

Robottisolun turva-alue suunnittelu

Raine Ruohola

Opinnäytetyö
Lokakuu 2011
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät
Tampereen ammattikorkeakoulu

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernien tuotantojärjestelmien suuntautumisvaihtoehto

RUOHOLA, RAINE: Robottisolun turva-alue suunnittelu

Opinnäytetyö 41 s., liitteet 10 s.
Lokakuu 2011

Nykyaikaiselle tuotannolle on tyypillistä automatisoida kaikki mahdolliset tuotantoprosessin vaiheet. Tämän mahdollistamisessa teollisuusrobotit ovat yksi tärkeimmistä tekijöistä. Niiden tehtävänä on korvata ihminen raskaissa, yksitoikkaisissa ja vaarallisissa tehtävissä, ja niiden työtahti sekä tarkkuus tekevätkin niistä paljon ihmistä tehokkaamman työntekijän moniin tehtäviin. Robotit pystyvät toimimaan kuitenkin vain niille annetun ohjelman puitteissa, eivätkä varsinkaan teollisuusrobotit kykene ratkomaan ongelmia tai ajattelemaan loogisesti.

Ihmisen läsnäolo onkin siksi välttämätöntä automaation valvonnassa ja huoltotehtävissä. Koska ihminen ja robotti joutuvat väistämättä työskentelemään silloin tällöin samassa tilassa ja toistensa läheisyydessä, syntyy myös väistämättä vaaratilanteita ja tapaturmia. Näitä pyritään estämään eristämällä robottisolu fyysisillä esteillä ja käyttämällä hyväksi erilaisia sensoritekniikoita valvomaan ihmisten kulkua robotin läheisyyteen.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään teollisuusrobottien sekä muiden koneiden ja laitteiden muodostamien tuotantosolujen turva-alueen suunnitteluun. Työn kohteena oli kaksi solua, joissa molemmissa on kaksi robottia, jotka poistavat kappaleita muovituotteita valmistavilta ruiskuvalukoneilta ja lastaavat kappaleet liukuhihnoille. Tavoitteena oli saada erotettua robotti-ruiskuvalukone-yhdistelmät toisistaan solujen sisällä luoden näin neljä itsenäistä solua.

Työssä käytiin läpi kaikki olennaiset turvallisuustekniikat sekä lainsäädännöt ja standardit, ja niiden pohjalta suunniteltiin edellä mainittuihin robottisoluihin kaksi hintaluokaltaan erilaista turva-alue ratkaisua. Hintaerot muodostuivat käytetyistä anturitekniikoista sekä aitatyypeistä. Lisäksi työssä on suoritettu riskien kartoitus käyttäen standardin mukaista menetelmää ja tarkasteltu robottien aiheuttamien tapaturmien tilastoja. Työ tehtiin JR-Muovi Oy -nimiselle muovituotteita alihankintana valmistavalle yritykselle.

Työn tuloksena saatiin suunnitelmat turvallisista ja käytännöllisistä robottisoluista. Suunnitelmia ei päästy vielä työn puitteissa toteuttamaan, joten piirustuksissa on jätetty pelivaraa käytännön toteutuksessa esiin tuleville mahdollisille muutoksille ja parannuksille. Työssä jouduttiin tekemään muutamia kompromisseja turvallisuuden ja käytännöllisyyden kesken johtuen tilanpuutteesta tehtaan sisällä.

Asiasanat: Robotiikka, koneturvallisuus, turva-anturitekniikat, optiset turvalaitteet.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering
Option of Modern Production Systems

RUOHOLA, RAINE: Robot Cell Safety Area Planning

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 10 pages
October 2011

Robots have been an essential part of industrial automation for decades. Their job is to replace human beings in heavy, monotonous, and dangerous duties. The working pace and accuracy of industrial robots make them more efficient workers in many tasks than humans. But robots can function only within the parameters given in their program, and especially industrial robots are unable to solve problems or think logically. Thus, human presence is necessary in supervising automation, troubleshooting, and in maintenance. This interaction between man and machine has always caused accidents, and humans are usually the ones who are injured.

The purpose of this thesis was to prevent those accidents from happening in the production cells we planned. The objects of the thesis were two cells consisting of two robots, whose tasks were to remove plastic products from injection molding machines and loading them on a conveyor belt. The goal was to separate these robot/machine combinations from each other, thus creating four independent cells.

All the relevant safety techniques, laws, standards and accident statistics were discussed in this thesis, and based on them two different safety area plans were made for the cells in question. The differences between the plans were their costs due to different sensor technologies and fence types used in the cells. A risk analysis was also made using a standardised method. The thesis was made for JR-Muovi Oy, who manufactures various plastic products as a subcontractor. This thesis did not include the execution of the plans, so it was hard to determine how successful they were. However, the thesis itself works as an excellent basis for building a robot cell of almost any kind.

Key words: Robotics, machine safety, safety sensors, optical safety devices.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	JR-MUOVI OY	8
3	JÄRJESTELMÄN KUVAUS	9
3.1	Robotit	9
3.2	Ruiskuvalukoneet	11
4	LAINSÄÄDÄNTÖ JA STANDARDIT	13
4.1	Standardit.....	13
4.2	Sitovat säännökset.....	14
5	ROBOTTITAPATURMAT	16
6	TURVALLISUUSTEKNIIKAT	20
6.1	Turva-aidat	20
6.2	Anturitekniikat.....	22
6.2.1	Valokytkin.....	22
6.2.2	Valoverho	23
6.2.3	Tuntomatot.....	24
6.2.4	Turvalaserskanneri.....	24
6.2.5	Ultraäänianturit	27
6.2.6	Konenäköpohjaiset turvalaitteet	27
6.3	Turvarajakytkimet.....	29
7	TOTEUTUS	31
7.1	Layout 1.....	33
7.1.1	Vaihtoehto 1	34
7.1.2	Vaihtoehto 2	34
7.2	Layout 2.....	35
7.2.1	Vaihtoehto 1	35
7.2.2	Vaihtoehto 2	36
7.3	Riskien arviointi	37
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	39
9	LÄHTEET.....	40
10	LIITTEET.....	42

1 JOHDANTO

Teollisuusrobotteja on valmistettu helpottamaan, nopeuttamaan ja tehostamaan tuotantoa jo neljänkymmenen vuoden ajan. Kehitystä tänä aikana on tapahtunut valtavasti, ja teollisuusrobotit ovatkin tänä päivänä erittäin monikäyttöisiä ja monipuolisia. Robotit eivät kuitenkaan kykene vielä kaikkeen aivan itse, joten ihmisen valvontaa tarvitaan edelleen melko paljon. Tämän takia ihmiset ja robotit joutuvat olemaan usein vuorovaikutuksessa keskenään, jolloin voi syntyä vaaratilanteita.

Robottien kehitys etenee kovaa tahtia tekoälyn ja konenäön nopean kehityksen johdosta. Maailmalla julkaistaankin joka vuosi yhä älykkäämpiä ja ketterämpiä prototyyppisiä etenkin ihmisten palveluun tarkoitettuja roboteista, mutta myös teollisuuteen suunnatuista roboteista. Tosin aikaa siihen, jolloin suurin osa maailmalla käytettävistä teollisuusroboteista hyödyntävät merkittävästi tekoälyä ja oppivia järjestelmiä, saattaa kulua vielä kymmeniä vuosia.

Robottien kehitys on kuitenkin vääjäämättömästi suuntautunut kohti niin sanottuja öajattelevia robotteja, jolloin voi tulla eteen aika omille, pelkästään roboteille suunnatuille laeille ja eettisille säännöille (Timo Malm, 2008). Isaac Asimov esitti jo vuonna 1941 fiktiivisessä romaanissaan Runaround kuuluisat robotiikan kolme pääsääntöä:

1. Robotti ei saa vahingoittaa ihmistä eikä laiminlyönnin johdosta saattaa tätä vahingoittumaan.
2. Robotin on toteltava ihmisen sille antamia määräyksiä paitsi milloin 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.

Myöhemmin hän lisäsi nollannen pääsäännön: "0. Robotin tulee suojella ihmiskuntaa." Tällöin muihin pääsääntöihin lisätään määreet "mikäli se ei riko edellisiä". (Robotiikan kolme pääsääntöä, www.wikipedia.fi)

Tärkeintä uuden robottisolun suunnittelussa on ennakoida kaikki mahdolliset vaaratilanteet, joita voi syntyä, kun ihminen työskentelee robotin läheisyydessä. Kaikkien kuviteltavissa olevien vaaratilanteiden tunnistamisen jälkeen nämä voidaan suunnitteluvaiheessa ennaltaehkäistä erilaisilla turvajärjestelyillä, joihin tässä työssä paneudutaan tarkemmin myöhemmissä luvuissa. Tähän tehtävään on hyvänä apuna standardit, jotka tarjoavat muun muassa valmiita turvaetäisyyksiä eri tilanteisiin. Kaikista turvajärjestelyistä huolimatta onnettomuuksia sattuu kuitenkin silloin tällöin.

Direktiivien ja standardien lisäksi on otettava huomioon erilaiset sensoritekniikat, ja valittava niistä juuri omaan robottisoluun sopivat laitteet. Myös turva-aitojen ja niiden sisälle jäävien laitteiden sijoittelu eli layout-suunnittelu on tärkeässä osassa koko solua suunniteltaessa.

Suurimpia haasteita robottisolun turvajärjestelmien suunnittelussa on se, miten solusta saataisiin mahdollisimman turvallinen ilman, että se hidastaisi tai muuten häittäisi tuotantoa. Lähes jokaisessa valmistavan teollisuuden yrityksessä nopeat valmistusajat ovat tärkeämpiä kuin pienet ja helposti merkityksettömältä tuntuvat turvajärjestelyt. Myös kiireen, väsymyksen, huolimattomuuden tai välinpitämättömyyden aiheuttamia turvallisuusriskejä on usein vaikeaa tai mahdotonta ennalta-ehkäistä. Robottien kanssa työskentelevän henkilöstön kouluttaminen turvalliseen toimintaan onkin hyvin tärkeä osa robottisolun turvallisuutta.

Tämän työn suurimpia haasteita on myös se, miten robottisoluista saataisiin mahdollisimman joustavia. Suurin osa maailman teollisuusroboteista suorittaa itsenäisesti ja pitkäkestoisesti yhtä tai kahta ohjelmaa kuukaudesta toiseen. Tällöin robottisoluihin ei tarvitse juuri koskaan tehdä muutoksia, jolloin myös robottien käyttäjät altistuvat harvemmin robottien aiheuttamille vaaroille. Tässä työssä robotit tulevat muovituotteita valmistaville ruiskuvalukoneille. Niillä valmistettavat tuotantosarjat kestävät usein vain viikon tai kaksi, joskus harvoin kuukauden verran. Tämä aiheuttaa sen, että koneille on päästävä joka kuukausi kerran tai kaksi vaihtamaan koneisiin muotit, joten koneille on päästävä trukilla mahdollisimman helposti. Lisäksi uusia ohjelmia on tehtävä robotilla tai testattava olemassa olevia vanhoja ohjelmia. Myös koneiden arvoja on säädettävä usein kesken automaattiajon ja muutenkin koneen käyttäjän läsnäoloa koneen läheisyydessä vaaditaan jatkuvasti.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, mitä kaikkea liittyy robottisolun perustamiseen sekä muodostaa kaksi hintaluokaltaan erilaista vaihtoehtoa käytettäväksi JR-Muovi Oy:n tuleviin robottisoluihin. Työssä paneudutaan erilaisiin turvallisuustekniikoihin sekä robottisolua koskeviin direktiiveihin ja standardeihin. Lähtökohtana työlle oli se, että yrityksessä oli jo ennestään yksi robotti toiminnassa, jolle tarvitsi suunnitella turva-alue. Lisäksi tilauksessa oli kolme uutta robottia, joille myös tarvitsi tehdä turva-alue-suunnitelma.

Haasteena työssä oli se, että suunniteltavana oli kaksi useamman kuin yhden robotin solua. Tavoitteena oli tuottaa toimiva ja turvallinen ratkaisu, jonka ansiosta kullekin robotille tai ruiskuvalukoneelle voisi mennä työskentelemään ilman, että muita robotteja tarvitsisi pysäyttää siksi aikaa. Toisin sanoen tavoite oli luoda neljä itsenäistä ja turvallista robottisolua.

2 JR-MUOVI OY

JR-Muovi Oy on Tampereen Hervannassa sijaitseva muovituotteita ja muotteja valmistava, vuonna 1991 perustettu yritys. JR-Muovi Oy on seitsemällätoista ruiskuvalukoneellaan ja 1500 neliömetrin tuotantotiloillaan Pirkanmaan suurimpia muovituotteiden valmistajia. Henkilöstöä yrityksessä on viisi. Itse olen tutustunut yritykseen ollessani siellä työharjoittelussa ja kesätöissä.

JR-Muovi valmistaa muovituotteita asiakkaan tilauksesta, ja aiemmin valmisti itse tuotteelle sopivan muotin, mutta nykyään muotit tilataan pääasiassa alihankkijalta. JR-Muovi noudattaa kaikissa toiminnoissaan sekä ISO 9001-laatustandardia että ISO 14001-standardin mukaista ympäristöjärjestelmää.

Yrityksen asiakaskunta koostuu pääasiassa muovituotteita myyvistä yrityksistä, joista suurin on Asoma Oy. Tällaisille yrityksille JR-Muovi tekee erilaisia tuotteita ja komponentteja alihankintana. JR-Muovilla on myös suuria kansainvälisiä asiakkaita, kuten Metso ja Würth.

3 JÄRJESTELMÄN KUVAUS

Tässä työssä käsitellään neljän ruiskuvalukoneen ja niitä käyttävien robottien muodostamia soluja. Soluja on kaksi, joista toisessa on kaksi ruiskuvalukonetta ja kaksi robottia. Toisessa solussa on kolme ruiskuvalukonetta ja kaksi robottia. Kyseiset järjestelyt johtuvat tilanpuutteesta ja ne hankaloittavat huomattavasti solujen turva- aluesuunnittelua verrattuna yhden robotin soluihin.

Ruiskuvalukoneet ovat:

Klöckner-Ferromatik FX 100, vm. 1990

Klöckner-Ferromatik FX 100, vm. 1992

Battenfeld BK-T 2500/1000, vm. 1993

Haitai HTH1500, vm. 2006

Battenfeld TM 4500/2800, vm. 1999, ei robottia

Robotit ovat:

3x Fanuc M-6i

1x Fanuc M-6iB

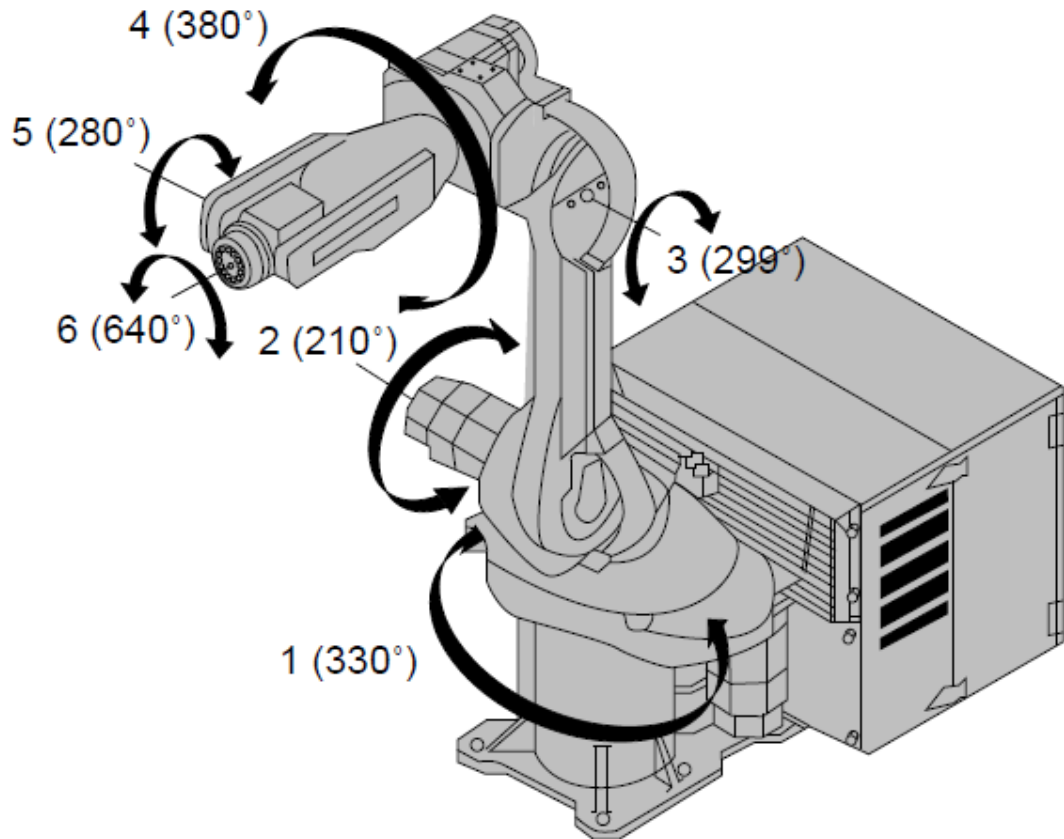
3.1 Robotit

Tässä työssä käsiteltävät robotit ovat kaikki Fanuc:n valmistavia. Kolme niistä on mallia M-6i ja yksi mallia M-6iB (kuva 1), joka on edellistä mallia hieman uudempi versio. Molemmat mallit ovat poistuneet Fanuc:n tuotevalikoimasta ja korvattu mallilla M-10i. Ohjausjärjestelmänä jo olemassa olevalla M-6i órobotilla on Fanuc:n R-J2 ja kahdella muulla M-6i órobotilla uudempi versio R-J3. M-6iB órobotilla ohjausjärjestelmänä on R-J3iB. Käytännössä näillä laitteilla ei ole minkäänlaista eroa loppukäyttäjän näkökulmasta.



