyttöön ja ympäristöön, johon työnantaja on sen ajatellut. Työnantaja ei saa ottaa konetta käyttöön ennen kuin on varmistunut sen turvallisuudesta.

## 4 ROBOTTISOLUN KONETURVALLISUUS

Roboteissa ja robottijärjestelmissä on samoja vaaratekijöitä kuin muissakin automaattisissa koneissa. Turvallisuuden kannalta ongelmaiseksi robotin tekee sen kolmiulotteiset, laajat ja ennalta arvaamattomat liikkeet. Näiden lisäksi robotin nopeudet ja voimat ovat usein niin suuria, että robotin puristamaksi tai iskemäksi joutuminen voi johtaa vakaviin vammoihin tai jopa kuolemaan. Tapaturmia voivat aiheuttaa myös robotissa kiinni olevat työkalut kuten tarttujat, työstävät terät tai hitsauspihdit. Vaaratekijöitä ovat myös mahdolliset robottijärjestelmään kuuluvat muut oheislaitteet kuten kääntöpöydät tai työstökoneet. (Siirilä 2008b, 309.)

Robottia joudutaan usein ohjelmoimaan vaaravyöhykkeellä aivan robotin vierestä. Myös vika- ja häiriötilanteita saatetaan joutua korjaamaan aitojen sisäpuolelta. Näissä tilanteissa robotin tai oheislaitteiden odottamattomat liikkeet tai muut toiminnot aiheuttavat välitöntä vaaraa. Vaaravyöhykkeellä olon vaaratekijöitä ovat muun muassa:

- Muut robotit tai oheislaitteet, jotka käynnistyessään voivat aiheuttaa tapaturman
- tarttujasta irtoava kappale
- ohjauksen muistissa olevien useamman ohjelman vuoksi, voi virheellisesti käynnistyä toinen ohjelma, jolloin robotin liikeradat ja nopeudet voivat olla yllättäviä
- tahattomat virheet ohjauslaitteen näppäimien käsittelyssä, esimerkiksi jonkin pisteen poisto voi johtaa robotin liikeradan huomattaviin muutoksiin
- ohjausjärjestelmän sisäiset viat, ohjelmistovirheet tai erilaiset häiriöt voivat aiheuttaa virheellisiä käskyjä
- pneumaattisten tai hydraulisten järjestelmien viat tai vuodot voivat aiheuttaa myös ongelmia.

Robotin ja robottijärjestelmien turvallisuusominaisuuksia käsitellään C-tyyppin standardeissa SFS-EN ISO 10218-1 ja SFS-EN ISO 10218-2. Standardeissa luetellaan robotien turvallisuusvaatimuksiksi muun muassa seuraavia (Siirilä 2008b, 309–311.):

- Liikealueen rajoittaminen on oltava mahdollista vähintään kolmessa suurinta liikealuetta aikaan saavassa nivelessä. Nämä rajoitukset on tehtävä ensisijaisesti ohjelmistosta riippumattomasti, kuten mekaanisilla tai sähkömekaanisilla asemantuntoelimillä. Toisen ja kolmannen nivelen rajoitukset voidaan toteuttaa ohjelmallisesti, mikäli ohjelmiston luotettavuus on riittävä turvallisuuden kannalta

- energian häviämisen on johdettava turvalliseen tilaan
- robottia käsin ohjattaessa liikkeiden nopeudet täytyy olla rajattu alhaisiksi
- turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien täytyy olla standardin SFS-EN ISO 13849-1 luokan 3 vaatimusten mukaisia.




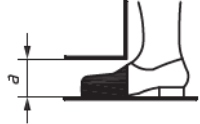
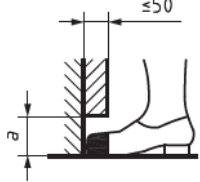



#### 4.1 Alueen suojaus, turvaetäisyydet ja turvallisuusvyöhykkeet

Robottijärjestelmä erotetaan lähtökohtaisesti aina muusta tilasta suojarakenteilla. Automaattisen toiminnon aikana suojarakenteiden ja turvalaitteiden on estettävä vaaravyöhykkeelle pääsy. Muusta tilasta erottamiseen käytetään yleensä aita. Aita on joko verkkoaitaa tai kestävää muovia. Aidan tulee olla vähintään kahden metrin korkuinen, jotta sen yli kiipeäminen olisi riittävän hankalaa. Robottisolua suunniteltaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon myös esimerkiksi työstettävän kappaleen sinkoutuminen ja sen pohjalta tehdä ratkaisu aidan lopullisesta korkeudesta. Lattian ja aidan väliin saa jäädä enintään 180 mm suuruinen aukko. Solua ympäröivään aitaan jää usein aukkoja, kuten kuljettimen ulostulo, kääntöpöydän lastausalue tai kulkuovet. Nämä on suojattava järjestelmään liitetyillä turvalaitteilla, kuten valoverhoilla tai oveen liitetyillä asemantuntoelimillä. Turvalaitteeseen vaikuttamisen on saatava aikaan koneen pysähtyminen ennen kuin vaarakohtaan on mahdollista ehtiä. (Siirilä 2008b, 49–51.)

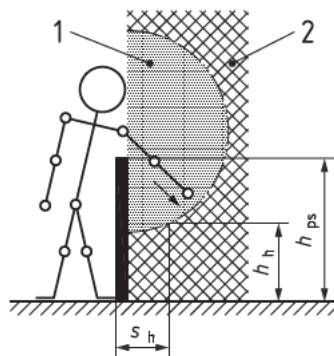
Robottijärjestelmän vaaravyöhykkeelle pääsyn estäminen tarkoittaa, että vaaravyöhykkeelle ei ole fyysisesti mahdollista ulottua tai ehtiä koneen ollessa käynnissä. Tämä tarkoittaa robottisolun kohdalla aukoista pääsemistä ja aidan alitusta tai ylitystä. Standardin SFS-EN ISO 13854:2019 mukaan puristumisvaaran estämiseksi vähimmäisetäisyyksien vaatimuksena on, että suojarakenteen ja robotin väliin on jäätävä vähintään 500 mm:n etäisyys. Vähimmäisetäisyyksissä tulee ottaa huomioon myös käsiteltävien työkappaleiden koko. Robotin käsitellessä suuria työkappaleita myös robotin liikealue laajenee. Eri kehonosien vähimmäisetäisyydet on esitetty taulukossa (taulukko 1).



Taulukko 1. Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran estämiseksi. Mitat millimetreissä (SFS-EN ISO 13854:2019).

Kehonosa	Vähimmäisetäisyys $a$	Kuva
vartalo	500	
pää (epäedullisin asento)	300	
jalka	180	
Kehonosa	Vähimmäisetäisyys $a$	Kuva
jalkaterä	120	
varpaat	50	
käsivarsi	120	
kämmen ranne nyrkki	100	
sormi	25	

Turvaetäisyysstandardissa SFS-EN ISO 13857:2019 määrittää arvoja turvaetäisyyksille ylä- ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. (Taulukko 2.) Aidan korkeutta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon yläraajan ulottuman vaikutus aidan turvaetäisyyteen vaaravyöhykkeestä. Vain kahden metrin korkuisella aidalla tämä etäisyys tulee olla 600mm ja näin ollen vie lattiapintaa käytöstä. Kuva 2 havainnollistaa selitteet taulukon 2 arvoille. Standardissa määritellään myös säännöllisen muotoisten aukkojen läpi ulottumisen turvaetäisyyksiä vaaravyöhykkeille. (Taulukko 3.)



#### Selite

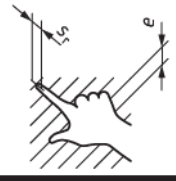
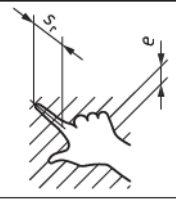
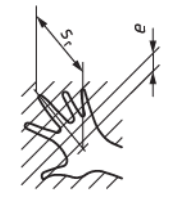
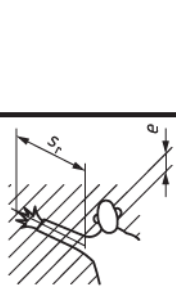
- 1 yläraajan ulottuman alue
- 2 yläraajan ulottuman ulkopuolella oleva alue (vaaravyöhyke)
- $h_h$  lähinnä yläraajan ulottuman aluetta olevan vaaravyöhykkeen pisteen korkeus
- $h_{ps}$  suojaranteen korkeus
- $s_h$  lähinnä yläraajan ulottuman aluetta olevan vaaravyöhykkeen pisteen vaakasuora turvaetäisyys

Kuva 2. Ulottuminen suojarakenteen yli (SFS-EN ISO 13857:2019).

Taulukko 2. Ulottuminen suojarakenteen yli. Mitat millimetreissä (SFS-EN ISO 13857:2019).

$h_h$ , lähinnä yläraajan ulottuman aluetta olevan vaaravyöhykkeen pisteen korkeus <sup>a</sup>	$h_{ps}$ , suojarakenteen korkeus <sup>b,c</sup>									
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	$s_h$ , lähinnä yläraajan ulottuman aluetta olevan vaaravyöhykkeen pisteen vaakasuora turvaetäisyys									
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 500	1 400	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0	0	0	0	0
800	1 500	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 400	1 300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1 400	1 200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1 200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 3. Ulottuminen säännöllisen muotoisten aukkojen läpi. Mitat millimetreissä (SFS-EN ISO 13857:2019).

Kehon osa	Kuva	Aukko	Turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen, $s_r$		
			Pitkänomainen	Neliömäinen	Pyöreä
Sormenpää		$e \leq 4$	$\geq 2$	$\geq 2$	$\geq 2$
		$4 < e \leq 6$	$\geq 10$	$\geq 5$	$\geq 5$
Sormi rystyseen asti		$6 < e \leq 8$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 5$
		$8 < e \leq 10$	$\geq 80$	$\geq 25$	$\geq 20$
Kämmen		$10 < e \leq 12$	$\geq 100$	$\geq 80$	$\geq 80$
		$12 < e \leq 20$	$\geq 120$	$\geq 120$	$\geq 120$
		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^a$	$\geq 120$	$\geq 120$
Käsivarsi olkapäähän saakka		$30 < e \leq 40$	$\geq 850$	$\geq 200$	$\geq 120$
		$40 < e \leq 120$	$\geq 850$	$\geq 850$	$\geq 850$

Järjestelmissä, joissa on pitkiä vaiheajoja ja runsaasti puskurikapasiteettia, voidaan solu jakaa turvallisuusvyöhykkeisiin. Tällä tavoin saavutetaan yhtäaikaisesti hyvä turvallisuustaso ja tuottavuus. Solun turvallisuusvyöhykkeisiin jakamisen ideana on, että vaikuttamalla tietyn alueen turvalaitteisiin, vain kyseisen alueen koneet pysähtyvät. Näin ollen ei tarvitse pysäyttää kaikkia solun koneita, ja tuotanto voi solun muissa osissa jatkua. Toinen mahdollinen syy turvallisuusvyöhykkeisiin jakamiselle voi olla se, että suurten konejärjestelmien aitojen ja turvalaitteiden sisään jääviä vaaravyöhykkeitä ei valvota henkilöä havaitsevilla turvalaitteilla, joten toimintaan kytkettyjen turvalaitteiden kuittauspaikoilta on oltava nähtävissä, ettei vaaravyöhykkeellä ole ihmisiä. Näin ollen suuret järjestelmät voidaan jakaa useampaan turvallisuusvyöhykkeeseen riittävän näkyvyyden varmistamiseksi. (Siirilä 2008b, 307–308.)

