

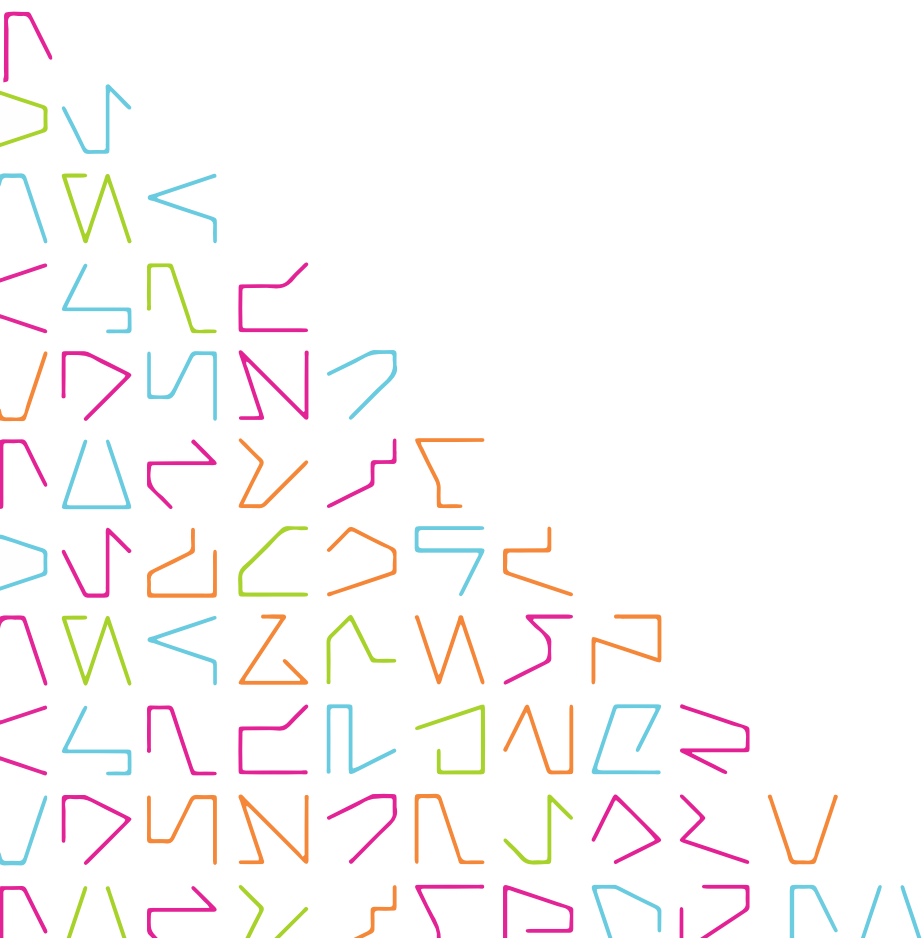


TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

## Robottisolun turvallistaminen

Arttu Autio

Opinnäytetyö  
Marraskuu 2015  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kone- ja laiteautomaatio



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kone- ja laiteautomaatio

AUTIO, ARTTU  
Robottisolun turvallistaminen

Opinnäytetyö 71 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Marraskuu 2015

---

Opinnäytetyön aiheena oli robottisolun turvallistaminen ja se tehtiin Ammatti-instituutti Iisakkiin Hämeenkyröön. Opetuskäytössä ollut Motoman SK-6 -robotti siirrettiin Tampereen ammattikorkeakoululta Hämeenkyröön Ammatti-instituutti Iisakkiin. Työn tarkoituksena oli suunnitella robottisolun turvallistaminen standardien ja direktiivien mukaan. Opinnäytetyössä tutustuttiin standardeihin ja direktiiveihin turvallisuusmääräysten sekä turvallistamisen perusteiden selvittämiseksi.

Robottisolulle suunniteltiin layout-piirros. Layout-piirroksesta selviää robottisolun mitat, robotin paikka robottisolussa sekä muiden tärkeimpien komponenttien sijainti. Robottisolua ympäröivän turva-aidan mitat ja muutamia olennaisia turvallisuuskomponentteja suunniteltiin myös.

Robottisolun turvallistaminen on prosessina tarkka ja se pitää suunnitella hyvin. Turvaetäisyyksien, turvallisuuskomponenttien ja robotin toimintatapojen eri tilanteissa pitää olla standardien ja direktiivien vaatimuksien mukaiset.

## **ABSTRACT**

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

AUTIO, ARTTU  
Safety Plan for a Robot Unit

Bachelor's thesis 71 pages, appendices 0 pages  
November 2015

---

A Motoman SK-6 robot was transferred from Tampere University of Applied Sciences to the vocational school Iisakki in Hämeenkyrö. The purpose of this thesis was to create safety plan for the Motoman SK-6 robot unit. In thesis the data were gathered by investigating related standards and directives.

A layout drawing of the Motoman SK-6 robot and its surrounding area was made in thesis. The location of the robot and the most essential components are shown accurately in the drawing. Safe distances and the working range of the robot also indicated. Furthermore, safety components that can be used in making the robot safe and measurements of the fences surrounding the robot were included.

The planning process is precise and it must be planned carefully, because it has to meet the requirements listed in standards and directives. Safe distances, safety components and robot operation methods have to follow these requirements.

---

Key words: securing, robot, robot unit

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ROBOTTISOLUN TURVALLISUUS .....	7
2.1	Tapaturmat ja vaarat .....	7
3	ROBOTTISOLUJA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET .....	9
3.1	Työturvallisuuslaki .....	9
3.1.1	Työnantajan velvoitteet.....	9
3.1.2	Työn vaarat.....	10
3.1.3	Työn ja työympäristön suunnittelu .....	10
3.1.4	Työntekijän opetus ja perehdytys.....	11
3.1.5	Henkilösuojainten ja laitteiden käyttö.....	12
3.1.6	Työntekijän velvollisuudet.....	12
3.1.7	Koneiden ja laitteiden käyttö .....	13
3.2	Konedirektiivi 2006/42/EY.....	13
3.2.1	CE-merkintä ja EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus.....	14
3.2.2	Käyttöohjeet ja tekninen tiedosto.....	15
3.2.3	Vaarat ja riskit .....	18
3.2.4	Suojukset ja turvalaitteet .....	18
3.2.5	Koneen käyttö .....	21
3.2.6	Turvallistaminen .....	22
3.2.7	Koneen suunnittelu.....	25
3.2.8	Ohjausjärjestelmät.....	26
3.2.9	Ohjauslaitteet.....	28
3.2.10	Käynnistäminen.....	30
3.2.11	Pysäyttäminen .....	30
3.2.12	Ohjaus- ja toimintatavat .....	32
3.2.13	Energiansyötön häiriöt .....	33
3.2.14	Vakavuus ja rikkoutumisriski .....	34
3.2.15	Liikkuvat osat.....	35
3.2.16	Muita vaaroja .....	36
3.2.17	Kunnossapito.....	38
3.2.18	Koneessa olevat tiedot ja varoitukset.....	39
3.2.19	Koneen merkinnät .....	40
3.2.20	Nostavat koneet.....	40
3.3	SFS EN-ISO 12100.....	41
3.3.1	Riskitilanteet .....	41
3.3.2	Koneen raja-arvot.....	44

3.3.3	Vaarojen tunnistaminen ja ehkäisy .....	44
3.4	Muita robottisolun turvallisuuteen liittyviä määräyksiä .....	46
4	TURVALLISUUSKOMPONENTIT .....	47
4.1	Rajakytkimet .....	47
4.1.1	Induktiivinen rajakytkin .....	47
4.1.2	Kapasitiivinen rajakytkin .....	48
4.1.3	Optinen rajakytkin.....	49
4.1.4	Mekaaninen rajakytkin.....	50
4.1.5	Ultraäänirajakytkin.....	50
4.1.6	Magneettinen rajakytkin.....	51
4.2	Valoverho.....	52
4.3	Konenäkösovellus .....	52
4.4	Turva-aita.....	53
4.5	Turvamatto.....	54
4.6	Tuntoreunat .....	55
4.7	Passiivinen infrapuna-anturi .....	55
4.8	Laserskanneri .....	56
4.9	Hätä-seis-painike .....	56
4.10	Sallintakytkin .....	57
4.11	Merkkivalot ja äänimerkit.....	57
4.12	Varoituskyltit .....	58
5	ROBOTTISOLUN TURVALLISTAMINEN.....	59
5.1	Työn tausta.....	59
5.2	Ammatti-instituutti Iisakki.....	59
5.3	Käytettävä laitteisto .....	59
5.4	Robottisolun turvallistamisprosessi .....	60
5.5	Robottisolun rakenne .....	61
5.6	Robottisolun aidat .....	62
5.7	Turvallisuuskomponenttien valinta.....	66
5.8	Testaus ja CE-merkintä.....	67
6	POHDINTA.....	69
	LÄHTEET.....	70

## 1 JOHDANTO

Robottien merkitystä nykyajan teollisuudelle ei voida väheksyä. Robotit tekevät yhä haasteellisimpia töitä vaikeissakin olosuhteissa. Robotit tekevät töitä, joihin ihmiset eivät ole kykeneviä. Robotit auttavat ihmisiä töissä ja jopa vapaa-ajallakin. Koska robotit voivat olla osa joka päiväistä elämäämme, siksi niiden turvallisuus on ensisijaisen tärkeää.

Erilaiset standardit ja direktiivit esittelevät vaatimuksia teollisuudessa toimiville roboteille. Standardeissa ja direktiiveissä selviää, miten robotin pitää toimia eri tilanteissa sekä minkälaisia suojuksia ja turvallisuuskomponentteja roboteille vaaditaan. Tässä opinnäytetyössä tutustaan syvemmin työturvallisuuslakiin, konedirektiivi 2006/42/EY:n ja SFS EN-ISO 12100 -standardiin.