Kuva 1. Fanuc M-6iB robotti. (www.robots.com, muokattu)

Fanuc:n M-6 omalliston robotit (kuva 2) ovat kiertyvänivelisiä robotteja, joilla on kuusi vapausastetta, joita yleisesti kutsutaan joko akseleiksi tai niveliksi. Roboteilla voi käsitellä maksimissaan 6 kilogramman painoisia kappaleita, mikä on enemmän kuin riittävä kaikille JR-Muovi Oy:ssä valmistettaville tuotteille. Robotit voi myös asentaa ylösalaisin tai vaikka seinään. Tarkka luettelo M-6 órobottien ominaisuuksista löytyy liitteestä 1.



Kuva 2. Fanuc M-6i robottien nivelten kiertymisasteet. (Fanuc M-6i PDF-tuote-esite, muokattu)

3.2 Ruiskuvalukoneet

Ruiskuvalukoneet ovat itsessään hyvin turvallisia koneita, eivätkä ne aiheuta juurikaan tapaturmia. Jos koneella ei käytetä robottia kappaleiden poistamiseen, käytetään tällöin koneessa turvalasilla varustettua liukuovea ja rajakytkimiä, jolloin koneen käyttäjä ei pääse laittamaan käsiään muotinpuolikkaiden väliin ilman oven avaamista ja täten koneen pysähtymistä. JR-Muovilla ainoa tapaturma ruiskuvalukoneiden takia on sattunut suuttimen ja muotin syöttöaukon putsauksen yhteydessä. Tällöin sulaa raaka-ainetta voi vahingossa ryöpsähtää käyttäjän käsille.

Vaikka ruiskuvalukoneet (kuva 3) ovat melko turvallisia, vaativat ne käyttäjän läsnäoloa hyvin usein. Raaka-aineet syötetään automaattisesti putkistoa pitkin alipaineella koneille, mutta tämäkin järjestelmä vikaantuu koneen päässä aika ajoin. Automaattiajon alkuvaiheessa käyttäjä joutuu säätämään syöttöpaineita, ulostyöntöä, lämpötilaa ja muita

koneen asetusarvoja saadakseen halutun lopputuloksen. Näitä arvoja joutuu välillä kesken ajonkin muuttamaan. Muottia joutuu myös voitelemaan, jotta kappaleet irtoavat helpommin muotista. Suurin osa koneella tehtävistä säädöistä ja huolloista ei vaadi kovin usein automaattiajon pysäyttämistä, jota pyritään välttämään muotin liiallisen jäähtymisen ja sulan raaka-aineen seisomisen takia. Kun ruiskuvalukoneen kanssa käytetään robottia, on automaattiajo keskeytettävä aina, kun käyttäjä astuu turva-alueelle.



Kuva 3. Battenfeld BK-T 1800 / 1000 ruiskuvalukone. (www.equipmatching.com, muokattu)

4 LAINSÄÄDÄNTÖ JA STANDARDIT

Jokaisen koneen, laitteen tai näistä koostuvan kokonaisuuden on täytettävä tietyt lait ja säännökset, jotka ovat niitä varten luotu. Nämä lait ja säännökset koskettavat käytännössä vain koneiden valmistajia sekä joitakin maahantuoja ja konemyyjiä. Lait, päätökset ja direktiivit ovat kaikki sitovia eli pakollisia, mutta ne ovat varsin laaja-alaisia ja ylimalkaisia. Näitä sitovia säännöksiä onkin tarkennettu vapaaehtoisilla standardeilla, jotka ovat enemmän alakohtaisia ja kertovat paremmin sen, miten sitovien säännöksien antamat ehdot saadaan kullakin alalla täytettyä. Ote työturvallisuuslain (738/2002) 41 §: öPääsyä koneen tai työväliseen vaara-alueelle on rajoitettava niiden rakenteen, sijoituksen, suojusten tai turvalaitteiden avulla tai muulla sopivalla tavallaö.

Vaikka robottien ja eri koneiden yhteistyötä on hyödynnetty jo pitkään teollisuudessa, kuten esimerkiksi työstökeskus ja robotti, ei tällaisille keskenään vuorovaikutuksessa olevien koneiden yhdistelmille, eli robottisoluille, ole vielä julkaistu niille sovellettavaa säännöstä tai standardia. Näitä koskeva standardi ISO 10218-2 julkaistaan vuoden 2011 loppupuolella. Tämä standardi koskee nimenomaan robottisoluja ja niihin liittyviä asioita.

4.1 Standardit

Robotteja koskeva standardi on ISO 10218-1:2006, ja se käsittelee lähinnä robottien valmistukseen liittyviä asioita kuten; käsiohjain, kolmiasentoinen sallintapainike, pysäytystoiminnot, käsin ohjaus alennetulla nopeudella, langaton ohjaus, ihmisen ja robotin yhteistoiminta, liikkeiden ohjelmallinen rajoittaminen, käyttöohjeet ja merkinnät.

Koneiden riskikartoituksessa sovelletaan standardia ISO 12100:2010 sekä teknistä raporttia ISO/TR 14121-2:2007. Tässä työssä tehtyjä robottisolun riskianalyysyjä tehtäessä on hyödynnetty ISO/TR 14121-2:2007:n dokumenttipohjia ja óhjeita. Liitteessä 3 on lista standardeista, jotka koskettavat tämän työn aihealuetta.

4.2 Sitovat säännökset

Robottiaseman suunnittelussa ei tarvitse sinänsä ottaa huomioon direktiivejä lukuun ottamatta varmistusta siitä, että kaikki aseman laitteet ja koneet ovat direktiivien mukaiset. Robotteja koskeva direktiivi on konedirektiivi 2006/42/EY, joka korvasi vanhan direktiivin 98/37/EY:n. Direktiivi on otettu Suomessa käyttöön koneasetuksella ja sitä on täytynyt soveltaa 29.12.2009 lähtien.

Uuden konedirektiivin tuomia muutoksia verrattuna vanhaan ovat mm.

- ó Järjestelmällinen riskien arviointi ja sen dokumentointi
- ó Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt
- ó Tekninen rakennetiedosto
 - mm. riskien arvioinnin dokumentointi
- ó Merkinnät
 - joiltakin osin muuttuneet vaatimukset
 - CE-merkintä: jos on käytetty täydellistä laadunvarmistusmenettelyä
- ó Ohjeet
 - tarkentuneet sisältövaatimukset
- ó EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus
 - sisältövaatimukset joiltakin osin muuttuneet
- ó Puolivalmisteen liittämismarkkinavakuutus
 - sisältövaatimukset joiltakin osin muuttuneet
- ó Osittain valmiin koneen valmistajan velvollisuudet
- ó Markkinavalvontaa koskevat velvoitteet jäsenmaille tarkentuneet. (Esa Laine, 2010)

Kaikki tähän työhön liittyvät koneet ja laitteet ovat valmistettu ennen uutta konedirektiiviä, joten kyseisillä koneilla ja laitteilla ei ole eikä niiltä vaadita dokumentoituja riskianalyyskejä valmistajan toimesta. Suomen työturvallisuuslaki kuitenkin määrää, että työpaikan vaarat ja riskit on tunnistettava ja arvioitava. Tässä työssä on laadittu standardin mukaisella menetelmällä dokumentit riskien arvioinnista koskien koko turva-alueita, eli ei jokaiselle koneelle ja laitteelle erikseen. Dokumentit löytyvät liitteestä 2.

Työturvallisuuslain (738/2002) 10 § Työn vaarojen selvittäminen ja arviointi mukaan kaikilla työnantajilla on velvollisuus selvittää, tunnistaa ja arvioida työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle aiheutuvat haitat ja vaarat. Tämä riskien arviointi ja hallinta ovat osa työpaikan turvallisuustoimintaa.

Koneiden turvallisuutta koskeva valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta (400/2008) velvoittaa koneiden valmistajat arvioimaan niihin liittyvät riskit. Riskien arvioinnin perusteella suunnitellaan ja toteutetaan turvallisuustoimenpiteet sekä laaditaan tarvittavat dokumentit ja käyttöohjeet. Osoituksena siitä, että kone täyttää sitä koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset, koneen valmistaja allekirjoittaa vakuutuksen vaatimustenmukaisuudesta ja kiinnittää koneeseen CE-merkinnän. (Riskien arviointi, työsuojeluhallinto)

5 ROBOTITAPATURMAT

Tämän työn aihealueeseen liittyen on hyvä tarkastella tilastoja robottien aiheuttamista tapaturmista teollisuudessa. Tässä osiossa esitetään muutamia robottitapaturmiin liittyviä tilastotaulukoita, jotka Timo Malm on kerännyt tapaturmavakuutuslaitosten liiton (TVL) tilastoista ja Työsuojeluhallinnon tapaturmaselostusrekisteristä toimittamaansa teokseen Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus (2008). Tutkimus on jaettu kahteen osaan, joista ensimmäisessä käsitellään robotteihin liittyviä lieviä tapaturmia ja toisessa vakavia tai kuolemaan johtaneita tapaturmia. (Timo Malm, 2008)

TVL:n tilastojen mukaan vuosina 2003 ja 2004 tapahtui yhteensä 72 tapaturmaa, joissa robotti oli osallisena. Näistä 67 tapahtui teollisuudessa. Kaikista teollisuudessa tapahtuneista tapaturmista vuosina 2003-2004 robottitapaturmien osuus oli noin 0,12 %. Taulukossa 1 tapaturmat on luokiteltu toiminnan luonteen sekä tapaturman syyn mukaan. Taulukosta nähdään, että tunnetuista toiminnoista robotin käsinohjelmointi sekä asetusten yms. teko on selvästi vaarallisinta. Mielenkiintoista on, että robotin liikkeen aiheuttamat tapaturmat ovat vasta kolmanneksi suurin syy tapaturmiin, työkalujen käsittelyn ja liukastumisten jälkeen.

Taulukko 1. Teollisuuden tapaturmien luokittelu toiminnan luonteen sekä tapaturmaan johtaneen syyn tai seurauksen mukaan. (Timo Malm, 2008)

Tapaturmien luokittelu toiminnan luonteen mukaan	Lukumäärä	% kaikista
Tuotanto	9	13
Käytön tukitehtävät: asetukset/ säätö/ ohjelmointi, - Koneen käyttäjän tekeminä	22	33
Häiriön poisto	10	15
Huolto, kunnossapito, ulkopuolinen huoltomies	4	6
Työvaihe tuntematon	22	33
Tapaturmien luokittelu syyn tai seurauksen mukaan	Lukumäärä	% kaikista
Robotin liike tai toiminta	14	21
Esineiden ja työkalujen käsitteleminen	26	39
Liikkuminen, liukastuminen, nyrjähdykset	19	28
Hitsausrobotilla työskennellessä silmät	3	4,5
Muut	5	7,5

Taulukossa 2 on robottitapaturmat jaoteltu toimialoittain. Taulukosta nähdään, että suurin osa robottitapaturmista tapahtuu elintarvikealalla ja metalli teollisuudessa. Kumi- ja muovituotteiden valmistuksessa tapahtui yksi tapaturma vuodessa.

Taulukko 2. Vuosien 2003 ja 2004 tapaturmien jaottelu toimialan mukaan. Teollisuuden tapaturmien jaottelua on tarkennettu TOL2P-toimialaluokituksen mukaan. (Timo Malm, 2008)

Toimiala	Kaikki tapaturmat		Teollisuuden tapaturmien tarkempi tarkastelu vuosittain			
	lkm	%	lkm 2003	%	lkm 2004	%
15 Elintarvikkeiden ja juomien valm.	20	28	11	32	9	27
28 Metallituotteiden valmistus	12	17	8	24	4	12
23 Koneiden ja laitteiden valmistus	8	11	4	12	4	12
27 Perusmetallien valmistus	5	7	2	6	3	9
20 Muu kulkuneuvojen valmistus	2	3	2	6	0	0
21 Puutavaran ja puutuott. valm.	5	7	1	3	4	12
26 Massan, paperin jne. valmistus	4	6	2	6	2	6
25 Ei-metallisten mineraalituott. valm.	3	4	1	3	2	6
31 Kumi- ja muovituotteiden valm.	2	3	1	3	1	3
35 Muu sähkökoneiden, -laitt. valm.	3	4	1	3	2	6
33 Lääkintäkojeiden, kellojen valm.	1	1	0	0	1	3
24 Kemikaalien, kem. tuott. jne. valm.	1	1	1	3	0	0
36 Huonekalujen valm.; muu valm.	1	1	0	0	1	3
Rakennusala	4	6	-	-	-	-
Maa-, riista- ja metsätalous	1	1	-	-	-	-
Yhteensä	72	100	34	100	33	100

Vakavia robottitapaturmia tarkasteltiin ajanjaksolla 1987-2006, ja tapaturmia löytyi 25 kappaletta, joista kolme oli kuolemaan johtaneita. Kaikki kuolemaan johtaneet tapaturmat tapahtuivat puristuksiin joutumalla. Taulukossa 3 on ilmoitettu vuosittaiset vakavat tapaturmat kyseisellä ajanjaksolla. Kaikista tapaturmaselostusrekisteriin kirjatuista vakavista tapaturmista robottitapaturmien osuus oli noin 0,28 prosenttia. Jos robottitapaturmien osuus kaikista teollisuuden tapaturmista on noin 0,12 prosenttia ja osuus kaikista vakavista teollisuuden tapaturmista noin 0,28 prosenttia, voidaan tehdä johtopäätös, että robottitapaturmat ovat keskimääräistä vakavampia. Vuosina 2003 ja 2004 vakavia tapaturmia oli yhteensä kolme eli 4 prosenttia kaikista kyseisinä vuosina sattuneista robottitapaturmista. (Timo Malm, 2008)

Taulukko 3. Tapaturmaselostusrekisteriin kirjatut robottitapaturmat vuosina 1989-2006. (Timo Malm, 2008)

Vuosi	Lkm	Vuosi	Lkm
1989	2	1998	-
1990	1	1999	1
1991	-	2000	2
1992	-	2001	2
1993	-	2002	4
1994	1	2003	1
1995	1	2004	2
1996	-	2005	5
1997	1	2006	2

Tapaturmat oli myös luokiteltu tapaturmatilanteen toiminnan luonteen sekä tapaturmaan johtaneen syyn tai seurauksen perusteella. Tulokset on esitetty taulukossa 4. Siitä nähdään, että noin puolet tapaturmista syntyi häiriöitä poistaessa. Tuotannon aikana ja säätöjen sekä asetusten muuttamisen aikana sattui seuraavaksi eniten vakavia tapaturmia. Taulukosta nähdään myös, että yleisimmät syyt tapaturmiin ovat robotin puutteellinen suojaus sekä puutteelliset varoitukset ja ohjeet. (Timo Malm, 2008)

Taulukko 4. Tapaturmaselostusrekisteriin kirjattujen robottitapaturmien syitä ja osuuksia eri toimintamuodoissa vuosina 1989-2006. (Timo Malm, 2008)

	Yht. kpl.	Kpl tapauksia eri toimintamuodoissa					Työvaihe tuntematon
		Häiriönpoisto	Korjaus ja huolto	Tuotanto	Säätö, aset. muuttaminen, puhd., työkalun vaihto		
Yhteensä kpl	25	12	1	5	6	1	
Yhteensä %	100 %	48 %	4 %	20 %	24 %	4 %	
Odottamaton käynnistys	9	5		2	2		
Työntekijän vahinko	5	3	1		1		
Vaarallinen työmenetelmä	11	6		1	4		
Puutteellinen suojaus	19	8	1	4	5	1	
Puutteellinen suunnittelu	9	1	1	1	5	1	
Riittämätön työkokemus	6	3	1	2			
Vika	1	1					
Huono näkyvyys	0						
Puutteelliset varoitukset/ ohjeet	15	8	1	3	2	1	
Kiire	3	2			1		

Taulukossa 5 on luokiteltu vakavat tapaturmat syyn tai seurauksen mukaan. Lähes kaikki tapaturmat johtuivat robotin liikkeestä tai toiminnasta. Kun tätä verrataan kaikkiin robottitapaturmiin (taulukko 1), voidaan todeta, että joka viides robotin liikkeestä johtuva tapaturma on luonteeltaan vakava. Lähes kaikki robotin liikkeen aiheuttamat tapaturmat olivat eri kehonosien puristumisia, joten robottisolua suunniteltaessa on otettava erityisesti huomioon kaikki puristumisvaarat. Riittävän selvät varoituskyltit ovat myös hyvä tapa ehkäistä tapaturmia.