## 4.2 Ohjausjärjestelmä

Koneasetuksessa 400/2008 esitetään vaatimuksia koneiden ohjausjärjestelmien turvallisuudelle ja toimintavarmuudelle. Ohjausjärjestelmät on suunniteltava ja rakennettava siten, että ne estävät vaaratilanteiden syntyminen. Asetuksessa esitetään muun muassa seuraavia vaatimuksia:

- Ohjausjärjestelmän tulee kestää käyttörasitukset ja ulkoiset vaikutukset
- laitteisto- tai ohjelmistovika ei saa aiheuttaa vaaratilanteita
- ohjausjärjestelmän logiikan virheet eivät saa aiheuttaa vaaratilanteita
- kohtuudella ennakoitavissa olevat inhimilliset erehdykset tai käyttövirheet eivät saa aiheuttaa vaaratilanteita
- kone ei saa käynnistyä odottamattomasti
- koneen pysähtyminen ei saa estyä, jos pysäytyskäsky on annettu
- koneen liikkuva osa tai koneen pitämä kappale ei saa pudota tai sinkoutua
- turvalaitteiden on pysyttävä toimintakykyisinä tai annettava pysäytyskäsky
- turvallisuuteen vaikuttavia ohjausjärjestelmän osia on käytettävä yhtenäisellä tavalla koko koneyhdistelmässä.

## 4.3 Odottamattoman käynnistymisen estäminen

Robottijärjestelmän turvallisuussuunnittelussa tulisi käyttää B-tyypin standardia SFS-EN ISO 14118 odottamattoman käynnistymisen estämiseksi. Odottamattoman käynnistymisen estämiseen vaadittavien toimenpiteiden tunnistamiseksi on suoritettava myös standardin SFS-EN ISO 12100 mukainen riskin arviointi. Standardissa ISO 14118 kerrotaan koneen energialähteistä erottamista ja energian purkamista koskevat toimenpiteet, ja menetelmät odottamattoman käynnistymisen estämiseksi koneen energiansyötön ollessa päällä. Lisäksi standardissa kerrotaan energianlähteistä erottamisen ja energian purkamisen todentamista koskevat suunnitteluvaatimukset. Odottamattoman käynnistymisen estämiseksi tarvittavat toimenpiteet on kuvattava koneen käyttöohjeissa. Niiden tulee sisältää myös energian purkaminen tai pidättäminen ja tarvittaessa todentamismenetelmä.

Koneella suoritettavia tehtäviä, esimerkiksi kunnossapitotyötä tai käytöstä poistamista varten koneissa on oltava käsikäyttöiset energialähteestä erottamiseen ja energian purkamiseen tarkoitetut laitteet. Erottamiseen tarkoitettujen laitteiden vaatimuksia ovat:

- Luotettava irtikytkeminen tai erotus energialähteestä
- luotettava mekaaninen yhteys ja erotuksen tekevän rakenneosan välillä
- hallintaelimen kutakin asentoa vastaava selvä ja yksikäsitteinen osoitus erotuslaitteen asennosta.

Erotuslaitteista on oltava selvästi nähtävissä minkä koneen tai koneen osan kukin erotuslaite erottaa. Riskinarvioinnin perusteella määräytyy erotuslaitteiden lukumäärä ja sijainti. (SFS-EN ISO 14118:2018.)

Mikäli käsin tehtävä erottaminen tai energian purkaminen ei ole perusteltua toistuvien lyhyiden toimenpiteiden vuoksi, koneeseen on tehtävä automaattisesti ohjattuja lisätoimintoja odottamattoman käynnistymisen estämiseksi. Tarvittaessa tehtäviä toimenpiteitä ovat (SFS-EN ISO 14118:2018.):

- Käsikäyttöisten käynnistyselimien tarkoittamattoman vaikuttamisen estäminen sopivalla rakenteella, sijoittamisella, suojaamisella ja merkintöjen avulla
- tehonohjauselimien valinta ja sijoitus niin, että niiden tila ei voi muuttua ulkoisten vaikutusten tai häiriöiden vuoksi
- pysäytyselimien tai turvalaitteiden synnyttämien pysyvien ohjaus(pysäytys)käskyjen käyttö, mekaaninen irtikytkeminen tai liikkuvien osien liikkeen estäminen mekaanisilla esteillä
- turvallisen tilan (pysäytystilan) automaattinen valvonta luokan 2 pysäytystoiminnon aikana.

#### 4.4 Vaaravyöhykkeellä työskentely

Robottijärjestelmää ympäröivän aidan sisäpuolelle joudutaan usein menemään ohjelmointi- ja häiriötilanteissa järjestelmän ollessa luokan 2 pysäytystilassa. Vaaravyöhykkeellä oltaessa robottia ja muita järjestelmän koneita käytetään mukana kannettavan käsiohjauslaitteen avulla. Luokan 2 pysäytystilassa laitteiden energiansyöttöä ei ole katkaistu vaan teho säilytetään laitteilla. Vaara-alueella työskennellessä ja luokan 2 pysäytystilaa käytettäessä, laitteiden liikkumattomana pysymistä on valvottava. Liikkumattomana pysymistä valvovien antureiden ja ohjausjärjestelmän osan on oltava luotettavia.

Tarkoittamattoman liikkeelle lähtemisen tai siihen johtavan tilan havaitsemisen on johdettava järjestelmän pysäytystilan siirtymiseen luokkaan 0, ennen kuin vaaraa voi aiheutua. Käsinohjattaessa tai -ohjelmoitaessa vain yhden koneen liike voi olla kerrallaan mahdollinen. Tämän lisäksi liike voi tapahtua vain käsiohjauslaitteen ohjauspainikkeeseen ja sallintalaitteeseen yhtäaikaaisesti vaikuttamalla. Tässä tilanteessa pysähtyneenä pysymisen valvonta ohitetaan käsiohjauslaitteelta tulevalla käskyllä. Käsiohjaustilassa myös koneen liikenopeutta rajoitetaan ja mahdollisesti sallitaan liike vain lyhyt nykäys kerrallaan. (Siirilä 2008b, 190.)

Koneen pysähtyneisyyden todentamiseen käytetään pysäytystiloja. Standardissa SFS-EN 60204-1 esitetään pysäytystilojen luokat:

*Luokka 0: Pysäyttäminen poistamalla energiansyöttö välittömästi koneen toimilaitteilta.*

*Luokka 1: Valvottu pysähtyminen, jossa koneen toimilaitteilla on teho pysähtymisen aikaan saamiseksi. Pysähtymisen jälkeen teho poistetaan toimilaitteilta.*

*Luokka 2: Valvottu pysähtyminen, jossa koneen toimilaitteilla säilytetään teho.*

#### 4.5 Nopeuden alentaminen

Robottistandardissa SFS-EN ISO 10218-1 kerrotaan, että robotin työkalun kiinnityslaitan ja työkalun keskipisteen nopeuden on oltava ohjattavissa valittavilla nopeuksilla. Ohjelmointitilanteissa ja robotin läheisyydessä oltaessa robottia tulee ohjata alennetulla nopeudella. Alennetulla nopeudella ohjattaessa työkalun keskipisteen nopeus ei saa ylittää arvoa 250 mm/s. Turvaluokiteltu alennetun nopeuden ohjaus, eli ohjausjärjestelmän turvallisuuden liittyvät osat, on suunniteltava ja rakennettava suorituskykyvaatimusten mukaisesti. Tässä tilanteessa vaatimuksena on standardin SFS-EN ISO 13849-1:2006 mukainen PL=d rakenneluokka 3 tai turvallisuuden eheystaso SIL 2. Tämän turvaluokitellun alennetun nopeuden ohjauksen johdosta virhetoiminnon sattuessa työkalun keskipisteen nopeus ei tulisi ylittää alennetun nopeuden rajaa ja virhetoiminnon tapahtuessa on seurattava suojauspysäytys. (SFS-EN ISO 10218-1.)

Käsivarsirobotin rakenne aiheuttaa ongelmia, sillä useiden nivelien ja akseleiden vuoksi robotin työkalun liikeratoja pisteestä toiseen voi olla useita ja käsivarren eri osien todellista liikenopeutta ei välttämättä tiedetä. Usein todellisen ja käsketytyn nopeuden vertaaminen jää ohjelmistossa epätarkaksi. Robotin työkalun ja akseleiden todellisen

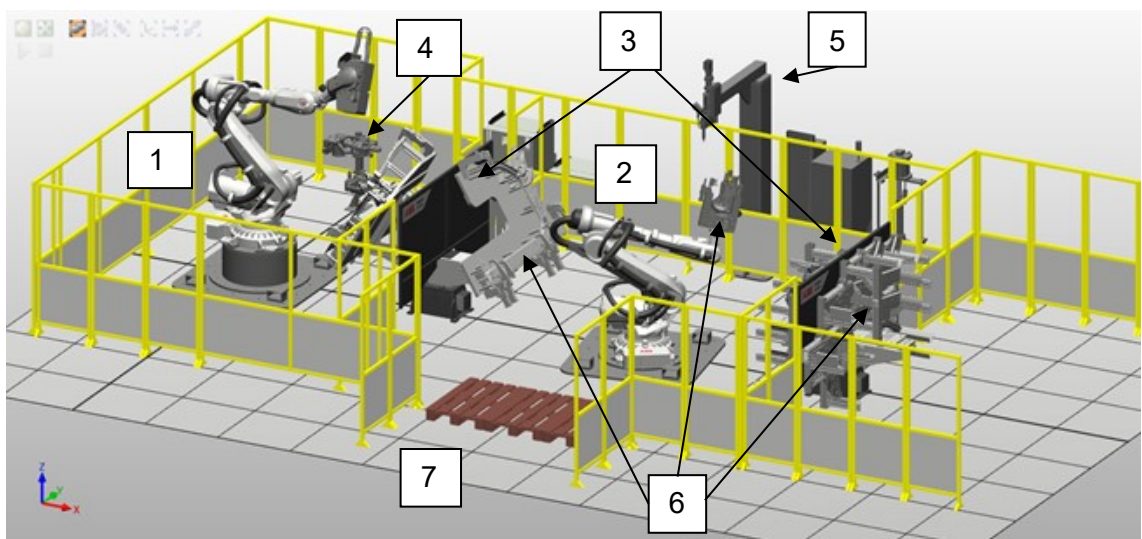
nopeuden mittaaminen on myös hankalaa. Mittaamiseen on kuitenkin seuraavia menetelmiä (Siirilä 2008b, 191.):

- Työkalupisteen nopeuden mittaaminen laskemalla jokaisen akselin liikkeistä työkalupisteen liikkeet
- yksittäisen akselin nopeuden mittaaminen ja rajoittaminen käyttämällä vain yhden akselin ajoa kerrallaan
- kunkin akselin virrankulutuksen mittaaminen, jota voidaan käyttää myös törmäyksen tunnistamiseen.



