

Juho Siironen

YHTEISTYÖ- JA TEOLLISUUSROBOTTISOLUN RISKIEN ARVIOINTI

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Helmikuu 2021**

TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika 1.2 2021	Tekijä/tekijät Juho Siironen
Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka		☒ AMK ☐ YAMK
Työn nimi YHTEISTYÖ- JA TEOLLISUUSROBOTTISOLUN RISKIEN ARVIOINTI		
Työn ohjaaja Tero Kaarlela/ Sakari Pieskä		Sivumäärä 46 + 7
Työelämäohjaaja Tomi Pitkäaho		
Tämän opinnäytetyön aiheena oli tehdä riskien arviointi Centria AMK:n tulevalle uudelle yhteistyö- ja teollisuusrobotisolulle sekä perehtyä itse riskien arvioinnin prosessin eri vaiheisiin. Solu koostui teollisuusrobotista ABB IRB 6700, yhteistyörobotista Fanuc Robot CR-35iA sekä mobiilirobotista Omron LD-250:lle. Robotit tulevat jakamaan saman fyysisen tilan sekä työskentelemään yhteistyössä toistensa ja ihmisten kanssa. Tavoitteena työssä oli määritellä yhteistyösolussa olevia riskejä ja niiden suuruuksia sekä esittää keinoja riskien pienentämiseen. Työssä perehdyttiin yhteistyösolun robotteihin ja niiden turvaratkaisuihin sekä kerrottiin solun tulevasta toiminnasta ja sitä valvovista turvalaitteista. Riskien arviointiprosessin aikana päästiin myös testaamaan siitä luotua VR-ympäristöä ja kerrottiin sen toimivuudesta riskien arvioinnissa. Työssä hyödynnettiin standardeja ISO 12100 ja SFS-EN ISO 10218-2:2011 sekä teknistä spesifikaatiota ISO/TS 15066:2066 ja ne toimivat ohjeistuksena riskien arvioinnissa. Riskien arviointi suoritettiin jokaiselle yhteistyösolussa olevalle robotille, ja sen perusteella saatiin selville mahdolliset solusta aiheutuvat vaarat ja niiden suuruudet sekä annettiin kokonaisarvio solun toiminnasta. Yksittäisinä tekijöinä arviointiprosessissa nousi teollisuusrobotista johtuvia mahdollisia törmäys- ja puristumisvaaroja automaattiajon aikana sekä häiriötilanteista johtuvia mahdollisia vaaratilanteita. Työn tuloksena saatiin kokonaisarvio solun riskien tasosta ja esitettiin mahdollisia keinoja pienentää olemassa olevia riskejä. Opinnäytetyöstä rajattiin pois toiminnot, joita ei ollut vielä päätetty riskien arvioinnin aikana.		
Asiasanat Turvalaitteet, riskien arviointi, robotiikka, VR-ympäristö		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date 1.2 2021	Author Juho Siironen
Degree programme Electrical and automation engineering		
Name of thesis RISK ASSESSMENT OF A ROBOT CELL INCLUDING COBOTS AND INDUSTRIAL ROBOTS		
Instructor Tero Kaarlela/ Sakari Pieskä		Pages 46+7
Supervisor Tomi Pitkäaho		
The subject of this thesis was to make a risk assessment for the future new collaboration and industrial robot cell of Centria university of applied sciences and to get acquainted with the different stages of the risk assessment process itself. The cell consisted of an industrial robot ABB IRB 6700, a collaborative robot Fanuc Robot CR-35iA and a mobile robot for Omron LD-250. The robots will share the same physical space and work in collaboration with each other and humans. The aim of the work was to define the risks in the co-operation cell and their magnitudes, and to propose ways to reduce the risks. In the thesis the robots of the co-operation cell and their security solutions were introduced, as well as the future operation of the cell and the security devices that supervise it. During the risk assessment process, the VR environment was also tested and its functionality was explained in the risk assessment. The standards ISO 12100 and SFS-EN ISO 10218-2: 2011 as well as the technical specification ISO / TS 15066: 2066 were utilized in the work and they serve as guidelines for risk assessment. A risk assessment was performed for each robot in the co-operating cell, on the basis of which the possible dangers posed by the cell and their magnitudes were identified and an overall assessment of the cell's function was given. As individual factors in the assessment process, the potential hazards of collisions and crushing caused by the industrial robot during the automatic run as well as the potential hazards due to disturbances increased. The result of this thesis was an overall assessment of the level of cell risks and possible ways to reduce the existing risks. The thesis excluded activities which wer not decided during the risk assessment.		
Key words Safety devices, risk assessment, robotics, VR environment		

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 ROBOTTIEN MÄÄRITTELYÄ.....	7
2.1 Teollisuusrobotti.....	7
2.2 Yhteistyörobotti.....	8
2.3 Mobiilirobotti.....	9
3 TURVALAITTEITA	10
3.1 Valoverho	10
3.2 Konenäköpohjaiset turvalaitteet.....	11
3.3 Laserskanneri	11
3.4 Tuntomatto	12
4 ROBOTTISOLU VIRTUAALITODELLISUUDESSA	14
5 LAINSÄÄDÄNTÖ JA STANDARDIT	17
5.1 SFS-EN ISO 10218-1.....	17
5.2 SFS-EN ISO 10218-2 2011.....	17
5.3 ISO/TS 15066:2066.....	18
6 ROBOTTIYHTEISTYÖSOLU	19
6.1 IRB 6700.....	20
6.2 Fanuc Robot CR-35iA.....	21
6.3 Omron LD-250	22
6.4 Turvavaloverho Sick M4000	24
6.5 Turvavaloverho Omron F3SG	24
6.6 Sick S300 -turvalaserskanneri	25
6.7 SafetyEYE-turvakamera	26
7 RISKIEN ARVIONNIN MENETELMÄ	28
7.1 Järjestelmän raja-arvojen määrittäminen	28
7.2 Käyttörajat.....	28
7.3 Tilarajat	29
7.4 Aikarajat	29
7.5 Muut raja-arvot.....	29
7.6 Vaarojen tunnistaminen	29
7.7 Riskien arviointi	30
7.8 Vaarojen poistaminen tai riskin pienentäminen	32
8 RISKIARVIONNIN LAATIMINEN	33
8.1 Perehtyminen.....	33
8.2 Robottijärjestelmän rajojen määrittäminen	33
8.3 Vaarojen tunnistaminen	34
8.4 Riskien suuruuden arviointi.....	36
8.5 Vaarojen poistaminen tai riskin pienentäminen	41

8.6 Tulokset.....	43
9 YHTEENVETO	45
LÄHTEET	47
LIITTEET	
KUVIOT	
KUVIO 1. Valoverhojen käyttökohteita	10
KUVIO 2. Poikkileikkaus SafetyEYE -valvontakartiomallista	11
KUVIO 3. Laserkamera valvoo kulkuaukkoa.....	12
KUVIO 4. Turvamaton käyttö	13
KUVIO 5. VR-ympäristö	14
KUVIO 6. Valoverho tunnistaa ihmishahmon.....	15
KUVIO 7. Valoverho ja valokenno tunnistavat robotit	15
KUVIO 8. VR-maailman näkymä VR-lasien kautta	16
KUVIO 9. Suunnittelukuva robottisolusta.....	20
KUVAT	
KUVA 1. ABB:n valmistama IRB 6700 teollisuusrobotti.....	21
KUVA 2. Yhteistyörobotti Fanuc Robot CR-35iA.....	22
KUVA 3. Omron LD-250 -mobiilirobotti.....	23
TAULUKOT	
TAULUKKO 1. Sick M4000- valoverhon ominaisuuksia (SICK 2020).....	24
TAULUKKO 2. Omron F3SG -valoverhon ominaisuuksia	25
TAULUKKO 3. Sick S300 -laserskannerin ominaisuuksia.....	25-26
TAULUKKO 4. Pilz SafetyEYE -turvakameran ominaisuuksia.....	27
TAULUKKO 5. Riskimatriisi.....	31
TAULUKKO 6. Seurausten vakavuus.....	31
TAULUKKO 7. Yhteistyörobotin riskien tunnistaminen.....	35
TAULUKKO 8. Teollisuusrobotin riskien tunnistaminen.....	35-36
TAULUKKO 9. Mobiilirobotin riskien tunnistaminen	36
TAULUKKO 10. Yhteistyörobotin riskin suuruuden arviointi	37-39
TAULUKKO 11. Teollisuusrobotin riskin suuruuden arviointi	39-41
TAULUKKO 12. Mobiilirobotin riskin suuruuden arviointi.....	41
TAULUKKO 13. Vaarojen poistaminen tai riskin pienentäminen.....	42
TAULUKKO 14. Yhteenveto solun riskien suuruuksista turvalaitteiden ollessa toiminnassa	44

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä riskien arviointi Centria AMK:n tulevalle uudelle robottisolulle ja kokeilla sen toimivuutta VR-ympäristössä sekä arvioida, miten VR-ympäristön käyttö soveltuu robottisolun riskien arvioinnissa. Riskien arvioinnissa hyödynnettiin standardien mukaista ISO 12100 ja ISO 10218:2 2011 riskien arvioinnin prosessia sekä hyödynnettiin teknistä spesifikaatiota ISO/TS 15066: 2066.

Opinnäytetyössä aihe rajoittui uuden robottisolun ABB IRB 6700 -teollisuusrobotin, Fanuc Robot CR-35iA -yhteistyörobotin sekä Omron LD-250 -mobiilirobotin, ja niille sillä hetkellä suunniteltujen turvalaitteiden riskien arviointiin. Siinä myös testattiin robottisolusta suunniteltua VR-ympäristöä riskien arvioinnin apuna. Arviointi toteutettiin standardin ISO 10218:2 2011 arviointiprosessin ohjeistuksen mukaisesti määrittelemällä solussa olevia käyttörajoja ja käyttäen riskimatriisia tunnistamaan solussa olevien robottien ja niitä suojaavien turvalaitteiden riskien tasoa.

Opinnäytetyössä kerrotaan tulevasta yhteistyö- ja teollisuusrobottisolusta ja sitä valvovista turvalaitteista, VR-ympäristön kokeilemisesta sekä robottisolun riskien arviointiprosessista. Tuloksena esitetään kokonaisarvio yhteistyösolusta havaittujen riskien suuruuksista ja annetaan ehdotuksia havaittujen riskien pienentämiseen. Tuloksissa on myös kerrottu, miten VR-ympäristöä voidaan käyttää robottisovelluksien riskien arvioinnin apuna.

2 ROBOTTIEN MÄÄRITTELYÄ

Vaikka nykyaikaisen teollisuusrobottien historia alkaa jo vuodesta 1954 (IFR 2020b), ei roboteille tai robotiikalle ole yhtä yleisesti hyväksyttyä määritelmää. (Malm 2008, 1). Roboteilla voidaan tarkoittaa hyvinkin erilaisia koneita, kuten tietokoneohjattuja koneita, ihmisen muotoista konetta, ihmistyövoiman korvaavaa konetta tai laitetta, joka on suunniteltu käytettäväksi tietokoneelta tai vastaavalta laitteelta ja joka kyetään uudelleen ohjelmoimaan. (JAMK 2020.)

Eri maissa on erilaisia käytäntöjä ja standardeja robottien määritelmiksi. Euroopan komissio on antanut päätöslauselmassa 2017 suosituksia yleisille robottien tai robotiikan määritelmille. Näitä suosituksia ja standardeja sovelletaan EU:n alueella. Robotiikan yleisiin periaatteisiin kuuluvat ns. Asimovin lait, jotka ovat tarkoitettu robottien, autonomisten ja itseoppivien robottien suunnittelijoille, valmistajille ja käyttäjille. (Euroopan parlamentti 2017.)

Asimovin lait:

1. ”Robotti ei saa vahingoittaa ihmistä eikä laiminlyönnin johdosta tuottaa ihmiselle vahinkoa.”
2. ”Robotin on toteltava ihmisen sille antamia määräyksiä, paitsi jos ne ovat ristiriidassa ensimmäisen pääsäännön kanssa.”
3. ”Robotin on varjeltava omaa olemassaoloaan niin kauan kuin tällainen varjeleminen ei ole ristiriidassa ensimmäisen eikä toisen pääsäännön kanssa.”

Lisäksi kohta 0: ”Robotti ei saa vahingoittaa ihmiskuntaa eikä laiminlyönnin johdosta tuottaa ihmis-kunnalle vahinkoa.” (Malm 2008, 2.)

2.1 Teollisuusrobotti

Standardissa ISO 10218-1 on määritelty robotin olevan ”Teollisuuden automaatio-sovelluksissa käytettäväksi tarkoitettu uudelleen ohjelmoitavissa oleva monikäyttöinen käsittelylaite, jonka akseleista vähintään kolme on ohjelmoitavissa ja joka voi olla kiinteästi asennettu tai liikkuva”. (SFS 10218-1 12.)

Teollisuusrobotteja on hyvin erilaisia riippuen niiden käyttötarkoituksesta ja ne voidaan määritellä niiden nivelrakenteiden, toimilaitteiden, ohjelmointitavan sekä käyttötarkoituksen mukaan. Tavallisimpia robottityyppejä ovat suorakulmaiset-, scara-, kiertyväniveliset- ja rinnakkaisrakenteiset robotit. (Keinänen & Sumujärvi 298-299.) Teollisuusrobotteja käytetään teollisuudessa niiden tarjoaman tarkkuuden, voiman ja joustavuuden vuoksi. Niitä käytetään mm. autoteollisuudessa, lääketeollisuudessa ja elektroniikkateollisuudessa. Suosittuja robotteja teollisuudessa ovat 5-6 akseliset nivelvarsirobotit, jotka kykenevät kappaleiden siirtoon sekä hitsaukseen. (MHI 2020.)

2.2 Yhteistyörobotti

Yhteistyörobotit eli cobotit keksivät vuonna 1996 Edward Colgate ja Michael Peshkin. 2004-luvulla KUKA Robotics lanseerasi ensimmäisen yhteistyörobottinsa LBR 3:n yhteistyökumppaneittensa kanssa ja vuonna 2008 yksi maailman suurimmista robottivalmistajista Universal-robots julkaisi oman UR5 yhteistyörobotin. (Wiredworkers 2020.) Universalin UR5 oli maailman ensimmäinen cobotti, joka pystyi toimimaan turvallisesti ihmisen vierellä. (Universal-robots 2020b.)

Yhteistyöroboteista puhutaan silloin, kun ihminen ja robotti työskentelevät samassa tilassa tai työpisteessä. Robotti ei korvaa ihmistä, vaan tekee yhteistyötä ihmisen kanssa. Yhteistyörobotti on ohjelmoitu työskentelemään ihmisten läheisyydessä turvallisesti eri yhteistoimintatyyppiä käyttäen. (Universal-robots 2020b). Yhteistyörobotin turvallisuus voidaan toteuttaa havainnoimalla sen ympäristöä ja cobotin mekaniikkaa erilaisilla antureilla sekä rajoittamalla liikenopeuksia ja voimia näiden anturitietojen perusteella.

Useimpien yhteistyörobottien turvallisuus perustuu liikenopeuden ja tehon rajoittamiseen ja näissä sovelluksissa oletetaan ihmisen voivan koskea yhteistyörobottiin. Yhteistyörobottien tehoille ei ole tällä hetkellä tiettyä rajaa, vaan teho täytyy ottaa huomioon robotin tehtävää suunnitellessa ja robotin turvatoimet täytyy toteuttaa niin, ettei toiminta aiheuta vaaraa ihmiselle tai ympäristölle. (Universal-robots 2020a.)