Opetuskäytössä ollut Motoman SK-6 -robotti siirrettiin Tampereen ammattikorkeakoulusta Ammatti-instituutti Iisakkiin Hämeenkyröön. Motoman SK-6 -robotti tulee Ammatti-instituutti Iisakissa myös opetuskäyttöön ja opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella robottisolun turvallistaminen standardien ja direktiivien vaatimuksien mukaisesti. Opinnäytetyössä esitellään myös olennaisia turvallisuuskomponentteja, joita voidaan käyttää robottisolun turvallistamisessa.

## 2 ROBOTTISOLUN TURVALLISUUS

### 2.1 Tapaturmat ja vaarat

Tapaturmia, joissa robotti on osallisena, tapahtuu keskimäärin noin 33 tapausta vuodessa. Vakavia tapaturmia on sattunut 25 tapausta, joista 23 on puristumisia. Kuolemaan johtaneita tapauksia on tähän asti ollut 3. (Malm 2008.) Tapaturmat eivät yleensä johdu itse robotin toimiessa yksin, vaan silloin kun mukana toiminnassa on ihminen. Vaaroja syntyy, kun käyttäjä huoltaa, asentaa, testaa, säätää tai ohjelmoi robottia. Vaaroja syntyy myös, jos käyttäjä menee robotin toiminta-alueelle esimerkiksi poistamaan tukosta tai tekemään huoltotoimenpiteitä. Robottisolun aiheuttamat vaarat jaetaan yleensä neljään eri kategoriaan:

1. isku ja törmäys
2. puristuminen
3. mekaaniset viat
4. muut syyt.

Robotti voi iskeä tai törmätä ihmiseen, jos ihminen liikkuu robotin toiminta-alueella. Käyttäjä voi esimerkiksi liikkua huollon, asennuksen, työkalun vaihdon tai säädön aikana robotin toiminta-alueella. Jos käyttäjä ohjelmoi robottia käsiohjauksella robotin toiminta-alueella, on iskun ja törmäyksen riski suuri, jos käyttäjä ei hallitse käsiohjausta. Isku ja törmäys voi tapahtua myös robotin arvaamattoman liikkeen johdosta, jos esimerkiksi käyttäjä menee itse selvittämään robotin viallisuutta tai poistamaan tukosta. Iskuja ja törmäyksiä saattaa myös tapahtua, jos robotin käsittelemä kappale tai robotista irronnut osa lentää kohti ihmistä. Puristumisia saattaa tapahtua käyttäjän liikkeessä robotin toiminta-alueella ja ne tapahtuvat samoista syistä kuin iskut ja törmäyksetkin.

Mekaanisia vikoja ovat robotin valmistusviat ja sen osien kulumisen tai rikkoutuminen. Mekaaniset viat voivat aiheuttaa odottamattomia liikkeitä, jolloin tapaturmien riski kasvaa. Muihin vaaroja aiheuttaviin syihin lasketaan muun muassa energianlähteen viat ja sähkökatkokset. Myös ympäristöstä aiheutuvat häiriötekijät, kuten rikkoutunut lattia luetellaan muihin syihin. Ulkoiset magneettikentät ja haitalliset säteilyt lasketaan vaaroja aiheuttaviin muihin syihin. Käyttäjän piittaamattomuus, huolimattomuus, keskittymisen puute ja tietotaidon puute aiheuttavat yleensä vaaratilanteita.

Robotti on nopea, vahva ja ulottuva. Robotin liikenopeudet voivat olla jopa kymmeniä metrejä sekunnissa. Vaikka robotin kantokyvyksi on ilmoitettu 10 kg, voi robotti nostaa jopa yli 100 kg painoisia kuormia. Tämän takia robotin liikkeitä ei välttämättä pysty pysäyttämään ihmisvoimin.

Vaarojen ehkäisyyn on syytä panostaa. Vaarojen ehkäisyssä hyvä tapa on käyttäjien huolellinen koulutus. Käyttäjien pitää tuntea robottisolun toiminta ja sen turvallisuuskomponentit. Käyttäjien pitää tietää, miten toimia häiriö- ja vaaratilanteissa. Robottisolun huolto- ja kunnossapitotoimenpiteet on syytä jättää henkilöille, jotka sen osaavat. Myös robottisolun läheisyydessä toimivien henkilöiden on hyvä saada koulutus robottisolun toiminnasta, esimerkiksi vaaratilanteita varten.

Suunnittelu, turvallisuuskomponentit ja suojukset luovat perustan robottisolun turvallisuudelle. Niiden pitää olla määräyksien mukaisia ja niiden pitää kehittyä kehityksen mukana. Turvallisuuskomponenteilla ja suojuksilla ehkäistään ja ennen kaikkea poistetaan vaarat. Turvallisuuskomponentit tulee testata ja huoltaa säännöllisin ajoin. Esittelen turvallisuuskomponentteja myöhemmin luvussa 4.

Myös itse robotti ja sen ohjausyksikkö vaikuttavat vaarojen ehkäisyyn. Robottisolun osia tulee huoltaa ja testata säännöllisin väliajoin. Varsinkin robotin kuluvat osat pitää vaihtaa ajoittain ja huoltovälejä pitää noudattaa. Kuluvien osien tarkkailulla säästytään mekaanisilta vioilta.

Ympäristön ylläpidolla on myös vaikutusta vaarojen ehkäisyyn. Robottisolun tilat on syytä pitää siistinä, esimerkiksi pöly voi aiheuttaa vaaratilanteita tai tulipalon riskin. Lattia ja robottisolua ympäröivät tilat on oltava hyvässä kunnossa. Huonokuntoinen lattia voi aiheuttaa kompastumisriskin, ja katosta putoavat esineet ovat turvallisuusriski. Valaistuksen pitää olla kunnossa, koska luonnonvalo voi haitata joidenkin turvallisuuskomponenttien toimintaa.



### 3 ROBOTTISOLUJA KOSKEVAT MÄÄRÄYKSET

#### 3.1 Työturvallisuuslaki

”Työturvallisuuslaki edellyttää työnantajilta työn, työympäristön ja koneiden jatkuvaa tarkkailua sekä niihin liittyvien riskien arviointia ja todettujen riskien vähentämistä.” (Siirilä, T. 2008a. Koneturvallisuus. EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 2.uudistettu painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy) Työturvallisuuslaki koskee myös työntekijää, myyjiä ja maahantuojia. Työturvallisuuslaki on työnteon turvallisuutta ja käytettäviä koneita koskeva perustuslaki. Työturvallisuuslain tarkoituksena on parantaa työolosuhteita ja työympäristöä sekä ehkäistä työtapaturmia ja terveyshaittoja.

##### 3.1.1 Työnantajan velvoitteet

Työturvallisuuslain (Työturvallisuuslaki 2002) mukaan työnantajan on huolehdittava työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä työssä. Työnantajan on otettava huomioon eri olosuhteiden, työympäristön sekä työntekijän henkilökohtaiset edellytykset. Työnantaja voi vaikuttaa työn turvallisuuteen seuraavasti:

- vaara- ja haittatekijät estetään
- vaara- ja haittatekijät poistetaan mahdollisesti tai ne korvataan vähemmän vaarallisilla vaihtoehdoilla
- käytetään työsuojelutoimenpiteitä
- tekniikan kehitys huomioidaan. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työnantajalla on velvollisuus tarkkailla työn turvallisuutta, työoloja ja työpaikan tilaa koko ajan. Jos työnantaja joutuu puuttumaan kyseisiin seikkoihin erilaisilla toimenpiteillä, on näiden toimenpiteiden seurauksia tarkkailtava. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työnantajien on laadittava työsuojelun toimintaohjelma, josta selviää työolojen kehittämistarpeet ja työympäristöön vaikuttavien tekijöiden vaikutukset. Toimintaohjelmassa on tavoitteet turvallisuuden ja terveyden kehittämiseksi ja ylläpitämiseksi. (Työturvallisuuslaki 2002.).

### 3.1.2 Työn vaarat

Työnantajan on tunnistettava ja selvitettävä vaara- ja haittatekijät koskien työtä, työaika, työtilaa, työolosuhteita ja työympäristöä. Työnantajan on yritettävä poistaa tai estää kaikki vaara- ja haittatekijät. Jos niitä ei voida poistaa, työnantajan on arvioitava niiden merkitys turvallisuudelle ja terveydelle. Jos työnantaja ei pysty itse arvioimaan ja selvittämään työn vaaroja, voidaan käyttää ulkopuolista pätevää työvoimaa. Työn vaaroja selvittäessä on otettava huomioon:

- tapaturman tai terveyden menettämisen vaara
- esiintyneet tapaturmat, vaaratilanteet, ammattitaudit ja sairaudet
- työntekijän ikä, sukupuoli, ammattitaito ja henkilökohtaiset edellytykset
- työn kuormitustekijät
- lisääntymisterveydelle haitalliset vaarat
- muut vaarat. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Jos työ on erityistä vaaraa aiheuttava, on työnantajan huolehdittava työntekijöiden pätevydestä. Erityistä vaaraa aiheuttavaa työtä saa tehdä tai valvoa vain työhön koulutettu työntekijä. (Työturvallisuuslaki 2002.)