## 5 ROBOTTISOLU PISTEHITSAUKSEEN JA LIIMAUKSEEN

Tämän työn kohteena on yksi Turun tehtaan autoteollisuuden osien valmistukseen keskittyvistä robottisoluista. Robottisolu on automaattisesti toimiva valmistussolu auton korinosien pistehitsaukseen ja liimaukseen. Robottisolu koostuu useasta eri laitteesta, jotka on suunniteltu toimimaan aidatun, sekä sähköisesti valvotun turva-alueen sisäpuolella. (Kuva 3.)



Kuva 3. Robottisolun layout-kuva.

1. Pistehitsausrobotti ja hitsauslaitteisto
2. Kappaleenkäsittelyrobotti
3. Vertikaalisesti kääntyvät paikoituslaitteet
4. Hitsauselektrodien sorvauslaitteisto
5. Automaattinen liimalaite
6. Jigit ja tarttijat
7. Kuljetin

### 5.1 Pistehitsausrobotti ja hitsauslaitteisto

Pistehitsauksessa käytetään teollisuusrobottia ABB IRB6700-235/2.65 LeanID SW. Nimi- ja koonumerot 235 tarkoittaa kantokykyä kilogrammoina ja 2.65 ulottuvuutta metreinä. Robotin käsivarteen on kiinteästi asennettu servokäyttöinen ARO Technologiesin valmistama X-mallin hitsauspihti. Servopihdin paino on noin 100 kg ja maksimipuristusvoima noin 450 kg. Pihdin hitsausta ohjaa saman valmistajan MFDC 560A -ajastin. Ajastin keskustelee yhdessä pihdin ja robotin kanssa. Robotti vastushitsaa tuotteet kasaan servo-ohjatun hitsauspihdin kanssa ja ohjaa kääntyvää ABB C-500 -paikoituslaitetta, sekä hitsauselektrodien sorvauslaitteistoa. Robotti kommunikoi väyläyhteydellä kappaleenkäsittelyrobotin kanssa ja toimii Master-laitteena näiden kahden robotin välillä.

### 5.2 Kappaleenkäsittelyrobotti

Kappaleenkäsittelyssä käytetään teollisuusrobottia ABB IRB6700-155/2.85 LeanID MH. Robotti noutaa komponentit tarttujallaan vertikaalisesti kääntyvästä ABB C-500 -paikoituslaitteesta ja käy levittämässä tuotteeseen liimaa automaattisessa liimalaitteistossa. Robotti asettaa komponentit toiseen vertikaalisesti kääntyvään C-500-paikoituslaitteeseen ja noutaa valmiin tuotteen, sekä lopuksi pakkaa kuljetushäkkiin. Robotti kommunikoi väyläyhteydellä hitsausrobotin kanssa ja toimii Slave-laitteena hitsausrobotille.

### 5.3 Vertikaalisesti kääntyvät paikoituslaitteet

Molemmissa pisteissä paikoituslaitteina käytetään yhdellä servomootorilla varustettuja ABB C-500 -paikoituslaitteita. Kahden robotin välisten hitsausjigien käsittelyyn käytettävä paikoituslaite mahdollistaa hitsausjigien kääntämisen molemmille roboteille. Kappaleenkäsittelyrobotti antaa, sekä vastaanottaa väyläyhteydellä lupatietoja hitsausrobotilta, joka taas ohjaa paikoituslaitteen varsinaisia liikkeitä.

Toinen, kappaleenkäsittelyrobotin ja operaattorin välisten ladontajigien käsittelyyn käytettävä paikoituslaite mahdollistaa ladontajigien kääntämisen operaattorin panostuspuolelle, sekä kappaleenkäsittelyrobotin työskentelyalueelle. Kappaleenkäsittelyrobotti ohjaa paikoituslaitteen kääntöä, kun lupa on annettu. Robotin puoleinen ladontajigi on tällöin tyhjä ja operaattorin puoleinen jigi on täynnä.

#### 5.4 Hitsauselektrodien sorvauslaitteisto

Sorvauslaitteiston tarkoituksena on puhdistaa ja uudelleen teroittaa kuluneet hitsauspihdin elektrodit, sekä vaihtaa nämä uusiin tarvittaessa. Sorvauslaitteiston valmistaja on KYOKUTOH. Sorvauslaitteistoa ohjataan hitsausrobotilla.

#### 5.5 Automaattinen liimalaite

Liimalaitteena käytetään SCA:n valmistamaa SYS6000 -liimalaitetta. Liimalaite koostuu kolmesta pääosasta: Pumppu, ohjaus ja annostelija. Kappaleenkäsittelyrobotti liikuttaa komponenttia liimalaitteen annostelijan alla ja kertoo liimalaitteelle oman nopeutensa ja milloin haluaa liimaa. Liimalaite huolehtii liiman lämpötilasta, määrästä ja muihin liimaukseen liittyvistä parametreista. Laitteet keskustelevat väyläyhteydellä. Robotti ohjaa liiman pursotukseen liittyviä käskyjä, sekä liiman pursotus on sidottuna myös robotin nopeuteen.

#### 5.6 Jigit ja tarttujat

Robottisolun jigit ja tarttujat ovat sähköpneumaattisesti ohjattuja laitteita. Jigeistä löytyy myös ulkoinen PLC-robotin kanssa kommunikointia ja laaduntarkkailua varten. Hitsausjigi ohjaa komponentit lopulliseen kokoonpanoon hitsausta varten. Ladontajigeihin operaattori panostaa kappaleenkäsittelyrobotille tarkoitetut komponentit ja robotti hakee tarttujalla komponentit näistä jigeistä.

#### 5.7 Kuljetin

Kappaleenkäsittelyrobotti noutaa valmiin tuotteen ja pakkaa kuljetushäkkiin. Täysinäinen häkki tulee kuljetinta pitkin valoverhoilla suojatun ulosottoaikan kohdalle, josta häkki nostetaan pois trukilla. Kuljettimen toisesta, myöskin valoverhoilla suojatusta, aukosta laitetaan tyhjä häkki tilalle. Jälkeenpäin asennettua kuljetinta ei ole piirretty vielä layout-kuvaan. Layout-kuva tulisi päivittää nykyisen mukaiseksi.

## 6 TYÖN TOTEUTUS

Työn tarkoituksena oli koota vaatimukset ja ohjeistukset Stera Technologies Oy:n tuotannon robottisolun CE-merkitsemiseen. Standardeista ja direktiiveistä listattiin vaatimukset, luotiin käytännön ohjeet dokumentointiin sekä näiden lisäksi käytiin läpi solun turvallisuuspuutteita ja esitettiin niihin korjaustoimenpiteitä.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan oli tarkoituksena toteuttaa solun CE-merkitseminen turvallisuuspuutteiden korjaustoimenpiteistä dokumentointiin saakka tämän työn puitteissa, mutta lopulta päädyttiin selvitystyön ja ohjeistuksen luomiseen. Näiden koottujen aineistojen avulla yritys toteuttaa itse vaadittavat korjaustoimenpiteet ja kokoaa dokumentoinnit.

Työ lähti liikkeelle robottisoluun tutustumisella sekä jo olemassa oleviin tiedostoihin, kuten riskin arviointiin, perehtymällä. Näiden jälkeen aloin tutkimaan dokumentoinnin vaatimuksia sekä robottisoluun ja sen laitteisiin liittyviä standardeja, joiden pohjalta listaukset ja ohjeet luotiin.

### 6.1 CE-dokumentaatio

Aivan aluksi oli selvitettävä, minkälainen CE-dokumentaation tarvitsee olla ja mitä sen täytyy pitää sisällään. Vaatimukset dokumentaation sisällöstä määritellään valtioneuvoston koneturvallisuusasetuksessa 400/2008.

Jotta CE-merkin voi kiinnittää, on valmistajan valmistettava kone terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti. Vaatimustenmukaisuuden todentamiseksi valmistajan on dokumentoitava koneen suunnittelu ja rakentaminen. Valtioneuvoston koneturvallisuusasetuksessa 400/2008 käsitellään koneeseen liittyvien asiakirjojen dokumentointia. Mikäli asiakirjoja ei kyetä esittämään toimivaltaisen viranomaisen niitä pyytäessä, voidaan epäillä koneen terveys- ja turvallisuusvaatimusten täyttymistä ja se voi johtaa koneen käyttökieltoon. Myöskin tapaturman sattuessa asianmukaiset asiakirjat ovat tärkeitä, sillä niillä voidaan todentaa, että kone on yritetty tehdä määräysten mukaan ja turvallisiksi.

### 6.1.1 Tekninen rakennetiedosto

Valmistajan on koottava tekninen rakennetiedosto, jolla voidaan osoittaa viranomaisille, että kone on koneasetuksen vaatimusten mukainen. Teknisen rakennetiedoston on sisällettävä mm. koneen yleiskuvaus, koneen piirustukset, riskien arvioinnin asiakirjat, käytetyt standardit, testaustulokset, kopio koneen käyttö- ja huolto-ohjeista sekä kopio EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta.

Teknisen rakennetiedoston ei tarvitse välttämättä olla kirjallisessa muodossa, mutta toimivaltaisen viranomaisen sitä pyytäessä se on oltava koottavissa kohtuullisessa määräajassa. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa täytyy olla nimettynä henkilö, joka teknisen rakennetiedoston kokoaa. Tekninen rakennetiedosto on oltava viranomaisen saatavilla vähintään kymmenen vuotta koneen valmistusajankohdasta.

Tekniselle rakennetiedostolle luotiin tiedostot (kuva 4), joissa on ohjeistukset minkälainen rakennetiedoston sisällön tarvitsee olla ja mitkä vaatimukset tarvitsee täyttää.

- 1 Yleiskuvaus
- 2 Piirustukset ja sähkökaaviot
- 3 Käytetyt standardit
- 4 Riskin arviointi
- 5 Käyttö- ja huolto-ohjeet
- 6 Testaukset
- 7 Vaatimustenmukaisuusvakuutus

Kuva 4. Teknisen rakennetiedoston sisältö.

### 6.1.2 EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus

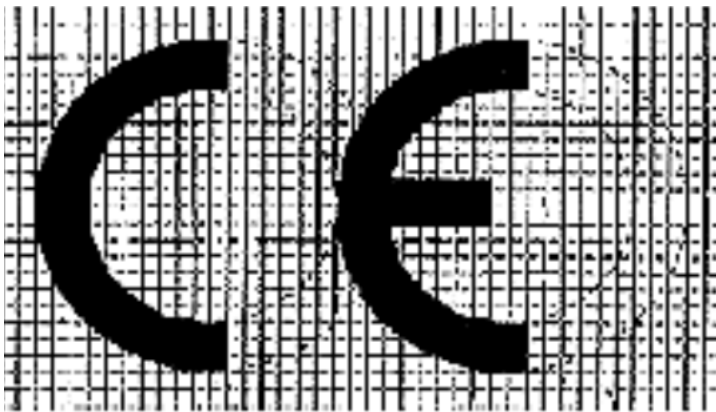
Kun rakennetiedoston muut asiakirjat on dokumentoitu ja ennen kuin CE-merkintää voi kiinnittää koneeseen, on tehtävä vaaditut arviointimenettelyt koneen direktiivien säännöstenmukaisuudesta ja laadittava vaatimustenmukaisuusvakuutus. Laatimalla vaatimustenmukaisuusvakuutuksen valmistaja tai tämän valtuuttama edustaja vakuuttaa, että kone tai koneyhdistelmä täyttää kaikki sitä koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Mikäli valmistaja tai tämän valtuuttama Euroopan talousalueella toimiva edustaja ei ole tehnyt vaatimustenmukaisuusvakuutusta, vastuu on koneen ETA-alueella

markkinoille saattajan, koneen eri alkuperää olevista koneen osista kokoavan henkilön tai koneen omaan käyttöön rakentavan henkilön. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa luetellaan säännökset ja soveltuvat standardit, joita on käytetty koneen suunnittelussa ja turvallistamisessa. Vaatimustenmukaisuusvakuutus tulee olla laadittu samalla kielellä kuin koneen käyttöohjeet.