Teknisessä spesifikaatiossa 15066 määritellään yhteistyörobottijärjestelmien turvallisuutta koskevilla ohjeilla neljä yhteistoimintatyyppiä:

- a) turvallisuusluokiteltu valvottu pysäytys
- b) käsiohjaus

c) nopeuden ja erotuksen seuranta

d) tehon ja voiman rajoittaminen. (ISO/TS 15066)

2.3 Mobiilirobotti

Mobiilirobotti kykenee liikkumaan toimintaympäristössään, eikä sitä ole kiinnitetty kiinteästi tiettyyn fyysiseen sijaintiin. Mobiilirobotit voivat olla autonomisia (AMR -autonominen mobiilirobotti), eli ne pystyvät navigoimaan hallitsemattomassa ympäristössä ilman ulkoisia tai sähkömekaanisia ohjauslaitteita. Ne voivat olla myös autonomisia opastettuja ajoneuvoja (AGV), jolloin ne tarvitsevat ulkoisia opastuslaitteita, joiden avulla ne kykenevät kulkemaan ennalta määritetyllä navigointireitillä suhteellisen kontrolloidussa tilassa. (Omron 2020a.) Mobiilirobotteja käytetään yleisemmin materiaalien siirtoon eri ympäristöissä, kuten tuotantolaitoksissa, logistiikkakeskuksissa, varastoissa ja sairaaloissa. (IFR 2020a.)

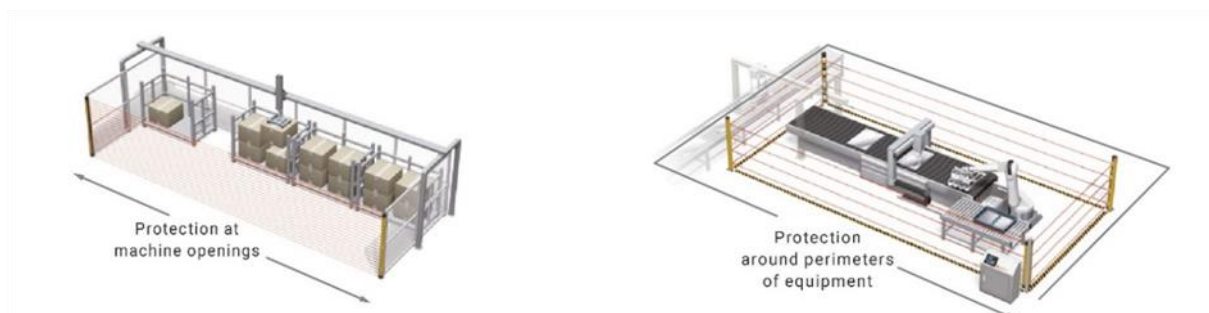
3 TURVALAITTEITA

Robottiikkaan ja sen sovelluksiin on saatavilla monia erilaisia turvalaitteita. Turvalaitteiden valintaan vaikuttavat kone tai sovellus ja niiden käyttö- ja ympäristöolot. Turvalaitteilla voidaan pyrkiä estämään robotiikan sovelluksissa käynnistymisiä tai odottamattomia liikkeitä, rajoittamalla pääsyä tietyille alueille. Turvalaitteita voidaan myös käyttää havainnoimaan liikettä vaaravyöhykkeen lähettyvillä. Riskien arvioinnilla pyritään saamaan selville turvalaitteiden soveltuvuus kohteeseen sekä tunnistamaan siitä mahdollisesti aiheutuvia vaaratilanteita.

3.1 Valoverho

Valoverhoja käytetään robotiikan sovelluksissa turvalaitteina kulkuaukkojen valvontaan ja estämään kehon osien tai kehon pääseminen vaara-alueelle. (Malm 2008, 19). Valoverhon yksiköiden koko ja sijointikorkeus valitaan tarvittavan suojaustason mukaan. Esimerkiksi käsille tarkoitettu valoverhon asennus on käsien työskentelykorkeudella ja valon säteiden määrän on oltava riittävä havaitsemaan kämmenen koon (<40mm). (Siirilä & Kerttula 2009, 106.) Käytettäessä valoverhoa vartalon suojaukseen on valoverho asennettava alemmas kuin käsien suojauksessa. Valoverhoja käytettäessä huomioon täytyy ottaa, ettei valoverhon yli, ali tai sivuilta pääse käsiksi järjestelmässä oleviin liikkuviin osiin. (Malm 2008, 19-20.)

Valoverho voidaan ohjelmoida tunnistamaan kappale muodon mukaan, jonka valonsäteiden katkeamisen se hyväksyy aiheuttamatta järjestelmässä pysäytystä. Tällöin valoverhoa voidaan käyttää sovelluksissa, joissa on liikkuvia materiaaliveirtauksia tai tunnistamaan kappaleita niiden muodon mukaan. Kuitenkin kaikki muut opetetusta poikkeavat muodot, kuten ihmiset aiheuttavat pysäytyksen. (Malm 2008, 19-20.) (KUVIO 1).



KUVIO 1. Valoverhojen käyttökohteita (Omron 2020)

3.2 Konenäköpohjaiset turvalaitteet

Konenäköön (Machine vision) perustuvat kamerajärjestelmät ovat kameroiden ja tietokoneohjelmistojen 2D-tai 3D-tekniikan avulla toteutettuja kappaleiden tunnistamismenetelmiä. (Keinänen & Sumujärvi, 310). Niitä käytetään yleisesti robottisovelluksissa mm. valvontatehtävissä, mittauksissa ja tunnistamistehtävissä (SICK 2020), joissa konenäön avulla voidaan selvittää mm. kappaleen tai kohteen sijainti, mitta, muoto, väri tai koko. (Keinänen & Sumujärvi, 310).

Konenäköä voidaan käyttää myös tilanvalvontaan, joissa kamerat kykenevät kolmiulotteiseen havainnointiin. Turvalaitevalmistaja Piltz on tehnyt konenäköön perustuvan kolmiulotteisen turvakamerajärjestelmän tilanvalvontaan, jolla voidaan luoda vaara-alueita ja lähestymisalueita. Sillä kyetään tunnistamaan mahdollisia tunkeutumisia vapaasti määriteltäviin varoitukseen ja suoja-alueisiin. (Piltz 2020). Kuviossa 2 (KUVIO 2) on havainnollistettu turvakameran toimintaa, kun se on asennettu valvottavan alueen yläpuolelle.



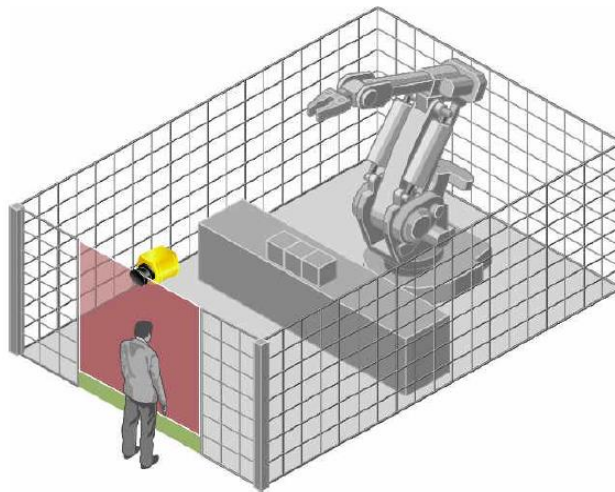
KUVIO 2. Poikkileikkaus SafetyEYE valvontakartiomallista (Piltz 2020)

3.3 Laserskanneri

Laserskanneri on optinen turvalaite, jota voidaan käyttää tunnistamaan eri alueita, kuten valvonta-alueen lähestymistä tai pysäyttämistä. Laserskannerissa edestakainen lasersäde skannaa tiettyä aluetta, ja jos

lasersäde havaitsee sille määritetyille alueelle tulevan muutoksen, kuten ihmisen, lähettää se pysäytys-signaalin. Laserskannerin tunnistamisalueita voidaan määrittää haluttuun muotoon tai rajata alueesta tiettyjä osia ohjelmallisesti niin, etteivät ne aiheuta tunnistamista. (Siirilä & Kerttula 2009, 107.)

Laserin toiminta perustuu lähettimeltä lähetetyn valonsäteen palautumiseen kohteessa heijastuttuaan ja siihen kuluvan ajan mittaamiseen. (Malm 2008, 23-24.) Kuviossa 3 on esitetty laserskannerin avulla suoritettua kulkuaukon valvontaa. Siinä laserskanneri on asennettu kulkuaukon yläpuolelle ja esimerkiksi tunnistaessaan ihmisen se pysäyttää robotin toiminnan. (KUVIO 3).



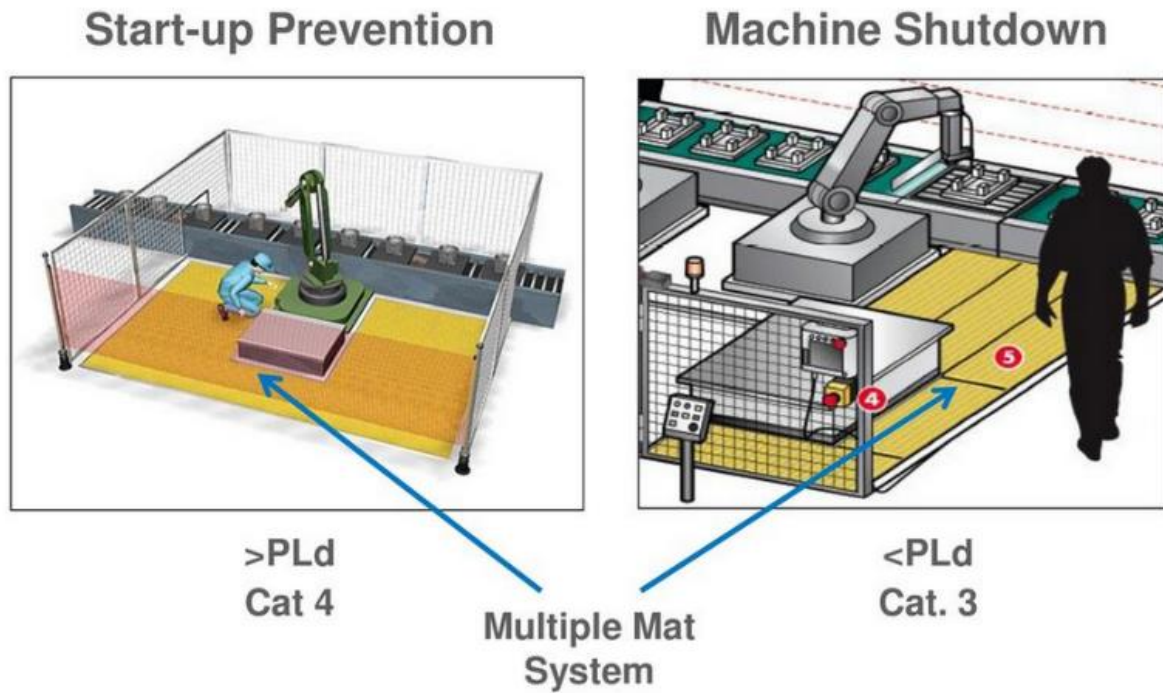
KUVIO 3. Laserkamera valvoo kulkuaukkoa (Piltz 2020)

3.4 Tuntomatto

Tuntomattoja käytetään tilanteissa, joissa halutaan havaita vaara-alueelle tuleva henkilö tai henkilön oleminen vaara-alueella. Tuntomatto voi toimia lähestymispysäyttimenä, jolloin se havaitsee vaara-alueelle menevän henkilön. Sitä voidaan myös käyttää läsnäolon tunnistamiseen, jolloin se estää sille asetun koneen tai laitteen käynnistymisen. (Siirilä & Kerttula 2009, 114.) (KUVIO 4).

Tuntomatot ovat paineeseen tai kosketukseen perustuvia turvalaitteita. Maton sisälle on rakennettu kaksi metallilevyä, jotka ovat normaalitilassa eristetty toisistaan. Tuntomattoon astuessa nämä joustavat eriste-elementit koskettavat toisiaan ja aiheuttavat piirin sulkeutumisen. (Siirilä & Kerttula 2009, 114-115.) Niiden paksuudet ovat yleensä ohuita noin 10-15 mm paksuja ja niiden reunoja kierteää loiva alumiini-

profiili pienentäen kompastumisriskiä ja toimien kiinnityksenä matolle. Reunoja kiertää myös muutamman sentin levyinen ei-aktiivinen alue riippuen rakenteesta. (Malm 2008, 21.) Ne ovat myös erittäin kestäviä ja pitkäikäisiä turvalaitteita ja kestävätkin hyvin erilaisia kemikaaleja, kulutusta, kosteutta ja iskuja. (Malm 2008, 20-21.)



KUVIO 4. Turvamaton käyttö (Omron 2020)

4 ROBOTTISOLU VIRTUAALITODELLISUUDESSA

VR-ympäristöjä on jo vuosia käytetty erilaisissa simulaattoreissa ja peliteollisuudessa. VR-ympäristöjä käytetään nykyään simulaattoreiden lisäksi myös henkilökunnan koulutuksissa sekä teollisuudessa testaamaan järjestelmien toimivuutta. Automaatio- ja robotiikan sovelluksissa virtuaaliympäristön hyödyntäminen auttaa valitsemaan tarkoitukseen soveltuvat robotit, koneet ja turvalaitteet. (RoboDK 2020.)

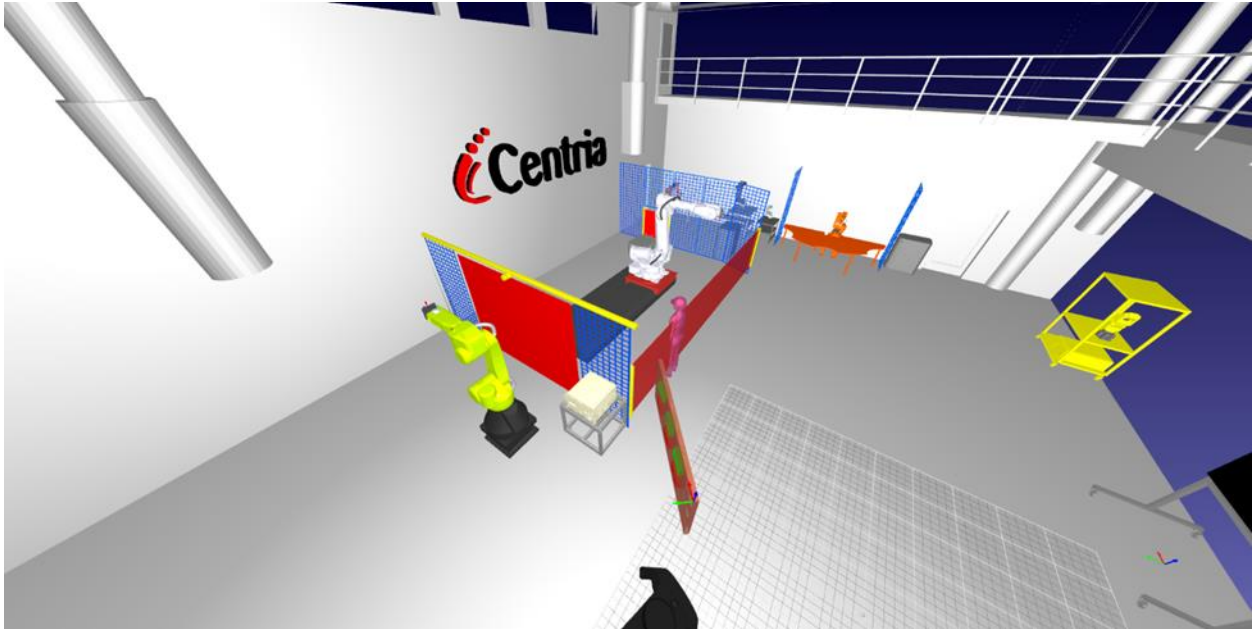
Opinnäytetyössä oli ajatuksena hyödyntää valmisteilla olevaa virtuaaliympäristöä ja testata, miten sen käyttäminen voi auttaa tunnistamaan robottien ja turvalaitteiden sijoittelusta aiheutuvia vaaratilanteita. Virtuaaliympäristöön oli mallinnettu tulevista roboteista yhteistyö- ja teollisuusrobotti sekä teollisuusrobotin työaluetta suojaavia turvalaitteita, kuten valoverhot ja laserskanneri. VR-ympäristössä pystyi testaamaan robottien soveltuvuutta solussa, kokeilemalla niiden liikkeistä aiheutuvia törmäys- ja puristumistilanteita. (KUVIO 5.)