Taulukko 5. Tapaturmaselostusrekisteriin kirjattujen vakavien robottitapaturmien luokittelu tapaturmaan johtaneen syyn tai seurauksen mukaan vuosina 1989-2006.

(Timo Malm, 2008)

Tapaturmien luokittelu syyn tai seurauksen mukaan	Lukumäärä	% kaikista
Robotin liike tai toiminta	23	92 %
Esineiden ja työkalujen käsitteleminen	1	4 %
Liikkuminen, liukastuminen, nyrjähdykset	1	4 %

6 TURVALLISUUSTEKNIIKAT

Laki määrää, että teollisuusrobotit tulee olla eristettyinä muusta henkilökunnasta jollakin fyysisellä esteellä tai riittävän tehokkailla valvontamenetelmillä (Työturvallisuuslaki (738/2002)). Este tulisi myös olla kytkettynä robotin ohjaukseen jonkinlaisilla antureilla, jotta estettä ei voi vahingossa ohittaa ilman robotin pysähtymistä. Tässä luvussa esitellään nykyään yleisimmin käytössä olevat robottisolujen turvallisuustekniikat. Luvussa 7 valitaan tähän työhön sopivimmat vaihtoehdot eri tekniikoista.

6.1 Turva-aidat

Turva-aidat ovat näkyvin ja kenties tärkein osa robottisolujen turvallisuutta, sillä ne estävät asiattomien henkilöiden pääsyn vahingossa robotin turva-alueelle. Aitavaihtoehtoja on useita erilaisia käyttökohteesta ja investointihalukkuudesta riippuen. Esimerkiksi hitsausrobottisolun ja kokoonpanorobotin solun aitaukset vaativat kumpikin omat ominaisuutensa. Hitsausrobotin ympärillä on lähes poikkeuksetta umpinainen aitaus, joka estää sokaisevan kirkkaan valokaaren lähettämän valon sekä kipinöiden pääsyn solun ulkopuolelle. Kokoonpanorobottien ympärillä taas on käytännössä aina pienisilmäistä teräsverkkoaitaa, jonka lävitse näkee täydellisesti, eikä robotin työnkuvasta johtuen tarvitse pelätä lentäviä kipinöitä, lastuja tai muita vastaavia ainakin silmille vaarallisia esineitä.

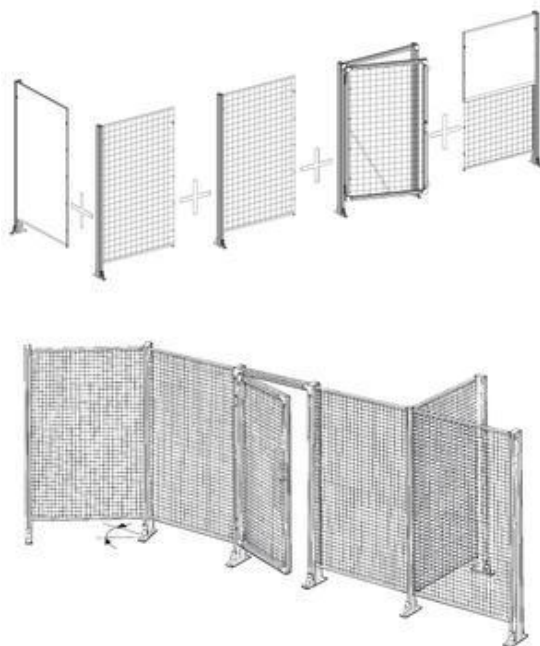
Uuden konedirektiivin 2006/42/EY mukaan kiinteiden suojusten kiinnitykset tulee voida avata vain työkaluilla. Kiinnikkeiden on pysyttävä kiinni suojuksissa, vaikka suojuukset irrotettaisiin. Suojarakennetta koneen ympärillä käytettäessä on huolehdittava, ettei mikään osa kehoa - myöskään jalat - yllä koneen ympärillä olevalle vaaravyöhykkeelle. Kone- ja laitesuojien minimietäisyys koneesta riippuu verkon silmäkoosta. Suojusrakenne ei saa estää näkyvyyttä koneeseen, jottei suojarakenteita ole tarvetta poistaa.

Yleisin turva-aitatyyppejä on edellä mainittu verkkoaita, joka sopii kokoonpanoa, pakkausta, siirtelyä ja muita vastaavia töitä tekeville roboteille, joiden työskentelystä ei aiheudu kipinöiden tai pienten partikkelien sinkoutumista. Nykyään ovat tulleet

suosituksi erilaisista metalleista, useimmiten alumiinista, tehdyt ikkunallisista ja ikkunattomista moduuleista kootut aitaukset, joissa ikkunat ovat kovaa ja kestäväää polykarbonaattia. Tällöin näkyvyys aitauksen sisälle säilyy hyvänä eikä tarvitse pelätä edellä mainittuja erinäisiä lentäviä esineitä. Kuvissa 4 ja 5 on esimerkit Jokab Safetyn aitauksista.



Kuva 4. Esimerkki Jokab Safetyn Quick-Guard áitauksesta. (www.trep4.com)



Kuva 5. Jokab Safetyn Quick-Guard E teräsverkkomodulit. (www.jokabsafety.com)

6.2 Anturitekniikat

Erilaisia turva-antureita ja sensoreita on hyvin monenlaisia. Tässä osiossa käydään läpi kaikki yleisimmät ja tähän työhön soveltuvimmat tekniikat.

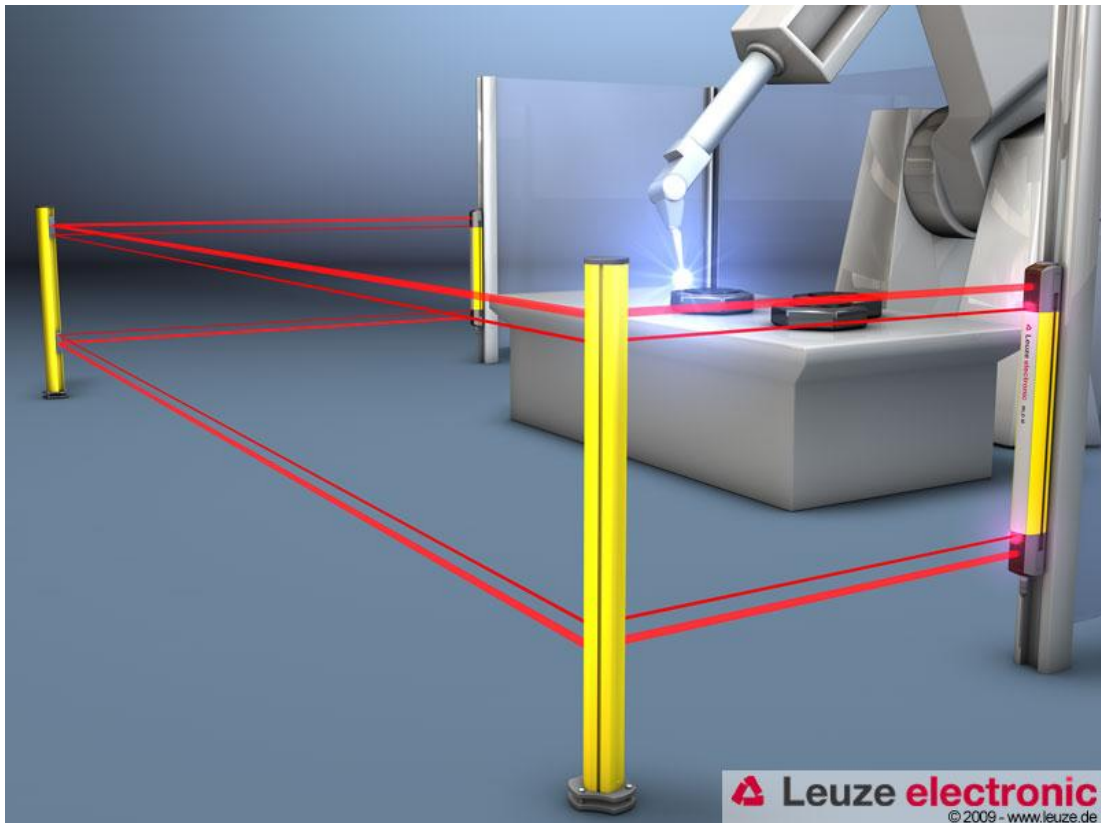
6.2.1 Valokytkin

Valokytkinten toiminta perustuu valonsäteiden käyttöön. Lähetin lähettää valonsäteitä, jotka vastaanotin sitten havaitsee. Jos jokin katkaisee valonsäteen, robotti pysähtyy. Lähetin ja vastaanotin voivat olla kaksi erillistä laitetta tai yksi laite, jossa on molemmat komponentit samoissa kuorissa. Jälkimmäisessä tapauksessa valonsäteet on heijastettava takaisin joko heijastimesta tai suoraan tarkkailtavasta kohteesta. Jos valoa heijastetaan tarkkailtavasta kohteesta, vaikuttaa laitteen luotettavuuteen hyvin paljon kohteen heijastusominaisuudet. Tällaista ratkaisua ei voi käyttää ainoana turvalaitteena robottisolussa. (Timo Malm, 2008)

Valonlähteenä valokytkimissä käytetään nykyään poikkeuksetta LED-valoja niiden kestokyvyn ja monipuolisuuden takia. Käytetty valo joko pulssitetaan tai moduloidaan, mikä parantaa häiriönsietokykyä ja yksilöi anturin. Valon aallonpituutena käytetään infrapuna-alueita, jolloin valo läpäisee helpommin ilman epäpuhtauksia eikä tilassa oleva näkyvä valo aiheuta häiriöitä. Valokytkin voi lähettää ohjaussignaalin joko yhteyden katketessa tai yhteyden muodostuessa riippuen käyttökohteesta. Valokytkimiä saa sekä yksi- että monisäteisinä (Kuvat 6 ja 7). (Timo Malm, 2008)



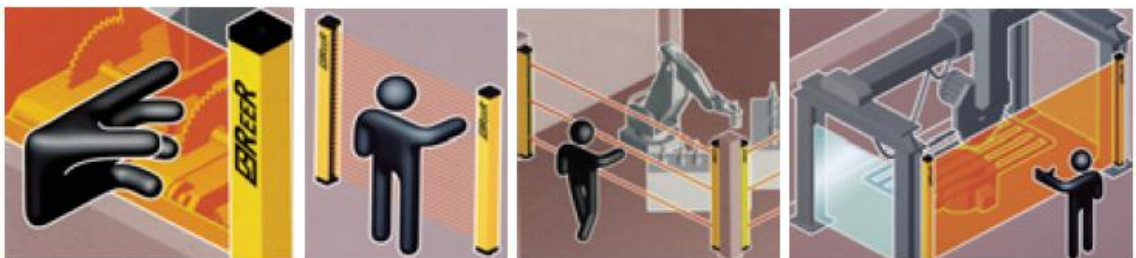
Kuva 6. Leuzen yksi- ja kolmisäteiset valokytkimet. (www.leuze.com)



Kuva 7. Esimerkki valokytkimen käytöstä aidan korvikkeena. (www.leuze.com)

6.2.2 Valoverho

Valoverhot (Kuva 8) ovat periaatteessa useiden valokytkimien yhdistelmiä, joissa on lähettäjiä ja vastaanottimia vieri vieressä. Tällä menetelmällä saadaan estettyä pienempien objektien, kuten käsien, jalkojen tai sormien joutumista vaara-alueelle, kun taas valokytkimen tehtävä on usein estää ihmisen joutumista vaara-alueelle. Valoverhoilla voi valvoa suuriakin kulkuaukkoja, sillä lähettimen ja vastaanottimen välinen etäisyys voi olla jopa 50 metriä. (Timo Malm, 2008)



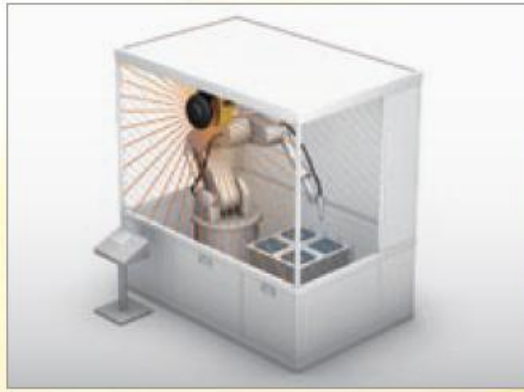
Kuva 8. Esimerkkejä Reer-turvavaloverhoista. (www.sahkolehto.fi)

6.2.3 Tuntomatot

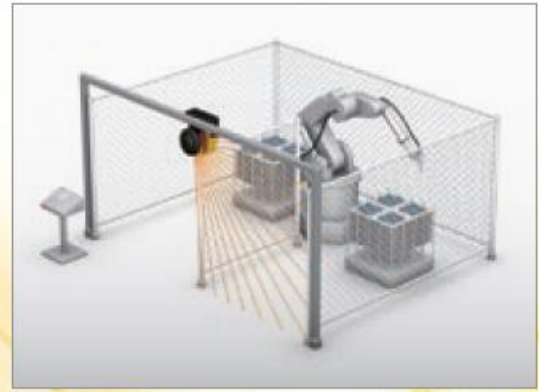
Tuntomatot ovat kumisia 10-15 millimetriä paksuja mattoja, joista saadaan mekaanisen kosketuksen avulla ohjaustieto robotille kun ihminen astuu sen päälle. Tuntomattojen toimintaperiaate perustuu joko paineilman, valokuidun tai sähkömekaanisten ratkaisujen käyttöön. Harvinaisimmat näistä kolmesta ovat paineilmatoimiset tuntomatot. Niissä on maton sisällä olevassa putkistossa suljettu ilmakierto, jota pieni pumppu pitää yllä. Putkiston molemmissa päissä on ilmanpainemittarit, ja kun maton päälle astutaan, syntyy putkiston päiden välille paine-ero. Tämä paine-ero aiheuttaa pysäytyssignaalin lähtemisen robotille. (Timo Malm, 2008)