### 6.1.3 CE-merkintä

CE-merkinnän kiinnittäminen on valmistajan tai valtuutetun edustajan vastuulla. CE-merkinnällä vakuutetaan, että tuote on EU:n direktiivien ja asetusten vaatimusten mukainen. Vain CE-merkitty kone voidaan saattaa markkinoille EU:n alueella. Myös omaan käyttöön tuleva tuote tulee CE-merkitä. CE-merkintää ei myönnä mikään viranomainen eikä se takaa tuotteen turvallisuutta, laadukkuutta tai helppokäyttöisyyttä. Valmistajan tulee huolehtia direktiivien ja asetusten vaatimusten täyttymisestä.

Koneasetuksen(konedirektiivin) lisäksi konetta voivat koskea myös muut direktiivit. Näitä voivat olla esimerkiksi pienjännitedirektiivi tai sähkölaitteiden magneettista yhteensopi- vuutta (EMC) koskeva direktiivi. Valmistaja laatii tuotteesta vaatimustenmukaisuusva- kuutuksen ja kiinnittää tuotteeseen CE-merkinnän. Vaatimustenmukaisuusvakuutuk- seen tulee merkitä, minkä direktiivin tai direktiivien perusteella CE-merkintä on tehty. Kuvassa 5 havainnollistetaan oikeanlainen koneasetuksen määrittelemä CE-merkki.



Kuva 5. Koneasetuksen määrittelemä CE-merkki (Koneasetus 400/2008).

## 6.1.4 Sovelletut standardit

Teknisen rakennetiedoston kokoamiseen, koneen vaatimustenmukaisuuden arviointiin sekä tähän työhön liittyvistä standardeista koottiin lista. (Kuva 6.) Tärkeimpinä standardeina ovat A-tyyppin standardi SFS-EN ISO 12100:2010 ja C-tyyppin standardit SFS-EN ISO 10218-1 ja SFS-EN ISO 10128-2, joissa on esitettyä robottien ja robotiikkalaitteiden turvallisuusvaatimukset ja suojaustoimenpiteet, ohjeet vaarojen tunnistamiseen, riskin arviointiin sekä käyttöä koskeviin tietoihin.

### A-tyyppin standardit:

SFS-EN ISO 12100:2010 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen.

### B-tyyppin standardit:

SFS-EN ISO 13849-1 Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet.

SFS-EN ISO 14120 Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet.

SFS-EN ISO 13854:2019 Koneturvallisuus. Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi.

SFS-EN ISO 13855 Koneturvallisuus. Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet.

SFS-EN ISO 13857 Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille.

SFS-EN ISO 13850 Koneturvallisuus. Häätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet.

SFS-EN ISO 14118:2018 Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistymisen estäminen.

SFS-EN ISO 14119 Koneturvallisuus. Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta.

SFS-EN ISO 11161 Koneturvallisuus. Valmistusjärjestelmien koneyhdistelmät.

Perusvaatimukset

SFS-EN 60204-1:2018 Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset.

SFS-EN 62061(IEC) Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvien sähköisten, elektronisten ja ohjelmoitavien elektronisten ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus.

SFS-EN IEC 62046:2018 Koneturvallisuus. Henkilön havaitsevien turvalaitteiden käyttö.

### C-tyyppin standardit:

SFS-EN ISO 10218-1 Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit.

SFS-EN ISO 10218-2 Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottisolut.

### Tekninen raportti:

SFS-ISO/TR 14121-2:2010 Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.

Kuva 6. Työssä sovelletut standardit.

## 6.2 Riskin arviointi

Robottijärjestelmän käyttäjän on tehtävä riskin arviointi. Riskin arviointi on iteratiivinen prosessi, johon kuuluu riskianalyysi ja riskin merkityksen arviointi. Riskianalyysin tulee sisältää robottijärjestelmän raja-arvojen määrittäminen, vaarojen ja vaaratilanteiden

tunnistaminen sekä riskin suuruuden arviointi. Riskianalyysin tiedoilla voidaan arvioida riskin merkitystä, jonka perusteella päätetään tarvitaanko riskin pienentämistä vai ei.

Mikäli riskin merkityksen arvioinnin jälkeen todetaan, että riskiä ei ole pienennetty riittävästi, tulee eteen riskin pienentämisen toimenpiteet. Näitä toimenpiteitä ovat vaaran poistaminen luontaisesti turvallisilla suunnittelutoimenpiteillä, riskin pienentäminen suojausteknisillä toimenpiteillä tai täydentävillä suojaustoimenpiteillä. Mikäli näiden jälkeen jää riskejä, tulee jäännösriskit mainita käyttöä koskevissa tiedoissa. Riskin pienentäminen koetaan riittäväksi silloin, kun kaikkia toimintaolosuhteita ja kaikkia toimintaanpuuttumisen menettelyjä on tarkasteltu ja vaarat on poistettu tai riskejä on pienennetty alimmalle käytännössä mahdolliselle tasolle. (SFS-EN ISO 12100:2010.)

Riskin arviointi on tärkeä osa niin robottisolun suunnittelua kuin käytössä olevan koneen käyttöturvallisuutta. Riskin arvioinnin tekeminen käytössä olevaan koneeseen on aiheellista soluun tehtyjen muutosten jälkeen ja turvallisuuteen liittyvän tietotaidon kehittyessä. Ajoittain myös laitekannan vanhentuessa on hyvä varmistua, että turvallisuuden taso on säilytetty ja arviosta riippuen päivittää laitteita uudempaan teknologiaan.

### 6.2.1 Standardien vaatimukset

Riskien hallinnan periaatteita käsitellään useissa eri standardeissa, jotka antavat menetelmiä koneen turvalliseen suunnitteluun ja käyttöönottoon. Tässä työssä on käytetty standardeja SFS-EN ISO 12100:2010 ja SFS-EN ISO 10218-2:2011 sekä teknistä raporttia SFS-ISO/TR 14121-2:2010. Näistä standardeista ja teknisestä raportista luotiin yhtenäinen tiedosto, johon koottiin vaatimukset, menetelmät ja ohjeistukset riskin arviointiin liittyen.

Koneturvallisuuden perusstandardi SFS-EN ISO 12100:2010 antaa periaatteet ja menetelmät turvallisuuden aikaansaamiseksi koneita suunniteltaessa. Standardissa esitetään periaatteita riskin arviointiin ja riskin pienentämiseen sekä menettelytapoja vaarojen tunnistamiseen, riskin suuruuden arviointiin ja riskin merkityksen arviointiin. Lisäksi standardi antaa opastusta riskin arvioinnin sekä riskin pienentämisprosessin todentamiseen ja asiakirjojen laadintaan. Tiedostoon kootun aineiston sisältö ilmenee kuvasta 7.



SFS-EN ISO 12100:2010
Riskin arviointi
Riskin arvioinnin ja riskin pienentämisen strategia
Yleistä
Riskin arviointia varten tarvittavat tiedot
Koneen raja-arvojen määrittäminen
Yleistä
Käyttörajat
Tilarajat
Aikarajat
Muut raja-arvot
Vaarojen tunnistaminen
Riskin suuruuden arviointi
Riskin osatekijät
Riskin suuruuden arvioinnissa huomioon otettavat näkökohdat
Riskin merkityksen arviointi
Riittävä riskin pienentäminen
Riskin arvioinnin ja riskin pienentämisen asiakirjat

Kuva 7. Standardista SFS-EN ISO 12100:2010 kerätyn aineiston sisältö.

Standardin SFS-EN 10218-2:2011 tiedot riskin arviointiin liittyen pohjautuvat standardiin SFS-EN ISO 12100. Tiedostoon koottiin kuvassa 8 esitetyt asiat eli lisäapua on lähinnä spesifikaatioiden laatimiseen robottijärjestelmän rajoista.

Tähän spesifikaatioon kuuluu (SFS-EN ISO 10218-2:2011.):

a) Käytön rajat

- 1) Kuvaus toiminnoista, käyttötarkoituksesta ja kohtuudella ennakoitavasta väärinkäytöstä
- 2) Erilaisten käyttötapojen kuvaus
- 3) prosessin sekvenssien analyysi mukaan lukien käsityövaiheet
- 4) kuvaus rajapinnoista, työkaluista ja laitteista
- 5) liittynät aputoimintoihin
- 6) valmistajan toimittamat tiedot mukaan lukien riskin pienentämiseen sovelletut toimenpiteet
- 7) tarvittavat tehonlähteet ja niiden sovellukset
- 8) käyttäjän taidot (pätevyys).

b) tilarajat

- 1) Koneen liikkeille tarvittava vaihtelualue
- 2) asennukseen ja kunnossapitoon tarvittava tila
- 3) käyttäjän tehtäviin ja muihin käsityövaiheisiin tarvittava tila
- 4) tilarajojen uudelleenjärjestelyn mahdollisuudet
- 5) tarvittava pääsy
- 6) perustukset

- 7) laitteiden tai välineiden lisäämiseen ja poistamiseen tarvittava tila.
- c) aikarajat
- 1) Koneen ja sen komponenttien eliniän rajat
  - 2) prosessin kulkukaaviot ja ajoitukset
  - 3) suositeltavat huoltovälit.
- d) muut rajat
- 1) Ympäristö (lämpötila, käyttö sisä- tai ulkotiloissa, pölyn tai kosteuden sieto ym.)
  - 2) käyttötarkoituksen ja ympäristön edellyttämä puhtauden taso
  - 3) käsiteltävien materiaalien ominaisuudet
  - 4) vaaralliset ympäristöt
  - 5) kokemuksesta oppiminen, esim. tutkimukset ja vertailut mukaan lukien saatavilla olevien tapaturma- ja läheltä-piti-tilanteiden raportit vastaavista toiminnoista ja järjestelmistä.



Kuva 8. Standardista SFS-EN ISO 10218-2:2011 kerätty aineisto.

Teknisessä raportissa SFS-ISO/TR 14121-2:2010 esitetään käytännön opastusta standardin SFS-EN ISO 12100 mukaiseen riskin arviointiin sekä kuvataan erilaisia menetelmiä ja työkaluja arviointiprosessin toteuttamiseen. (Kuva 9.) Teknisessä raportissa esitetään esimerkkejä toimenpiteistä koneen raja-arvojen määrittämiseen ja riskin pienentämiseen sekä erilaisia työkaluja riskin suuruuden arviointiin. Näitä riskin suuruuden arvioinnin työkaluja ovat muun muassa riskimatriisi, riskigraafi ja numeerinen pisteytys sekä lisäksi esitetään esimerkki näiden edellä mainittujen yhdistelmätyökalusta.