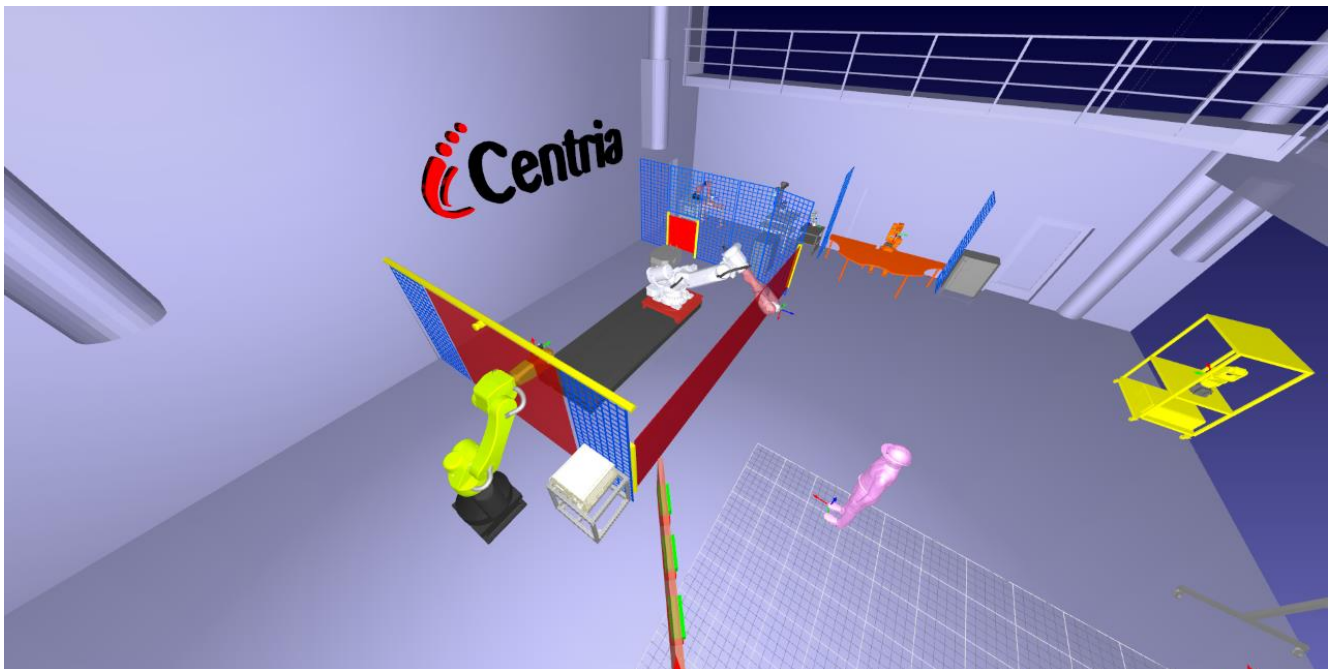
KUVIO 5. VR-ympäristö (RoboDK)

VR-ympäristössä voitiin tutkia teollisuusrobotin ja yhteistyörobotin liikeratoja solussa ja turvalaitteiden etäisyyksiä ja toimintaa. Näiden toiminta auttoi havainnoimaan riskien arvioinnissa roboteista aiheutuvia mahdollisia vaaroja, kuten sitä, miten lineaariradan päälle asennetun teollisuusrobotin sijoittelu vaikuttaa sen ulottuvuuteen ja sitä turvaavien turvalaitteiden toimintaan. Virtuaalitodellisuudessa testattiin

valoverhojen soveltuvuutta robottisolun toimintaan kokeilemalla eri esineiden, ihmishahmojen ja robottien kosketusta turvalaitteisiin sekä sitä, toteutuvatko turvalaitteiden vähimmäisetäisyydet. (KUVIO 6) (KUVIO 7)

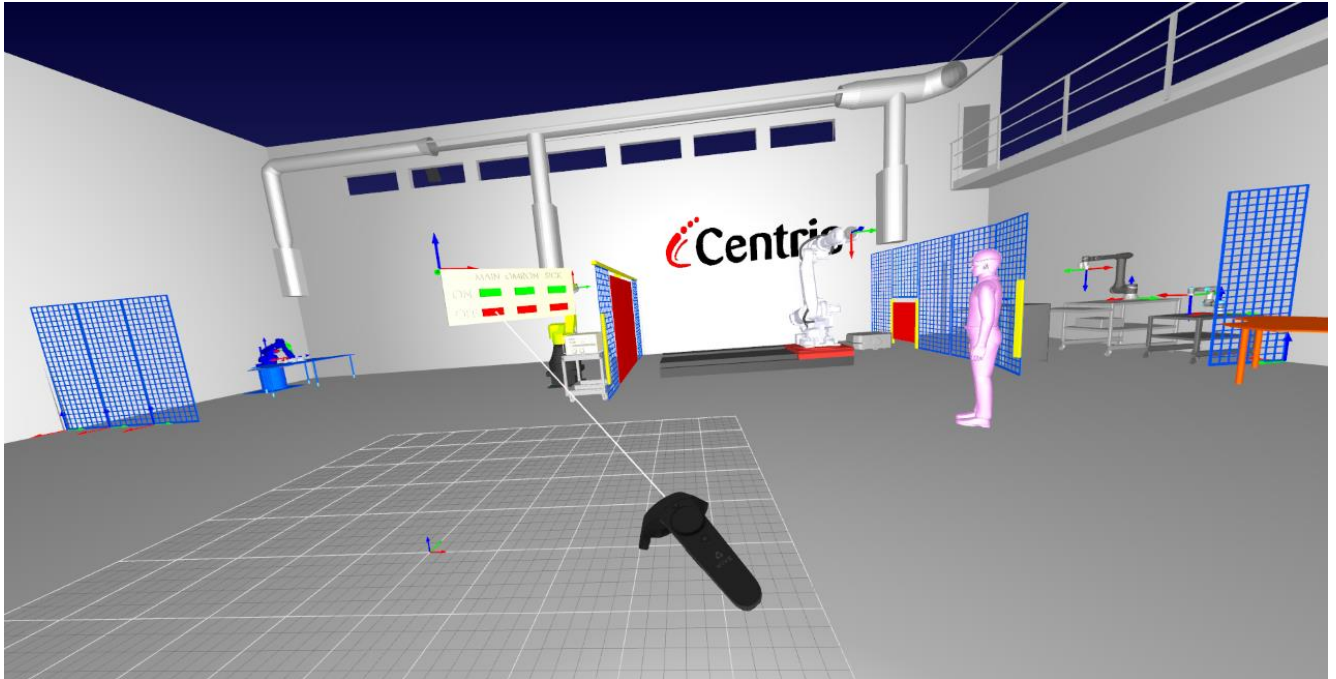


KUVIO 6. Valoverho tunnistaa ihmishahmon



KUVIO 7. Valoverho ja valokenno tunnistavat robotit (RoboDK)

Virtuaalitodellisuudessa robottisolun ympäristössä pystyttiin liikkumaan esteettömästi ja käynnistämään turvalaitteita yksitellen toimimaan (KUVIO 8). VR-maailma tarjoaa mahdollisuuden kokeilla eri variaatioita laitteiden ja robottien sijoittamiselle ja tunnistaa näiden soveltuvuutta robottisoluun.



KUVIO 8. VR-ympäristön näkymä VR-lasien kautta

5 LAINSÄÄDÄNTÖ JA STANDARDIT

Robotteja varten on luotu kansainvälisiä säädöksiä ja teknisiä spesifikaatioita, joiden vaatimukset niiden pitää täyttää, kuten C-luokan standardit SFS ISO-EN 180218-1 ja SFS ISO-EN 180218-2 2011 sekä EU-konedirektiiviin 2006/42/EC, joka Suomessa on kirjattu lainsäädäntöön koneasetuksena 400/2008. Yhteistyörobotteja varten on laadittu tarkennus ISO/TS 15066:2016, joka täsmentää turvallisuusvaatimuksia yhteistyössä toimiville teollisuusrobottijärjestelmille ja työympäristölle. Se täydentää standardien ISO 10218-1 ja ISO 10218-2:2011 annettuja vaatimuksia ja ohjeita yhteistyöhön perustuville teollisuusrobottien toiminnalle mukaan lukien mobiilirobotit.

5.1 SFS-EN ISO 10218-1

”SFS-EN ISO 10218-1:2011, Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit”- standardin ensimmäinen osio käsittelee teollisuusroboteille määritellyjä vaatimuksia. Lisäksi se antaa ohjeita niiden suunnittelulle, turvallisuustoimenpiteille ja käytölle. Se käsittelee robotteihin liittyviä perusvaaroja ja esittää näiden riskien poistamiseen tai pienentämiseen liittyviä vaatimuksia. (SFS-EN ISO 10218-1:2011.)

5.2 SFS-EN ISO 10218-2 2011

”SFS-EN ISO 10218-2:2011 Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät” -standardin toinen osa on suunniteltu robottijärjestelmille. Standardissa käsitellään robottijärjestelmien suunnittelua, asennusta, huoltoa, käyttöä sekä turvalaitteita. Standardi antaa ohjeistusta robottijärjestelmän integroimiseksi osaksi yhteistä kokonaisuutta. Standardi antaa tarvittavia tietoja tunnistaa robottisolujen perusvaaroja ja siinä esitetään tarvittavien riskien pienennystä tai poistamista. (SFS-EN ISO 10218-2:2011.)

5.3 ISO/TS 15066:2066

”ISO/TS 15066:2066 Robots and robotic devices -- Collaborative robots” on tekninen spesifikaatio, jonka on laatinut kansainvälinen standarditoimisto täydentämään ISO 10218-1- ja ISO 10218-2 -standardien ohjeistusta yhteistyörobottien toimintaan ja turvatoimille sekä asettaa vaatimuksia näiden työtillalle, toiminnoille ja ohjausjärjestelmille. (ISO/TS 15066:2066.)

Standardissa esitellään eri menetelmiä robotin ja ihmisen (yhteistyöhön) vuorovaikutukseen ja erilaisiin keinoihin, joilla kyetään parantamaan turvallisuutta ja pienentämään yhteisessä tilassa tapahtuvia robotin liikkeistä johtuvia riskejä ihmiselle. Teknistä spesifikaatiota ei sovelleta kuin teollisuuden robotteihin, vaikka turvallisuusperiaatteet ovat hyödyllisiä myös muilla robotiikan alueilla.(ISO/TS 15066:2066.)

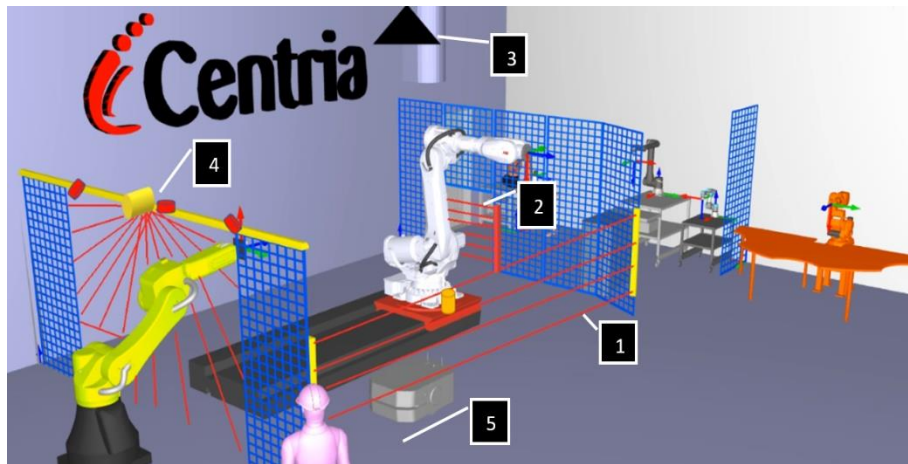
6 ROBOTTIYHTEISTYÖSOLU

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä yhteistyörobottisolu on rakenteilla Centria-ammattikorkeakoulun tiloihin. Solun pääkäyttäjinä tulevat olemaan ammattikorkeakoulun opettajat ja opiskelijat. Solussa on tarkoitus esitellä teollisuusrobotin, yhteistyörobotin, mobiilirobotin ja ihmisen välistä yhteistyötä ja turvallisen yhteistyön mahdollistavia turvalaitteita. Robottisolu sijaitsee seinän vieressä ja koostuu lineaariradalla olevasta ABB IRB 6700 -teollisuusrobotista, Fanuc CR-35iA -yhteistyörobotista ja Omron LD-250 -mobiilirobotista. Mobiilirobotti ja yhteistyörobotti ovat suunniteltuja toimimaan ihmisten kanssa yhteistyössä, joten niiden pääsyä työalueelle ei tarvitse valvoa ulkoisilla turvalaitteilla.

Teollisuusrobotti on liikenopeuksiensa ja voimiensa vuoksi ihmiselle vaaraa aiheuttava tekijä. Tämän vuoksi pääsyä teollisuusrobotin työalueelle on rajoitettu aidoilla päädyistä. Aidoissa olevia kulkuaukkoja valvotaan valoverhoilla, turvalaserskannerilla, turvakameralla sekä myöhemmin asennettavalla turvamatoilla. Lisäksi hätäseis-painikkeita on roboteissa ja niiden ohjaimissa. Myös solun ulkopuolella on hätäseis-painike, jonka painallus pysäyttää kaikkien tässä tilassa olevien laitteiden toiminnan. (KUVIO 9.)