6.2.4 Turvalaserskanneri

Laserskanneri on optinen turvalaite, joka soveltuu moniin eri käyttötarkoituksiin. Sen toiminta perustuu valonsäteen heijastumiseen kohteesta ja siihen kuluvan ajan mittaamiseen. Laservalonsäde heijastetaan ja levitetään pyörivän peilin avulla tarkasteltavalle alueelle. Mikäli valonsäde heijastuu takaisin, skanneri antaa ohjauskäskyn. Peilin kääntökulman avulla skanneri määrittää kohteen sijainnin. Tarkasteltavan alueen koon ja muodon voi laitteen valmistajasta riippuen valita melko vapaasti, mikä lisää laitteen monipuolisuutta. Laserskannerin etu valoverhoon on se, että yhdellä skannerilla voidaan valvoa useampaa rinnakkaista sisäänkäyntiä. Kuvissa 9 ja 10 on muutama esimerkki laserskannerin käyttökohteista. (Timo Malm, 2008)



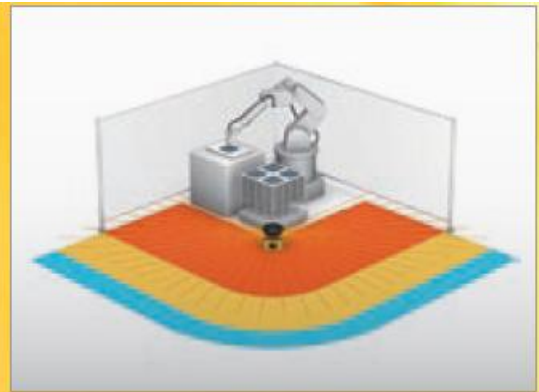
Turva-alueen valinta



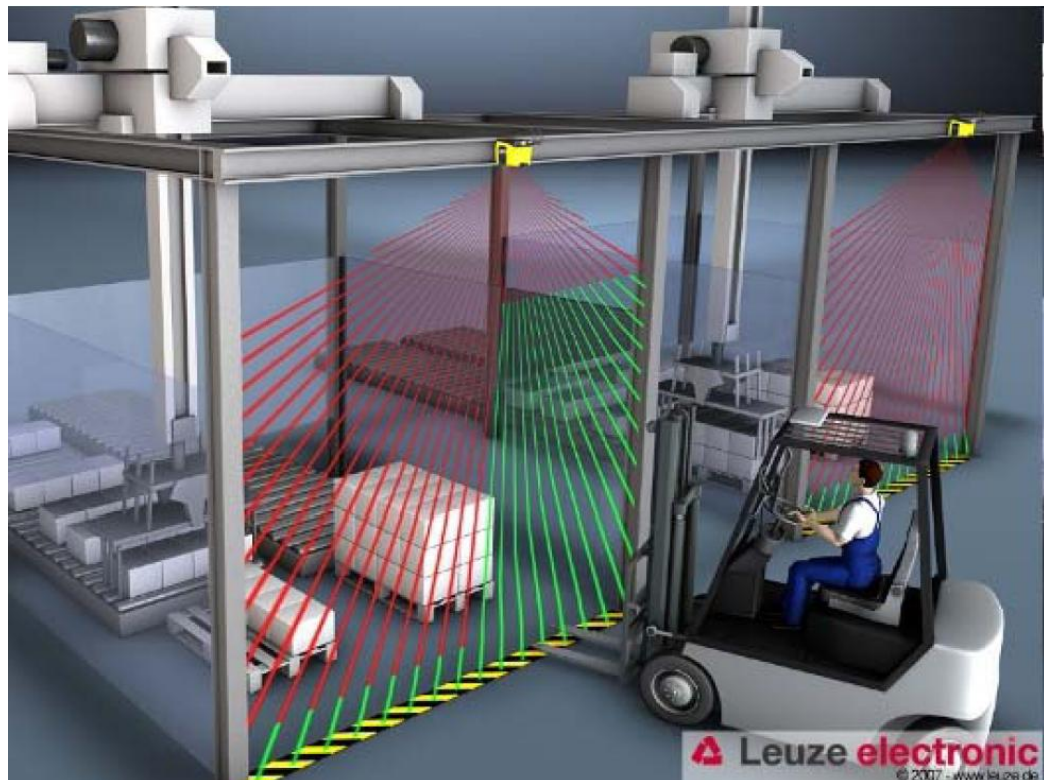
Tunkeutumisen tunnistus ja pystysuuntainen asennus



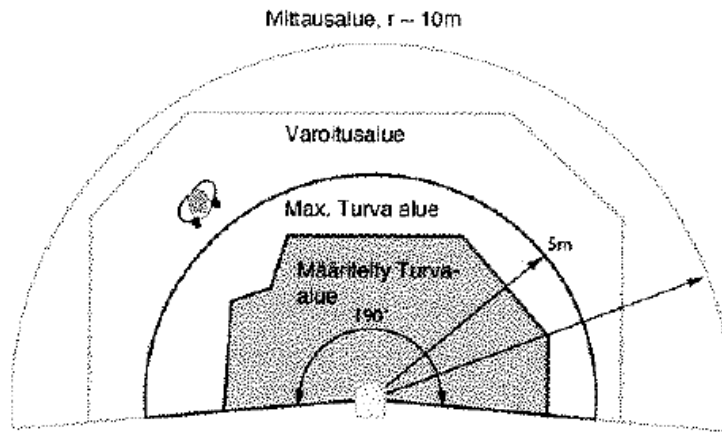
Suojaaja koneen sisäpuolella



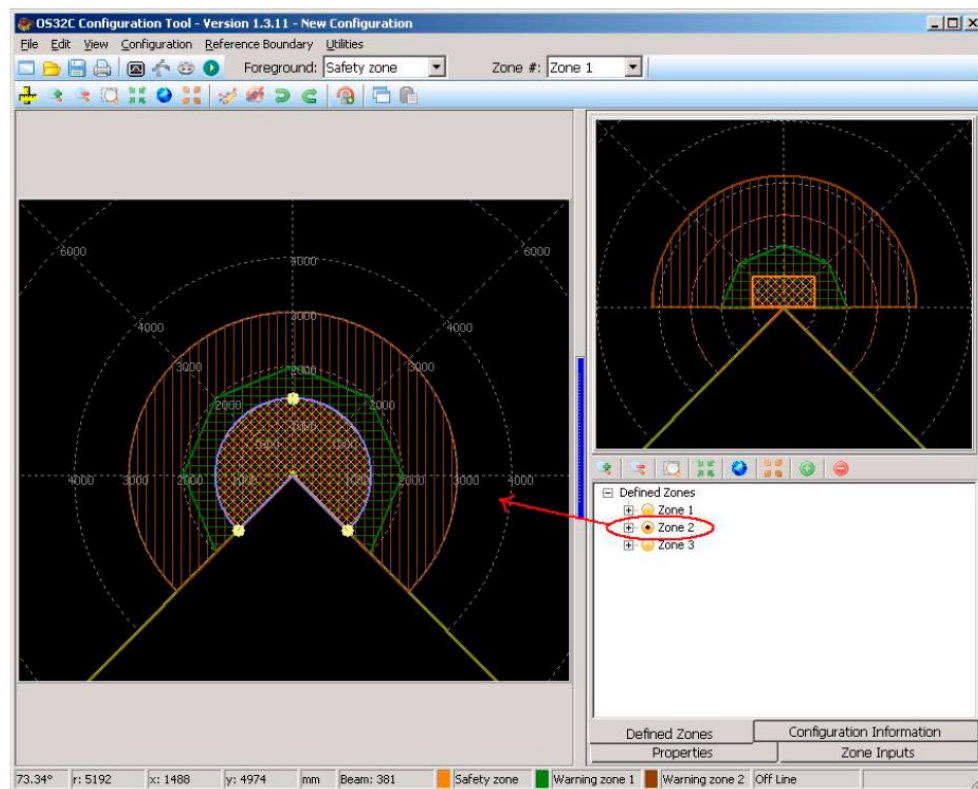
270°:n tunnistuskulma

Kuva 9. Esimerkkejä laserskannerin käyttökohteista. (<http://industrial.omron.fi>)Kuva 10. Esimerkki laserskannerin turva-alueen muokattavuudesta. (www.sks.fi)

Laserskannerin valvoman turva-alueen toimintasäde on yleensä 1-7 metriä, ja varoitusalueen säde noin 10 metriä. Skannerin vasteaika ja resoluutio riippuvat valvottavan alueen koosta, joten jos halutaan alueen valvonnasta mahdollisimman tehokas, on tingittävä turva-alueen koosta tai käytettävä useampaa skanneria samaa tilaa valvomaan. Kuvassa 11. on esimerkki skannerilla valvottavasta alueesta ja kuvassa 12. laserskannerin ohjelmistosta, jolla turva-alue määritellään. (Timo Malm, 2008)



Kuva 11. Laserskannerin valvonta-alue. (Timo Malm, 2008)



Kuva 12. Esimerkkikuva Omronin OS32C-turvaskannerin ohjelmistosta. (<http://industrial.omron.fi>)

6.2.5 Ultraäänianturit

Ultraäänianturi on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin laserskanneri, mutta siinä käytetään valon sijasta ääntä. Ultraäänianturi mittaa kohteen etäisyyden lähettämällä ääntä 40-200 kHz:n taajuudella kapeassa, noin 5-15 asteen keilassa tarkasteltavalle alueelle. Tarkasteltavan alueen koko riippuu käytettävästä taajuudesta, mitä pienempi taajuus sitä suurempi alue. Pienemmät taajuudet ovat tosin alttiimpia häiriöille. (Timo Malm, 2008)

Ultraäänianturin mittaustaajuuden, joka on vain 1-50 Hz, ja kapean tunnistuskeilan ansiosta se ei sovellu nopeasti liikkuvien kappaleiden valvontaan. Se ei sovellu myöskään ainoaksi turvalaitteeksi vaaralliselle alueelle, sillä laitteeseen vaikuttavat häiritsevästi muut ultraäänit. Häiriöitä syntyy esimerkiksi hitsauksessa, metallin leikkauksessa ja hionnassa. Myös toiset ultraäänianturit voivat tuottaa häiriöitä. (Timo Malm, 2008)

Ultraäänianturin hyviä puolia on se, että pöly ja muut ilman epäpuhtaudet eivät tuota häiriöitä sen toimintaan. Tunnistettavan kohteen heijastusominaisuuksillakaan ei ole vaikutusta toisin kuin valoa käyttävillä laitteilla. Pehmeät ja huokoiset materiaalit heikentävät tosin tunnistamista, mutta ääntä käyttämällä voidaan tunnistaa esimerkiksi läpinäkyviä kohteita. (Timo Malm, 2008)

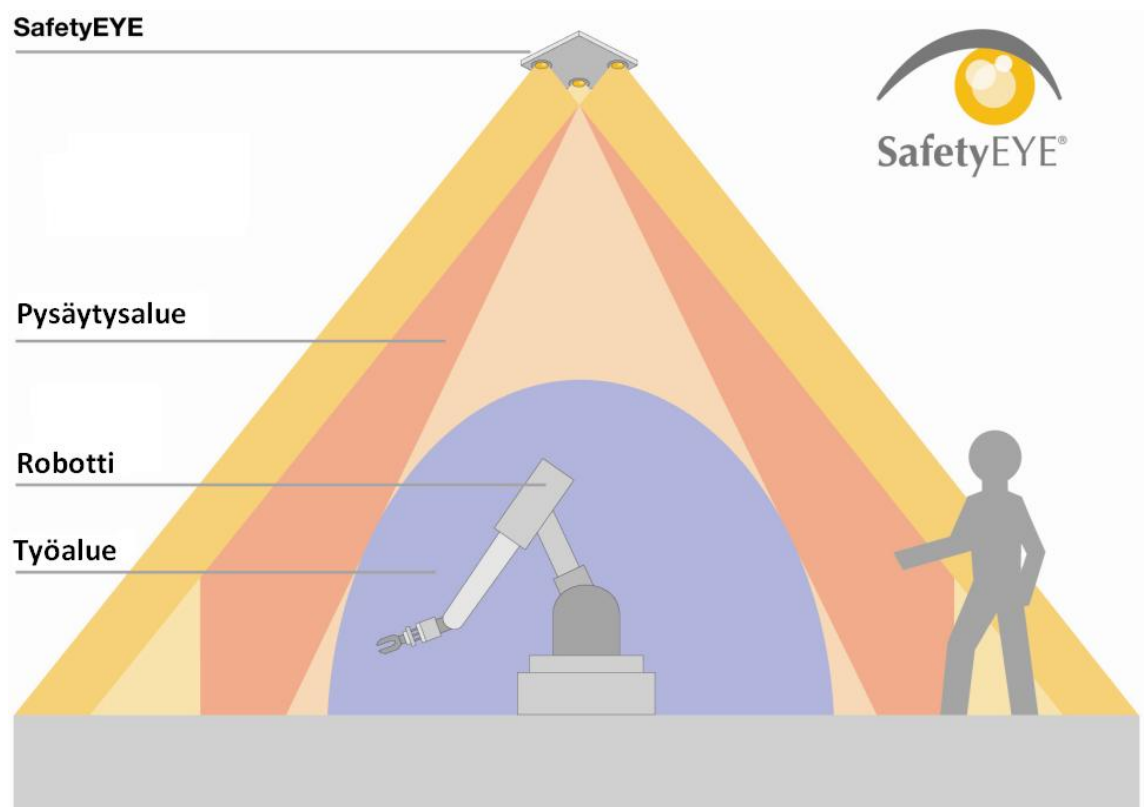
6.2.6 Konenäköpohjaiset turvalaitteet

Konenäköön perustuvat turvalaitteet ovat vielä lapsen kengissä, mutta tulevaisuudessa ne saattavat olla hyvinkin yleisiä turvallisuusratkaisuja. Laitteiden toiminta perustuu valvontakameran antaman kuvan muutosten tulkintaan. Laserskannereiden tapaan valvottavan alueen koon ja muodon voi valita vapaasti. Laitteiden reagointiaika on tosin vielä selvästi hitaampi kuin esimerkiksi valoa käyttävillä antureilla, joten varoitus- ja turva-alueen on oltava selvästi suurempi. (Timo Malm, 2008)

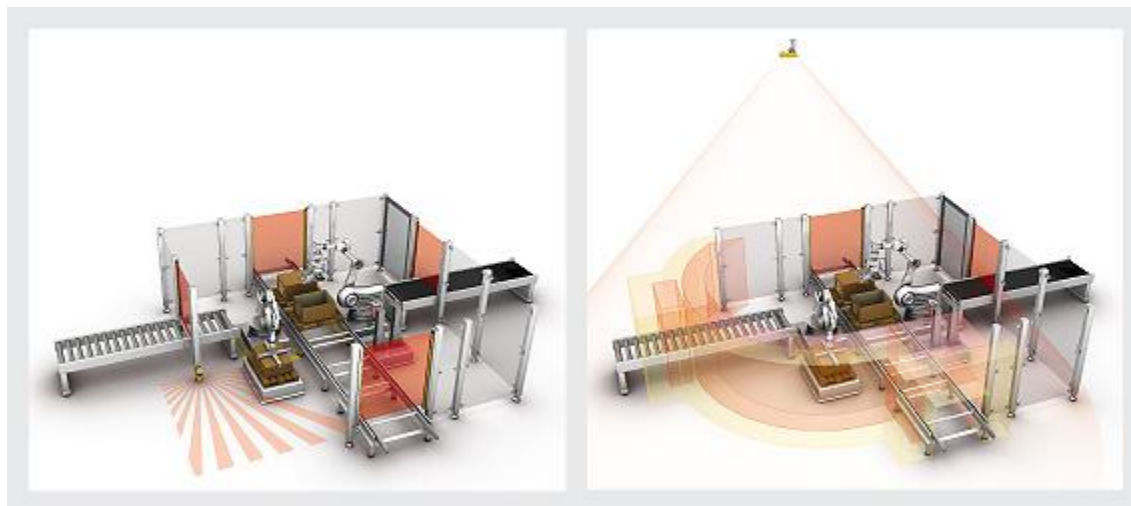
Konenäköpohjaisia turvalaitteita robottisolun valvontaan ei ole markkinoilla vielä muita vartenotettavia laitteita kuin saksalaisen Piltzin valmistama SafetyEYE-järjestelmä. Koska SafetyEYE ei kykene erottamaan robottia tai muuta laitetta alueelle tulevasta

kohteesta, niin järjestelmällä valvotaankin laitteen välitöntä läheisyyttä. Itse SafetyEYE (Kuva 13) koostuu kolmesta CMOS-kamerasta, joten se kykenee kolmiulotteiseen havainnointiin. Yhdellä SafetyEYE:lla voi valvoa vaikka useampaa robottisolua samalla kertaa jakamalla kuvattavan alueen useampaan itsenäiseen alueeseen. (Timo Malm, 2008)