SFS-ISO/TR 14121-2:2010
Riskin arviointi. Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä
Valmistautuminen riskin arviointiin
Riskin arviointi työryhmässä
Riskin arvioinnin prosessi
Koneen raja-arvojen määrittäminen
Vaaran tunnistaminen
Riskin suuruuden arviointi
Riskin suuruuden arvioinnin työkalut
Yleistä
Riskimatriisi
Riskigraafi
Numeerinen pisteytys
Yhdistelmätyökalu
Riskin merkityksen arviointi
Riskin pienentäminen
Yleistä
Luontaisesti turvallinen suunnittelu
Suojaustekniset toimenpiteet
Täydentävät suojaustoimenpiteet tai riskin pienentämistoimenpiteet
Käyttöä koskevat tiedot
Tavanomaisista menettelyistä
Riskin arvioinnin toistaminen
Riskin arvioinnin asiakirjat

Kuva 9. Teknisestä raportista SFS-ISO/TR 14121-2:2010 kerätty aineisto.

## 6.2.2 Riskin arviointiin liittyvät ohjeet ja muutosehdotukset

Yrityksellä on entuudestaan tehtynä riskin arviointi, joka kuitenkin kaipaa parannusta ja uutta läpikäyntiä. Tämän vuoksi yritykselle luotiin tiedosto, jossa esitetään uudelleen arviointia varten vaihtoehtoja, muutosehdotuksia ja lisäyksiä olemassa olevan riskin arvioinnin rakenteeseen ja menetelmiin. Lähdetietoina käytettiin kohdassa 6.2.1 mainittuja standardeja sekä Tapio Siirilän kirjaa ”koneturvallisuus, EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä”.

Tapio Siirilän kirjan, standardiin ISO 12100:2010 pohjautuvassa listauksessa mainitaan, että koneen riskin arvioinnin dokumentoinnin olisi sisällettävä vähintään seuraavat asiat (Siirilä 2008b, 112.):

- Tiedot koneesta (tekniset tiedot, raja-arvot ja tarkoitettu käyttö)
- tiedot tehdyistä olettamuksista (esimerkiksi kuormitukset ja varmuuskertoimet)
- tunnistetut vaaratekijät, vaaratilanteet sekä vaaralliset tapahtumat
- tiedot, joihin riskin arviointi on perustunut (käytetyt tiedot ja tietolähteet sekä käytettyihin tietoihin liittyvä epävarmuus ja sen vaikutus riskin arviointiin)

- tavoitteet, jotka on tarkoitus saavuttaa suojaustoimenpiteillä sekä standardit ja tekniset dokumentit, joiden perusteella tavoitteista ja suojaustoimenpiteistä on päätetty
- tiedot sovelletuista suojaustoimenpiteistä vaarojen poistamiseksi tai riskin pienentämiseksi
- tiedot koneen jäännösriskeistä
- riskin arvioinnin lopputulos, ja
- arvioinnin yhteydessä täytetyt lomakkeet (esim. excel-taulukot) ja muu apumateriaali.

Yrityksen olemassa olevassa riskin arvioinnissa on kaikki riskin arvioinnin tiedot samassa tiedostossa, joka tekee siitä hieman sekavan. Tästä syystä ja yllä oleviin tietoihin pohjautuen yritykselle tehtiin seuraavanlainen ehdotelma dokumentoinnin rakenteesta:

### **Tiedosto 1. Vaarojen tunnistaminen**

- Liitteet ja lähdetiedot (SFS-EN ISO 12100, SFS-EN ISO 10218-1 ja -2 yms.).
- mahdolliset vika- ja vaikutusanalyysit.

### **Tiedosto 2. Riskien arviointi**

- Liitteet ja lähdetiedot (SFS-EN ISO 12100, SFS-EN ISO 10218-1 ja -2, SFS-ISO/TR 14121-2, tapaturmatiedot yms.)
- riskin suuruuden arviointi
- riskin merkityksen arviointi
- mahdollinen riskin pienentämisen prosessi.

### **Liite 1.1 Koneen raja-arvot**

- Tarkoitettun käyttötavan kuvaus
- kohdassa 6.2.1 kuvatut robottijärjestelmän raja-arvot
- kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö
- koneen ennakoitu elinkaari ja vaatimukset sen ajalle.

### **Liite 1.2 Koneen käyttöönottotarkastusraportti**

- Riskin arvioinnin tulokset
- tarkastetut kohteet
- suositeltavat turvallisuustoimenpiteet.

### Liite 1.3 Tiedot käytetyistä turvalaitteista ja suojuksista

- Turvakomponenttien valmistajan antamat tiedot
- luettelo sovelletuista standardeista (esim. suojuukset SFS-EN ISO 14120, turvateäisyydet SFS-EN ISO 13857 yms.)
- liitteeksi valokuvat kohteista.

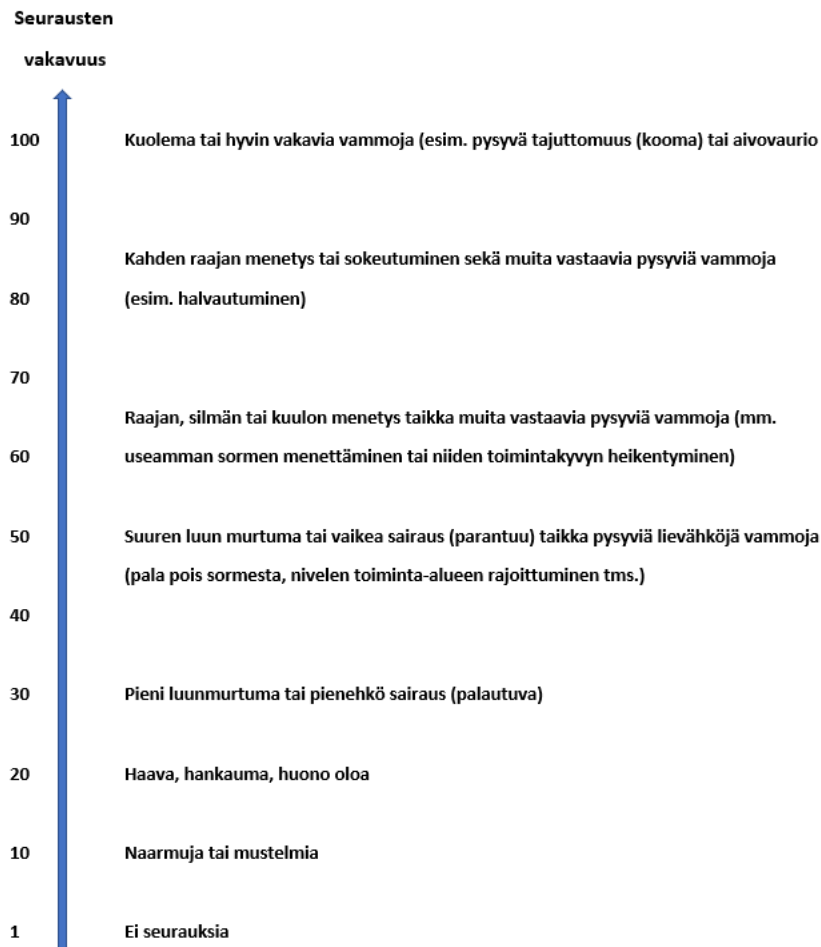
Riskin arviointi aloitetaan vaarojen tunnistamisella. Vaarojen tunnistamisessa on hyvä käyttää apuna saatavilla olevia tapaturmatietoja. Vaarojen tunnistamista voidaan pitää riskin arvioinnin tärkeimpänä vaiheena, sillä mikäli vaaroja ei tunnisteta, ne voivat johtaa vahinkoon. Vaarojen tunnistamisen tavoitteena on saada aikaan luettelo vaaroista, vaaratilanteista ja vaarallisista tapahtumista. Robottijärjestelmän ominaisten vaarojen tunnistamisessa kannattaa hyödyntää standardin SFS-EN ISO 10218-2:2011 liitteessä A olevaa luetteloa merkittävistä vaaroista. Tämä luettelo on johdettu standardin SFS-EN ISO 12100:2010 liitteestä B, josta voi myöskin olla hyötyä.

Olemassa olevan riskin arvioinnin vaarojen tunnistaminen on tehty hieman suppeasti, eikä vaaroista ole erillistä luetteloa, josta kävisi ilmi vaara ja vaaran sijainti (vaaravyöhyke) sekä vaaratilanne ja se miten vaaratilanne voi johtaa vahinkoon pitkäaikaisen altistumisen seurauksena. Tällainen tunnistettujen vaarojen luettelo suositellaan tehtäväksi uuden riskin arvioinnin yhteydessä. Lisäksi suositeltavaa olisi tehdä laajempi selvitys koko koneen elinkaaren aikaisista käyttötoiminnoista ja tehtävistä sekä koneen kanssa vuorovaikutuksessa olevista henkilöistä. Vaarojen tunnistamisessa olisi tarpeellista ottaa huomioon myös ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Vaarojen tunnistamisen menetelmiä on kerrottu standardeissa SFS-EN 12100:2010 ja SFS-ISO/TR 14121-2.

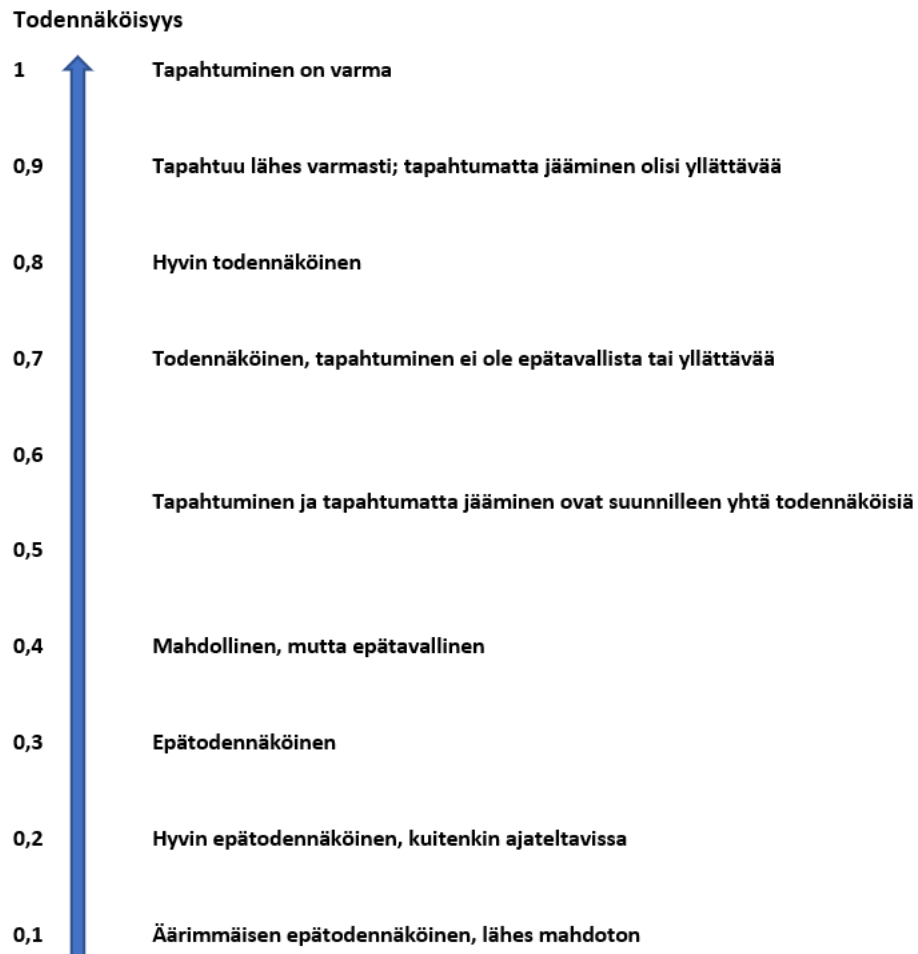
Vaarojen tunnistamisen jälkeen olisi tehtävä riskin suuruuden arviointi. Riskin suuruuden arviointiin on monia työkaluja, mutta kaikissa riski muodostuu vaaratekijän aiheuttamien mahdollisten seurausten vakavuudesta ja toteutumisen todennäköisyydestä. Tapahtuman todennäköisyyteen vaikuttavat koneen erilaiset käyttötavat ja -tilanteet, jotka ovat mahdollisia koneella työskennellessä. Myös vaaratekijän esiintymistiheydellä ja vaaravyöhykkeellä työskentelyn tarpeella on vaikutusta vahingon toteutumiseen. Näiden kaikkien mahdollisten osatekijöiden huomioon ottaminen todennäköisyyttä arvioitaessa on tärkeää.