Robottisolun layout on seuraavanlainen: Robottisolun turva-alue rajoittuu takaosastaan seinään ja sivuiltaan aitoihin ja on edestä avoin. (KUVIO 9.) Robottisolua valvotaan seuraavilla laitteilla:

1. Turvavaloverho: Teollisuusrobotin edessä on SICK M4000 -turvavaloverho, joka pysäyttää teollisuusrobotin liikkeen edestä lähestyessä.
2. Turvavaloverho: Solun päädyssä on Omron valoverho, joka sallii ainoastaan mobiilirobotin pääsyn työalueelle. Mobiilirobotista poikkeavat muodot pysäyttävät teollisuusrobotin toiminnan.
3. Turvakamera: Solun yläpuolelle kattoon on asennettu Piltz SafetyEYE -turvakamera, joka valvoo teollisuusrobotin työaluetta yläpuolelta. Turva-alueita on kaksi: ulompi turva-alue hidastaa robotin liikettä 10 prosenttiin ja teollisuusrobottia lähempänä oleva turva-alue pysäyttää robotin toiminnan kokonaan.
4. Laserskanneri: Sick S300 -turvalaserskanneri pysäyttää teollisuusrobotin toiminnan toisesta päädyistä lähestyessä. Turvalaserskanneriin on ohjelmoitu erikseen kulkuaukko mobiilirobottia varten solussa.
5. Turvamatto: Turvamatto tulee olemaan liikuteltavissa solun eri puolille ja tunnistaessaan siihen tulevan paineen, aiheuttaa se teollisuusrobotin toiminnan pysähtymisen.



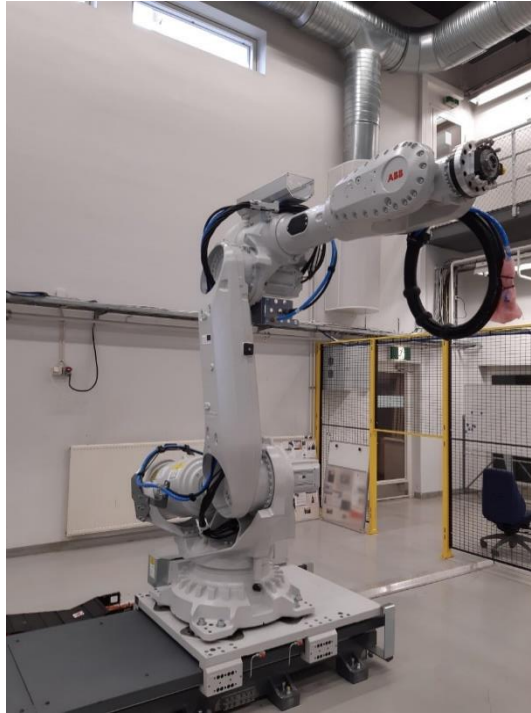
KUVIO 9. Suunnittelukuva robottisolusta (Sarlin. 2020)

6.1 IRB 6700

Teollisuusrobotti IRB-6700 kuuluu ABB:n robottien 7-sukupolveen ja sitä käytetään teollisuudessa tyyppillisesti pistehitsaukseen ja materiaalinkäsittelyyn. IRB-6700/200 -malli on massaltaan 1250 kg:n painoinen 6-vapausasteinen nivelvarsirobotti. Ulottuvuutta sillä on 2.6 metriä, ja vääntökykyä 981 Nm, ja sillä kyetään käsittelemään 200 kg:n painoista taakkaa. (ABB 2020.) Teollisuusrobotin käsittelykyvyn ulottuvuudet löytyvät tarkemmin teknisistä tiedoista. (LIITE 1).

Teollisuusrobotti on asennettu robottisolussa lineaariradan päälle. Tämä luetaan robotille yhdeksi vapausasteeksi, ja tällöin robotilla on 7 vapausastetta. Teollisuusrobotin ohjelmointi tapahtuu käsiohjaimella. Ohjelmointitilassa robotin liikenopeus on hidastettu 250 mm:iin/s turvallisuuden takaamiseksi. (ABB 2020.) (KUVA 1.)

Vaara-alueen turvaratkaisuna on SafetyEYE-turvakamera, jolla on määritetty teollisuusrobotin turva-alueet. Turvakameralla määritetään teollisuusrobotin lähestymisalue, joka hidastaa robotin liikenopeutta ja vaara-alue, joka pysäyttää teollisuusrobotin.



KUVA 1. ABB:n valmistama IRB 6700 teollisuusrobotti

6.2 Fanuc Robot CR-35iA

Fanuc CR-35iA-yhteistyörobotti (cobotti) on tällä hetkellä markkinoiden suurikokoisin ja vahvin yhteistyörobotti. Se on suunniteltu yhteistyöhön ihmisten kanssa ja käytettäväksi raskaiden töiden tekemiseen ihmisten sijaan. Se on 6-nivelinen käsivarsirobotti ja se voi työskennellä ihmisten kanssa ilman turvaaitoja. (Fanuc 2020.)

CR-35iA on pinnoitettu pehmeällä kumisella suojalla, jota koskettaessa cobotin toiminta pysähtyy. Suojalla on myös pyritty poistamaan cobotin rungon terävät metalliset reunat. Mahdollisen törmäyksen sattuessa pinnoitus toimii iskunvaimentimena pehmentäen törmäystä. Cobotissa on myös voimantunnistus, joka pysäyttää sen toiminnan tietyn voiman ylittyessä. Vakioasennuksena pysäytysvoima on 150 N, jota voi muuttaa tarpeen mukaan. Edellä mainitut ominaisuudet tekevät tästä cobotista ihmiselle turvallisen yhteistyöhön eli yhteistyörobotin. (Fanuc 2020.) Tarkemmat tiedot teknisistä tiedoista löytyvät tietolomakkeesta. (LIITE 2)

CR-35iA:ta ohjelmoidaan käsiohjelmointilaitteella tai työkalun tilalle tulevalla käsiohjaimella, jolla pystytään opettamaan cobotille tarvittavat liikeradat. Cobotin ollessa liian lähellä, voidaan sitä tönäistä kauemmaksi sen kahden akselin antaessa periksi ja pysäytysvoiman ylittyessä cobotti pysähtyy. (Fanuc 2020.) (KUVA 2.)



KUVA 2. Yhteistyörobotti Fanuc Robot CR-35iA

6.3 Omron LD-250

Omron Adept LD- mobiilirobotti on alun perin Adept Technologiesin kehittämä mobiilialusta tavarankuljetukseen. Aiemmin se tunnettiin Adept Lynx -nimellä mutta Omronin ostaessa sen ja uudestaan julkaistuaan sen vuonna 2016 sen nimitys vaihtui Omron Adept LD -tuoteperheeksi. (Omron 2020a.)

Omron LD-250 painaa 148 kg ja se on 969 mm pitkä, 718 mm leveä ja 383 mm korkea autonominen mobiilirobotti. LD-250 on suunniteltu toimimaan tavarankuljettimena eri ympäristöissä muuttuvien olosuhteiden mukaisesti. Se pystyy kulkemaan 1,2 m/s nopeudella ja kuljettamaan kuormaa maksimissaan 250 kg. Kuormattuna sille luvataan toiminta-aikaa 10 tuntia. (Omron 2020b.)

LD-250:n edessä on 2 laserskanneria ja takana 2 ultraäänianturia (TOF-sensori), joilla se kykenee kartoittamaan ympäristönsä ja navigoimaan reittinsä itsenäisesti. Ylempi turvaluokiteltu laserskanneri on pääskanneri (SLAM), jolla tapahtuu pääasiallinen navigointi ja toiminnallinen turvallisuus. Pääskannerin skannausalue on 240 astetta, skannausetäisyys 40 metriä ja 3 metriä turva-alueille. Alempana pääskannerista on pienempi skanneri, jonka tarkoitus on havaita pienempiä esteitä ja kaltevia tasoja mobiilirobotin tieltä, jota pääskanneri ei havaitse. Se toimii apuna myös navigoinnissa tarkentaen navigointitarkkuutta 4 metriin asti. Sivuilla ja päällä on turvatoimintona hätäseis-painikkeet, joilla voidaan pysäyttää mobiilirobotin toiminta. (Omron 2020a.) Tarkempia teknisiä tietoja löytyy tietolomakkeista. (LIITE3)

Mobiilirobotin käyttöönotto aloitetaan tallentamalla mobiilirobotin muistiin kartta tuotantoympäristöstään. Tämä tapahtuu ohjailemalla mobiilirobottia tuotantoympäristössä, jolloin mobiilirobotti skannaa alueen ja tallentaa siitä kartan muistiinsa. Saadulle karttapohjalle voidaan lisätä tarvittavat elementit kuten halutut kulkureitit.

LD-250 kykenee kommunikoimaan langattomasti eri laitteiden ja logiikkaohjaimien kanssa sekä toimimaan MES-järjestelmien tai vastaavien kanssa. Mobiilirobotin päälle voidaan myös asentaa Omron TM-sarjan yhteistyörobotti, jolloin ne muodostavat yhdessä mobiilisen manipulaattorin. Mobiilirobottiin on saatavilla lisävarusteita, kuten sivuille asennettavia tutkia tai korkean tarkkuuden paikannusjärjestelmiä. (Omron 2020a.) (KUVA 3)



KUVA 3. Omron LD-250 mobiilirobotti

6.4 Turvaloverho Sick M4000

Solun etualan valvonnassa käytetään Sick M4000 -turvaloverhoa pysäyttämään teollisuusrobotin toiminta edestä lähestyttäessä. Se ei tunnista lähestymistä, eikä vaara-alueella olevia vaan toimii pysäyttävänä laitteena. Turvaloverhossa on 3 passivointisignaalia 400 mm:n välein ja tunnistaessaan ihmisen se pysäyttää teollisuusrobotin. Valokenno on asennettu 1.2 metrin korkeudelle ja on 300 mm irti lattiasta. (TAULUKKO 1.) Tarkempia tietoja on kerrottu teknisissä tiedoissa. (LIITE 4.)

TAULUKKO 1. Sick M4000 -turvaloverhon ominaisuuksia

Turvalaite	Toiminta	Havainnointi	Standardi	Ominaisuuksia
Turvaloverho	Lähetin ja vastaanotin Säteitä 3 Säteiden väli 400mm Vasteaika 10 ms	Vartalo Signaalin katkeaminen	EN ISO 13849 IEC 61496-1	Ei fyysistä estettä vaaravyöhykkeen ja ympäristön välillä. Ei suojaa sinkotuvilta osilta. Luotettava ja nopea pysäyttäminen.

6.5 Turvaloverho Omron F3SG

Omron F3SG -turvaloverho valvoo solun oikeassa laidassa olevaa mobiilirobotin kulkuaukkoa. Valoverho koostuu lähettävästä ja vastaanottavasta yksiköstä, joiden välissä on 50 lasersäettä 20 mm:n välein. Valoverho kykenee tunnistamaan 25 mm suuremmat esineet. (Omron 2020c.)

Tietokoneella konfiguroidaan mobiilirobotin tunnistus, jotta se ei pysäytä teollisuusrobotin toimintaa. Valoverho tunnistaa mobiilirobotin muodon mukaan ja pysäyttää teollisuusrobotin, jos se havaitsee muodosta poikkeavan esineen. (TAULUKKO 2).

TAULUKKO 2. Omron F3SG -turvalaloverhon ominaisuuksia

Mitä havaitsee	Toimintaperiaate	Standardi	Ominaisuuksia
Käsi	Lähetin ja vastaanotin	EN ISO 13849	Ei fyysistä estettä vaara-
Havaitsemiskyky	Reagointiaika 8 ms	IEC 61496-1	vyöhykkeen ja ympäris-
25 mm	Havaitsee vastaanotti-	Tyyppi 4	tön välillä.
	meen tulevan valon vä-		Ei suojaa sinkotuvilta
	henemisen, kun ihminen		osilta.
	tai kehon osa tulee ha-		Luotettava ja nopea pys-
	vaitsemisvyöhykkeeseen.		säyttäminen.

6.6 Sick S300 -turvalaserskanneri

Yhteistyö- ja teollisuusrobotin välistä kulkuaukkoa valvotaan Sick S300 -turvalaserskannerilla. Laserskannerille voidaan konfiguroida tunnistusalueita ja havaitsemiskykyä välille 30-70 mm. Sen suojakentän kantama on 2-3 metriä ja skannauskulma 270 astetta. Laserskannerille voidaan myös määritellä alueita, kuten pilari, jolloin se ei aiheuta hälytystä. Solussa laserskanneri on asennettu havaitsemaan liikettä pysäytysuoraan kulkuaukossa, jolloin se toimii valoverhon tapaisesti pysäyttäen teollisuusrobotin havaittuaan liikkeen. (TAULUKKO 3.)

TAULUKKO 3. Sick S300 -turvalaserskannerin ominaisuuksia

Mitä havaitsee	Toimintaperiaate	Standardi	Ominaisuuksia
Kämmen tai vartalo	Laitteessa on lasersä-	EN ISO 13849	Ei fyysistä estettä vaa-
Havaitsemiskyky kon-	teen lähetin ja vastaan-	IEC 61496	ravyöhykkeen ja ympä-
figuroitaessa välille 30-	otin (pulssitettu laser-	Laitteen tyyppi 3	ristön välillä.
70 mm	diodi)		

Kantama 2-3m Skannauskulma 270 ° vasteaika 80 ms	Osa valosta heijastuu takaisin havaitsemisvyöhykkeellä olevasta ihmisestä. Laite havaitsee vastaanottoon tulevan valon lisääntymisen, kun ihminen tai kehonosa tulee havaitsemisvyöhykkeelle.	Turvallisuuden eheyden taso : SIL2 (IEC 61508) SILCL2 (EN 62061)	Ei suojaa sinkoutuvilta osilta. Luotettava ja nopea pysäyttäminen
--	--	--	--

6.7 SafetyEYE-turvakamera

Saksalainen yritys Pilz on kehittänyt kolmiulotteiseen tilanvalvontaan turvakamerajärjestelmän, joka koostuu anturiyksiköstä (kamerat) ja ohjausyksiköstä (turvaohjaus). Kamera koostuu kolmesta CMOS-kameramoduulista ja ohjausyksikkö koostuu analysointiyksiköstä sekä turvaohjauksesta. (Piltz 2020.)

Anturiyksikkö asennetaan tilan yläpuolelle ja järjestelmällä luodaan kolmiulotteinen havainnointialue valvottavasta vaara- ja lähestymisalueista (Keinänen & Sumujärvi 20019, 312). Valvottavan tilan eri alueiden muotoja ja kokoja voidaan vapaasti muokata halutulla tavalla. Yhdellä järjestelmällä voidaan valvoa useampia robotteja, koneita ja laitteita samanaikaisesti. (Malm 2008, 31-33.)

SafetyEYE-järjestelmä mahdollistaa vaara-alueiden kolmiulotteisen valvonnan ja turvaohjauksen.

Sillä ei voida valvoa robotin tai siitä koostuvan järjestelmän työaluetta, vaan sitä käytetään valvomaan niiden välitöntä läheisyyttä määrittelemällä erityyppisiä turva-alueita, joiden avulla ohjaus tapahtuu. (Malm 2008, 31-33.)

Kuviossa 2 on havainnollistettu turvakameran muodostamaa valvontakartiota. Turvakamera luo eri turva-alueita, joille pystytään määrittelemään eri toimintoja. Turvakameran toiminta on riippuvainen valaistuksesta ja toimiakseen se vaatii 300 luksia. Tätä pienemmällä valaistuksella se ei välttämättä kykene tunnistamaan tarpeeksi tarkasti liikettä taustalta. (Piltz 2020.)

Esimerkiksi Tässä robottisolussa turvakameralle määritellään 2 aluetta: Ensimmäinen alue on teollisuusrobotin edessä lähestymisalue, joka hidastaa teollisuusrobotin liikenopeutta 10%. Toinen alue on vaara-alue, joka aiheuttaa teollisuusrobotin pysäyttämisen. Turvakamera vaatii toimiakseen hyvän valaistuksen ja esteettömän näkymän valvottavaan tilaan. (TAULUKKO 4.)