### 3.1.3 Työn ja työympäristön suunnittelu

Työturvallisuuslain mukaan työn suunnittelussa on otettava huomioon työntekijän fyysiset ja henkiset edellytykset. Kuormituksia, jotka vaikuttavat työntekijän turvallisuuteen ja terveyteen, tulee välttää ja vähentää. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työympäristön rakenteet, työtilat, työ- ja tuotantomenetelmät, työssä käytetyt koneet ja työvälineet, muut laitteet sekä työntekijälle haitalliset aineet on otettava huomioon, kun suunnitellaan työn turvallisuutta ja terveyttä. Kyseisten seikkojen on sovellettava niille suunniteltuihin tarkoituksiin sekä niiden on noudatettava työturvallisuuslain määräyksiä. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työympäristö pitää tehdä mahdollisimman ergonomiseksi työturvallisuuslain mukaan. Työntekijällä täytyy olla tarpeeksi työtilaa ja mahdollisuus vaihdella työasentoa. Tehtyä työtä tai nostamista helpotetaan tarvittaessa apuvälineillä. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työpaikan rakenteiden, materiaalien, varusteiden, laitteiden, kulkuteiden, käytävien, pe-  
lastusteiden, työskentelytasojen ja muiden liikkumisalueiden pitää olla turvallisia ja ter-  
veydelle haitattomia. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Jos työpaikalla esiintyy ilman epäpuhtauksia (pöly, kaasu, höyry ja savu), on epäpuhtau-  
den lähde eristettävä tai suljettava erilliseen tilaan tai laitteeseen mahdollisuuksien mu-  
kaisesti. Myös kemiallisilta aineilta pitää suojautua, jos ne aiheuttavat vaaraa työntekijän  
turvallisuudelle, terveydelle tai lisääntymisterveydelle. Käsiteltäessä kemiallisia tai vaa-  
rallisia aineita on noudatettava erityistä varovaisuutta ja työntekijälle on ilmoitettava ky-  
seisten aineiden vaarallisuudesta. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työturvallisuuden vaatimukseen kuuluu myös biologisilta tai fyysisiltä tekijöiltä, kuten  
melulta, säteilyltä ja ääriämpötiloilta suojautuminen. Fyysisten ja biologisten tekijöiden  
vaikutukset on saatava niin pieniksi, ettei niistä koidu haittaa käyttäjän terveydelle tai  
turvallisuudelle. Myöskään sähkölaitteet tai staattinen sähkö eivät saa aiheuttaa vaaraa  
työpaikalla. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työympäristöstä on löydyttävä tarpeelliset ensiapu-, sammutus-, hälytys-, hengenpelas-  
tus- ja pelastautumisvälineet. Työntekijöille on annettava tarpeellinen koulutus kyseisten  
laitteiden käytöstä sekä toiminnasta hätätilanteissa. (Työturvallisuuslaki 2002.)

### **3.1.4 Työntekijän opetus ja perehdytys**

Työturvallisuuslaissa määritetään neljä kohtaa liittyen työntekijän opetukseen ja pereh-  
dytykseen:

1. Työntekijä pitää perehdyttää riittävästi työhön, työpaikan olosuhteisiin sekä työ-  
ja tuotantomenetelmiin. Työntekijälle täytyy opettaa työvälineiden ja työtapojen  
oikea ja turvallinen käyttö. Nämä seikat pitää perehdyttää ja opettaa ennen uuden  
työn aloittamista, työn laadun muuttuessa sekä ennen uuden työmenetelmän tai  
työvälineen käyttöön ottamista.
2. Työntekijälle annetaan ohjausta työn vaarojen, haittojen sekä haitallisten turvalli-  
suus- tai terveystekijöiden ennalta ehkäisyyn ja välttämiseen.

3. Työntekijälle annetaan opetusta ja ohjausta säätö-, kunnossapito-, puhdistus- ja korjaustoimenpiteisiin. Häiriö- ja poikkeustilanteet tulee myös kouluttaa työntekijälle.
4. Työntekijöille annettuja opetusta ja ohjausta pitää täydentää tarvittaessa. (Työturvallisuuslaki 2002.)

### **3.1.5 Henkilösuojainten ja laitteiden käyttö**

Työnantaja on velvollinen hankkimaan työntekijöille tarkoituksen mukaiset ja säädökset täyttävät henkilösuojaimet, jos tehtävä työ vaatii sitä. Jos työn tekemiseen vaaditaan apuvälineitä tai muita laitteita työn luonteen, olosuhteiden tai turvallisuuden takia, on työnantaja velvollinen ne hankkimaan. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työntekijä on velvollinen käyttämään työnantajan hankkimia henkilösuojaimia, jos tehty työ sitä vaatii. Työntekijän vaatetus pitää olla turvallinen ja asianmukainen työturvallisuuslain mukaan. (Työturvallisuuslaki 2002.)

### **3.1.6 Työntekijän velvollisuudet**

Työntekijä on velvollinen noudattamaan työnantajan antamia määräyksiä ja ohjeita. Työntekijä on velvollinen noudattamaan turvallisuutta ja terveyttä koskevaa järjestystä, siisteyttä, huolellisuutta ja varovaisuutta. Työntekijän on ilmoitettava, jos työolosuhteissa, työmenetelmissä, koneissa, työvälineissä, henkilösuojaimissa tai muissa laitteissa on vikaa/puutetta. Työntekijän on mahdollisuuksien ja koulutuksen mukaan poistettava tai korjattava vika/puute ja ilmoitettava siitä, jos kyseisiä toimenpiteitä tehdään. (Työturvallisuuslaki 2002.)

Työntekijä on velvollinen saamansa perehdytyksen, käyttöohjeiden, koulutuksen ja kokemusten mukaisesti käyttämään koneita, työvälineitä ja muita laitteita. Jos työssä käytetään vaarallisia tai haitallisia aineita, täytyy niiden turvallisuusohjeita noudattaa. Koneisiin, laitteisiin, työvälineisiin tai rakenteisiin asennettuja turvallisuus- tai suojalaitetta ei saa kytkeä pois päältä tai poistaa ilman tarkoitusta. Jos turvallisuus- tai suojalaitteita

poistetaan tai kytketään pois päältä, on työntekijä velvollinen laittamaan ne takaisin toimintakuntoon. (Työturvallisuuslaki 2002.)

### **3.1.7 Koneiden ja laitteiden käyttö**

Työssä saa käyttää vain tarkoituksen mukaisia ja säännösten mukaisia koneita tai laitteita. Koneet, laitteet ja työvälineet pitää asentaa oikein sekä niiden suojalaitteet ja merkinnät pitää olla kunnossa. Koneiden, laitteiden tai työvälineiden käyttö ei saa aiheuttaa käyttäjälle vaaraa tai haittaa. Käyttö, huolto, puhdistus ja hoito on hoidettava huolellisesti. Koneen tai laitteen vaara-alueelle pääsyä on estettävä suojuksilla, turvalaitteilla, rakenteilla tai sijoituksella. Turvallisuus- ja terveyshaitat pitää olla mahdollisimman vähäiset huolto-, säätö-, puhdistus- ja korjaustoimenpiteiden aikana. Häiriö- ja poikkeustilanteet eivät saa aiheuttaa vaaraa ja niihin on varauduttava. (Työturvallisuuslaki 2002.)

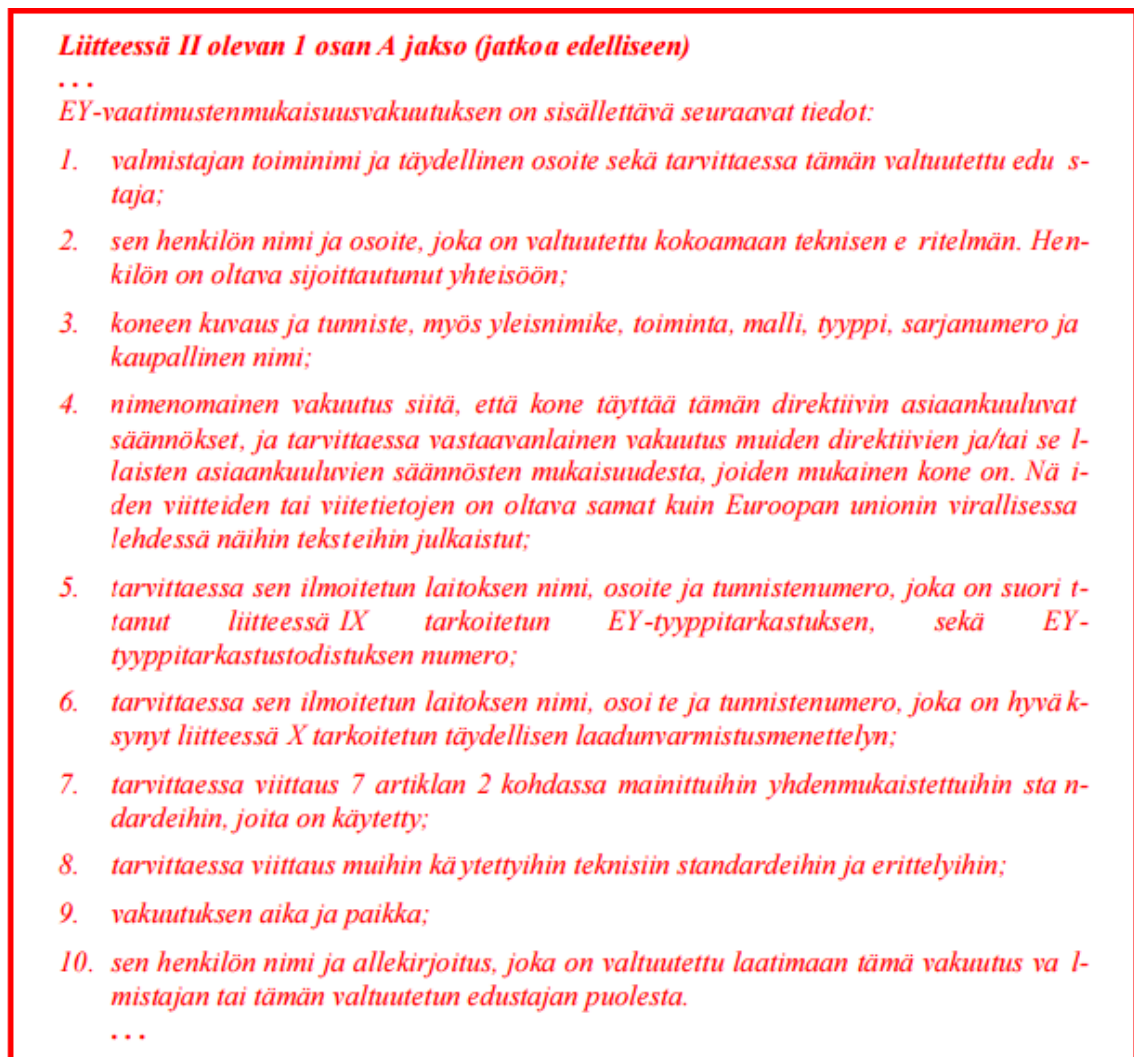
Koneiden, laitteiden ja työvälineiden käyttöönotto- ja määräaikaistarkastukset on hoidettava kunnolla. Käyttöönottotarkastus pitää tehdä uusille koneille, laitteille ja työvälineille ennen ensimmäistä käyttökertaa tai suurien muutoksien jälkeen. Määräaikaistarkastukset tulee tehdä säännöllisin väliajoin tai poikkeuksellisen tilanteen jälkeen. Tarkastukset saa tehdä vain pätevä ja koulutettu henkilö. (Työturvallisuuslaki 2002.)