Yritys on käyttänyt riskin suuruuden arvioinnin työkaluna standardin SFS-ISO/TR 14121-2 mukaista riskigraafia ja tämä onkin ihan oiva työkalu. Yhtenä vaihtoehtona arvioinnin työkaluksi olen antanut Tapio Siirilän kirjassa esitetyn selkeän ja käytännöllisen

menetelmän, jossa on yhdistetty numeerinen pisteytysmenetelmä ja matriisimenetelmä. Menetelmässä riskien vakavuuteen ja todennäköisyyteen käytetään tiheämmin porrastettua seuraus- ja todennäköisyysarviointitapaa, jossa riskin potentiaalinen vakavuus on arvioitu välille 1...100 (kuva 10) ja riskin todennäköisyys on määritelty välillä 0,1...1 (kuva 11). Tällä arviointimenetelmällä saadaan tarkemmin määritettyä riskin suuruus esimerkiksi tilanteessa, jossa seuraukset ovat erittäin vakavat, mutta tapaturman todennäköisyys on lähes olematon.



Kuva 10. Seurausten vakavuuden viitteelliset lukuarvot asteikolla 1 ... 100 (Siirilä 2008b, 87).



Kuva 11. Riskin todennäköisyyden määrittely lukuarvoilla 0,1 ... 1 (Siirilä 2008b, 92).

Riskin suuruus saadaan kertomalla seurausten potentiaalisen vakavuuden ja todennäköisyyden lukuarvot. Riskiluokkien jakautuminen osoitetaan väreillä alla olevan taulukon (taulukko 4) mukaisesti.

Taulukko 4. Riskiluokittelu (Siirilä 2008b, 108).

Todennäköisyys												
1	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
0,9	0,9	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	
0,8	0,8	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	
0,7	0,7	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	
0,6	0,6	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	
0,5	0,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
0,4	0,4	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	
0,3	0,3	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	
0,2	0,2	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
0,1	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
		<b>Seurausten vakavuus</b>										

Riskin suuruuden luokittelun määritelmät on kuvattu taulukossa. (Taulukko 5.). Riskin suuruuden arvioinnin alussa olisi määritettävä tavoite, mihin riskiluokkaan pyritään. Mikäli tavoiteluokkaan ei päästä, on riskiä pienennettävä turvallisuustoimenpiteillä, jonka jälkeen riski arvioidaan uudelleen. Tavoitteena riskin suuruudelle voidaan yleisesti pitää vähintään siedettävää riskiä. Riskin suuruudesta riippuvat toimenpiteet ovat esitetty taulukossa 6.

Taulukko 5. Lukuarvojen jakautuminen riskitasoihin (Siirilä 2008b, 109).

Vähäinen riski	0,1 ... 5
Siedettävä riski	6 ... 15
Kohtalainen riski	16 ... 28
Merkittävä riski	29 ... 48
Sietämätön riski	49 ... 100

Taulukko 6. Tarvittavat toimenpiteet riskin suuruuden mukaan (Siirilä 2008b, 109).

Riski	Tarvittavat toimenpiteet
	<b>Käytössä oleva kone</b>
<b>Vähäinen</b>	Ei tarvita toimenpiteitä.
<b>Siedettävä</b>	Seuranta ja valvonta ja myöhemmin tehtävä uudelleen arviointi ovat tarpeen.
<b>Kohtalainen</b>	On ryhdyttävä toimenpiteisiin riskien vähentämiseksi. Suunniteltujen toimenpiteiden toteuttamiselle on tehtävä aikataulu.
<b>Merkittävä</b>	Työtä ei saa aloittaa ennen kuin riski on vähennetty ainakin kohtalaiseksi. Jos meneillään olevassa työssä havaitaan merkittävä riski, on harkittava työ teon keskeyttämistä. Jos työtä jatketaan, riskien poistamiseen on varattava riittävästi voimavaroja ja toteutettava riskien vähennys kiireellisesti.
<b>Sietämätön</b>	Työtä ei saa aloittaa ja mahdollisesti käynnissä oleva työ on keskeytettävä. Ellei riskiä saada riittävästi vähennettyä, työn teon on pysyttävä kiellettyinä.



### 6.3 Turvalaitteet ja turvallisuustoiminnot

Robottijärjestelmiin liittyvistä turvalaitteista ja turvallisuustoiminnoista koottiin tiedosto, jossa esitetään standardien vaatimuksia turvalaitteiden käytöstä ja turvallisuustoimintojen toteutuksesta. Tiedoston koonnissa pyrittiin miettimään, mitkä vaatimukset koskevat kyseistä robottisolua. Aineiston keruun pohjana käytettiin robottisolun turvallisuusvaatimuksia koskevaa standardia SFS-EN ISO 10218-2. Tässä standardissa on kuitenkin viitauksia muihinkin standardeihin, ja nämä viitatun kohdan tiedot kerättiin kyseisestä standardista. Tiedostoon koottu aineisto on melko laaja ja siinä on pyritty käsittelemään kaikki robottisolun turvallisuuteen ja turvallistamiseen liittyvät asiat. Tiedostossa käsitellyt asiat on esitetty kuvissa. (Kuva 12 ja 13.)

Turvalaitteet
<b>Ihmisen tunnistavat turvalaitteet</b>
Tunnistavat turvalaitteet, jota käytetään käynnistämään turvapysäytys
Valoverhot/valopuomit (EN 62046)
Turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän suorituskyky (ohjelmisto ja laitteisto) (EN 10218-1)
<b>Robottijärjestelmien ja solujen pysäytystoiminnot</b>
Yleistä (EN 10218-1)
Hätäpysäytystoiminto
Hätäpysäytyksen palauttamisen toimenpiteet
Turvapysäytys
Pysäytystoiminnan valvonta (EN 62046)
Pysäytystoimintojen luokat (EN 60204)
Hätätoiminnot (häätäpysäytys, hätäpoiskytkentä)
Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet (EN 13850)
<b>Kytkeälaiteet</b>
Asentoanturit (EN 60204)
Toimintaankytkentälaiteet (ISO 14119)
<b>Hallintalaitteet</b>
Käyttäjän rajapinta ja koneeseen asennetut ohjauslaitteet (EN 60204)
<b>Sallintalaitteet</b>
Kannettavat-/riippuhajaimet
Kannettavan ohjausyksikön hallintaelimet (ISO 10218-1)

Kuva 12. Tiedoston sisältö, turvalaitteet.

<b>Turvallisuustoiminnot</b>
<b>Suojukset</b>
Suojusten vaatimukset (EN 10218-1)
Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet (ISO 14120)
Suojuksia koskevat vaatimukset (ISO 12100)
Aidat (Tapio Siirilä kirja)
<b>Paikalliset ohjaimet</b>
<b>Tehonsyötön vaatimukset</b>
Pneumaattinen tehonsiirto (ISO 4414)
<b>Potentiaaalitasauksen ja/tai maadoituksen vaatimukset</b>
Potentiaaalitasaus (60204)
<b>Energiansyötön erottaminen</b>
Varastoituneen energian hallinta
Vaatimukset toimilaitteille (robotin varren työkalu)
Valaistus
<b>Robotin liikkeen rajoittaminen</b>
Akseleiden liikkeen rajoittaminen (ISO 10218-1)
<b>Etäisyydet</b>
Vähimmäis(turva)etäisyydet
Suojausteknisten laitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet (EN 13855)
Turvaetäisyydet ylä- ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille (EN 13857)
Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi (EN 13854)
<b>Laitteiden sijoittelu</b>
Käsityövälineet
<b>Robottijärjestelmän toimintatavat</b>
Toimintatavan valinta
Automaattinen toimintatapa
Käsi käyttötoiminto
Käsi käyttö (ISO 10218-1)
Käsin ohjaus alennettu nopeus
Automaattinen toiminta
<b>Kunnossapito- ja korjaustehtävät</b>
<b>Valmistusjärjestelmän (Integrated Manufacturing System, IMS) rajapinnat</b>
Hätäpysäytys
Valmistusjärjestelmän koneyhdistelmän (IMS) turvallisuuteen liittyvät osat
Tehtävavyöhykkeiden toteutus
<b>Turvallisuustoimenpiteet käsikäyttöisille lastaus-, purku- tai käsittelyasemilla (käsikäyttöasemat)</b>
Lisävaatimukset käsikäyttöasemille jaetussa tilassa
Materiaalivirran turvallisuustoimenpiteet
Turvalaitteiden toiminnan keskeyttäminen

Kuva 13. Tiedoston sisältö, turvallisuustoiminnot.