TAULUKKO 4. Pilz SafetyEYE -turvakameran ominaisuuksia (Piltz 2020)

Mitä havaitsee	Toimintaperiaate	Standardi	Ominaisuuksia
Havaitsemiskyky kä- delle 4 metriin saakka. Vartalon tunnistus enimmillään 72 m ² alu- eelle.	Laitteessa on lasersä- teen lähetin ja vastaan- otin (pulssitettu laser- säde). Osa valosta heijastuu takaisin havaitsemis- vyöhykkeellä olevasta ihmisestä. Laite havaitsee vas- taanottimeen tulevan valon lisääntymisen, kun ihminen tai kehon osa tulee havaitsemis- vyöhykkeelle.	soveltuu sovelluksiin luokkaan 3 saakka: -standardin EN 13849- 1:2008 mukaan -SIL2 saakka standar- din IEC 61508 mu- kaan. - PL d saakka standar- din EN ISO 13849-1 mukaan ja DIN EN 61496 mukaisiin sovel- luksiin. Turvallisuuden ehey- den taso: SIL2 (IEC 61508) SILCL2 (EN 62061)	Ei fyysistä estettä vaa- ravyöhykkeen ja ym- päristön välillä. Ei suojaa sinkoutuvilta osilta. Luotettava ja nopea pysäyttäminen. Käytetään täydentä- mään suojaustasoa.

7 RISKIEN ARVIONNIN MENETELMÄ

Riskienhallintasuunnitelmalla pyritään tunnistamaan ja arvioimaan koneisiin ja niistä koostuviin soveluksiin liittyviä vaaroja. Suunnitelmalla pyritään valitsemaan oikeat turvalaitteet standardeja ja teknisiä spesifikaatioita hyödyntämällä. Uuden robotin suunnittelussa tai muuttaessa olemassa olevaa robottia tai solua on riskienhallintasuunnitelma tarpeellinen tehdä. Tällöin pystytään jo suunnitteluvaiheessa havaitsemaan vaaratilanteita ja valitsemaan niihin oikeat turvalaitteet ja sovellukset riskien pienentämiseksi. Riskienhallintasuunnitelma on usein tarpeellista päivittää myös muista syistä, kuten esimerkiksi turvalaitteiden päivittämisellä nykyaikaisemmaksi korvaamalla turva-aidan valoverholla ja konenäöllä.

Standardi SFS_EN ISO 10218-2:2011 antaa ohjeita robottijärjestelmien tai -solun riskienhallinnan arviointiin ja siihen kuuluvat:

- robottijärjestelmän rajojen määrittäminen
- vaarojen tunnistaminen
- riskin suuruuden arvioiminen
- vaarojen poistaminen tai riskin pienentäminen (SFS_EN ISO 10218-2:2011, 12.)

7.1 Järjestelmän raja-arvojen määrittäminen

SFS_EN ISO 10218-2:2011 -standardissa robottijärjestelmän kokoonpano alkaa eri spesifikaatioiden laatimisella robottisolun käyttötarkoituksesta ja rajoista. Raja-arvoihin kuuluvat robottijärjestelmän käyttörajat, tilarajat sekä muita rajoja, kuten robottijärjestelmän ympäristön kuvaus. Eri raja-arvoista kuvataan tarkemmin eri standardeissa, kuten koneturvallisuuden standardeissa ISO 1161, ISO 12100 sekä muissa C -tyypin standardeissa.

7.2 Käyttörajat

Käyttörajoilla määritetään robotin tai niistä koostuvan solun käyttötarkoitus sekä kuvataan solun eri käyttötavat ja niihin liittyvät aputoiminnot. Käyttörajoilla kerrotaan myös solun käyttäjien pätevyyksistä

sekä soluun tulevien robottien toiminnoista. Huomioon on otettava myös solussa olevien robottien rajapinnat, työkalut ja laitteisto sekä näiden tehon lähteet ja sovellukset. (SFS-EN ISO 10218-2:2011, 13.)

7.3 Tilarajat

Robottisolun tilarajoilla tarkoitetaan laitteiden ja koneiden sijoittelusta ja niitä ympäröivistä turvallisuusteknisistä toimenpiteistä. Tilarajoissa määritellään myös solussa tapahtuvien liikkeiden vaihtelualue ja huoltamiseen tarvittavat tilat. Lisäksi tilarajoissa kerrotaan käyttäjien eri tehtävistä ja käsityövaiheisiin tarvitsemista tiloista sekä miten robottisolussa kuljetaan. (SFS-EN ISO 10218-2:2011, 13)

7.4 Aikarajat

Aikarajoilla määritetään robottisolussa olevien koneiden ja niiden komponenttien sekä turvalaitteiden huoltotarpeiden elinikä. Näillä tarkoitetaan solussa olevien kuluvien osien vaihtoväliä. Aikarajoissa myös määritellään solussa olevan prosessin kulkureittien ja robottien työalueiden kulkukaaviot ja ajoitukset. (SFS-EN ISO 10218-2:2011, 13)

7.5 Muut raja-arvot

Muilla raja-arvoilla tarkoitetaan robottijärjestelmän käytön rajoittamista muutoin kuin käyttö-, tila, aikarajoja käyttämällä. Muita rajoja ovat käyttötarkoituksen ja ympäristön vaarallisuus, lämpötila, pöly- ja kosteudensieto sekä käsiteltävien materiaalien ominaisuudet. (SFS-EN ISO 10218-2:2011, 13)

7.6 Vaarojen tunnistaminen

Olennainen osa riskien arviointia on onnistunut vaarojen tunnistaminen, ja siinä pyritään ottamaan huomioon kaikki mahdolliset vaaratekijät. Tunnistaminen täytyy suorittaa laaja-alaisesti tutkimalla riskejä useasta eri näkökulmasta robottisolun käyttötilanteiden ja ominaisuuksien mukaan.

Robottisolun käyttäjäkunta ja tehtävät vaihtelevat, ja se muodostaa eri taseisia riskejä, joita pitää pyrkiä pienentämään. Käyttäjäkuntaa pitää konsultoida eri tilanteissa, jolla pyritään varmistamaan soluun liittyvät kohtuudella ennakoitavat vaaralliset tilanteet sekä tunnistamalla myös epäsuoria vuorovaikutuksia soluun kohdistumia vaaratilanteita. Esimerkiksi opiskelijalla voi tapahtua ohjelmointi/inhimillinen virhe opetustilanteessa, joka aiheuttaa vaaratilanteen opiskelijalle tai muille solun läheisyydessä oleville henkilöille. Vaaroja arvioidessa täytyy huomioida mahdollinen ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Standardin SFS-EN ISO 10218-2:2011 liite A:ssa on paljon opastavia esimerkkejä robottijärjestelmän vaaroista. (SFS-EN ISO 10218-2:2011, 14.)

7.7 Riskien arviointi

Vaarojen tunnistamisen jälkeen täytyy jokaiselle robottijärjestelmän vaaratilanteelle suorittaa riskin suuruuden arviointi, jolla todetaan vaaratekijästä aiheutuva mahdollisen seurauksen vakavuus. Standardin ISO 10812-2 liitteessä A on robottien ja niistä koostuvan järjestelmien merkittävien vaarojen luettelo, joka on tehty SFS ISO 12100 kuvattujen vaarojen tunnistamisen ja riskin arvioinnin toteutumisesta. (SFS ISO 10218-2:2011 14.)

Robottijärjestelmien riskien arviointeihin on olemassa useita erilaisia menetelmiä kuten erilaisia kaavioita ja taulukoita määrittämään riskien tasot. Ne eroavat toisistaan mm. siinä, miten eri riskien vakavuuksia, todennäköisyyksiä ja taseja luokitellaan. (Siirilä & Kerttula 2009 28) Riskien arvioinnissa riskin suuruus voidaan määrittää myös suullisesti kuvailemalla. Arvioinnissa voidaan käyttää myös apuna yleisesti käytettävää riskimatriisia helpottamaan riskin tason tunnistamista. Säädöksissä ei ole kuitenkaan esitetty teknisiä vaatimuksia riskien tunnistamiseen, vaan ne ovat vapaasti valittavissa, kunhan lopputulos riskin suuruutta määrittäessä on riittävän turvallinen. (Siirilä & Kerttula 2009, 28.)

Riski on vahingon vakavuuden ja vahingon esiintymisen todennäköisyyden summa. Opinnäytetyössä rajattiin riskin vahingon vakavuus ja riskin mahdollinen esiintymisen todennäköisyys neljään luokkaan. Näitä tutkimalla saadaan vakavuuden tase selville. (TAULUKKO 5). Arviointiin päädyttiin käyttämään 4 riskiluokkaa, koska arviointiin sisältyy epävarmuutta robottisolun ohjelmointiharjoitusten vaihtuessa. Seurausten vakavuutta kuvastamaan käytetään matalaa, vähäistä, keskitasoa ja korkeaa tasea. Näistä riskin ollessa matala tai vähäinen voi robottisolussa olevaa robottia käyttää. Riskin ollessa keskitasolla täytyy sitä pienentää mm. perusominaisuuksia muuttamalla, kuten nopeutta vähentämällä tai liikerataa

muuttamalla. Riskin ollessa korkea ei solussa olevaa konetta voi käyttää ennen kuin riskiä on pienennetty tarpeeksi tai riski on poistettu kokonaan.(TAULUKKO 6.)

TAULUKKO 5. Riskimatriisi

Vahingon esiintymisen todennäköisyys	Vahingon vakavuus			
	Sietämätön	Vakava	Kohtalainen	Vähäinen
Erittäin todennäköinen	Korkea	Korkea	Korkea	Keskitaso
Todennäköinen	Korkea	Korkea	Keskitaso	Matala
Epätodennäköinen	Keskitaso	Keskitaso	Matala	Vähäinen
Vähäinen	Matala	Matala	Vähäinen	Vähäinen

TAULUKKO 6. Seurausten vakavuus

Riskin taso	Merkitys
Vähäinen	Riskiä ei ole tai se on vähäinen
Matala	Riski on olemassa mutta konetta voi käyttää
Keskitaso	Riskin taso on epätodennäköinen mutta sitä on vähennettävä. mm. perusominaisuuksia muuttamalla, turvalaitteilla
Korkea	Robottia tai konetta ei voi käyttää ennen kuin riskin tasoa on vähennetty.

7.8 Vaarojen poistaminen tai riskin pienentäminen

Riskin tason ollessa selvillä sovelletaan riskien poistoon standardin ISO 10218-2:2011 mukaisia toimenpiteitä. Toimenpiteet perustuvat seuraavin peruseriaatteisiin.

1. ”Vaarojen poistaminen suunnittelun avulla tai niiden aiheuttamien riskien pienentäminen korvaavilla toimenpiteillä.”
2. ”Turvallisuustekniset toimenpiteet, joilla estetään käyttäjää pääsemästä kosketuksiin vaaran kanssa tai varmistamaan, että vaarat on saatu turvalliseen tilaan ennen kuin käyttäjä voi päästä kosketuksiin niiden kanssa.”
3. ”Järjestämällä täydentäviä suojaustoimenpiteitä, kuten koneen käyttöä koskevat tiedot, koulutus, turvamerkinnot, henkilöstösuojaimet jne.” (ISO 10218-2:2011.)

8 RISKIARVIONNIN LAATIMINEN

8.1 Perehtyminen

Aloitin opinnäytetyön perehtymällä robottisolun robotteihin ja turvalaitteisiin sekä robottijärjestelmiä koskeviin ohjeistuksiin ja määräyksiin. Riskienhallintasuunnittelun eri vaiheissa kävin läpi standardien ja ohjeistuksien soveltamista. Riskien arvioinnissa keskityin kokonaisuutena robottisoluun ja solun vaikutukseen tuotanto- ja opetustilan käyttöön. Otin myös huomioon solussa tapahtuvan vuorovaikutuksen tilan muiden käyttäjien kanssa. Robottisoluun tulevat robotit ja komponentit ovat CE-merkittyjä, mikä tarkoittaa niiden olevan jo käyneen läpi mm. SFS-EN ISO 10218:1 -standardin mukaisen riskien arviointiprosessin.

Riskiarvioinnissa sovelletaan standardia EN ISO 10218-2:2011, jossa on sovellettu standardin EN ISO 12100, joka määrittelee toimintatavat ja periaatteet vaarojen tunnistamiseen.

- robottijärjestelmän rajojen määrittäminen
- vaarojen tunnistaminen
- riskien suuruuden arvioiminen
- vaarojen poistaminen tai riskin pienentäminen (EN ISO 10218-2:2011.)

8.2 Robottijärjestelmän rajojen määrittäminen

Robottijärjestelmän raja-arvoja tullaan määrittelemään soveltaen standardin SFS-EN ISO 10218-2:2011 mukaisia ohjeita. Käyttöarvoissa määritellään robottisolun tarkoitettu käyttö, käyttäjäkunta, käytön luonne ja käyttäjien oletettu tieto- ja taitotaso koskien teollisuusrobotia ABB IRB 6700, yhteistyörobotia Fanuc CR-35iA ja mobiilirobotia Omron LD-250.

Centria amk-tiloissa oleva robottisolu koostuu ABB IRB 6700 -teollisuusrobotista, Fanuc Robot CR-35iA -yhteistyörobotista sekä Omron LD-250 -mobiilirobotista. Robotit tulevat jakamaan saman fyysisen tilan sekä työskentelevät yhteistyössä toistensa ja ihmisten kanssa.

Solun tila koostuu osittain aidatusta vaara-alueesta (37 m²) ja sitä ympäröivästä suoja-alueesta. Solun vaara-alueita valvotaan Sick M4000 -turvaloverholla, Omron F3SG -turvaloverholla, Sick S300 -

turvaskannerilla sekä Piltz SafetyEYE -turvakameralla. SafetyEYE-turvakamera toimii täydentävänä turvalaitteena solussa teollisuusrobotin pysäyttämiseen ja havainnoimaan solun avoimen sivun lähestymistä.

Robottisolua tullaan käyttämään opetuksessa ja satunnaisissa solun toiminnan ja turvalaitteiden esittelyissä yhteistyökumppaneille ja yrityksille. Solun käyttö ei tule olemaan jatkuvaa vaan satunnaista. Solun käyttäjäkunta tulee olemaan Centria-ammattikorkeakoulun tuotanto- ja sähköosaston henkilökunta sekä ammattikorkeakoulun opiskelijat.

Opetustilanteissa ohjaavassa tehtävässä olevien robotiikan opettajien oletetaan olevan perehtyneitä robottien käyttöön. Oppilaiden tieto- ja taitotaso roboteista ja niiden ohjelmoinnista oletetaan olevan vaihtelevaa, minkä vuoksi opetushenkilökunnan on oltava läsnä ohjelmointiharjoituksissa.

Ohjelmointiharjoituksissa esitellään oppilaille mahdollisimman monipuolisesti robotteihin tulevia työkaluja kuten tarraimia, alipainetarttuvia sekä työstötyökaluja. Ohjelmointiharjoituksissa ja solun esittelyissä tullaan suorittamaan robottien ja ihmisten välisiä yhteistyömuotoja. Robotteja ohjataan ja ohjelmoidaan solun vaara-alueen ulkopuolella käsiohjaimilla.