## **3.2 Konedirektiivi 2006/42/EY**

Suomessa koneiden turvallisuuden taustalla on EU:n määrittelemä konedirektiivi. Tämä koskee kaikkia koneita, ellei koneella ole omaa erikoisdirektiiviä, kuten hisseillä on hissidirektiivi. Koneen on täytettävä konedirektiivin mukaiset ehdot. Jos konetta koskevat muutkin direktiivit, ovat kyseisten direktiivien ehdot täytyttävä. Konedirektiivissä on esitelty olennaiset koneita koskevat turvallisuus- ja terveysvaatimukset.

### 3.2.1 CE-merkintä ja EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus

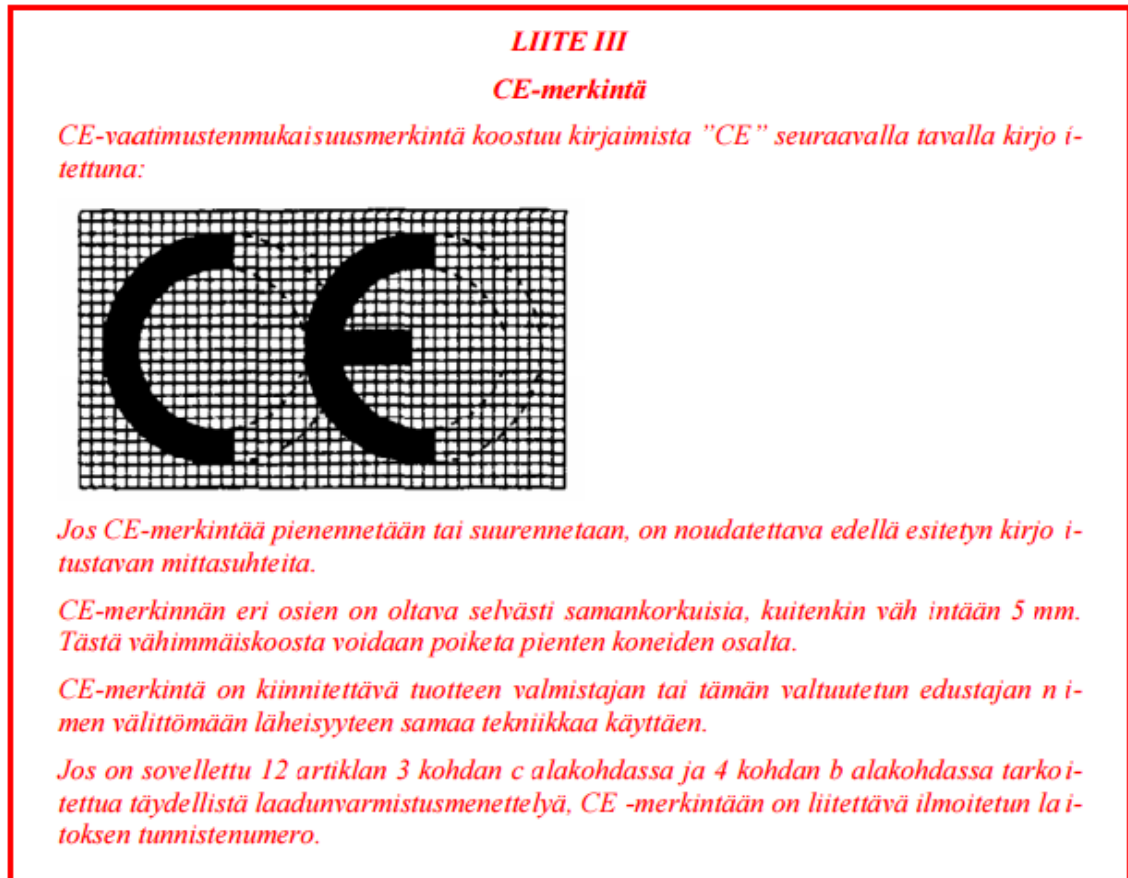
Konedirektiivin (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006) mukaan kaikissa EU:n alueen markkinoilla olevissa koneissa täytyy olla CE-merkintä ja koneen täytyy täyttää EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus (kuva 1). EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus on valmistajan tai sen valtuutetun edustajan virallinen lausunto, jonka avulla vakuutetaan koneen täyttävän konedirektiivin mukaiset vaatimukset. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus täytyy olla saatavilla maan virallisella kielellä, missä sitä käytetään. Valmistajan on säilytettävä vaatimustenmukaisuusvakuutusta 10 vuoden ajan. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)



KUVA 1. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Kone vaatii CE-merkinnän, että se voidaan vapauttaa EU:n markkinoille. CE-merkinnällä varmistetaan, että kone täyttää EU:n yhdenmukaistamislainsäädännön vaatimukset. Konedirektiivissä esitellään tarkkaan, millainen CE-merkinnän tulee olla graafisesti (kuva

2). Kun noudatetaan konedirektiivin mukaisia graafisia vaatimuksia, vältetään mahdollisilta kopioilta tai huijatuilta merkeiltä. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)



KUVA 2. CE-merkinnän graafiset vaatimukset (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### 3.2.2 Käyttöohjeet ja tekninen tiedosto

Konedirektiivi vaatii, että koneista löytyy käyttöohjeet sen maan virallisella kielellä, missä konetta käytetään. Valmistajan on toimitettava koneen alkuperäiset ohjeet tai käännös alkuperäisestä ohjeesta. Ohjeet on oltava selkeällä kielellä, että esimerkiksi kuluttajatkin ymmärtävät ohjeet, jos kone on tarkoitettu kuluttajakäyttöön. Ohjeista täytyy selvittää muun muassa koneen valmistajan tai tämän edustajan toiminimi ja osoite, koneen kuvaus ja EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus. Käyttöohjeista pitää löytyä myös yleinen kuvaus koneesta, jossa selviää koneen pääosat ja niiden tarkoitus. Käyttöohjeisiin sisällytetään kaaviot, kuvaukset ja selitykset koneen käytöstä, huollosta, korjauksesta sekä oikeasta käytöstä. Koneen käyttöpaikka, säädöt hyvään työskentelyasentoon, ohjauslaitteiden ulkoasu ja toiminta, koneen toiminta- ja ohjaustavat, suojusten ja turvalaitteiden

käyttö sekä haitallisten aineiden kanssa työskentely täytyy löytyä koneen käyttöohjeista. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Käyttöohjeissa kuvataan myös koneen käyttötarkoitus ja siihen liittyvät olosuhteiden rajoitukset. Käyttötarkoituksessa selviää koneen kaikki toimintatavat, toimintavaiheet ja koneen rajat turvalliseen käyttöön (maksimikuorma yms.). Käyttöohjeissa varoitetaan kohtuudella ennakoitavissa olevasta väärinkäytöstä ja sen seurauksista. Kokoonpano-, kytkentä- ja asennusohjeet on löydettävä käyttöohjeista. Jos koneeseen voidaan liittää vaihdettavia laitteita, on sopivista laitteista oltava selkeä lista sekä turvalliset asennusohjeet. Jos koneet on kiinnitettävä erityiseen jalustaan tai rakenteeseen, jalustasta ja rakenteesta on oltava tarkat mitat ja kantokyvyt käyttöohjeissa. Liitäntäohjeissa kuvataan koneen turvallista liittämistä energiansyöttöön. Energianlähteen tekniset tiedot on ilmoitettava käyttöohjeissa. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Käyttöohjeista selviää mitä toimenpiteitä, säätöjä, testejä ja tarkastuksia koneelle täytyy tehdä ennen käyttöönottoa. Jos koneen mukana toimitetaan erityistyökaluja- tai välineitä, on näiden käytön kuvaus selvittävä käyttöohjeista. Jos konetta joudutaan käyttämään erityisissä olosuhteissa, täytyy siihen liittyvät varotoimet selvittää käyttöohjeista. Käyttöohjeissa on ilmoitettava, jos koneen käyttö vaatii erityisen koulutuksen. Käyttöohjeissa on ilmoitettava jäännösriskit, joita jää jäljelle suunnittelun, turvallisuuskomponenttien ja suojusten jälkeen. Toimenpiteet turvallisen käytön takaamiseksi on ilmoitettava käyttäjälle, kuten henkilösuojainten ja suojuksien käyttö. Jos koneessa käytetään vaihdettavia työkaluja, ovat niiden kiinnitysohjeet ja ominaisuudet ilmoitettava. Koneen vakauten liittyvien suureiden, kuten olosuhteiden, ulottuvuuksien ja enimmäiskaltevuuksien rajat on ilmoitettava koneen vakauden säilyttämiseksi. Käyttöohjeista on löydettävä toimenpiteet hätätilanteiden, vikatilojen tai koneen osien juuttumisen varalta. Jos henkilö voi jäädä loukkuun koneen sisälle tai koneen liikkuvien osien väliin, on tätä tilannetta varten löydettävä toimintaohjeet käyttöohjeista. Käyttöohjeissa on kerrottava millaisia kunnossapito- ja säätötoimenpiteitä koneelle täytyy tehdä ja kuinka usein. Vaihdettavien ja kuluvien osien vaihto- ja tarkastusvälit on ilmoitettava myös. Jos turvalaitteiden tai energianlähteiden toimintaan on puututtava kunnossapito- tai säätötoimenpiteiden aikana, on siitä ilmoitettava. Koneen melutasoista on ilmoitettava käyttöohjeissa. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)



Teknisessä tiedostossa selviää koneen rakenne, valmistus ja käyttötarkoitus, joiden avulla voidaan selvittää täyttääkö kone turvallisuus- ja terveystaamukset (kuva 3). Teknisessä tiedossa esitellään koneen teknisiä tietoja, riskejä ja sovellettuja standardeja. Tekninen tiedosto täytyy myös olla saatavilla käyttöön virallisella kielellä. Tekninen tiedosto pitää olla saatavilla kymmenen vuotta koneen viimeisen valmistuserän jälkeen. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

**LIITTEESSÄ VII OLEVA A OSA (jatkoa edelliseen)**

...