Näiden lisäksi tehtiin tiedosto standardin SFS-EN ISO 10218-2 turvallisuusvaatimusten ja suojaustoimenpiteiden todentamisen ja kelpuutuksen menetelmistä. Standardin liitteessä G on lueteltuna toiminnalliset vaatimukset, jotka ovat oleellisia robotin turvallisuuden kannalta, ja ne ovat joko kelpuutettava tai todennettava tai tehtävä molemmat. Riittävä todentaminen ja kelpuutus voidaan tehdä menetelmillä, joihin kuuluu vähintäänkin:

- A visuaalinen tarkastus
- B käytännön testaukset
- C mittaukset
- D havainnot toiminnan aikana
- E sovelluskohtaisten suunnitelmien, piirikaavioiden ja suunnitteluaineistojen läpikäynti
- F turvallisuuteen liittyvien sovellusohjelmistojen ja/tai ohjelmistodokumenttien läpikäynti

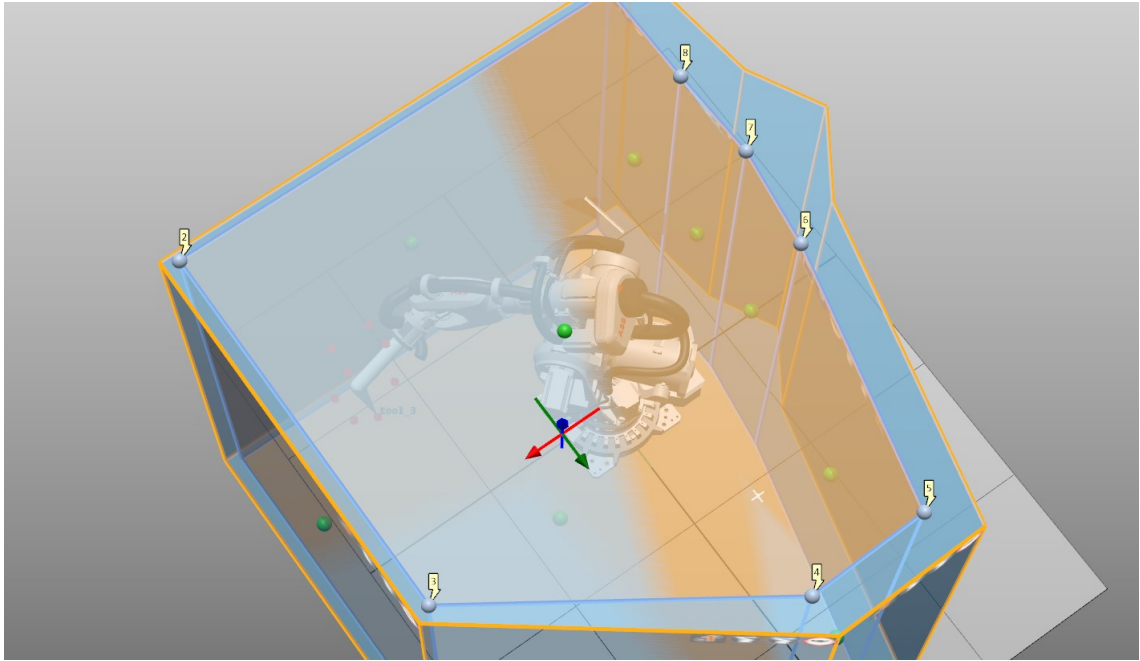
- G tehtäväkohtaisen riskin arvioinnin läpikäynti
- H Sijoituskaavion ja dokumenttien läpikäynti
- I spesifikaatioiden ja koneen käyttöä koskevien tietojen läpikäynti.

#### 6.4 Robottisolun turvallisuusanalyysi

Työn kohteena olevan robottisolun turvallisuusanalyysissä käydään läpi solun turvallisuutta. Valmiin, toiminnassa olevan robottisolun turvallisuuden arviointia ja standardien vaatimuksiin vertailua oli hieman vaikea toteuttaa ja ”löytää” puutteita. Kuitenkin muutama kerran solua tutkittuani löysin kohteita, joihin suosittelisin tekemään muutoksia ja lisäyksiä. Nämä muutokset edistäisivät solun turvallisuutta ja vaatimustenmukaisuutta. Joitakin solun turvallisuuden osa-alueita ei kuitenkaan täysin arvioitu, kuten ohjausjärjestelmän toteutusta. Yrityksen henkilöt tekevät solulle kattavan riskien arvioinnin ja turvallisuusanalyysin tämän työn aineiston avulla, joten tässä työssä arvioimattomat osa-alueet tulevat läpikäytyä.

##### 6.4.1 Robotin tilarajat

Robottisolun yhtenä ongelmakohtana turvallisuuden kannalta on ollut pistehitsausrobotin liian pienet tilarajat. Kuvassa (kuva 14) ilmenee robotille SafeMove-moduulilla konfiguroidut turva-alueet. Kyseinen konfigurointi on tehty ABB:n RobotStudio ohjelmistossa. Kuten kuvasta voidaan todeta, robotin turva-alueen (oranssi alue) ja turvakuution (koko kuutio) väliin jäävä alue on hyvin kapea. Turva-alueita konfiguroitaessa on määritetty alue, jonka rajan ylittäessä robotti alkaa jarruttamaan. Robotin varsinainen pysähtyminen tapahtuu kuitenkin vasta turva-alueen ulkopuolella.



Kuva 14. Robotin SafeMove-turva-alueet RobotStudiassa.

Robottisolua ympäröivän aidan tai järjestelmän muiden laitteiden ollessa liian lähellä SafeMove-turva-alueen rajaa, on mahdollisena vaarana robotin törmääminen ympäröivään aitaan tai laitteistoon sekä ohjelmointi- tai huoltotilanteissa puristumisvaara. Puristumisvaaran välttämiseksi olisi robotin todellisen pysähtymiskohdan ja aidan tai laitteiston väliin jäätävä vähintään 500 mm väli. Kuvassa (kuva 14) ei näy solun turva-aitaa, mutta aidan ja pysähtymiskohdan väliin jää tilaa. Tilarajat tulisi kuitenkin tarkastella uuden riskikartoituksen yhteydessä.

Ratkaisuna yritykselle esitin tutustumista uuteen ABB:n RobotStudio-ohjelmistoon lisättyyn virtuaaliseen robottien jarrutusmatkatoimintoon, jolla voidaan simuloida tarkasti robotin todellisia pysähtymismatkoja. Robotin pysähtymiskohta voidaan määritellä jopa millimetrin tarkkuudella. Tämä auttaa säästämään tilaa soluissa, kun enää ei tarvitse lisätä turvamarginaaleja.

Mikäli jarrutusmatkatoiminnon simuloinnin pohjalta arvioidaan, että robotin tilarajat ovat liian pienet, voidaan käyttää robotin akseleiden liikkeitä rajoittavia mekaanisia tai sähkömekaanisia rajoittimia. Uskoisin, että näiden avulla solun riskit saataisiin riittävän pieniksi.

### 6.4.2 Solun käyntiovet

Robottisolun käyntioven (kuva 15) yhteydessä on käytössä koodattu kielityyppinen (tyypin 2) asemantuntoelin (rajakytkin). Tämä suojuksen toimintaankytkentälaitte riittää turvallisuuden kannalta sellaisenaan, mikäli on hyvin asennettu. Käyntioven tulisi kuitenkin olla sellainen salpa tai muu vastaava, jonka ihmisen on tarkoituksellisesti työnnettävä paikoilleen ennen kuin oven voisi laittaa kokonaan kiinni ja rajakytkimen koskettimet voisivat sulkeutua. Tämä ei saisi olla mahdollista esimerkiksi henkilön vahingossa tönnäisemänä. Tässä riskinä on, että henkilö, joka on mennyt soluun ilman turvalukitusta voisi jäädä solun sisäpuolelle vaaraan, mikäli tilanteessa ovi sulkeutuisi tahattomasti sekä toinen henkilö käynnistäisi solun tiedostamattaan henkilön sisäpuolella oloa. Skenaario on toki epätodennäköinen, mutta mahdollinen.



Kuva 15. Solun toinen käyntiovi.

Soluun sisään mennessä olisi turvallisuuden kannalta tärkeää käyttää turvalukitusta, jolla oven tahaton sulkeutuminen ja henkilön soluun sisään jääminen estettäisiin. Hyvänä käytäntönä olisi, että jokainen solun sisään menevä henkilö kytkisi henkilökohtaisen turvalukkonsa oveen ennen soluun sisään menemistä.

Käyntioviin olisi myös suositeltavaa asentaa varoitus- ja ohjekylttejä, joilla varoitettaisiin solun vaaroista sekä ohjeistettaisiin toimintatavoista. Kuvassa (kuva 16) on muutama esimerkki käytettävistä varoituskylteistä. Kylttejä voisivat olla ainakin:

- ”Varo kompastumisvaara”
- ”varo teräviä reunoja”
- ”automaattisesti toimiva kone”
- ”käytettävä turvalukitusta”, tai
- ”konetta saa käyttää vain koulutettu henkilö”.



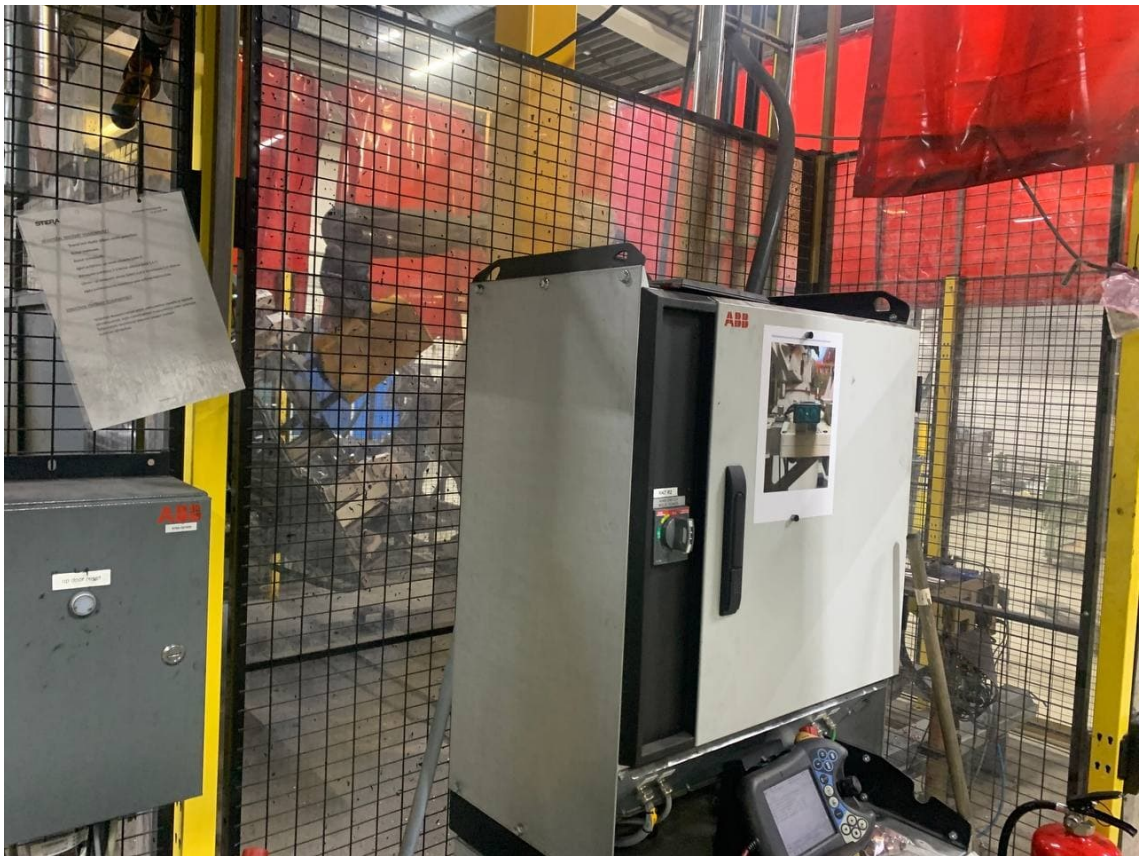
Kuva 16. Esimerkkejä suositeltavista varoituskylteistä (Turvamerkki 2021).