Robottisolu sijaitsee tilassa, johon on vapaa pääsy. Tilassa on mahdollista liikkua muitakin henkilöitä, joilla ei ole tietoa solun tai siinä olevien robottien vaaroista tai toiminnasta. Myös mahdollinen häiriöinti ja luvaton robottien käyttö on mahdollista tilan vapaan pääsyn vuoksi.

Teollisuusrobotti ABB IRB 6700 ja yhteistyörobotti Fanuc Robot CR-35iA toimivat 3-vaihejärjestelmällä 400 VAC-jännitteellä ja niiden ohjauskeskukset sijaitsevat solun ulkopuolella. Mobiilirobotin latausyksikkö sijaitsee solun ulkopuolella ja se toimii yksivaiheisesti 230 voltin jännitteellä ja itse mobiilirobotti toimii 22-30 VDC :n vaihteluvälillä. Sähkölaitekaapit, päätelaitekotelot, turvalaitteet ja robottien kaapeloinnit sekä johdotukset on suojattu tai asennettu niin, ettei niistä aiheudu vaaraa solun käyttäjille.

8.3 Vaarojen tunnistaminen

Vaaratilanteiden tunnistamisessa robottisoluun sovelletaan standardin 10218-2:2011 liite A:ta, jossa on esitetty esimerkkejä vaaratilanteista. Näitä sovelletaan niiltä osin, jotka sopivat solun tarkoitukseen tai

katsotaan soveltaviksi solun toimintaan nähden. Vähäistä pienempiä vaaratilanteita ei arvioida, jos ne eivät ole toistuvia.

TAULUKKO 7. Yhteistyörobotin riskien tunnistaminen

Vaaratilanne	Tapahtuma
Törmäys ohjelmoinnin tai automaattiajon aikana	Tapahtuma 1: Ohjelmointiharjoittelija voi tehdä ohjelmointivirheen tai aiheuttaa törmäyksen huolimattomuudesta . Tapahtuma 2: Suuren nopeuden aikana käyttäjä tai ulkopuolinen henkilö voi olla työalueella.
Kaatuminen käsiohjainta käyttäen	Ohjelmoitaessa yhteistyörobottia käsiohjaimella ohjelmoija voi kaatua ja satuttaa itsensä.
Puristuminen ohjelmoinnin tai automaatti ajon aikana	Suuren nopeuden aikana on mahdollista jäädä puristuksiin turva-aitoja vasten.
Luvaton käyttö	Yhteistyörobotti sijaitsee solun ulkopuolella ja ulkopuolisen henkilön on mahdollista käynnistää robotti.
Työkalupisteestä irtoava esine	Yhteistyörobotin ollessa liikkeellä suurennetulla nopeudella, työkalu tai siinä oleva esine voi irrota.
Ulkopuolisen pääsy ohjelmoinnin aikana cobotin turva-alueelle	Cobotin ohjelmoinnin tai esittelyn aikana on esteetön pääsy cobotin turva-alueelle.

TAULUKKO 8. Teollisuusrobotin riskien tunnistaminen

Vaaratilanne	Tapahtuma
Törmäys ohjelmoinnin tai käytön aikana	Tapahtuma 1: Ohjelmointitilassa tai ohjelmaa ajaessa voi robotti osua ilman taakkaa tai taakalla toista henkilöä solun ulkopuolella yltäessä ulos solusta

	Tapahtuma 2: Ohjelmointiharjoittelija tekee ohjaimella tarkoituksettoman liikkeen. Tapahtuma 3: Robotin käynnistää eri henkilö kuin on määrätty.
Puristuminen ohjelmoinnin tai automaatti ajon aikana	Solun sisällä on mahdollista jäädä puristuksiin turva-aitoja vasten robotin pitkän käsittelykyvyn takia
Luvaton käyttö	Teollisuusrobottia pystyy käyttämään luvattomasti ulkopuolinen vapaan pääsyn takia opetustilaan
Työkalupisteestä irtoava esine	Teollisuusrobotin ollessa käytössä työkalu tai siinä oleva esine voi irrota robotin ollessa liikkeessä
Ulkopuolisen pääsy robotin turva-alueelle	Ulkopuolisten on mahdollista päästä ohjelmoinnin tai ohjelmaa suorittaessa robotin turva-alueelle ja lähestymisalueelle
Solussa olevan valokennon sijainti	Teollisuusrobotti yltää solun etuosaa valvovan turvalaitteen valoverhon yli 500mm ilman työkalua.
Solun turvaetäisyydet	Tapahtuma 1: Teollisuusrobotti yltää turva-aitojen Tapahtuma 2: Teollisuusrobotti yltää kulkuaukoista solun suoja-alueille.

TAULUKKO 9. Mobiilirobotin riskien tunnistaminen

Vaaratilanne	Tapahtuma
Törmäys ohjelmoinnin aikana	Mobiilirobotin törmäys sen toiminnan aikana
Turvalaitteet eivät tunnista	Mobiilirobotin päälle on laitettu esine, jota turvalaitteet solussa eivät tunnista

8.4 Riskien suuruuden arviointi

Riskien tunnistamisessa sovelletaan standardissa ISO 10218-2:2011 olevaa liite A:ta sekä teknistä spesifikaatiota 15066 merkittävistä riskeistä ja arvioidaan havaittujen riskitilanteiden suuruutta riskimatriisia hyödyntämällä. Riskin aiheuttaman tapahtuman esiintyvyyden todennäköisyydellä ja vakavuuden asteella saadaan arvioitua riskin seurauksen taso, jolla kyetään tunnistamaan riskin merkitys ja suunnittelemaan riskin pienentämistä eri turvatoimilla.

Yhteistyörobotin suurimmat riskit johtuvat osin ohjelmointivirheistä tai niistä johtuvista puristumis- ja törmäysvaaroista, joita havaitaan riskien tunnistamisvaiheessa. (TAULUKKO 7) Vaikka yhteistyörobotti on suunniteltu yhteistyöhön ihmisen kanssa tehon ja voiman rajoittamisella sekä tunnistamalla siihen tulevan paineen tunnistavan pinnoitteen avulla, voi vaaran aiheuttaa robotissa oleva työkalu tai siinä olevan taakka. Ohjelmointitilanteissa olevia riskejä voidaan pienentää robotin turvatoimilla ja ohjaavan opettajan valvonnalla. Lisäksi ohjaava opettaja tarkistaa ohjelman, ennen kuin sitä voidaan ajaa nopeammalla liikenopeudella. Tällöin myös yhteistyörobotilla työskentelevät ovat ohjelmoinnin luonteen mukaisesti ohjaavan opettajan määrittelemällä turva-alueella. Taulukossa 10 on tunnistettujen vaaratilanteiden riskien tasot määritelty kaikkien turvalaitteiden ollessa toiminnassa.

TAULUKKO 10. Yhteistyörobotin riskin suuruuden arviointi

Yhteistyörobotista Fanuc CR-35iA johtuva tapahtuma	Tapahtumasta aiheutuvan riskin vakavuuden taso	Todennäköisyyden / vakavuuden perustelu
Ohjelmoitaessa yhteistyörobotia käsiohjaimella voi cobotin työkalu tai siinä oleva esine osua toista henkilöä.	Matala	Ohjelmointiharjoituksissa käytetään alennettua nopeutta. Ohjelmointiharjoitukset suoritetaan ryhmässä opettajan tai muun henkilökunnan läsnä ollessa alennetuilla nopeuksilla, mikä laskee riskin todennäköisyyttä. Eri harjoituksissa cobotille voidaan rajata liikerataa, jolloin cobotin liikkeet saadaan suunnattua pois käyttäjistä.
Yhteistyörobotia ajaessa työkalu tai siinä oleva taakka voi törmätä ihmiseen.	Matala	Yhteistyörobotti on pinnoitettu pehmeällä suojalla, joka pysäyttää cobotin sen tunnistessa liian voimakkaan kosketuksen. Harjoituksesta tai esityksestä riippuen huolehditaan tarvittavista suojaetäisyyksistä. Ohjelmaa ajaessa cobotin tai solun käyttäjällä tai esittäjällä on pysäyttämiseen tarvittava

		kytkin pysäyttämiseen lähettyvillä.
Ohjelmoitaessa yhteistyörobotia käsiohjaimella ohjelmoija voi kaatua ja satuttaa itsensä.	Vähäinen	Käyttäessä yhteistyörobotin työkalupisteeseen tulevaa käsiohjainta on cobotin liikeno- peus ja voima rajoitettu. Yhteistyörobotin turvalaitteet kerkeävät reagoija matalissa nopeuksissa välittömästi. Yhteistyörobotin työalueella ei sijaitse ylimääräisiä esineitä lattialla.
Ohjelmoitaessa yhteistyörobotia on mahdollista jäädä puristuksiin turva-aitaa vasten.	Matala	Cobotin ollessa ohjelmointitilassa sen nopeus on alennettu. Lisäksi se on pinnoitettu suojalla, joka pysäyttää cobotin sen tunnistessa liian voimakkaan kosketuksen. robotin liikeratoja voidaan rajoittaa,
Automaattiajon aikana on mahdollista jäädä puristuksiin turva-aitaa vasten.	Matala	Harjoituksen tai esityksen luonteen mukaan, siirrytään automaattiajon aikana merkitylle tai osoitetulle turva-alueelle.
Yhteistyörobotti on solun ulkopuolella ja luvaton käyttö on mahdollinen	Matala	Väärinkäytön estämiseksi yhteistyörobotin käytölle on määritetty salasana. Tilassa on henkilökuntaa, joka huomaa luvattoman käytön
Yhteistyörobotin toimiessa suurella nopeudella työkalu tai siinä oleva esine voi lähteä irti robotin ollessa liikkeessä.	Keskitaso	Yhteistyörobotti on liikkeeltään ja teholtään rajoitettu yhteistyölle sopivaksi Ohjelmointitilanteissa robottia ajetaan alennetulla nopeudella Turva-rajoja voidaan käytön aikana rajoittaa, ettei mahdollisen esineen irtoaminen suuntaa käyttäjiin tai ulkopuolisiin henkilöihin.

		Turva-aluetta voidaan käytön aikana rajata, etteivät ulkopuoliset pääse mahdolliselle esineen lentoradalle.
Yhteistyörobotti ylittää solun sisälle teollisuusrobottiin aiheuttaen vaaratilanteen törmätykseen siihen.	Matala	Cobotin ja teollisuusrobotin turvarajoja voidaan käytön aikana rajata, etteivät robotit pääse työskentelemään toistensa työalueilla. Turvaskanneri valvoo robottien välistä porttia ja pysäyttää solun toiminnan, jos se havaitsee liikettä. Turvakamera tunnistaa vaara-alueen muutokset pysäyttäen solun

Teollisuusrobotista havaituista vaaratilanteista (TAULUKKO 8) vakavimmat riskit (TAULUKKO 11) syntyvät törmäys- ja puristumistilanteista. Näitä kyetään pienentämään teollisuusrobotin osalta olemassa olevan turvakameran avulla määrittelemällä sille muuttuvien ohjelmointiharjoituksen tai esityksen luonteen mukaisesti liikenoisuus ja työskentelyalue huomioon ottaen sen työkalu ja siinä oleva taakka. Turvakameralla estetään teollisuusrobotin käynnistys tehtäessä solun sisäpuolella huoltotehtäviä. Kamera myös estää käynnistymisen ohjelmointitilanteessa siellä olevan henkilön tai sinne kuulumaton esineen tunnistamisessaan. Solun vaara-aluetta vartioivat myös valoverhot ja laserskanneri, ja ne pysäyttävät myös teollisuusrobotin niiden tunnistamisessaan ihmisen tai esineen. Mobiilirobotista havaitut riskit ovat suurimmaksi osaksi luvattomasta käyttöönnotosta. Sillä ei ole riskinhallintasuunnittelussa vielä muuta käyttötarkoitusta kuin harjoitella sen ohjelmointia ja esitellä sen liikkumista solussa ja sen ulkopuolella. (TAULUKKO 12.)

TAULUKKO 11. Teollisuusrobotin riskin suuruuden arviointi

Teollisuusrobotista ABB IRB 6700 johtuva tapahtuma:	Tapahtumasta aiheutuvan riskin vakavuuden taso	Todennäköisyyden / vakavuuden perustelu
Ohjelmointitilassa tai ohjelmointia ajaessa voi robotti osua	Keskitaso	Solua ympäröi sivuista turva-aita ja siinä olevia kulkureittejä

työkalulla tai siinä olevalla esineellä solun ulkopuolella olevaa henkilöä		valvovat turvalaitteet valoverhot, turvaskanneri pysäyttävät teollisuusrobotin toiminnot välittömästi niiden aktivoiduttua. SafetyEYE-turvakamera valvoo vaara-aluetta ja teollisuusrobotin lähestymisaluetta. Turvakamera hidastaa solun toimintaa, jos solun edessä havaitaan liikettä. Teollisuusrobotin turvarajoilla voidaan rajoittaa harjoituksen tai esityksen mukaan teollisuusrobotin liikkeitä ja nopeuksia vaara-alueen ulkorajojen läheisyydessä.
Solun sisällä on mahdollista jäädä puristuksiin turva-aitaa vasten robotin pitkän käsittelykyvyn takia	Keskitaso	Solua ympäröi turva-aita ja aukkoja valvovat turvalaitteet valoverhot ja turvaskanneri, jotka pysäyttävät solun toiminnot välittömästi niiden aktivoiduttua. SafetyEYE-turvakamera valvoo solua ja pysäyttää solun toiminnot, jos se havaitsee sinne kuulumatonta. Teollisuusrobotin turvarajoilla voidaan rajoittaa teollisuusrobotin liikkeitä ja nopeuksia.
Teollisuusrobottia pystyy käyttämään luvattomasti ulkopuolinen vapaan pääsyn takia	Matala	Teollisuusrobotin käynnistämiseen tarvitaan solun toiminnan aktivointi.
Ajaessa teollisuusrobotin ohjelmaa voi työkalu tai siinä oleva esine irrota robotin ollessa liikkeessä	Keskitaso	Teollisuusrobotin turvarajoilla ja SafetyEYE-turvakameran avulla voidaan rajoittaa robotin liikenopeus ja liikerajat harjoituksen tai esityksen vaihtuessa. Todennäköisyys tapahtumalle on matala, mutta jokainen mahdollinen toteutunut tapahtuma voi aiheuttaa vakavan vaaran.