**1. Teknisessä tiedostossa on seuraavat osat:**

**(a) rakennetiedosto, jossa ovat**

- koneen yleiskuvaus,
- koneen yleispiirustus ja siihen liittyvät ohjauspiirien piirustukset sekä asianmukaiset kuvaukset ja selitykset koneen toiminnan ymmärtämiseksi,
- täydelliset ja yksityiskohtaiset piirustukset laskelmineen, testaustuloksineen, todistuksineen ja muine tietoineen, joita tarvitaan tarkastettaessa, onko kone olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukainen,
- riskin arviointia koskevat asiakirjat, joista ilmenee noudatettu menettely, mukaan lukien
  - (i) luettelo olennaisista terveys- ja turvallisuusvaatimuksista, jotka koskevat konetta,
  - (ii) niiden suojaustoimenpiteiden kuvaus, jotka on toteutettu tunnistettujen vaarojen poistamiseksi tai riskien pienentämiseksi ja tarvittaessa mahdollisinta koneeseen liittyvistä jäännösriskeistä,
- käytetyt standardit ja muut tekniset eritelvät siten, että käy ilmi, mitkä olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset kyseiset standardit kattavat,
- tekniset selosteet, joista ilmenevät niiden testien tulokset, jotka on suorittanut joko valmistaja tai valmistajan taikka tämän valtuutetun edustajan valitsema laitos,
- jäljennös koneen ohjeista,
- puolivalmisteen osalta tarpeen mukaan liittämismakuutus ja puolivalmisteen asianmukaiset kokoonpano-ohjeet,
- tarpeen mukaan jäljennökset koneen tai muiden siihen liitettyjen tuotteiden EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksista,
- jäljennös EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta;

**(b) sarjatuotteiden osalta ne sisäiset toimenpiteet, jotka pannaan täytäntöön sen varmistamiseksi, että kone pysyy tämän direktiivin säännösten mukaisena.**

*Valmistajan on suoritettava komponenteille, tarvikkeille tai valmiille koneille tarpeelliset tutkimukset ja testit määrittääkseen, soveltuuko kone suunnittelunsa tai rakenteensa puolesta turvallisesti asennettavaksi ja käyttöön otettavaksi. Asiaankuuluvat selosteet ja tulokset on sisällytettävä tekniseen tiedostoon.*

...

KUVA 3. Konedirektiivin tekninen tiedosto (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### 3.2.3 Vaarat ja riskit

Konedirektiivi määrittelee tarkkaan, mikä on vaara ja riski. Konedirektiivi määrittelee vaaran haitan, vamman tai terveyshaitan lähteeksi. Vaaratilanteeksi kutsutaan tapahtumaa, tapahtumasarjaa tai olosuhdetta, joissa ihminen altistuu vaaralle. Direktiivissä määritellään myös erikseen vaaravyöhyke. Vaaravyöhykkeeksi luokitellaan alue, missä ihminen voi altistua vaaralle. Vaaravyöhykkeeksi lasketaan alue koneen liikkuvien osien läheisyydessä ja alue, jossa voi altistua koneesta irtoaville esineille. Myös melun tai haitallisen aineiden vaikutusalueet lasketaan vaaravyöhykkeeksi konedirektiivin mukaan. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Vaaratilanteita analysoitaessa on mietittävä ihmisten rooli turvallisuudessa. Konedirektiivi määrittelee erikseen altistuneen henkilön ja käyttäjän. Altistuneeksi henkilöksi lasketaan henkilö, joka on osittain tai kokonaan vaaravyöhykkeellä. Esimerkiksi yrityksissä koneen käyttäjän lisäksi altistuneiksi henkilöiksi lasketaan yrityksen muut työntekijät, jos ne ovat vaaravyöhykkeellä. Konedirektiivi määrittelee käyttäjäksi henkilön, joka asentaa, käyttää, säätää, huoltaa, puhdistaa, korjaa tai liikuttaa konetta. Käyttäjä voi olla siis yrityksessä koneen käyttäjä, ulkopuolinen huoltotyöntekijä tai vaikka kotitaloudessa asuva ihminen. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

”Riski on vaaratilanteeseen mahdollisesti liittyvän vamman tai terveyshaitan todennäköisyyden ja vakavuuden yhdistelmä.” (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006) Vaikka kone aiheuttaisikin vaaraa, mutta jos kukaan ei todennäköisesti altistu vaaralle, riskiä ei tällöin ole. Riskejä ovat koneiden aiheuttamat vaaratilanteet ja niiden seuraukset. Konedirektiivin mukaan koneille täytyy tehdä riskien arviointi. Riskien arviointiin vaikuttaa riskin tapahtumistodennäköisyys sekä vakavuus. Riski voi olla silti vakava, vaikka sen tapahtumistodennäköisyys olisikin pieni. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### 3.2.4 Suojukset ja turvalaitteet

Konedirektiivi määrittelee suojuksen kiinteästä materiaalista valmistettuna esteenä, joka suojaa. Suojus on siis fyysinen este, joka esimerkiksi estää pääsyn koneen vaara-alueelle tai suojaa sinkoutuvilta esineiltä. Suojusten ja turvalaitteiden on oltava mekaanisesti tarpeeksi kestäviä ja niiden täytyy suoriutua niille suunnitelluista tehtävistä ottaen huomioon

erilaiset olosuhteet ja vaarat. Suojusten ja turvalaitteiden on pysyttävä paikallaan, vaikka koneen käytöstä aiheutuisikin tärinää tai iskuja. Suojukset ja turvalaitteet eivät saa aiheuttaa lisävaaraa ja ne on suunniteltava ergonomisesti. Esimerkiksi raskaat ovet ja luukut voidaan rakentaa jousiavusteisiksi. Turvalaitteet ja suojukset on sijoitettava tarpeeksi etäälle vaaravyöhykkeestä ja niitä ei saa olla helppo tehdä toimimattomaksi tai ohittaa. Varsinkaan turvalaitteita ei saa ohittaa tai niiden toimintaa mitätöidä. Suojukset ja turvalaitteet eivät saa estää käyttäjän näköyhtyettä koneeseen tai sen osiin. Suojukset ja turvalaitteet on suunniteltava ja sijoitettava niin, että kunnossapitotoimet tai työkalun vaihto onnistuisi mahdollisimman vähällä suojusten tai turvalaitteiden poistolla. Turvalaitteiden ja suojusten suunnittelussa täytyy huomioida, että ne suojaavat monelta vaaralta samaan aikaan (kuva 4). (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

**1.4 SUOJUKSILTA JA TURVALAITTEILTA VAADITTAVAT OMINAISUUDET**

**1.4.1 Yleiset vaatimukset**

*Suojusten ja turvalaitteiden on*

- *oltava rakenteeltaan kestäviä,*
- *pysyttävä varmasti paikallaan,*
- *oltava sellaisia, ettei niistä aiheudu lisävaaraa,*
- *oltava sellaisia, ettei niitä ole helppo ohittaa tai tehdä toimimattomiksi,*
- *sijaittava riittävällä etäisyydellä vaaravyöhykkeestä,*
- *estettävä mahdollisimman vähän työprosessin tarkkailua,*
- *sallittava työkalujen asettamisen ja/tai vaihtamisen sekä kunnossapidon edellyttämät toimet rajoittamalla pääsy vain kohtaan, jossa tämä työ on suoritettava, jos mahdollista ilman, että suojus poistetaan tai että turva laite kytketään pois käytöstä.*

*Lisäksi suojusten on mahdollisuuksien mukaan suojattava koneesta sinkoavilta tai putoavilta materiaaleilta tai esineiltä ja koneen aiheuttamilta päästöiltä.*

KUVA 4. Suojukset ja turvalaitteet (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Konedirektiivi jakaa suojukset kolmeen eri luokkaan: kiinteät suojukset, toimintaan kytetyt avattavat suojukset ja pääsyä rajoittavat aseteltavat suojukset. Kiinteitä suojuksia käytetään paikoissa, joihin ei ole tarvetta päästä usein tai ollenkaan. Kiinteille suojuksille annetaan kolme vaatimusta konedirektiivissä:

1. Kiinteiden suojuksien avaaminen tai irrottaminen on mahdollista vain työkaluilla.
2. Kiinteiden suojuksien kiinnitysjärjestelmien pitää pysyä kiinnitettyinä suojuksiin tai koneisiin, jos suojukset irrotetaan.