Järjestelmä on oivallinen tilanteisiin, joissa ihminen joutuu usein käymään robottisolussa. Järjestelmä mahdollistaa sen, että robotin liikenoisuus hidastuu sitä mukaa, kun ihminen lähestyy sitä. Järjestelmä pysäyttää robotin vasta silloin, kun ihminen astuu robotin työalueelle. Tämä mahdollistaa sen, että ihminen voi työskennellä robotin aitauksen sisällä ilman, että robotin automaattiajaja tarvitsisi keskeyttää. Kuvassa 14 on esimerkki SafetyEYE:n käyttökohteesta. (Timo Malm, 2008)



Kuva 13. SafetyEYE:n valvonta-alue. (www.piltz.de, muokattu)

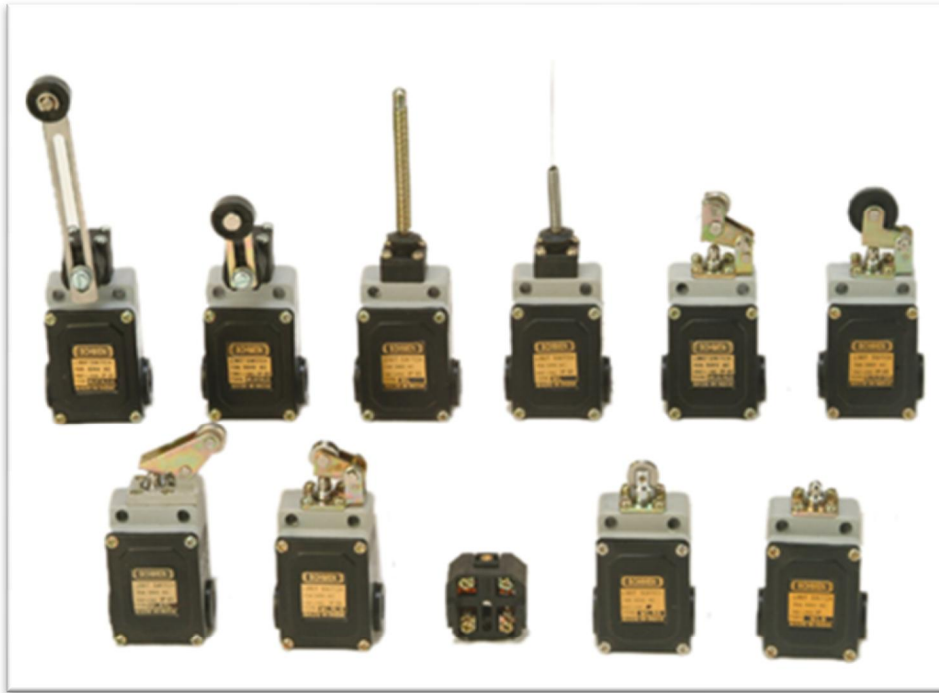


Kuva 14. Esimerkkikuva, jossa SafetyEYE korvaa solussa laserskannerin ja kaksi valoverhoa. (<https://shop.pilz.com>)

6.3 Turvarajakytkimet

Edullisin vaihtoehto turva-aitauksen kulkuaukon valvontaan on oven tai porttiin asennetut turvarajakytkimet, jotka aiheuttavat robotin tai vaarallisen laitteen pysähtymisen portin tai oven auetessa. Rajakytkintä käytettäessä on otettava huomioon, että pelkkä oven sulkeminen ei saa käynnistää solun laitteita. Laitteiden käynnistämiseen tarvitaan erillinen kytkin turva-aitauksen ulkopuolelle. Tällaista erillistä sallintakytkintä käytetään myös kaikissa edellä mainituissa turvaratkaisuissa.

Rajakytkimiä on markkinoilla tarjolla erittäin monenlaisia (Kuva 15) lukuisilta eri valmistajilta. Juuri oikeanlaisen kytkimen valitseminen omaan tarpeeseen voikin olla työläs operaatio ilman ammattilaisen apua. Tärkeintä valinnassa on kuitenkin se, että ainakin yksi kytkin ovea tai porttia kohti on pakkoavattava. Pelkkä jousivoimalla avautuva kytkin on kielletty ainoana ilmaisimena sen helpon ohittamisen takia. Rajakytkimet ovat mekaanisen toimintansa ansiosta helpompia vikaantumaa, joten onkin suositeltavaa käyttää kahta kytkintä saman kulkuaukon valvontaan. (Timo Malm, 2008)



Kuva 15. Erilaisia turvarajakytkimiä. (<http://bohmen.tradeindia.com>)

7 TOTEUTUS

Työn toteutus aloitettiin layout-suunnittelulla. Tavoite oli saada solujen robotit ja kuljetinhihnat sijoiteltua siten, että soluissa olisi mahdollisimman paljon liikkumatilaa, ja että solut olisi mahdollisimman helppo erottaa toisistaan. Työtä helpotti hieman se, että toisin kuin monet muut tuotantokoneet, kuten koneistuskeskukset, ruiskuvalukoneet ovat kaksipuolisia. Tämä tarkoittaa sitä, että robotin voi sijoittaa koneen takapuolelle ottamaan kappaleita muotista. Tällöin koneen asetusarvoja yms. voi muokata koneen etupuolelta. Tämä vähentää työntekijöiden tarvetta käydä robottisolussa huomattavan paljon. Valitettavasti kaksi tämän työn neljästä ruiskuvalukoneesta on sijoitettu seinää vasten, joten niiden takapuolelle ei robotteja voi sijoittaa.

Seinälle sijoitetut koneet voisi kääntää kohtisuoraan seinää vasten, kuten kaksi muuta työn konetta, mutta se estäisi trukilla pääsyn yhdelle tai kahdelle muulle koneelle. Tämä ratkaisu tekisi tehtaasta hyvin ahtaan sekä vähentäisi arvokasta lattiasäilytystilaa ja trukkien kääntymistilaa. Ruiskuvalukoneet päätettiin pitää niillä paikoilla missä ne olivat, ja panostaa robottien ja kuljettimien optimaaliseen sijoitteluun. Mallia näiden laitteiden sijoitteluun on käytännössä mahdotonta löytää, sillä robottisolut ovat luonteeltaan samanlaisia kuin esimerkiksi sormenjäljet ó maailmassa ei ole kahta samanlaista.

Toki suurissa tuotantolaitoksissa saattaa olla useampi täysin samanlainen solu, mutta muualta ei samanlaisia löydy. Tämä johtuu siitä, että robottisolut ovat aina yksilöllisiä ja tarpeeseensa muokattuja. Mitä enemmän tilaa on käytössä, sitä helpompaa suunnittelu on. JR-Muovin tuotantotiloissa sen sijaan vallitsee lievä tilanpuute, kun kesällä 2011 tuli isoon halliin kolme uutta ruiskuvalukonetta yhden vanhan tilalle. Tämän takia solujen suunnittelu optimaaliseksi on hieman hankalaa.

Päätarkoituksena työssä oli saada solut suunniteltua siten, että ne olisivat mahdollisimman vähän muun toiminnan tiellä. Tämä tavoite johti siihen, että luovuttiin solujen ulkoreunoja kiertävistä aidoista, ja korvattiin ne optisilla tunnistimilla. Monet tehtaassa ruiskuvalukoneet saattavat olla pitkiäkin aikoja toimettona, sillä tehtaassa on yli kaksikymmentä ruiskuvalukonetta, eikä kaikille aina riitä tilauksia. Tällaisina toimettona aikoina robottisolun ympärysaidat ovat koko ajan tiellä ja vievät

muutenkin tilaa. Ja koska kahdelle edellä mainitulle seinänvieruskoneelle on päästävä silloin tällöin trukilla vaihtamaan muottia tai viemään se huoltoon, ovat aidat silloinkin tiellä. Tällöin ne jouduttaisiin aina ottamaan pois ja laittamaan takaisin.

Optiset tunnistimet vievät tyypistä riippuen vähän tai ei ollenkaan tilaa lattialla. Toki esimerkiksi valokytöntien tai valoverhojen heijastinpylväät vaikeuttavat trukilla liikkumista. Tarpeen tullen yhden pylvään irrottaminen lattiasta väliaikaisesti on huomattavasti vaivattomampaa kuin esimerkiksi kymmenen metrin verkkoaidan irrottaminen ja siirtäminen pois tieltä ja takaisin. Robottien erottamiseen toisistaan tuplasolujen sisällä on käytettävä aitaa, sillä robottien välimatkat toisistaan ovat sen verran lyhyet, että niiden ulottuvuussäteet lähestulkoon risteävät. Myös joissain kohdissa ulkoseiniä on käytettävä aitaa suojana (kuva 16), sillä robotit ulottuvat solun rajojen ulkopuolelle muutamista kohdista. Tällöin valokennoista ei ole minkäänlaista suojaa jos robotti sattuisi tekemään jotain mitä sen ei kuuluisi tehdä.

Yksi huomionarvoinen seikka tässä työssä on se, että kaikkia turvamääräyksiä ei ole mahdollista täyttää. Esimerkiksi aitojen etäisyydet robotista puristumisvaaran välttämiseksi tulisi olla noin kaksi ja puoli metriä joka puolella, mikä on täysin mahdoton tavoite käytössä olevissa tiloissa. Myös optiset aitaukset ovat joissakin kohdin sen verran lähellä robottia, että esimerkiksi henkilön käsi todennäköisesti ylittää robotin ulottuville. Näitä puutteita pystyy parantamaan rajoittamalla robotin liikkumista fyysisillä rajoittimilla, jotka estävät robotin ensimmäisen nivelen kiertymisliikettä, sekä myös ohjelmallisilla rajoituksilla. Näin robotille saadaan haluttu työalue, joka sallii robotin kääntyvän vain sen verran, että se kykenee hakemaan kappaleen muotista ja laskemaan sen kuljettimelle. Robotti ei kuitenkaan esimerkiksi sähköviasta johtuen pysty pyörähtämään pysty akselinsa ympäri aiheuttaen mahdollisen vaaratilanteen.

Toinen seikka on kuljettimien sijoittelu. Niiden olisi paras olla kokonaan turva-alueen sisäpuolella. Alkuperäinen ajatus soluja suunniteltaessa olikin sijoittaa ne kokonaan sisäpuolelle siten, että kappaleet pääsisivät liukumaan erillistä liuskaa pitkin solusta ulos pakattavaksi. Ongelma tässä on vain se, että kuljetinhihnat liikkuvat hyvin hitaasti, jotta kappaleet ehtivät jäähtymään ennen pakkausta, jolloin hihnalle ehtii valmistumaan useita kappaleita ennen kuin niiden laatua pääsee tarkkailemaan liuskan päässä. Tällöin esimerkiksi huonosta raaka-aineesta, väriaineen määrästä tai vääristä koneen asetusarvoista johtuvia viallisia kappaleita ehtii syntyään tarpeettoman paljon ennen kuin

vika huomataan. Aikaa ja raaka-ainetta kuluu tällöin turhaan hukkaan. Tämän takia kuljetinhinnat on tuotava soluista osittain ulkopuolelle.

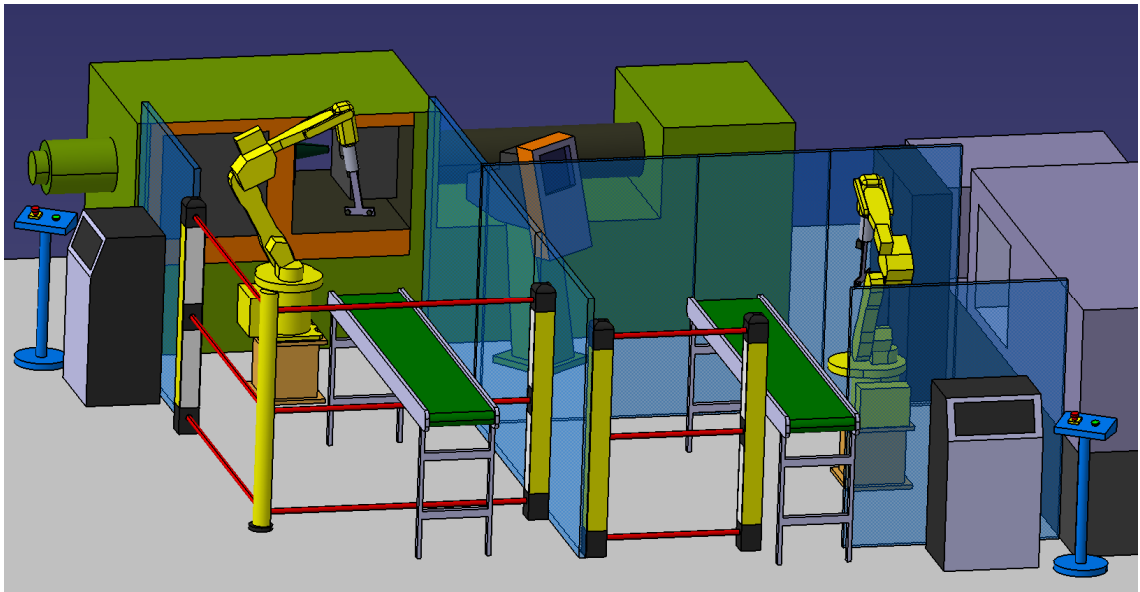
Kuten aiemmin mainittiin, kuljettimien hinnat liikkuvat erittäin hitaasti, ja useimmiten siten, että ne liikkuvat pienen matkan kerrallaan tietyin aikavälein, eli ne eivät ole jatkuvasti liikkeessä. Hitaan vauhdin ja katkonaisen liikkeen takia kuljettimet eivät muodosta kuin minimaalisen turvallisuusriskin, joka on vahingon sattuessa vakavuudeltaan varsin lievä. Toinen syy miksi kuljettimien on hyvä olla osittain solun ulkopuolella, on karojen poisto. Yleinen käytäntö tehtaassa on se, että työntekijät ohi kävellessään poistavat karoja kappaleiden ollessa vielä hinnalla. Se on huomattavasti vähemmän työlästä kuin poistaa laatikollisen kerralla.

7.1 Layout 1

Ensimmäinen solu koostuu kahdesta Klöckner-Ferromatikóruiskuvalukoneesta sekä kahdesta Fanuc M-6i órobotista ja kahdesta kuljettimesta. Kuvassa 16 on kolmiulotteinen periaatekuva solun koneiden ja turvalaitteiden sijoittelusta. Kuva ei ole täysin mittatarkka vaan jättää pelivaraa käytännön toteutukselle tulevaisuudessa. Kuvasta näkyy, että vasemman puoleisen ruiskuvalukoneen ohjauspaneeli on eristetty roboteista, mikä tekee solusta ahtaamman, mutta toisaalta mahdollistaa koneen asetusarvojen muokkaamisen kesken automaattiajon. Ohjauspaneelin sarjaporttikaapelin lyhyen pituuden takia paneelia ei voida sijoittaa koneen vasemmalle puolelle robotin ohjauskeskuksen viereen. Kuvan 16 mukaisella tavalla päästään myös tarkkailemaan muottia melko läheltä kesken ajon. Seuraavaksi esitetään kaksi hintaluokaltaan erilaista vaihtoehtoa tässä solussa käytettäviksi. Layout pysyy molemmissa samana, mutta anturitekniikat ja aitatyypit vaihtuvat. Näitä eri vaihtoehtoja voi tietenkin käyttää myös ristiin tarpeen mukaan. Suuremmat kuvat layout-suunnitelmista löytyvät liitteestä 4.