#### 6.4.3 Näkyvyys soluun

Robottisolun käynnistyspaikalta on hieman heikko näkyvyys solun joihinkin osiin. (Kuva 17). Solua käynnistäessä on riskinä, että ei välttämättä tule katsottua tarkasti solun kaikkia osia. Henkilön soluun jäämisen riskiä alentaakseen suosittelemme:

- Käyttämään soluun sisään mentäessä käyntioveen kytkettävää turvalukitusta (riippulukkoa), jolloin soluun sisään menneen henkilön tulee poistua solusta ennen kuin kulkuoven voi laittaa kiinni ja solun käynnistää, ja/tai
- käynnistyksen yhteydessä äänimerkin käyttöä ja käynnistyksen viivettä, jonka aikana mahdollisesti soluun jäänyt henkilö ehtii poistumaan solun sisältä.

Näiden lisäksi olisi hyvä huomioida solua ympäröivien turva-aitojen muovisuojiin läpinäkyvyys. Mikäli ajan myötä muovi kuluu ja sen myötä heikentää näkyvyyttä solun sisään, tulisi muovit vaihtaa uusiin ja läpinäkyviin.

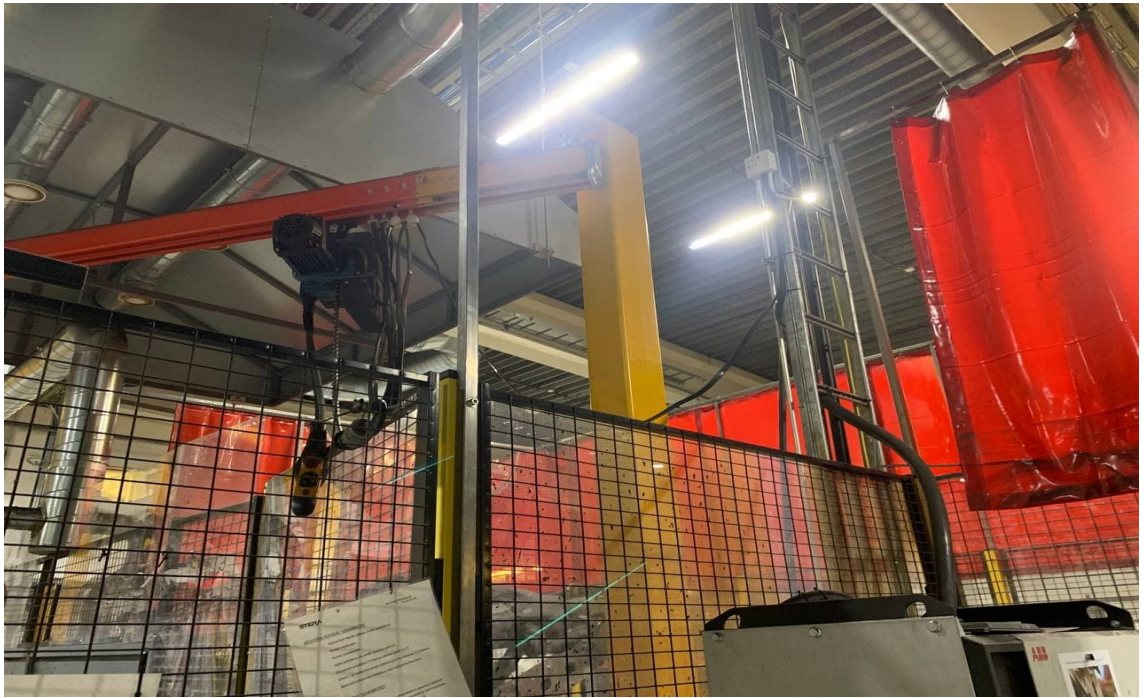


Kuva 17. Käynnistyspaikalta heikko näkyvyys koko soluun.

#### 6.4.4 Pistehitsaus

Robottisolun aitoihin on asennettu muovisuojat, jotka estävät osaltaan pistehitsausrobotin aiheuttamien hitsauskipinöiden roiskumisen solun ulkopuolelle. Lisäksi on asennettu kuvassa (kuva 18) näkyvä punainen roiskesuoja. Suoja ei kuitenkaan ulotu jokaiseen

tarvittavaan kohtaan, jonka myötä kuvassa näkyvän kohdan yli lentää kipinöitä solun ulkopuolelle. Suojaa tulisi jatkaa niin, että kipinöiden pääsy solun ulkopuolelle estyisi.

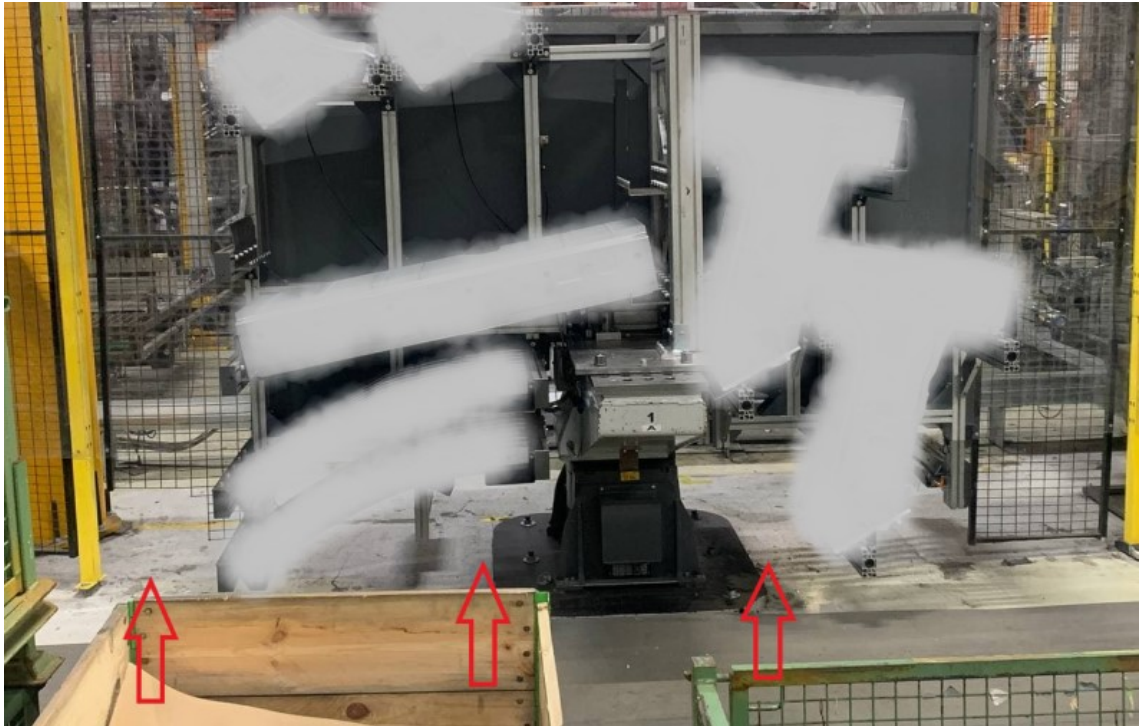


Kuva 18. Pistehitsausrobotin roiskesuojat.

#### 6.4.5 Aukot solun suojuksissa

Kiinteän suojuksen yli, ali, ympäri tai läpi ei saisi olla mahdollista ulottua ja päästä vaarakohtaan. Alta ryömimisen estämiseksi aidan alareunan ja lattian välissä saa olla enintään 180 mm suuruinen aukko. Kuvassa (kuva 19) näkyvän kääntöpöydän ympärillä olevista aukoista on mahdollista ulottua ja jopa kokonaan mahtua vaaravyöhykkeelle koneen ollessa käynnissä. Nämä kyseiset aukot tulisi peittää tai muutoin tehdä mahdottomaksi vaaravyöhykkeelle ulottuminen ja pääseminen.





Kuva 19. Kääntöpöydän ympärillä olevat aukot.

#### 6.4.6 Kompastumisvaarat

Solun sisäpuolella on monia paikkoja, joissa kulku on hieman vaikeaa ja vaarana on kompastuminen. Yksi vaarakohta on heti toisen käyntioven takana. (Kuva 20). Esteet ovat helposti havaittavissa ja soluun sisäänmenon tarve ei ole kovin tiheä. Voidaankin sanoa, että riski kompastumiselle ei ole kovinkaan suuri, mutta mahdollinen. Näistä syistä suosittelisin teippaamaan esteet huomioteipillä sekä asentamaan käyntioviin kompastumisvaara varoituskyltin.



Kuva 20. Kompastumisvaara soluun mentäessä.

## 7 LOPUKSI

Työn tarkoitus oli tehdä selvitystyö CE-merkitsemiseen vaadittavista asioista ja tuottaa aineisto, jonka avulla Stera voi tehdä tuotannon robottisoluun tarvittavat muutokset ja koota CE-dokumentaation. Työtä aloittaessa tarkoituksena oli myös tuottaa CE-dokumentaatio ja tehdä soluun tarvittavat muutokset, mutta lopulta päädyttiin vain selvitystyön tekemiseen.

Alussa tietotaso aiheesta oli melko vähäinen eikä ollut tietoa, mitä kaikkea aihe pitää sisällään. Työn edetessä alkoi hahmottamaan, miten laaja aihe todellisuudessa on. Haasteellista oli myös hahmottaa, mitkä kaikki asiat liittyvät juuri robottisoluun ja sen turvallisuuteen. Lopulta aihetta tutkiessa ja standardeihin syvemmin perehtyessä asiat selkenivät.

Työssä paneuduttiin koneturvallisuutta koskeviin direktiiveihin ja standardeihin, joka oli lopulta eniten aikaa vievää. Suurimman huomion työssä keskityttiin riskin arviointiin, turvalaitteiden ja turvaratkaisuiden vaatimuksiin sekä tekniseen rakennetiedostoon kokonaisuutena.

Lopputuotoksena saatiin koottua CE-merkitsemiseen ja CE-dokumentointiin liittyvät vaatimukset ja ohjeistukset. Tuottamani aineistoja apuna käyttäen yritys pystyy tekemään vaatimustenmukaisen riskin arvioinnin sekä laajan analyysin solua koskevien terveys- ja turvallisuusvaatimusten täyttymisestä. Aineistoja tullaan hyödyntämään yrityksen tarpeisiin, joten työ oli onnistunut ja tarkoituksenmukainen.

## LÄHTEET

Koneasetus 400/2008. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>

SFS-EN 60204-1. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 10218-1. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 10218-2. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 13854:2019. Koneturvallisuus. Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 13857:2019. Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN ISO 14118:2018. Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistymisen estäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Siirilä, T. 2008a. Koneturvallisuus. EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. Keuruu: Inspecta koulutus Oy.

Siirilä, T. 2008b. Koneturvallisuus. EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. Keuruu: Inspecta koulutus Oy.

Stera Technologies 2020. Yritysesittely. Viitattu 27.4.2020. <https://www.stera.com/yritys/yritysesittely/>

Tukes www-sivut 2020. Viitattu 29.4.2020. <https://tukes.fi/etusivu>

Turvamerkki 2021. Viitattu 15.5.2021 Varoitusmerkit. <https://www.turvamerkki.fi/kyltit-ja-opasteet/turvakyltit/varoitusmerkit>

Työturvallisuuslaki 738/2002. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>