3. Kiinteät suojukset eivät saa pysyä paikallaan ilman kiinnitysjärjestelmää mahdollisuuksien mukaan. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Jos suojatulle alueelle pitää päästä usein, toimintaan kytketyt avattavat suojukset ovat toimivia. Toimintaan kytkettyjen avattavien suojuksien pitää jäädä aina kiinni koneeseen mahdollisuuksien mukaan, jos suojukset avataan. Koneen toimintaan kytkettyjen avattavien suojuksien säädön tai avaamisen pitää olla aina tarkoituksen mukaista. Koneen vaaralliset toiminnot eivät saa käynnistyä, jos suojus on auki. Jos suojus avataan, ohjausjärjestelmä antaa pysäytyskäskyn. Toimintaan kytketty avattava suojus pitää varustaa kytkentälaitteella, joka antaa eri käskyjä. Jos koneen liikkeet pysähtyvät hitaasti (käyttäjä ehtii vaaran luokse ennen kuin liikkeet ovat pysähtyneet pysäytyskäskyn jälkeen), toimintaan kytketyt avattavat suojukset pitää varustaa suojuksien lukituslaitteella. Koneen vaaralliset toiminnot eivät voi käynnistyä ennen kuin suojus on kiinni ja lukittu lukituslaitteella. Lukituslaitteen täytyy pitää suojus kiinni ja lukittuna niin kauan, kunnes koneen vaarallisista toiminnoista aiheutuva riski on loppunut. Ohjausjärjestelmän avulla koneen toiminta voidaan suunnitella sillä tavalla, että vaaralliset toiminnot eivät voi käynnistyä tai ne pysäytetään, jos toimintaan kytketty avattava suojus puuttuu tai siihen tulee vika (kuva 5). (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

#### **1.4.2.2 Toimintaankytketyt avattavat suojukset**

*Toimintaankytkettyjen avattavien suojusten on*

- *mahdollisuuksien mukaan jäätävä kiinni koneeseen, kun ne ovat auki,*
- *oltava suunniteltu ja rakennettu siten, että niitä voidaan säätää ainoastaan tarkoituksellisin toimin.*

*Toimintaankytketyissä avattavissa suojuksissa on oltava toimintaankytkentälaitte, joka*

- *estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen, kunnes suojus on kiinni, ja*
- *antaa pysäytyskäskyn, kun suojus ei enää ole kiinni.*

*Jos käyttäjä voi ulottua vaaravyöhykkeelle, ennen kuin koneen vaarallisista toiminnoista aiheutuva riski on poistunut, avattavissa suojuksissa on toimintaankytkentälaitteen lisäksi oltava suojuksen lukituslaite, joka*

- *estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen, kunnes suojus on kiinni ja lukittu, ja*
- *pitää suojuksen kiinni ja lukittuna, kunnes koneen vaarallisista toiminnoista aiheutuva vammautumisen riski on poistunut.*

*Toimintaan kytketyt avattavat suojukset on suunniteltava siten, että yhdenkin niiden komponentin puuttuminen tai vikaantuminen estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen tai pysäyttää ne.*

KUVA 5. Toimintaan kytketyt avattavat suojukset (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Pääsyä rajoittavia aseteltavia suojuksia käytetään tilanteissa, joissa vaaravyöhykkeelle pääsyä ei voida kokonaan estää. Kyseisiä tilanteita ovat esimerkiksi tilanteet, joissa työstettävää kappaletta joudutaan syöttämään käsin koneelle. Konedirektiivissä vaaditaan, että pääsyä rajoittavat aseteltavat suojuukset voidaan asentaa paikalleen ilman työkaluja ja ne täytyy olla asennettavissa käsin tai automaattisesti. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Turvalaitteet pienentävät riskiä altistua vaaralle yhdessä suojuksien kanssa. Turvalaitteet eivät ole konedirektiivin mukaan fyysisiä esteitä, kuten suojuukset, vaan ne ehkäisevät ja pienentävät vaaran tapahtumistodennäköisyyttä. Turvalaitteita ovat esimerkiksi tunnistavat laitteet, kuten valoverhot, tuntomatot ja laserskannerit. Konedirektiivin määritelmän mukaan turvalaitteiden tehtävänä on huolehtia, että koneen liikkuvat osat eivät voi käynnistyä, jos ne ovat käyttäjän ulottuvilla. Henkilöt eivät saa myöskään ulottua liikkuviin osiin niiden ollessa liikkeessä. Kone ei saa käynnistyä tai kaikkien liikkeiden on pysähdyttävä, jos yksikin turvalaitteen komponentti puuttuu tai vikaantuu. Turvalaitteet eivät muodosta fyysistä estettä, joten ne eivät suojaa sinkoutuvilta osilta, melulta, tärinäältä, lämpötiloilta tai säteilyltä. Turvalaitteita ei myöskään saa säätää ilman tarkoitusta. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### **3.2.5 Koneen käyttö**

Koneen käyttötavalla on vaikutusta turvallisuuteen. Konedirektiivissä määritellään koneille tarkoitettu käyttö ja kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö (kuva 6). Tarkoitettu käyttö tarkoittaa käyttöohjeiden ja koneen tarkoituserän mukaista koneen käyttöä. Koneille on selvitettävä käyttötarkoitus ja asetettavat rajat, että tarkoitettu käyttö voidaan määrittää. Esimerkiksi roboteille täytyy selvittää maksimikuorma tai mitä materiaaleja robotti kykenee hitsaamaan. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö on myös otettava huomioon koneiden turvallisuutta mietittäessä. Kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö voidaan määrittää aikaisempien kokemusten ja onnettomuuksien perusteella. Ihmisen toimintaa ja ajatusmaailmaa tutkimalla voidaan myös selvittää ennakoitavaa väärinkäyttöä. Kohtuudella ennakoitavissa olevaan väärinkäyttöön vaikuttaa ihmisen mieliala ja toimintatapa eri tilanteissa. Kohtuudella ennakoitavissa olevaan väärinkäyttöön lasketaan esimerkiksi, jos

käyttäjällä on keskittymisen puutetta tai ihmisen refleksin omainen käytös vaaratilanteissa. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

**1.1.1 Määritelmät (jatkoa edelliseen)**

...

- (i) *"kohtuudella ennakoitavissa olevalla väärinkäytöllä" koneiden käyttöä tavall a, jota ei ole tarkoitettu käyttöohjeissa mutta joka voi olla seurausta helposti ennakoitavissa olevasta ihmisen käyttäytymisestä.*

KUVA 6. Kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### 3.2.6 Turvallistaminen

Konedirektiivi 2006/42/EY keskittyy pääosin turvallisuuteen ja se määrittelee laajasti turvallistamisen periaatteita. Kuvan 7 mukaan koneet on suunniteltava ja rakennettava käyttötarkoituksensa mukaan, eli koneen käyttötarkoitus pitää olla selvillä. Koneiden turvallistamisessa on otettava huomioon kaikki koneen vaaroille altistuvat henkilöt, kuten käyttäjät ja huoltohenkilöt. Kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö pitää ottaa aina huomioon. Koneen turvallistamisessa täytyy muistaa koneen elinkaaren kaikki vaiheet, kuljetuksesta romuttamiseen asti. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

**1.1.2 Turvallistamisen periaatteet**

- (a) *Kone on suunniteltava ja rakennettava niin, että se soveltuu tarkoitukseensa ja sitä voidaan käyttää, säätää ja huoltaa henkilöitä vaarantamatta silloin, kun nämä toimet suoritetaan tarkoitettulla tavalla, mutta ottaen huomioon myös sen kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö.*

*Toteutettavien toimenpiteiden tarkoituksena on oltava riskin poistaminen koneen koko ennakoitavana käyttöaikana, mukaan lukien kuljetus -, kokoonpano-, purkamis-, käytöstä poisto- ja romuttamisvaihe.*

...

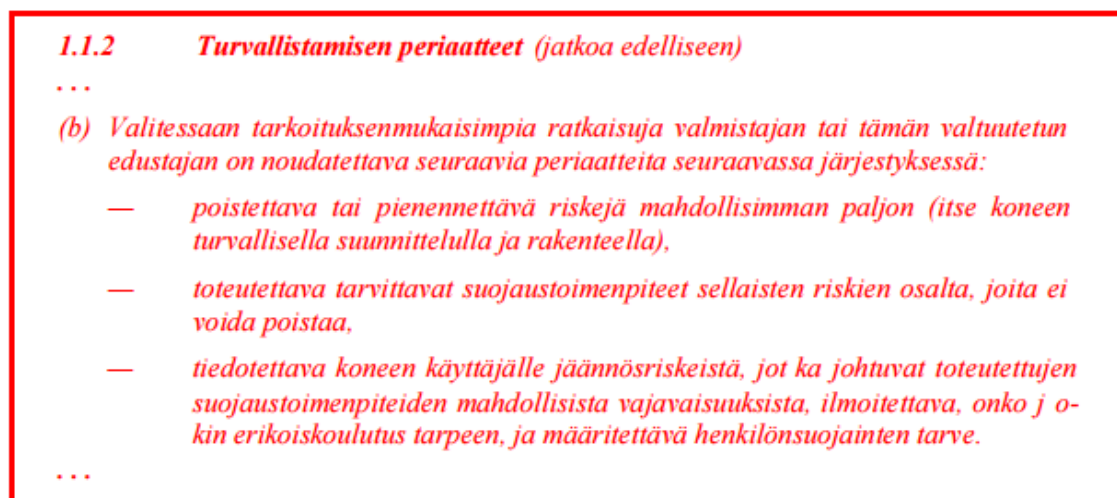
KUVA 7. Turvallistamisen periaatteet 1.1.2 a) (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Konedirektiivi määrittelee riskin arvioinnille kolmivaiheisen järjestelmän (kuva 8). Ensimmäisessä vaiheessa on koneen suunnittelu turvallisesti, mikä vaikuttaa eniten koneen turvallisuuteen. Ensimmäisessä vaiheessa mahdolliset vaarat voidaan poistaa kokonaan

tai niitä voidaan vähentää suuresti. Liikkuvat osat voidaan suunnitella niin, ettei puristumismahdollisuutta ole tai käytetyt nopeudet voidaan säätää sille tasolle, ettei käyttäjälle aiheudu vaaraa. Pääsy vaara-alueelle voidaan estää tai ohjausjärjestelmä suunnitella niin, että koneen käyttö on turvallista joka tilanteessa. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Toisessa vaiheessa päätetään tekniset suojaustoimenpiteet. Suojaustoimenpiteisiin kuuluvat erilaiset suojukset ja turvalaitteet. Turvarakenteet, kuten ovet ja aidat sekä melun, värinän ja erilaisten säteilyjen vähentämiseen tarkoitettut komponentit lasketaan suojaustoimenpiteisiin. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Kolmannessa vaiheessa huolehditaan käyttäjien tiedottamisesta. Kolmanteen vaiheeseen kuuluu käyttäjien ja vaaroille altistuvien henkilöiden riittävä koulutus. Kolmanteen vaiheeseen sisältyvät varoitus- ja ohjekyltit sekä varoitus- ja hälytysäänät. Kyltit, jotka muistuttavat vaadittavista henkilösuojaimista tai koneen toiminnasta, kuuluvat myös kolmanteen vaiheeseen. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)



KUVA 8. Turvallistamisen periaatteet 1.1.2 b) (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Konedirektiivissä annetaan ohjeita epätavallisen käytön estämiseen (kuva 9). Epätavalliseen käyttöön liittyy olennaisesti kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Epätavallisesta käytöstä aiheutuvia riskejä voidaan ennalta ehkäistä konedirektiivissä määritetyllä kolmivaiheisella järjestelmällä. Epätavallisesta käytöstä aiheutuvia riskejä voidaan vähentää esimerkiksi huolehtimalla, että konetta pystyy käyttämään vain luvanvaraiset ja koulutetut henkilöt. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

**1.1.2 Turvallistamisen periaatteet (jatkoa edelliseen)**

...