7.1.1 Vaihtoehto 1

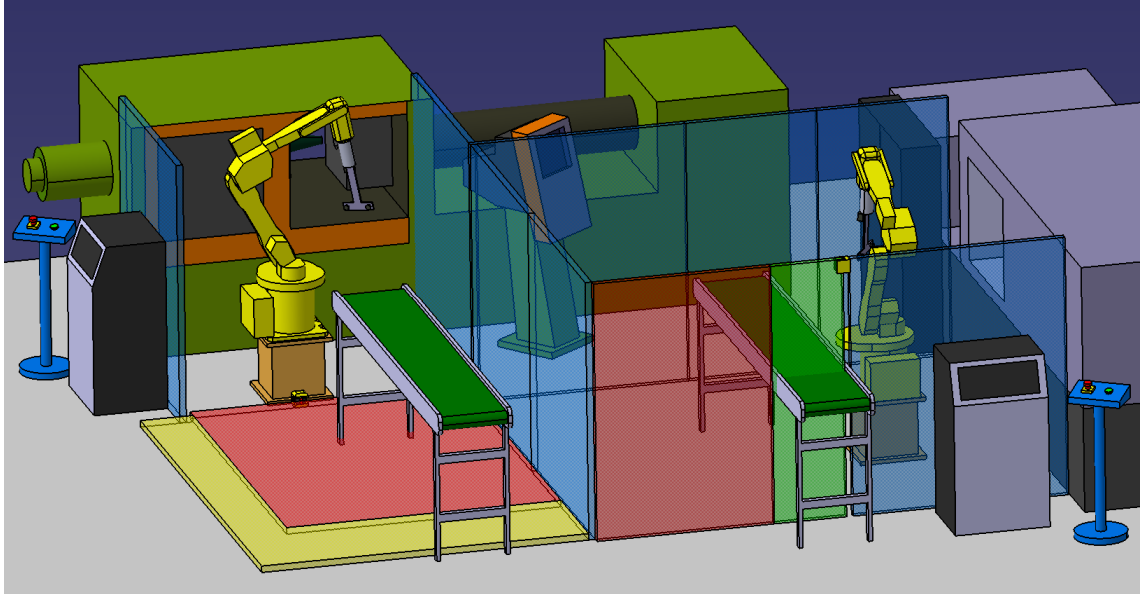
Ensimmäinen vaihtoehto on edullisempi ja siinä kuvan 16 läpikuultavalla sinisellä piirrettyinä aitoina käytetään teräsverkkoaitaa. Hyvänä aitavaihtoehtona on jo aiemmin työssä mainitut Jokab Safetyn Quick-Guard E överkkoaitamodulit. Kulkuaukkojen valvontaan on valittu kolmisäteiset valokytkimet, esimerkiksi Leutzen MLD500 ö valokytkimet.



Kuva 16. Layout 1 varustettuna kolmisäteisillä valokytkimillä.

7.1.2 Vaihtoehto 2

Toinen vaihtoehto on hieman kalliimpi, mutta tuo myös etuja mukanaan. Aitaukseksi on valittu ikkunalliset Jokab Safetyn Quick-Guard öaitamodulit. Ne ovat hieman verkkoaitaa turvallisemmat ja tuovat lisäksi ulkonäköä soluun. Kulkuaukkojen valvontaan on valittu turvalaserskannerit (Kuva 17). Oikeanpuoleiseen kulkuaukkoon tulisi yksi pystysuuntainen skanneri ja vasemmanpuoleiseen kulkuaukkoon joko kaksi pystysuuntaista tai yksi vaakasuuntainen skanneri. Merkittävä etu skannerien käytössä tässä solussa on se, että solun vasemman etunurkan heijastintolppaa ei tarvita. Tällöin trukeille ja pumppukärryille tulee paljon enemmän tilaa kääntyillä kyseisen koneen ollessa toimettomana ilman ylimääräistä pulttien irrotteluä ja kiinnittelyä sekä valonsäteiden uudelleensuuntailuä.



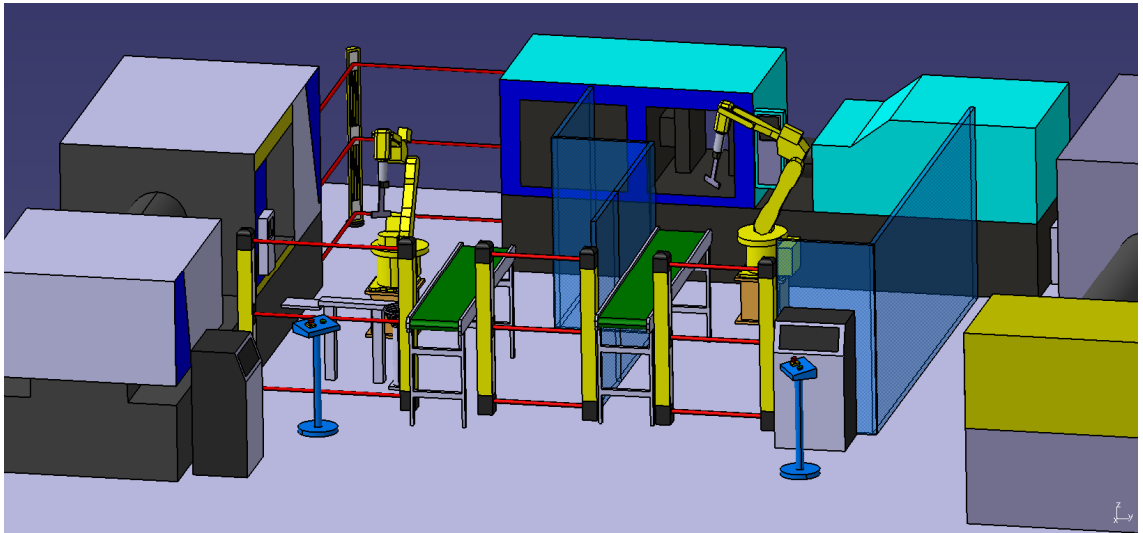
Kuva 17. Layout 1 varustettuna turvalaserskannereilla. Turva-alue on kuvattu punaisella, varoitusalue keltaisella ja sallittu alue vihreällä.

7.2 Layout 2

Toinen solu koostuu Battenfeldin ja Haitain ruiskuvalukoneista sekä kahdesta Fanuc M-6i -robotista ja kahdesta kuljettimesta. Työssä aiemmin mainittu kolmas ruiskuvalukone ei varsinaisesti kuulu soluun, mutta olemassaolollaan tekee solusta melko ahtaan. Kuvassa 18 on esitetty kolmiulotteinen periaatekuva solun layoutista. Seuraavaksi on esitetty kaksi eri hintaluokan turvateknikkavaihtoehtoa. Suuremmat kuvat layout-suunnitelmista löytyvät liitteestä 4.

7.2.1 Vaihtoehto 1

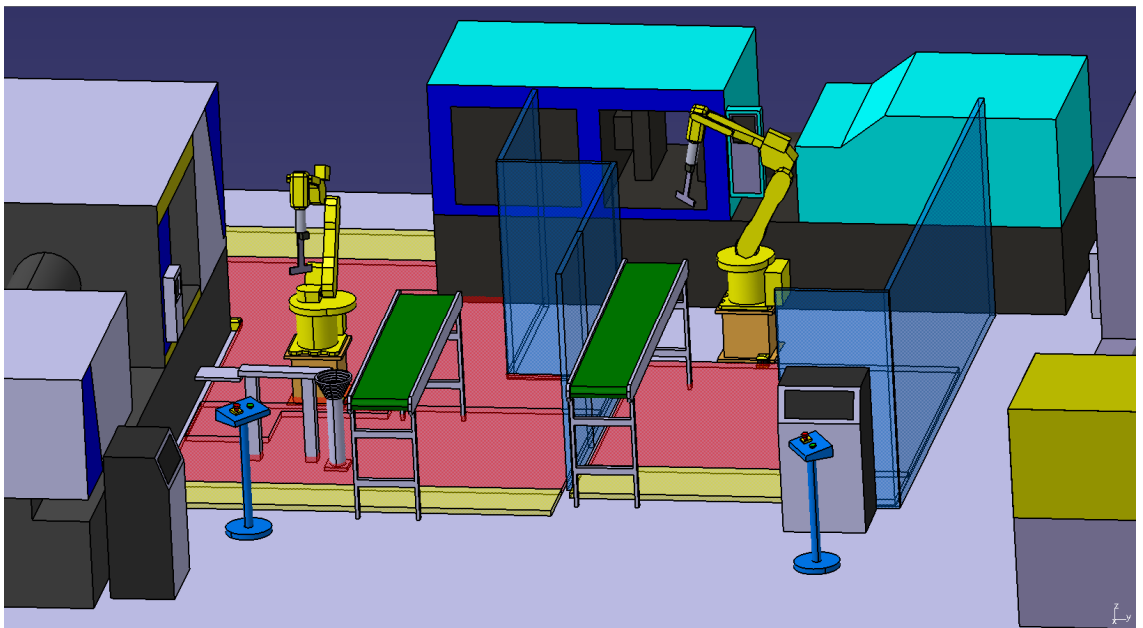
Edullisempänä vaihtoehtona on käytetty edellisestä layoutista tuttua kolmisäteisiä valokytkimiä sekä verkkoaitaa. Tämän vaihtoehdon ongelmana on vain se, että trukilla pääseminen oikeanpuoleiselle koneelle muuttia vaihtamaan on varsin työlästä. Toki muotteja vaihdetaan useimmiten vain muutaman kuukauden välein.



Kuva 18. Layout 2 varustettuna kolmisäteisillä valokytkimillä.

7.2.2 Vaihtoehto 2

Kalliimpana vaihtoehtona ovat myös edellisen layoutin tapaan ikkunalliset aitamodulit sekä laserskannerit kulunvalvontaan. Tässä solussa laserskannerin edut tulevat vielä edellistä selvemmin esille silloin kun tarvitsee esimerkiksi päästä vaihtamaan muottia. Kolme vaakasuuntaista skanneria (Kuva 19) riittävät valvomaan soluja mainiosti.



Kuva 19. Layout 2 varustettuna turvalaserskannereilla. Turva-alue on kuvattu punaisella ja varoitusalue keltaisella.

7.3 Riskien arviointi

Kuten aiemmin tässä työssä on mainittu, vaativat työturvallisuuslaki sekä konedirektiivi suorittamaan riskien arvioinnin ja dokumentoimaan sen. Riskien arviointi aloitettiin vaarojen tunnistamisella. Sen jälkeen arvioitiin niiden vakavuutta (S), altistumistaajuutta (F), esiintymistodennäköisyyttä (O) sekä välttämisen mahdollisuutta (A). Nämä neljä asiaa muodostavat vaaran riskikertoimen (RI) käyttämällä työkaluna riskigraafia (ISO/TR 14121-2:2007). Tämän jälkeen mietittiin mahdollisia keinoja pienentää riskejä, jonka jälkeen riskikertoimet laskettiin uudelleen. Vaarantunnistamis- ja riskienarviointidokumentit on esitetty liitteessä 2.

Tämän tyyppisissä tuotantosoluissa ei ole kovinkaan montaa vaaraa verrattuna esimerkiksi kaivostyöhön tai öljynporauslauttaan, sillä solu toimii automaattisesti. Ainoa todellinen vaaranlähde on robotti, ja sekin on eristettynä vaaraton. Testiajot, häiriöiden poistot ja turvalaitteiden mahdolliset, tosin erittäin epätodennäköiset, viat voivat johtaa tapaturmaan. Tällaisen melko yksinkertaisen järjestelmän käyttäytymistä on melko helppo ennakoida. Kokemuksesta tiedetään keskimääräiset vikaantumisvälit ja yleisimmät tekniset ongelmat. Robottisolun muuttuu kuitenkin monimutkaiseksi järjestelmäksi kun yhtälöön lisätään ihminen.

Järjestelmän käyttäytymisestä voisi luoda matemaattisia malleja kompleksisuus- ja kaaosteorian avulla, mutta ihmisten hetken mielijohteiden ja päähänpistojen ennakointi on hyvin hankalaa. Matemaattisesti tarkasteltuna robottisolun työntekijöineen on deterministinen, eli solun toiminta on melko pitkällä aikavälillä ennustettava ja solun toiminta päättyy aina samaan lopputulokseen eli valmiisiin muovituotteisiin laatikoissa. Toisaalta ihmistekijästä johtuen solun toiminta on joillekin alkuarvoille melko herkkä ja täten myös kaottinen.

Toisen tilauksen aiheuttama pieni kiireen lisäys ja työntekijän huonot yöunet ovat periaatteessa melko merkityksettömiä seikkoja, mutta alkutiloina kaottiselle järjestelmälle kuitenkin varsin merkittäviä, sillä ne työntävät järjestelmää lähemmäksi kaaoksen reunaa, jolloin lyhyenkin aikavälin ennustaminen järjestelmän toiminnasta on lähes mahdotonta. Tällöin tapaturman riski kasvaa huomattavasti. Toisin sanoen ihminen luo itse riskit itseään kohtaan liittymällä osaksi robottisolua. Robottisolun koneet ja laitteet

eivät ole ihmiselle vaarallisia ilman ihmisen läsnäoloa, ja niiden toiminta on muutenkin hyvin ennakoitavaa. Ihminen taas on erittäin vaikeasti ennakoitava ja tuo kaaoksen mukanaan minne meneekin.

Matematiikasta ei siis ole kovinkaan paljon apua robottisolua suunniteltaessa, mutta ennustaa kuitenkin sen, että tapaturma syntyy varmasti jossain vaiheessa ja että se on lähes varmasti ihmisen omalla toiminnallaan itse aiheuttama. Mutta milloin, miten, missä solussa, kuinka usein ja kenelle? Näihin kysymyksiin ei saada vastausta. On vain pyrittävä ennaltaehkäisemään ihmisen itselleen vahingollista toimintaa opastamalla ja ohjeistamalla työntekijöitä robottisolun vaaroista.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Robottisoluja suunnitellessa huomattiin hyvin varhaisessa vaiheessa, että se on paljon muutakin kuin öaidat ympärille ja koneet sisälleö ötyyppinen operaatio. Kuten työssä aiemmin on useaan otteeseen mainittu, olisi suunnittelu ollut huomattavasti helpompaa, jos tilaa olisi ollut käytössä enemmän. Kompromisseja turvallisuuden ja käytännöllisyyden välillä joutui tekemään jatkuvasti, eikä symmetristen ja esteettisten solujen toteuttaminen ollut missään vaiheessa mahdollista. Suunnittelu kuitenkin kantoi hedelmää, ja tulokseksi saatiin käytännölliset ja kaikkiin puolin varsin turvalliset robottisolut.

Yksi asia jäi kuitenkin työn jälkeen huolestuttamaan, ja se oli robottien ja aitausten väliset etäisyydet. Aitauksen ja robotin maksimiulottuvuuden välille tulisi jättää 50 senttimetrin väli puristumisvaaran ehkäisemiseksi, mutta tässä työssä se ei ollut käytännössä mahdollista tekemättä koko tehtaasta ahdasta ja soluista epäkäytännöllisiä. Kuten luvussa 5 mainittiin, on suurin osa robottien aiheuttamista tapaturmista puristumisia, jotka tapahtuvat useimmiten robotin ollessa käsikäytöllä, eli tapaturmat ovat tavalla tai toisella työntekijän itse aiheuttamia. Syitä tähän on monia, mutta niitä voi ehkäistä kuitenkin selvillä varoituskylteillä, hyvällä suunnittelulla ja etenkin työntekijöiden koulutuksella.

Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin myös se, että kuinka paljon tällaisen verrattain pienen tilan layout-suunnitelman vähäisetkin muutokset voivat vaikuttaa solun käytännöllisyyteen. Tämä työ oli luonteeltaan suunnitelma, eikä sitä päästy ainakaan vielä toteuttamaan ja testaamaan. Yleisesti ottaen hyvätkin suunnitelmat viedään hyvin harvoin sellaisenaan loppuun, sillä käytännön toteutuksessa huomataan usein joitakin puutteita ja parannettavia asioita. Tämä suunnitelma antaa kuitenkin erinomaisen pohjan robottisolun rakentamiselle.