Ulkopuolisten on mahdollista päästä ohjelmoinnin tai automaattiajon aikana robotin lähestymisalueelle.	Matala	Solun ulkopuolen lähestymisalue on merkitty näkyvästi. Solun ollessa toiminnassa sitä valvovat opettajat tai henkilökunta.
Solun etuosaa valvova turvalaite, valoverho on liian lähellä teollisuusrobottia.	Matala	Valokenno pysäyttää robotin toiminnan välittömästi aktivoituttuaan. SafetyEYE-turvakameraa käytetään täydentämään valokennoa kahdella eri tunnistusalueella: solun sisällä tapahtuva muutos kamerassa pysäyttää solun ja 3 metrin säteellä solun ulkopuolella toinen alue hidastaa solun toimintaa. Tällä kytetään pysäyttämään tai hidastamaan robotin toimintaa

TAULUKKO 12. Mobiilirobotin riskin suuruuden arviointi

Mobiilirobotti Omron LD-250 johtuva tapahtuma	Tapahtumasta aiheutuvan riskin vakavuuden taso	Todennäköisyyden / vakavuuden perustelu
Mobiilirobotin törmäys sen toiminnan aikana	Vähäinen	Mobiilirobotissa on tutkat, joilla se kykenee tunnistamaan esteitä
Mobiilirobotin päälle on laitettu esine, jota turvalaitteet solussa eivät tunnista	Matala	Mobiilirobottia käytetään opetustilanteissa ryhmässä, jossa mahdollinen mobiilirobottiin kuulumaton esine havaitaan.
Mobiilirobotin luvaton käyttö	Matala	Tilassa on muitakin käyttäjiä ja henkilökuntaa

8.5 Vaarojen poistaminen tai riskin pienentäminen

Robottisolussa olevien riskien ollessa selvillä voidaan havaittuja vaaroja alkamaan poistamaan tai saatamaan turvalliselle tasolle pienentämällä havaittua riskiä. Koska koko solun sisäpuolinen tila tulee olemaan teollisuusrobotin työaluetta ja teollisuusrobotti yltää 500 mm valokennon yli, on turvakameran oltava toiminnassa. Muussa tapauksessa teollisuusrobotin työskentelyaluetta rajataan niin, että muiden turvalaitteiden vähimmäissuojaetäisyydet toteutuvat. (TAULUKKO 13.)

Turvakameran ollessa poissa käytöstä opetustilanteen luonteen vuoksi suositellaan, että teollisuusrobotia käytetään tällöin alennetulla nopeudella (alle 250 mm/s) sekä rajoitetaan sen liikkeitä, että vähimmäisetäisyydet turvalaitteisiin standardista ISO 13855 toteutuvat. Harjoituksissa ja esityksissä, joissa teollisuusrobotin työkappale on vaara-alueen ulkopuolella, suositellaan käytettäväksi automaatioajossa alennettua nopeutta (alle 250 mm/s.) (TAULUKKO 13.)

Koska joissakin ohjelmointiharjoituksissa ja esittelyissä turvalaitteita voidaan kytkeä pois päältä harjoituksen luonteen vuoksi tai turvakameran ollessa sammutettuna, tuottaa teollisuusrobotti vaaratilanteita, jolloin sen käyttöä täytyy rajoittaa. (TAULUKKO 13.)

TAULUKKO 13. Ehdotuksia vaarojen poistaminen tai riskin pienentäminen

Solussa havaittu vaara:	Ehdotus riskin pienentämiseen
Sick M4000 -turvaloverhon etäisyys teollisuusrobottiin ei ole riittävä turvakameran ollessa epäkunnossa.	Ehdotus 1: Vaara-aluetta valvovan Sick M4000 valoverhon etäisyyttä kasvatetaan. Ehdotus 2: Teollisuusrobotin liikeratoja ja nopeuksia rajoitetaan
Sick M4000 -Turvalovaloverhon yli yltää robotin työalueelle	Ehdotus 1: Teollisuusrobotin liikenopeutta rajoitetaan joko teollisuusrobotin raja-arvoja muuttamalla tai SafetyEYE-turvakameran avulla. Ehdotus 2: Turvaloverhon sijaintia siirretään Ehdotus 3: Sijoitetaan turvalaserskanneri turvaamaan teollisuusrobotin etualaa
Teollisuusrobotti yltää ohuella työkalulla valoverhon läpi suoja-alueelle	Ehdotus 1: Aukon kokoa pienennetään Ehdotus 2: Teollisuusrobotin liikerataa rajoitetaan valoverhon läheisyydessä.
Turvakameran ollessa epäkunnossa teollisuusrobotti yltää suoja-alueelle turva-aidan yli	Ehdotus 1: Turva-aitojen vähimmäisetäisyyksiä vaara-alueesta kasvatetaan turvalliselle tasolle. Ehdotus 2: Teollisuusrobotin liikeratoja rajoitetaan, että turva-aitojen turvaetäisyydet toteutuvat.
Teollisuusrobotin ohjelmaa ajaessa työkalu tai siinä oleva esine voi lähteä irti	Ehdotus 1: Teollisuusrobotin liikenopeutta rajoitetaan joko teollisuusrobotin raja-arvoja muuttamalla tai SafetyEYE-turvakameran avulla. Ehdotus 2: Valoverho korvataan turva-aidalla ja kulkuaukolla.

8.6 Tulokset

Kokonaisarviossa on otettu huomioon, että kaikki robottisolussa olevat turvalaitteet ovat toiminnassa. Koska solun käyttötarkoitus on opetus, eikä tuotanto, siinä olevia robotteja ohjelmoidaan pääsääntöisesti alennetulla nopeudella alle 250 mm/s. Opiskelijoiden ohjelmat tarkistetaan alennetulla nopeudella ja kun ne on todettu toimiviksi, niitä voidaan testata automaattiajolla nopeammalla liikenopeudella. Robottisolun esittelyissä robottien liikeradat ja nopeudet sovelletaan esityksissä olevien työkalujen sekä taakkojen mukaisiksi. (TAULUKKO 14.)

Robottisolun suunniteltu vaara-alueen turvallisuus perustuu solua valvovan turvakameran käyttöön. Sen vioittuessa teollisuusrobotin käyttöä tulisi rajoittaa toteuttamalla suojaavien turvalaitteiden (Sick M4000 -turvavaloverhon, Omron F3SG -turvavaloverhon, Sick S300 -turvaskannerin) vähimmäisetäisyydet standardien mukaisiksi siirtämällä turvalaitteita tai rajoittamalla teollisuusrobotin tai yhteistyörobotin samanaikaista käyttöä. (TAULUKKO 14.)

Robottisolua pystytään pysäyttämään valosähköisillä laitteilla, turvakameralla, käsiohjainpaneeleissa ja roboteissa olevissa hätäseis-kytkimillä sekä solun ulkopuolelta seinästä olevasta hätäseis-kytkimestä. Solun uudelleen käynnistys vaatii kuittauksen solun tilasta kertovasta näytöstä tai avaimella varustetusta pääpysäytyskytkimestä. Näillä saadaan kuitattua solun pysäytykset sekä turvattua, ettei teollisuusrobottia käytetä luvatta. Näytön ja pääpysäytyskytkimen tulee sijaita niin, että niistä on esteetön näkyvyys solun sisälle käynnistäessä tai kuitattaessa teollisuusrobottia. Tällä turvataan, ettei solun sisäpuolella ole kukaan teollisuusrobotin käynnistyessä. Solussa olevat robotit ovat läpäisseet standardin 10218:1 mukaisen riskien arviointiprosessin. Lisäksi yhteistyörobotti Fanuc Robot CR-35iA on suunniteltu yhteistyöhön ihmisen kanssa ja sisältää suojauslaitteet, jolloin se pystyy toimimaan solun ulkopuolella. Robottisolun kaikkien siihen suunniteltujen turvalaitteiden ollessa toiminnassa todetaan, että robottisolussa tapahtuvien riskien todennäköisyys opetustilanteissa tai solun esittelyissä on matala tai vähäinen.

TAULUKKO 14. Kokonaisarvio solun riskien suuruuksista turvalaitteiden ollessa toiminnassa

Solussa havaitut riskit	Solussa havaittujen riskien suuruudet
Kompastuminen tai liukastumisen todennäköisyys	Vähäinen
Törmäykset ohjelmoitaessa	Matala
Törmäykset automaattiajolla	Matala
Puristumiset käsiajolla	Matala
Puristukset automaattiajolla	Matala
Takertumisriskit	Vähäinen
Solusta johtuva melu	Vähäinen
Luvaton käyttö	Matala

Esimerkkejä vaihtoehtoista solussa olevien riskien pienentämiseen:

- Teollisuusrobotin yltäessä Sick M4000 -turvalaiverhon yli 500 mm ilman työkalua suositellaan valokennon siirtämistä vähintään 2 metrin päähän teollisuusrobotin työkalupisteestä.
- Teollisuusrobotin liikeratoja rajoitetaan, että tarvittava turvaetäisyys toteutuu.
- Teollisuusrobotin ohjelmointiharjoituksissa käytettäisiin vain alennettua nopeutta (Alle 250 mm/s).
- Teollisuusrobotin avointa sivua varten asennettaisiin laserskanneri, jonka avulla voidaan valvoa teollisuusrobotin vaara-aluetta ja sen lähestymistä. Tällöin täytyy huomioida laserskannerista johtuvat mahdolliset katvealueet
- Teollisuusrobotin esittelyissä käytettäisiin alennettua nopeutta (alle 250 mm/s).
- Yhteistyörobotin työskentelyalue merkitään ohjelmointiharjoituksien muuttuessa sen mukaiseksi.
- Yhteistyörobotin työaluetta automaattiajon aikana valvottaisiin laserskannerilla.

9 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tavoitteena oli tehdä riskien arviointi tulevasta yhteistyö- ja teollisuusrobottisolusta ja kokeilla osin sen toimivuutta virtuaaliympäristössä sekä pohtia mahdollisia keinoja parantaa solun turvallisuutta. Opinnäytetyön aikana paneuduin robotiikan sovelluksien turvalaitteiden toimintaan ja eri standardeihin sekä robottisolujen riskien arviointiprosessiin. Lisäksi työssä kerrottiin robotiikassa käytettävistä turvalaitteista sekä robottisolujen riskien arviointiprosessin ohjeistuksista ja säädöksistä. Työssä kerrottiin myös soluun tulevista eri roboteista ja niitä suojaavista turvalaitteista ja niiden menetelmistä.

Riskien arviointiprosessiin tutustuminen oli mielenkiintoinen kokemus, koska robottisolussa tulisi olemaan monia erilaisia turvalaitteita ja robotteja. Lisäksi näiden toiminta tulisi vaihtumaan harjoitusten myötä. Työssä otettiin huomioon, että turvakameran toiminta on tärkeässä roolissa turvallisuuden kannalta, ja varsinkin teollisuusrobotista johtuvat puristumis- ja törmämisvaarat mietityttivät työn aikana. Jos SafetyEYE-turvakamera olisi epäkunnossa tai se otettaisiin opetustilanteen vuoksi pois käytöstä, eivät turvallisuusetäisyydet puristumis- ja törmäysvaarojen osalta toteutuisi teollisuusrobotin ulottuvuuden vuoksi. Tällöin teollisuusrobotista aiheutuvat riskit kasvaisivat ja solussa olevien robottien yhtäaikainen käyttö tulisi epäkäytännölliseksi kasvavien puristumis- ja törmäysvaarojen takia.

Riskejä arvioidessa todettiin turvalaitteiden olevan riittäviä kaikkien suunniteltujen turvalaitteiden toiminnassa, ja arvioinnin pohjalta annettiin ehdotuksia parantaa solun turvallisuutta laserskannerien avulla ja turvaetäisyyksiä kasvattamalla. Turvalaitteita on tarkoitus tulla myös tulevaisuudessa robottisoluun lisää. Tämä opinnäytetyö käsitteli sen hetkisiä turvaratkaisuja.

Virtuaaliympäristön kokeileminen riskien arvioinnissa oli mielestäni hyvä lisä opinnäytetyössä antaen hyödyllistä tietoa solun toiminnoista. Sen avulla pystyin kokeilemaan yhteistyörobotin ja teollisuusrobotin ulottuvuutta solun sisä- ja ulkopuolella sekä kokeilemaan osaa soluun tarkoitettuista turvalaitteista. Virtuaaliympäristön avulla onkin mahdollista kokeilla eri variaatioita roboteille ja turvalaitteille ja testata niiden toimivuutta ennen niiden asentamista. Virtuaaliympäristöä käyttäessä tulisi kuitenkin huomioida, että kaikki VR-ympäristössä olevat asiat olisivat oikeissa mittasuhteissa ja oikeilla etäisyyksillä. VR-ympäristön käyttäminen riskien arvioinnissa oli mielestäni hyvä kokemus, ja sitä kokeiltaessa pystyi

hahmottamaan teollisuusrobotin ulottuvuudesta syntyviä vaaratilanteita, kun liikuteltaessa teollisuusrobotia näki sen liikkeet eri kuvakulmista. VR-ympäristöä kannattaakin mielestäni käyttää tulevaisuudessa suunnitellessa uusia turvalaitteita soluun.

Opinnäytetyössä tutustuin erilaisten robottien ja turvalaitteiden toimintoihin ja sain kokemusta eri standardien, lainsäädäntöjen ja ohjeistuksien tulkitsemisesta sekä soveltamisesta. Työtä tehdessäni huomasin, että riskien arvioinnin tekeminen on tärkeä vaihe koneiden ja robotiikan laitteiden suunnittelun kannalta sillä, on tärkeä tunnistaa jo varhaisessa vaiheessa erilaisia riskejä, jolloin voidaan säästyä huomattavalta työ- ja rahalliselta kululta. Eri standardien väliset suhteet on myös hyvä hallita, koska robotiikan sovelluksissa joutuu käyttämään useita eri standardeja, säädöksiä ja ohjeistuksia ja näiden perusteella sovelletaan eri turvallisuusratkaisuja, jotka täyttävät lopputuloksen riittävän turvallisuuden.

LÄHTEET

- ABB. 2020. Technical data for the IRB 6700 industrial robot. Saatavissa: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-6700/irb-6700-data> Viitattu 9.9.2020.
- EUR-Lex. 2020. Euroopan unionin oikeus ulottuvillasi. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006L0042&from=FI#d1e383-24-1> Viitattu 18.9.2020.
- Euroopan parlamentti. 2017. Hyväksytyt tekstit. Robotiikkaa koskevat yksityisoikeudelliset säännöt. Saatavilla: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2017-0051_FI.pdf Viitattu 2.12.2020.
- Fanuc Ltd. 2020. Collaborative robot CR-35iA. The world's only collaborative one with 35 kg payload. Saatavissa: <https://www.fanuc.eu/uk/en/robots/robot-filter-page/collaborative-robots/collaborative-cr35ia> Viitattu 9.9.2020.
- IFR. 2020a. International Federation of Robotics. Autonomous Mobile Robot for Transport and Delivery of Material. Saatavissa: <https://ifr.org/case-studies/service-robots/AGV-for-transport-and-delivery-of-material/>. Viitattu 10.12.2020.
- IFR. 2020b. International Federation of Robotics. Robot History. Saatavissa: <https://ifr.org/robot-history> Viitattu 2.12.2020.
- ISO/TS 15066: 2066 Viitattu 26.10.2020.
- JAMK. 2020. Robo countryside Saatavissa: <https://www.jamk.fi/globalassets/tutkimus-ja-kehitys--research-and-development/tki-projektien-lohkot-ja-tiedostot/jamk-robotics-center/robocountryside-vali-julkaisu-web-small.pdf> Viitattu 2.12.2020.
- Keinänen, T. & Sumujärvi M. 2019. Automaatiotekniikka.
- Malm, T. 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. Suomen Robotiikkayhdistys.
- Malm, T. 2008. Robottijärjestelmien uudet turvallisuustekniikat. VTT. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2008/RobUudetTurv.pdf> Viitattu 18.9.2020.
- MHI. 2020. Saatavissa: <https://www.mhi.org/fundamentals/robots> Viitattu 8.12.2020.
- Omron. 2020a. Fully Autonomous Mobile Robots. Saatavissa: <https://industrial.omron.fi/fi/products/ld-250> Viitattu 2.10.2020.
- Omron. 2020b. Mobile Robots LD Series Autonomous Mobile Robots (AMRs), self-mapping, self-navigating. Saatavissa https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v10/i828_ld-series_mobile_robot_datasheet_en.pdf Viitattu 2.10.2020.
- Omron. 2020c. Industrial Automation. F3SG-4SRA1000-25-F Safety Light Curtain. Saatavissa: <https://industrial.omron.eu/en/products/F3SG-4SRA1000-25-F> Viitattu 2.11.2020.