- (c) *Konetta suunniteltaessa ja rakennettaessa sekä sen käyttöohjeita laadittaessa valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on otettava huomioon sen tarkoitetun käytön lisäksi myös kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö.*

*Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei sitä voida käyttää epätavallisella tavalla, jos tällaisesta käytöstä voi aiheutua riskejä. Käyttöohjeissa on koneen käyttäjän huomio tarvittaessa kiinnitettävä sellaisiin käyttötapoihin, joiden on todettu olevan käytännössä mahdollisia ja joilla konetta ei saisi käyttää.*

...

KUVA 9. Turvallistamisen periaatteet 1.1.2 c) (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Henkilösuojainten käyttö on välttämätöntä joissakin työtehtävissä. Konedirektiivin mukaan henkilösuojainten käyttö ei saa rajoittaa koneen käyttöä (kuva 10). Esimerkiksi robotin käsiarossa työhansikkaat eivät saa rajoittaa robotin ohjausta. Vaadittavista henkilösuojaimista pitää muistuttaa ohjeistavilla kylteillä. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Jos kone vaatii erikoistyökaluja tai -laitteita sen huolto- tai säätötoimenpiteisiin, pitää valmistajan toimittaa koneen mukana kyseiset erikoistyökalut (kuva 11). Esimerkiksi jos koneen osia vaihdettaessa perinteiset työkalut eivät riitä, koneen valmistajan pitää toimittaa oikeat työkalut koneen yhteydessä. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

**1.1.2 Turvallistamisen periaatteet (jatkoa edelliseen)**

...

- (d) *Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että henkilösuojaimien välttämättömistä tai ennakoitavissa olevasta käytöstä johtuvat käyttäjää rajoittavat tekijät otetaan huomioon.*

...

KUVA 10. Turvallistamisen periaatteet 1.1.2 d) (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

**1.1.2 Turvallistamisen periaatteet (jatkoa edelliseen)**

...

- (e) *Koneen mukana on toimitettava kaikki erikoislaitteet ja -varusteet, jotka ovat välttämättömiä, jotta konetta voidaan säätää, huoltaa ja käyttää turvallisesti.*

KUVA 11. Turvallistamisen perusteet 1.1.2 e) (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)



### 3.2.7 Koneen suunnittelu

Konedirektiivin mukaan koneiden valmistuksessa käytetyt ja koneiden toiminnassa esiintyvät materiaalit pitää olla turvallisia. Jos koneen energian lähteenä tai koneen toiminnassa käytetään erilaisia polttoaineita, hydrauliiKANesteitä, paineilmaa, kemikaaleja tai akkunesteitä, pitää niihin liittyvät turvallisuusasiat huomioida. Haitalliset aineet voidaan joko korvata turvallisemmalla vaihtoehdolla tai koneen toiminta suunnitella niin, ettei haitallisista aineista aiheudu vaaraa. Erilaisilla turvakomponenteilla voidaan myös suojata käyttäjää. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Valaistus vaikuttaa myös turvallisuuteen. Luonnonvalo, liian huono tai liian suuri valaistus voi häiritä käyttäjää. Valaistus vaikuttaa myös turvallisuuskomponentteihin. Turvallisuuskomponentit saattavat ottaa häiriötä luonnonvalosta tai niihin kohdistuvasta valosta. Esimerkiksi optiset anturit, jotka toimivat anturin lähettämien valonsäteiden avulla, voivat ottaa häiriötä luonnonvalosta. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Käyttöpaikalle annetaan omat vaatimukset konedirektiivissä (kuva 12). Käyttöpaikka pitää olla suojassa pakokaasuilta tai haitallisilta aineilta. Käyttöpaikka pitää olla myös suojassa koneen liikkeiltä tai koneen liikkuvilta osilta. Esimerkiksi robotin kanssa työskennellessä käyttöpaikan sijainti on oltava sellainen, ettei puristumisvaaraa ole. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

#### **1.1.7 Käyttöpaikat**

*Koneen käyttöpaikka on suunniteltava ja rakennettava siten, että vältetään kaikki pakokaasuista ja/tai hapen puutteesta aiheutuvat riskit.*

*Jos konetta on tarkoitus käyttää vaarallisessa ympäristössä, jossa käyttäjän terveydelle tai turvallisuudelle aiheutuu riskejä tai jos kone itsessään saa aikaan vaarallisen ympäristön, on toteutettava asianmukaiset toimenpiteet sen varmistamiseksi, että käyttäjällä on hyvät työskentelyolosuhteet ja hänet on suojattu ennakoitavissa olevilta vaaroilta.*

*Käyttöpaikka on tarvittaessa varustettava asianmukaisella ohjaamalla, joka on suunniteltava, rakennettava ja/tai varustettava niin, että se täyttää edellä esitettyt vaatimukset. Poistumistien on oltava sellainen, että nopea ulospääsy on mahdollista. Lisäksi on mahdollisuuksien mukaan oltava hätäpoistumistie, joka on eri suuntaan kuin normaali poistumistie.*

KUVA 12. Käyttöpaikan vaatimukset. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Koneen suunnittelussa on huomioitava loukkuun jäämisen, liukastumisen, kompastumisen ja putoamisen riskit. Käyttäjällä ei voi olla mahdollisuutta jäädä loukkuun koneen sisälle. Jos loukkuun jäämisen riski on olemassa, käyttäjällä täytyy olla mahdollisuus kutsua apua ja tiedottaa loukkuun jäämisestä. Kulkuväylät, portaat, tikkaat, lattiat, luiskat ja työtasot on suunniteltava niin, ettei liukastumisen, kompastumisen tai putoamisen riskiä ole. Koneen ympäristön pinnat on rakennettava materiaalista, joka ei ole liukasta, vaikka siihen pääsisi vettä, öljyä tai muuta vastaavaa liukastumisen riskin aiheuttavaa ainetta. Pinnat tulisi olla tasaisia ja pintojen välisiä tasoeroja tulisi olla mahdollisimman vähän kompastumisriskin takia. Ylimääräiset esineet pitää säilyttää pois lattioilta sekä kaapeleiden, johtojen ja letkujen sijoittelu täytyy tehdä kompastumisriski huomioiden. Jos koneessa tai sen ympäristössä on putoamisriski, täytyy tämä riski poistaa suojuksilla tai kai-teilla. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### **3.2.8 Ohjausjärjestelmät**

Ohjausjärjestelmillä ohjataan koneen toimintaa ja liikkeitä, joten ohjausjärjestelmän turvallisuus ja toimivuus ovat ensisijaisen tärkeitä. Konedirektiivin mukaan ohjausjärjestelmät on rakennettava siten, että ne kestävät niille suunnitellut käyttörasitukset ja ulkoiset vaikutukset. Ulkoisia vaikutuksia ovat erilaiset säteilyt, pöly, kosteus, lämpötila, melu ja värinä. Jos ohjausjärjestelmän laitteisiin, ohjelmistoon tai logiikkaan tulee vika, tämä ei saa vaikuttaa koneen turvallisuuteen. Ohjausjärjestelmät on suunniteltava niin, että vikatilanteen sattuessa, kone pysähtyy tarvittaessa tai kone ja sen rinnakkaiset osat jatkavat toimintaansa turvallisesti. Myöskin kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö ja ihmisen erehdykset on otettava huomioon ohjausjärjestelmien turvallisuutta suunniteltaessa. Konedirektiivin ohjausjärjestelmien määritelmässä vaaditaan myös, että kone ei saa käynnistyä itsestään tai koneen täytyy pysähtyä, jos sille annetaan pysäytyskäsky. Koneesta ei myöskään saa sinkoutua ulkoisia partikkeleita. Kyseiset asiat saadaan hoidettua jos käytössä on asianmukaiset turvallisuuskomponentit ja ohjausjärjestelmä on toimiva. (kuva 13) (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Ohjausjärjestelmien turvallisuus saadaan varmistettua, jos ne toimivat esimerkiksi seuraavasti:

- Turvatoimintoihin mahdollisesti vaikuttavien vikojen ja vikaantumisten poistaminen.
- Vikojen ja vikaantumisten todennäköisyyden pienentäminen käyttämällä erityisen luotettavasti toimivia komponentteja ja soveltamalla hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita.  
kuten komponentin pakkotoimista mekaanista vaikutusta toiseen komponenttiin.
- Käytetään standardikomponentteja, joiden turvatoiminnot ohjausjärjestelmä tarkistaa sopivin väliajoin.
- Ohjausjärjestelmän osien rinnakkaisuus siten, että yksittäinen vika tai häiriö ei johda turvatoiminnon menettämiseen. Rinnakkaisten elementtien teknisellä monimuotoisuudella voidaan välttää yhteisvikaantumisia.
- Automaattisella valvonnalla voidaan varmistaa, että viat ja vikaantumiset paljastetaan ja tarvittavat suojaustoimenpiteet käynnistyvät asianomaisen riskin estämiseksi. Suojaustoimenpiteitä voivat olla vaarallisen prosessin keskeyttäminen, prosessin uudelleenaloittamisen estäminen tai hälytyksen antaminen (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

## **1.2 OHJAUSJÄRJESTELMÄT**

### **1.2.1 Ohjausjärjestelmien turvallisuus ja toimintavarmuus**

*Ohjausjärjestelmät on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että ne estävät vaarat tilanteiden syntymisen. Ennen kaikkea ne on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että*