9 LÄHTEET

Bohmen Industries. Limit Switch-ML Series. Kuva tulostettu 12.10.2011.
http://bohmen.tradeindia.com/Exporters_Suppliers/Exporter16372.248569/Limit-Switch-ML-Series.html.

EquipMatching. Battenfeld BK-T 1800 / 1000. Kuva tulostettu 15.10.2011.
http://www.equipmatching.com/used_equipment/8/115/282924.php

Fanuc Robotics. M-6i. Pdf-tuote-esite. Tulostettu 5.8.2011.
http://motioncontrolsrobotics.com/downloads/techdocs/M6_RJ3.pdf

Jokab Safety. Quick-Guard. Kuva tulostettu 12.10.2011.
http://www.trep4.com/_newjsna/products/fencing/QuickGuard.html.

Jokab Safety. Quick-Guard E. Kuva tulostettu 12.10.2011.
<http://www.jokabsafety.com/products/quick-guard/quick-guard-e/>.

Konedirektiivi 29.12.2009/2006/42/EY.

Laine, E. 2010. Robottiturvallisuus 2010. Tulostettu 26.8.2011.
http://www.roboyhd.fi/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=61&Itemid=66

Leuze Electronic. MLD 500 Multiple Light Beam Safety Devices. . Kuva tulostettu 18.10.2011. http://www.leuze.com/products/las/msl/mld500/p_01_en.html.

Leuze Electronic. MLD 500 Single Light Beam Safety Devices. Kuva tulostettu 18.10.2011. http://www.leuze.com/products/las/esl/mld500/p_01_en.html.

Malm, T. (toim.) 2008. Vuorovaikutteisen robotiikan turvallisuus. 1. painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

Omron. OS32C. Pdf-tuote-esite. Tulostettu 19.10.2011.
http://industrial.omron.fi/fi/products/catalogue/safety/safetysensors/safety_laser_scanner/os32c/os32c.html

Omron. OS32C käyttäjän käsikirja. Pdf. Tulostettu 19.10.2011.
http://industrial.omron.fi/fi/products/catalogue/safety/safetysensors/safety_laser_scanner/os32c/os32c.html

Piltz. SafetyEYE. Lehdistökuva 1. Kuvatulostettu 20.10.2011.
<http://www.pilz.de/company/press/messages/sub/products/articles/00951/index.jsp>.

Piltz. SafetyEYE- turvakamerajärjestelmä. Kuva tulostettu 20.10.2011.
<https://shop.pilz.com/eshop/b2b/catalogstart.do#>.

RobotWorx. Fanuc M-6iB Robot. Kuva tulostettu 21.10.2011.
<http://www.robots.com/fanuc.php?robot=m-6ib>

SKS Automaatio. SKS-koneturvapäivä, optiset turvalaitteet. Tulostettu 19.10.2011.
[http://www.sks.fi/download/SKS_SKS_koneturvapaiva_2011_koulutusmateriaalit/\\$file/Leuze_turvaoptiikka.pdf](http://www.sks.fi/download/SKS_SKS_koneturvapaiva_2011_koulutusmateriaalit/$file/Leuze_turvaoptiikka.pdf)

Suomen Standardisoimisliitto SFS. EN ISO 10218-1:2008. Teollisuusrobotit.
Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Robotti.

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

Suomen Standardisoimisliitto SFS. ISO/TR 14121-2:2007. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.

Suomen Standardisoimisliitto SFS. SFS-käsikirjat. Luettu 16.10.2011.
http://www.sfs.fi/julkaisut/sfs_julkaisut/sfs_kasikirjat/.

Sähkölehto. Reer turvaloverho. Pdf-tuote-esite. Tulostettu 19.10.2011.
http://www.sahkolehto.fi/tuotteet/turvalaitteet/fi_FI/turvaloverho/.

Työsuojeluhallinto. Riskien arviointi. Luettu 30.9.2011.
<http://www.tyosuojelu.fi/fi/riskienarviointi>.

Työturvallisuuslaki 30.8.2002/738.

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.

Wikipedia. Robotiikan kolme pääsääntöä. Päivitetty 29.1.2011. Luettu 20.10.2011.
http://fi.wikipedia.org/wiki/Robotiikan_kolme_p%C3%A4%C3%A4s%C3%A4nt%C3%B6%C3%A4.

10 LIITTEET

LIITE 1

sivu 1(2)

Fanuc M-6i tuote-esite. (<http://motioncontrolsrobotics.com>)

M-6i™

Basic Description

Six-axis, modular construction, electric servo-driven robot designed for a variety of manufacturing and system processes. The FANUC M-6i robot is engineered for precision, high-speed operation, user-friendly setup and maximum reliability supported by our extensive parts and service network.

M-6i, the Solution for:

- Material handling
- Material removal
- Dispensing
- Machine load/unload
- Assembly
- Waterjet cutting

Benefits

- Floor, invert, wall and angle mounting permits versatility when unusual workpiece access is required
- Slim profile facilitates placement in tight surroundings
- Absolute serial encoders eliminate the need for calibration at power-up
- Highest speed in robot class provides maximum performance and productivity
- Extremely large work envelope (1368mm reach, 940mm horizontal stroke) allows manipulation of larger parts
- Extremely rigid design allows precise positioning



FANUC
Robotics

Features

- 6 axes of motion
- 6kg (13.2 lbs) payload capacity
- $\pm 0.1\text{mm}$ ($\pm 0.004''$) repeatability

Reliability Features

- Sealed drives and bearings minimize maintenance
- Grease fittings on all lubrication points for quick and easy maintenance
- All motors, cables and tooling services are enclosed to prevent snagging and damage from chips, sprays and other hazards
- Uses directly coupled drives, which are more reliable than belts, pulleys or chains

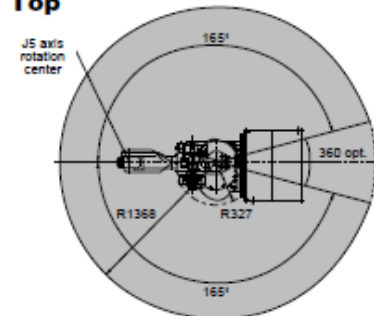
- In-line wrist design minimizes complexity and eliminates bevel gear adjustments

Options

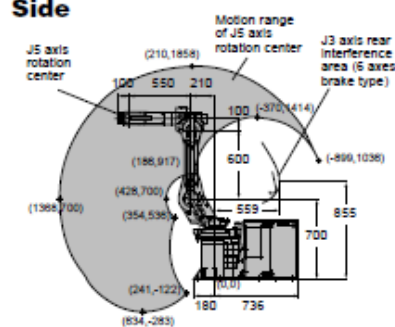
- Fail-safe brakes on all six axes increase safety, functionality and control
- 360° Axis 1 base rotation
- Severe dust and liquid protection package for die cast spray, waterjet cutting and other harsh environment applications

M-6i Dimensions

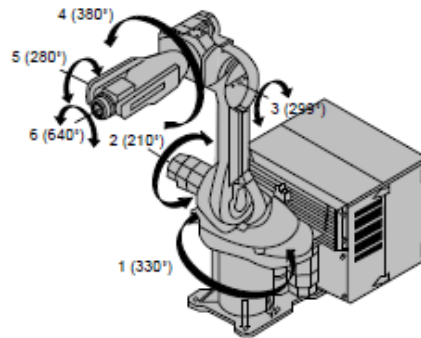
Top



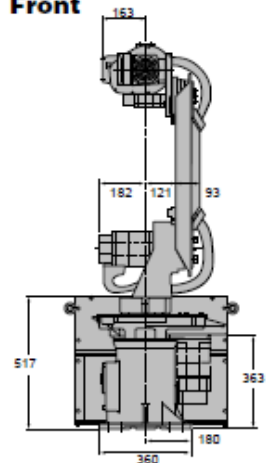
Side



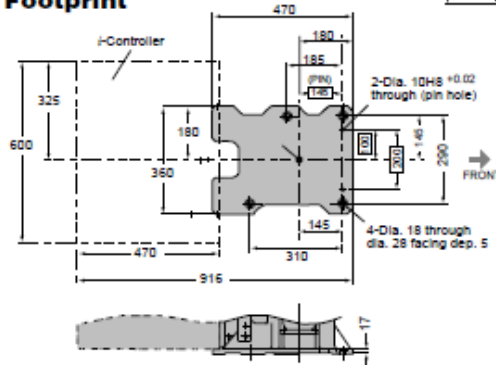
Isometric



Front



Footprint

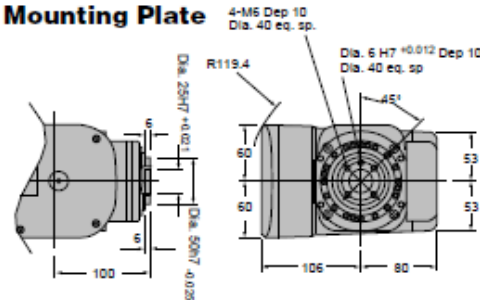


M-6i Specifications

Items	Range	Speed
Motion range and speed (1)	Axis 1	330° 120°/sec
	Axis 2	210° 120°/sec
	Axis 3	299° 120°/sec
	Axis 4	380° 380°/sec
	Axis 5	280° 380°/sec
	Axis 6	640° 450°/sec
Wrist Moments	Axis 4	1.6kg · m
	Axis 5	1.0kg · m
	Axis 6	0.6kg · m
Wrist Load inertias	Axis 4	6.40kg · cm · s ²
	Axis 5	2.00kg · cm · s ²
	Axis 6	0.62kg · cm · s ²
Repeatability	±0.1mm (±0.004")	
Maximum load wrist capacity	6kg (13.2 lbs)	
Mounting method (3)	Upright, inverted, angle, wall	
Maximum stroke	940mm (37") largest in its class	
Mechanical Brakes (4)	Axes 2 and 3	
Mechanical Weight	290kg (638 lbs) including i-controller	

- (1) Axis 1 360° rotation is optional
- (2) For wall, shelf and angle mounts, brakes on all six axes are required
- (3) Reach is derated for angle and wall mount
- (4) Brakes on axes 1, 4, 5 and 6 are optional

Mounting Plate



Note: Not to Scale
All dimensions in metric (mm)



FANUC Robotics North America
3900 W. Hamlin
Rochester Hills, MI 48309
Phone (248) 377-7000
Fax (248) 377-7366

Cincinnati, OH
Phone (513) 771-8844

Toronto, Canada
Phone (905) 670-5755

Chicago, IL
Phone (630) 876-5600

Montréal, Québec
Phone (514) 492-9001

Literature Request
1-800-47-ROBOT

Los Angeles, CA
Phone (714) 595-2700

Mexico City, Mexico
Phone (52-5) 611-5998

Charlotte, NC
Phone (704) 596-5121

Sao Paulo, Brazil
Phone (55)(11) 3067-8070

e-mail address: fanuc.robotics@industry.net
web page: <http://www.industry.net/fanuc.robotics>

JR-Muovi Oy

Vaaran tunnistaminen					
Kone	Fanuc M-6i + kuljetinhihna		Analyyysin tekijä	Raine Ruohola	
Laajuus	Käsi käyttö ja automaattiajaja		Nykyinen versio	v1.0	
Menetelmä/työkalu	Vaarataulukot: SFS-EN ISO 12100:2010 liite B		Päiväys	24.10.2011	
Viite nro	Vaara- vyöhyke	Tehtävä/ Käyttötoiminta	Vaara	Onnettomuuskenaario	Vaarallinen tapahtuma
1	Robottisolu	Robotin ohjelmointi käsin	Puristuminen Leikkautuminen Isku	Testiajaja täydellä tai lähes täydellä nopeudella	Robotti valitsema reitti ei ole sama kuin operaattorin ohjelmoima reitti
2		Automaattiajaja	Puristuminen Leikkautuminen Isku	Laadun tarkastaminen tai koneen arvojen muok- kaaminen kesken ajon	Operaattori tai muu henkilö on robotin liikeradan tiellä/ robotin odottamaton liike
3			Sormien tai käsien puristuminen	Laadun tarkastaminen tai karojen poisto kesken ajon	Operaattori tai muu henkilön sormet tai hihat tarttuvat kuljettimen hihnaan tms.
4			Puristuminen Leikkautuminen Isku	Turva-anturien toimintahäiriö - koneet eivät pysähdy	Operaattori tai muu henkilö on robotin liikeradan tiellä

Riskin arviointi (riskin suuruuden arviointi ja riskin merkityksen arviointi) ja riskin pienentäminen														
Kone		Fanuc M-6i + kuljetinhihna			Analyysin tekijä			Raine Ruohola						
Laajuus		Käsitkäyttö ja automaattiajo			Nykyinen versio			v1.0						
Menetelmä		Riskigraafi (SFS-ISO/TR 14121-2: A4)			Päiväys			24.10.2011						
Viite nro	Riskin suuruuden arviointi (alkuperäinen riski)	Riskin pienentäminen						Riskin merkityksen arviointi (riskin pienentämisen jälkeen)	Tarvitaanko lisää riskin pienentämistä	Viite nro				
		S	F	O	A	RI	S				F	O	A	RI
1		2	1	1	1	2		2	1	1	1	2	Ei	1
2		2	2	2	1	4		2	1	1	1	2	Ei	2
3		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	Ei	3
4		2	1	1	1	2		2	1	1	1	2	Ei	4

Opinnäytetyön aihealueeseen olennaisesti liittyviä standardeja.(www.sfs.fi)

ISO/TR 14121-2:2007 Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä.

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

ISO 10218-1:2006 Teollisuusrobotit. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Robotti.

SFS-EN 1037 + A1 Koneturvallisuus. Odottamattoman käynnistymisen estäminen. 2008. 2. painos

SFS-EN ISO 13850 Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet. 2008. 2. painos

SFS-EN 953 + A1 Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet. 2009. 2. painos

SFS-EN 574 + A1 Koneturvallisuus. Kaksinkäsinhallintalaitteet. Toiminnalliset näkökohdat. Suunnitteluperiaatteet. 2008.2. painos

SFS-EN 999 + A1 Koneturvallisuus. Turvalaitteiden sijoitus ottaen huomioon kehon osien lähestymisnopeudet. 2008. 2. painos

SFS-EN 1088 + A2 Koneturvallisuus. Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta. 2009. 2. painos

SFS-EN 1760-1 + A1 Koneturvallisuus. Kosketuksen tunnistavat turvalaitteet. Osa 1: Tuntomattojen ja tuntolattioiden suunnittelun ja testauksen yleiset periaatteet. 2009. 2. painos

SFS-EN 1760-2 + A1 Koneturvallisuus. Kosketuksen tunnistavat turvalaitteet. Osa 2: Tuntoreunojen ja tuntolistojen suunnittelun ja testauksen yleiset periaatteet. 2009. 2. painos

SFS-EN 1760-3 + A1 Koneturvallisuus. Kosketuksen tunnistavat turvalaitteet. Osa 3: Tuntopuskureiden, tuntolevyjen, tuntoköysien ja vastaavien laitteiden suunnittelun ja testauksen yleiset periaatteet. 2009. 2. painos

SFS-EN 61496-1 +A1 (en) Safety of machinery. Electro-sensitive protective equipment. Part 1: General requirements and tests

CLC/TS 61496-2 (en) Safety of machinery. Electro-sensitive protective equipment. Part 2: Particular requirements for equipment using active opto-electronic devices (AOPD)

CLC/TS 61496-3 (en) Safety of machinery. Electro-sensitive protective equipment. Part 3: Particular requirements for Active Opto-electronic Protective Devices responsive to Diffuse Reflection (AOPDDR)

IEC/TR 61496-4 ed. 1.0 (en) Safety of machinery - Electro-sensitive protective equipment - Part 4: Particular requirements for equipment using vision based protective devices (VBPD)

IEC/TS 62046 ed. 2.0 (fi) Koneturvallisuus. Henkilön havaitsevien turvalaitteiden käyttö

SFS-EN ISO 13857 Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. 2008. 1. painos

SFS-EN 349 + A1 Koneturvallisuus. Vähimmäisetäisyydet kehonosien puristumisvaaran välttämiseksi. 2008. 2. painos