- Piltz. 2020. The spirit of safety Saatavissa: <https://www.pilz.com/fi-FI/eshop/00106002207042/SafetyEYE-Safe-camera-system> Viitattu 6.10.2020.
- RoboDK. 2020. 10 Industrial Tasks that Virtual Reality Will Transform. Saatavissa: <https://robodk.com/blog/industrial-tasks-virtual-reality-transform/> Viitattu 9.12.2020.
- SFS-EN ISO 10218-1. Robotit ja robottilaitteet. Turvallisuusvaatimukset osa 1: Teollisuusrobotit. 2013. Suomen standarditoimislaitos SFS. Viitattu 26.10.2020.
- SFS-EN ISO 10218-2:2011. Robotit ja robottilaitteet. Turvallisuusvaatimukset osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. 2017. Suomen standarditoimislaitos SFS. Viitattu 26.10.2020.
- Sick. 2020a. Valosähköiset turvalaitteet, www-osoite, Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiset-turvalaitteet/turvavaloverhot/m4000-advanced-curtain/c/g187265#selection> Viitattu 6.10.2020.
- Sick. 2020b. Monisäteiset turvavalopuomit M4000 Standard / Pari. Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiset-turvalaitteet/monisaeteiset-turvavalopuomit/m4000-standard/m40s-034010ar02c-m40e-034010rt0/p/p32796> Viitattu 2.11.2020.
- Siirilä, T. & Kerttula, T. 2009. Koneturvallisuuden perusteet.
- Sweco. 2020. Mobiilirobotit tehostavat kuljetuksia myös vanhoissa sairaaloissa. Saatavissa: <https://www.sweco.fi/uutiset/uutisarkisto/news-2020/mobiilirobotit-tehostavat-kuljetuksia-myos-vanhoissa-sairaaloissa/> Viitattu 20.11.2020.
- Tukes. 2020. Koneita koskevat vaatimukset. Saatavilla: <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#4d1c4f24> Viitattu 18.9.2020.
- Universal Robots. 2020a. Demystifying cobot safety: the four types of collaborative operation. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/blog/demystifying-cobot-safety-the-four-types-of-collaborative-operation/> Viitattu 8.12.2020.
- Universal Robots. 2020b. History of cobots. Saatavissa: <https://www.universal-robots.com/about-universal-robots/news-centre/the-history-behind-collaborative-robots-cobots/> Viitattu 20.1.2020.
- Ventä, O. Honkatukia, J. Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Airaksinen, M. & Vainio, T. 2018. Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 47/2018. Saatavissa: <https://tietokayttoon.fi/julkaisut/raportti?pubid=URN:ISBN:978-952-287-484-9> Viitattu 18.9.2020.
- VTT. 2008. Robottijärjestelmien turvallisuustekniikat, www-osoite, Saatavilla: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2008/RobUudetTurv.pdf> Viitattu 18.9.2020.
- Wiredworkers. 2020. The origin of the cobot. Saatavissa: <https://wiredworkers.io/from-robot-to-cobot/> Viitattu 20.1.2020.

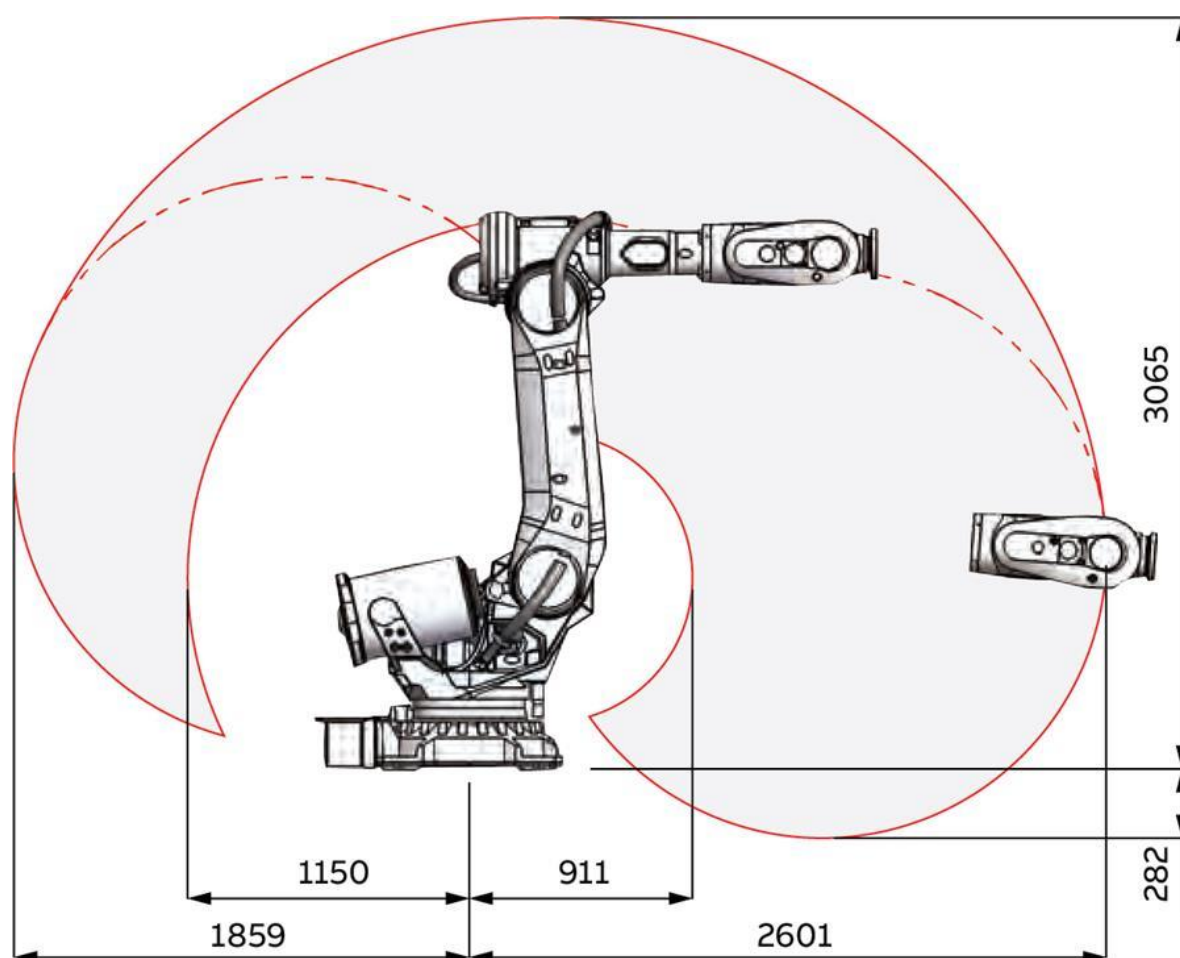


ABB IRB 6700 Teollisuusrobotin ulottuvuuden alueet

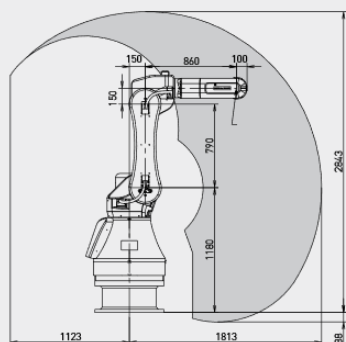
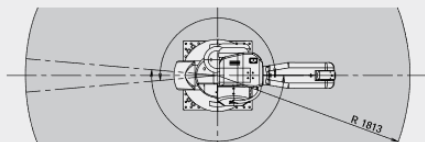
CR-35iA

Max. load capacity
at wrist: **35 kg**



Max. reach:
1813 mm

Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range [°]						Maximum speed (mm/s)	J4 Moment/ Inertia (Nm/kgm ²)	J5 Moment/ Inertia (Nm/kgm ²)	J6 Moment/ Inertia (Nm/kgm ²)
			J1	J2	J3	J4	J5	J6				
6	± 0.03**	990	370	165	258	400	220	900	750*2	110/4	110/4	60.0/1.5

Working range

Motion range may be restricted according to the mounting angle!

**Robot**

Robot footprint [mm]	CR-35iA 650 x 650
Mounting position Floor	•
Mounting position Upside down	-
Mounting position Wall	-

**Controller**

	R-30iB Plus
Open air cabinet	-
Mate cabinet	-
A-cabinet	•
B-cabinet	○
iPendant Touch	•

Electrical connections	
Voltage 50/60Hz 3phase [V]	380-575
Voltage 50/60Hz 1phase [V]	-
Average power consumption [kW]	1

Integrated services	
Integrated signals on upper arm In/Out	6/4
Integrated air supply	-

Environment	
Acoustic noise level [dB]	< 70
Ambient temperature [° C]	0-45

Protection	
Body standard/optional	IP54
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67

*1) In case of short distance motion, the speed may not reach the maximum value stated.
*2) It is necessary to set a motion speed according to risk assessment of system considering pinching with the surroundings.

• standard ○ on request - not available [] with hardware and/or software option

**Based on ISO9283

MDS-03902-EN Technical information subject to changes without prior notice. All rights reserved. ©2020 FANUC Europe Corporation

Fanuc CR-35iA yhteistyörobotin tietolomake

Mobile Robots-LD Platform
LD-250, ESD OEM

Item		LD-250, ESD OEM	Note
		37222-x000x	
Materials		Aluminum	
Dimension (L × W × H)		963 × 718 × 383 mm	* Height to top plate.
Weight		148kg (with battery), 129kg (without battery)	
Environment	Ambient temperature	5 to 40 °C	
	Ambient humidity	5 to 95 % (non-condensing)	
	Operating Environment	Indoor usage only, no excessive dust, no corrosive gas	Direct sunlight may cause safety laser false positive
	IP rating	IP20	
	Cleanroom rating	Fed Class 100, ISO Class 5	
Floor Conditions	Floor Requirements	Linoleum, epoxy, or concrete (no water, no oil, no dirt)	
	Minimum floor flatness	F _x 25 (ACI 117 standard)*	* ACI 117 is the American Concrete Institute standard for concrete floors. F _x is flatness, F _L is the level. Higher F _x numbers represent flatter floors. F _x 25 is a fairly lenient specification.
	Traversable step	10 mm max.*	* For LD-250, the robot should traverse the 10mm step at 600 mm/s or slower for best performance of the laser and battery.
	Traversable gap	15 mm max.	
	Climb grade	Flat floor only (full payload)	
Navigation	Routing	Autonomous routing by localizing with safety scanning laser based on environment mapping	
	Environmental map making method	Scan by walking the mobile robot through the environment, and upload the scan data in the MobilePlanner	
Payload	Maximum Weight	250 kg	
Mobility	Maximum Speed	1200 mm/s	
	Maximum Rotation Speed	120°/s	
	Stop Position Repeatability	Basic: ±100 mm position Standard Target: ±25 mm position, ± 2° rotation	*±10 mm position, ±0.5° rotation with option, (High Accuracy Positioning System) ±8 mm position, ±1° rotation with option, (Cell Alignment Positioning System)
Drive wheel	Materials	Aluminum with polyurethane tread	
	Size	200 dia. × 50 mm nominal, 2 wheels	
Passive caster	Materials	Static dissipative	
	Size	127 dia. × 51 mm nominal, 4 casters	
Power	Battery	22-30 VDC	
	Capacity	72 Ah Battery cell nominal capacity	
	Run Time	13 hours (continuous) approx.	With no payload condition
	Recharge Time	4 hours (4:1 ratio) approx.	
	Battery Life Cycles	2,000 recharge cycles (battery cell nominal)	
	Charging Method	Automatic / manual	
	Auxiliary Power	5 VDC±5%, 1 A switched Aux power 12 VDC±5%, 1 A switched Aux power 20 VDC±5%, 1 A switched Aux power 22-30 VDC, 4 A switched × 2 22-30 VDC, 10 A switched* 22-30 VDC, 10 A safe, switched*	5, 12, 20, and 22-30 VDC power can be provided to external devices * 10 A switched and 10 A safe, switched share the 10 A of current
Standard	Harmonized Standard	EN ISO 12100 / EN ISO 13849-1 / EN 60204-1	
	Relevant Standard	EN 1525 / ANSI B56.5	
	Wireless	802.11 a/b/g/n/ac	

Omron LD-250 teknisiä tietoja

Safety Features	Safety Scanning Laser	1 at front Class 1 PLd safety per ISO13849-1 3 m maximum radius from laser for safety zones 40 m radius for general sensing 240° field of view	
	Emergency Stop	1 at operator panel, 1 on each side (3 total)	
	Rear Sensing	Time of flight (TOF) sensors	
	Low Front Laser	1 at front of platform Class 1 4 m maximum range 126° field of view	
	Side Laser	Option*	* 2 on sides of payload structure, user-mounted
	Indicators	Light disc in each side	
	Speaker	3.5 in., 80 W max.	
Operator Interface	Screen / Touch Panel	3.5 in. TFT 320 × 240 pixels, color screen	
	Button	On button: green Off button: red Brake-release button: orange Keyswitch (disabled off button)*	* Key switch can be used to disable the off button to avoid accidental shutdown or tampering.
User Interface	Wireless	802.11 a/b/g/n/ac	
	Ethernet Port	1 x user LAN, 1 x maintenance LAN, Auto-MDIX	
	Serial	RS-232 × 2	
	Digital I/O	16 inputs, 16 outputs	
	Analog I/O	8 inputs (0 to 30 V), 4 outputs (0-20 V)	
Cart Latching	Audio	Digital audio out, audio in / audio out	
	Latching Method	Not available	

Sick M4000 valoverhon teknisiä tietoja

Tekniset tiedot

Lataukset

Lisälaitteet

Videot

Huolto ja tuki

Tullitiedot

Näytä kaikki | Peitä kaikki

Ominaisuudet

Toimintaetäisyys	0,5 m ... 70 m, Konfiguroitavissa
Lyhyt toimintaetäisyys	0,5 m ... 20 m
Pitkä toimintaetäisyys	9 m ... 70 m
Säteiden lukumäärä	3
Sädeväli	400 mm
Vasteaika	10 ms
Synkronointi	Optinen synkronointi
Integroitu laser-suuntausapu	✓

Turvatekniset ominaisuudet

Tyyppi	Tyyppi 4 (IEC 61496-1)
Turvallisuuden eheyden taso	SIL3 (IEC 61508) SILCL3 (EN 62061)
Kategoria	Kategoria 4 (EN ISO 13849)
Suoritustaso	PL e (EN ISO 13849)
PFH _D (vaarallisen vikaantumisen keskimääräinen todennäköisyys yhden tunnin aikana)	6,6 x 10 ⁻⁹ (EN ISO 13849)
T _M (toiminta-aika)	20 vuotta (EN ISO 13849)
Turvallinen tila vikaantuessa	Vähintään yksi OSSD on POIS-tilassa.

Toiminnot

	Toiminnot	Toimitustila
Sädekoodaus	✓	Koodaamaton
Uudelleenkäynnistyksen esto	✓	Sisäinen
Kontaktorivalvonta (EDM)	✓	Aktivoitu
Lähetintesti	✓	Deaktivoitu
Konfiguroitava kantama	✓	0,5 m ... 20 m
Konfiguroitava tilalähtö	✓	Likaantuminen (OWS)