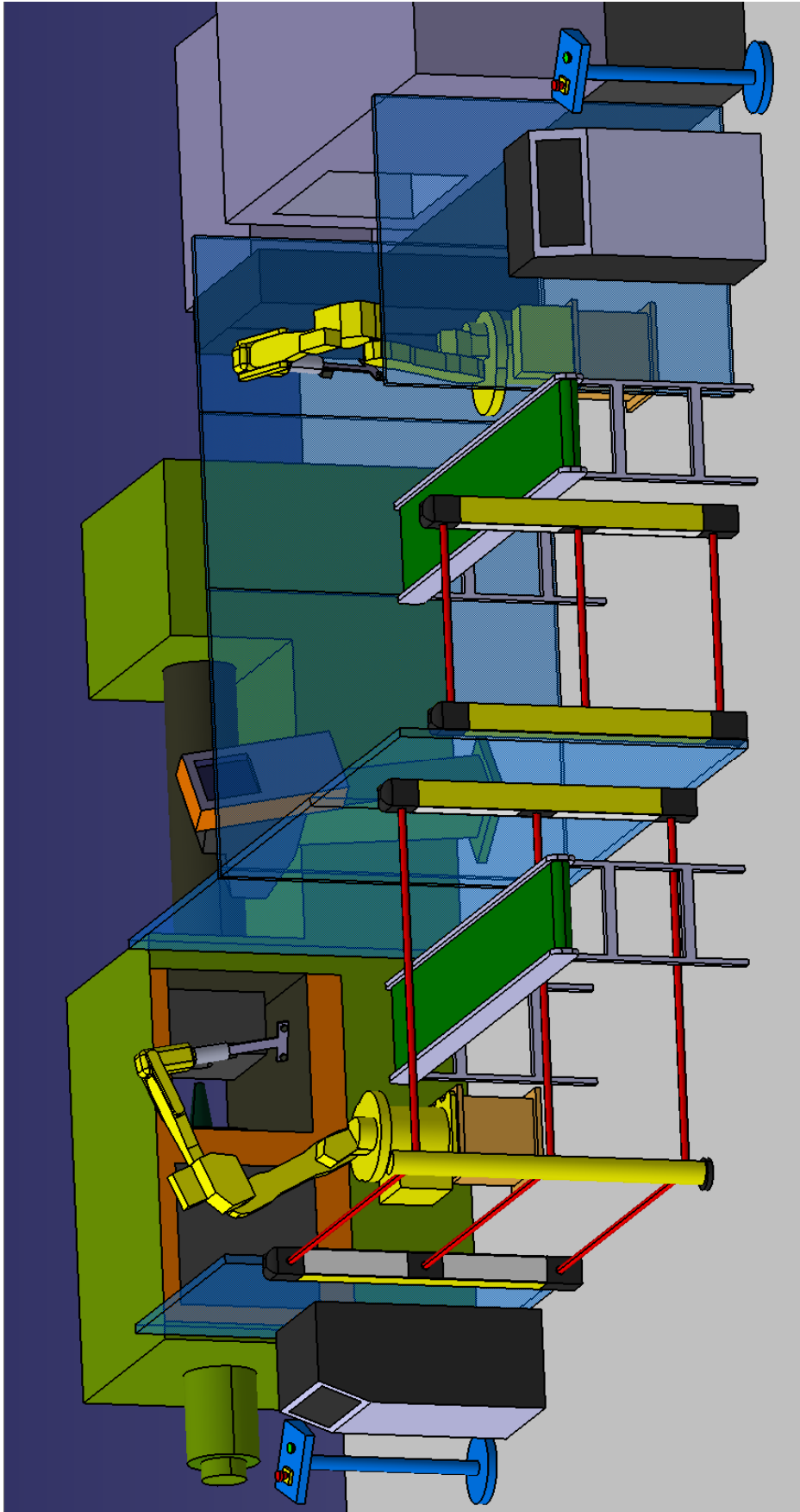
SFS-EN ISO 7250-1 Ihmisen perusmitat teknistä suunnittelua varten. Osa 1: Ihmisen perusmittojen määritelmät ja mittauspisteet. 2010. 1.painos

SFS-EN 547-1 + A1 Koneturvallisuus. Ihmisen mitat. Osa 1: Koneiden kulkuaukkojen mittojen määrittämisperiaatteet. 2008. 2. painos

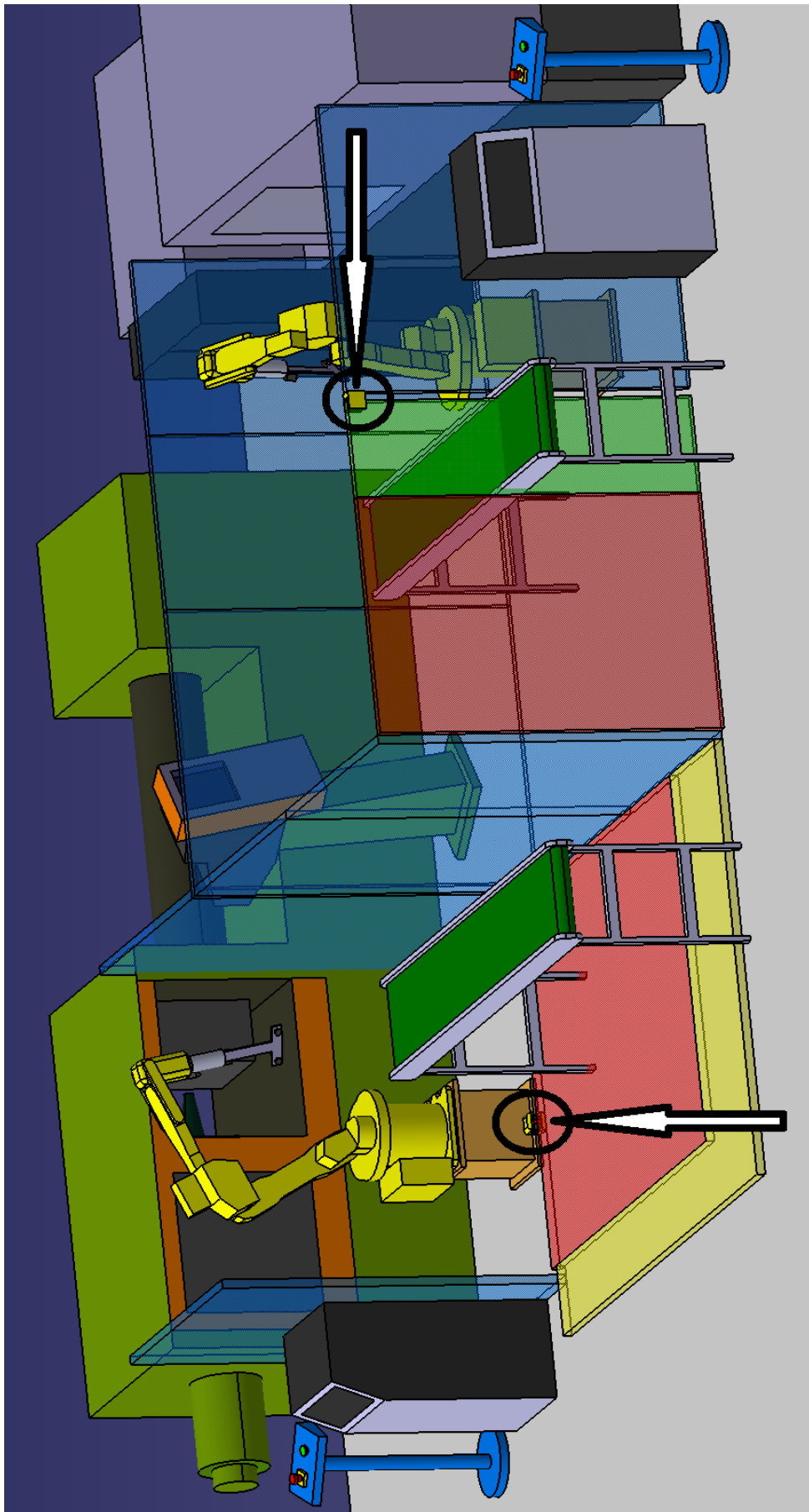
SFS-EN 547-2 + A1 Koneturvallisuus. Ihmisen mitat. Osa 2: Työskentelyaukkojen mittojen määrittämisperiaatteet. 2008. 2. painos

SFS-EN 547-3 + A1 Koneturvallisuus. Ihmisen mitat. Osa 3: Antropometriset tiedot. 2008. 2. painos

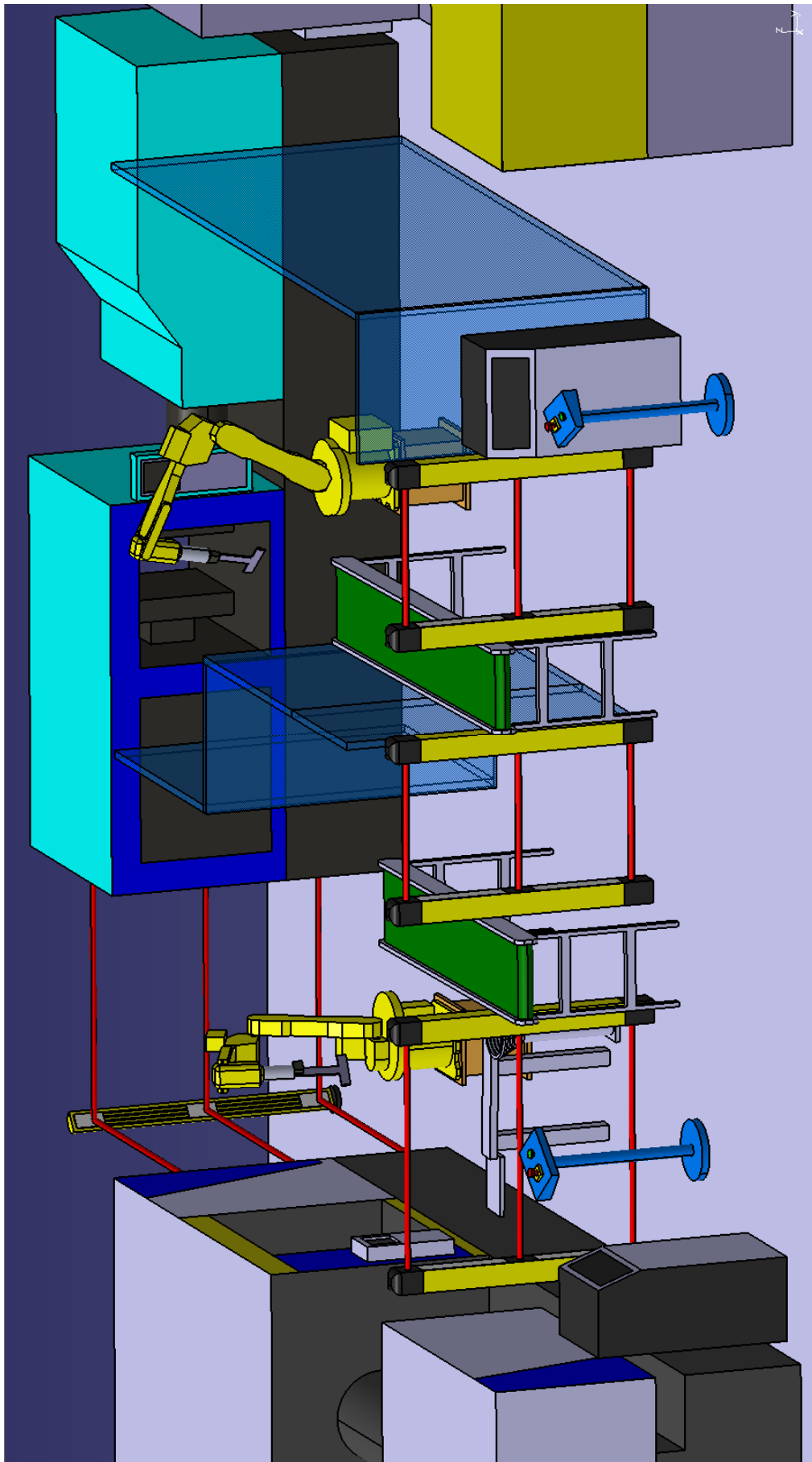
Suurennokset layout-kuvista.



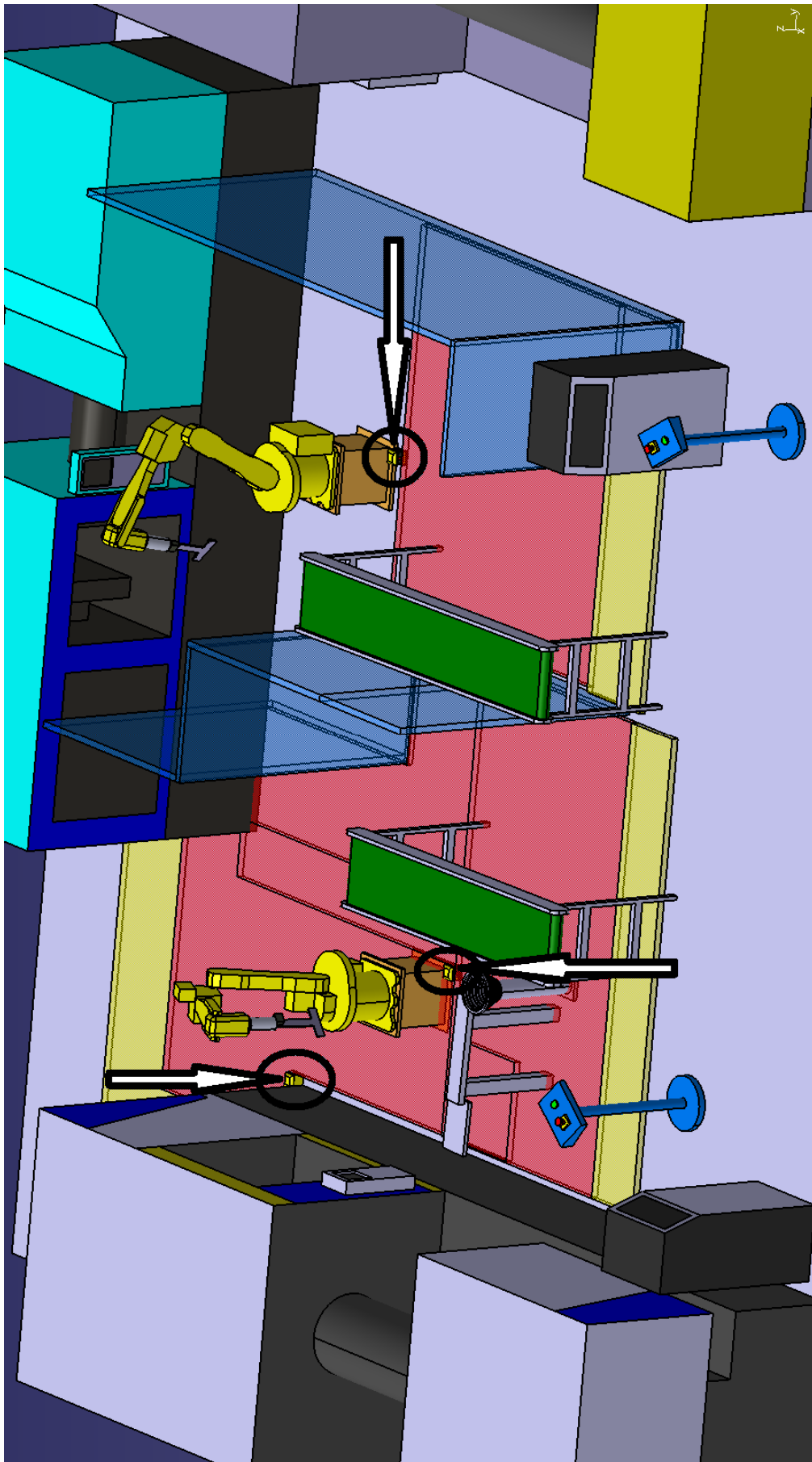
Kuva 20. Layout 1, vaihtoehto 1.



Kuva 21. Layout 1, vaihtoehto 2. Laserskannerien paikat ositettu nuolilla.



Kuva 22. Layout 2, vaihtoehto 1.



Kuva 23. Layout 2, vaihtoehto 2. Laserskannerien paikat merkitty nuolilla.