- ne kestävät tarkoitetut käyttörasitukset ja ulkoiset vaikutukset,*
- ohjausjärjestelmän laitteisto - tai ohjelmistovika ei aiheuta vaaratilanteita,*
- virheet ohjausjärjestelmän logiikassa eivät aiheuta vaaratilanteita,*
- kohtuudella ennakoitavissa oleva inhimillinen erehdys käytön aikana ei aiheuta vaaratilanteita.*

*Erityistä huomiota on kiinnitettävä seuraaviin seikkoihin:*

- kone ei saa käynnistyä odottamattomasti,*
- koneen ominaisarvot eivät saa muuttua hallitsemattomasti, jos tällainen muu tos saattaa aiheuttaa vaaratilanteita,*
- koneiden pysähtymistä ei saa estää, jos pysäytyskäsky on jo annettu,*
- mikään koneen liikkuva osa tai koneen kiinni pitämä kappale ei saa pudota tai sinkoutua,*
- minkään liikkuvan osan automaattinen tai käsikäyttöinen pysäyttäminen ei saa estyä,*
- turvalaitteiden on pysyttävä täysin toimintakykyisinä tai annettava pysäytyskäsky,*
- turvallisuuteen liittyviä ohjausjärjestelmän osia on käytettävä yhtenäisellä tavalla koneiden ja/tai puolivalmisteiden muodostamaan koko kokoonpanoon.*

*Langattomassa ohjauksessa on aikaansaattava automaattinen pysäytys, jos oikeita ohjaussignaaleja ei saada tai jos yhteys menetetään.*

KUVA 13. Ohjausjärjestelmät. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### **3.2.9 Ohjauslaitteet**

Ohjauslaitteilla ohjataan nimensä mukaisesti koneen toimintaa. Käyttäjä ohjaa ohjauslaitteita yleensä käsillään tai jaloillaan. Käyttäjän käyttäessä ohjauslaitetta, ohjauslaite antaa signaalin ja kone toimii signaalin käskyn mukaisesti. Konedirektiivin mukaan ohjauslaitteet pitää olla helposti tunnistettavissa. Esimerkiksi pysäytysnapin olisi hyvä olla aina samanvärinen ja sijaita samassa paikassa. Jos ohjauslaitteet merkitään sovitulla väreillä tai muodoilla, vältetään tarpeettomilta ohjauskäskyiltä. Ohjauslaitteet tulisi sijoitella ergonomisesti käyttäjään nähden. Ohjauslaitteita sijoiteltaessa on otettava huomioon käyttääkö käyttäjä konetta esimerkiksi istuallaan vai seisaaltaan. Ohjauslaitteet pitää olla käyttäjän ulottuvilla ja näkyvillä sekä helposti ohjattavissa riskitilanteen sattuessa. Esimerkiksi käynnistysnappia painaessa käyttäjällä pitää olla näköyhteys koneeseen. Ko-

neen vaara-alueella ei saa olla henkilöitä konetta käynnistäessä. Erilaisilla turvakomponenteilla voidaan estää koneen käynnistys, jos henkilö on koneen vaara-alueella sitä käynnistettäessä. Ohjauslaitteet voivat antaa ääni- tai valomerkin koneen käynnistyessä, jolloin huomataan koneen käynnistyminen paremmin. Ohjauslaitteiden tulisi sijaita vaaravyöhykkeen ulkopuolella, lukuun ottamatta hätä-seis-painikkeita tai käsikäyttöistä ohjauslaitetta. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Ohjauslaitteet on suunniteltava siten, että koneen liike vastaa ohjauslaitteiden liikkeitä. Jos ohjauslaitetta käännetään myötä päivään, koneen arvot nousevat ja vastapäivään laskevat. Myös kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö ja ihmisen toiminta on huomioitava ohjauslaitteiden suunnittelussa. Ihmisen tarkoitukseton toiminta voidaan estää seuraavasti:

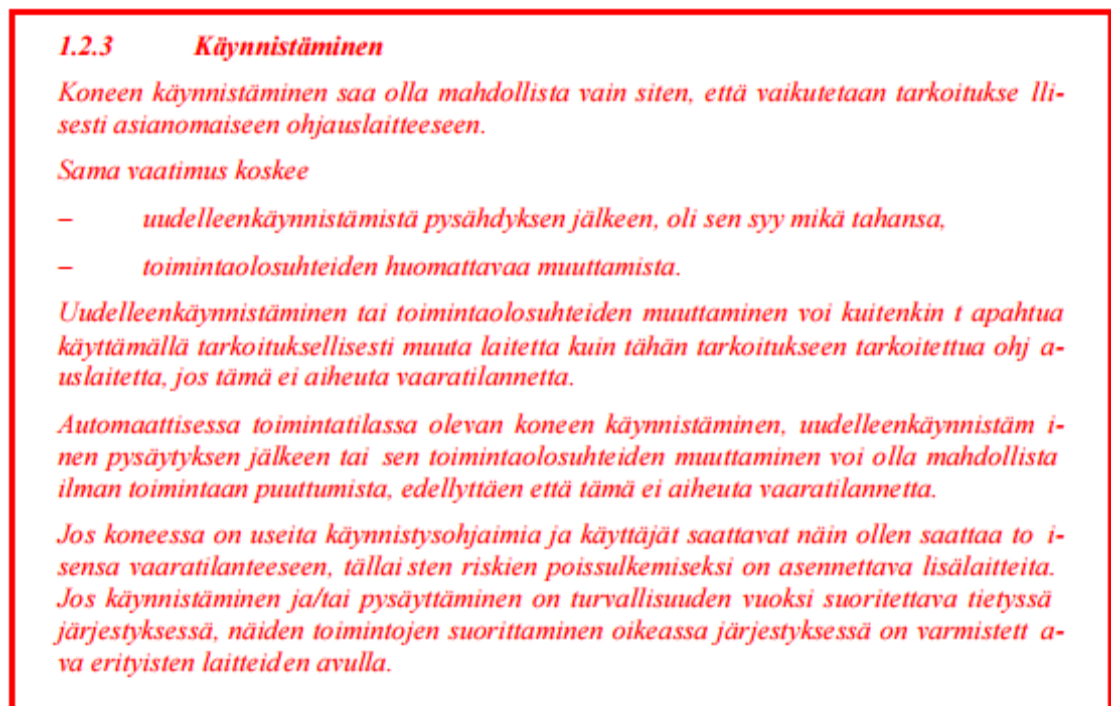
- Ohjauslaitteesta suunnitellaan riittävän jäykkä, jotta vältetään kevyestä painaluksesta aiheutuvat tarkoituksettomat toiminnot.
- Ohjauslaite sijoitetaan syvennykseen tai kehystetään kauluksella.
- Ohjauslaite sijoitetaan ja/tai suojataan siten, että estetään käyttäjän kehonosien tai vaatteiden osuminen ohjauslaitteeseen ja että estetään ohjauslaitetta juuttumasta koneen ympäristössä oleviin esteisiin.
- Ohjauslaitteeseen vaikuttaminen edellyttää kahta erillistä toimintaa.
- Asennetaan ohjauslaitteeseen lukitus. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Jos samalla ohjauslaitteella ohjataan useita eri toimintoja, on sen jokainen toiminta kerrottava selkeästi ja kyseinen ohjauslaite olisi hyvä varustaa varmistustoiminnolla. Esimerkiksi yhdellä ohjausvivulla voi olla mahdollista tehdä edestakaisin-, sivulta sivulle- tai kiertoliikettä. Ohjauslaitteiden yhteyteen liitetään jossain tapauksissa osoitinlaitteita tai näyttöjä. Osoitinlaitteet tai näytöt voivat kertoa koneen eri muuttujien arvoista, kuten maksimikuormasta, nopeudesta tai paineesta. Osoitinlaitteilla suoritetaan käyttäjien varoittaminen tai muistuttaminen. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Käsikäyttöiseen ohjauslaitteeseen, jolla ohjataan koneen liikkeitä, on omat vaatimuksensa konedirektiivissä. Käsikäyttöinen hallintalaite tulisi varustaa sallintakytkimellä, jolla estetään koneen tahaton käynnistyminen tai pysäyttäminen. Sallintakytkin voi olla esimerkiksi kolmiasentoinen, jolloin kone toimii vain puristaessa sallintakytkin keskiasentoon. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### 3.2.10 Käynnistäminen

Konedirektiivin vaatimuksien mukaan koneen käynnistäminen on mahdollista vain, kun käyttäjä on antanut käynnistys-käskyn, esimerkiksi ohjauslaitteella. Kone ei saa myöskään käynnistyä itsestään pysäyttämisen jälkeen vaan uudelleenkäynnistys on tapahduttava käyttäjän toimesta. Jos koneen toimintaan tehdään suuria muutoksia käytön aikana (esimerkiksi suojuksia joudutaan poistamaan toiminnan aikaansaamiseksi), tällöinkin käyttäjän on käynnistettävä kone uudelleen. Poikkeustilanteessa käynnistys tai uudelleenkäynnistys on mahdollista ilman käyttäjän antamaa käskyä, jos kone on varustettu automaattisella käynnistyksellä. Tällöin koneen toiminta ei saa aiheuttaa vaaratilannetta (kuva 14). (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)



KUVA 14. Käynnistäminen. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### 3.2.11 Pysäyttäminen

Käyttäjällä pitää olla mahdollisuus pysäyttää kone turvallisesti kaikissa tilanteissa (kuva 15). Pysäytys-toiminnon pitää toimia koneen normaalin toiminnan aikana, vaara- ja häiriötilanteissa. Jokaisella työpisteellä pitää olla ohjauslaite, jolla kone tai sen osat voidaan pysäyttää. Pysäytys-käsky on ensisijainen, eli pysäytys-käsky syrjäyttää muut käskyt, jolloin koneen pysäyttäminen kaikissa tilanteissa on mahdollista. Energiansyötön on myös

katkettava koneen pysäyttämisen yhteydessä, ellei kyseessä ole toiminnallinen pysäytys. Toiminnallisessa pysäytyksessä energiansyöttö koneeseen ei katkea. Toiminnallisen pysäytyksen yhteydessä on huolehdittava siitä, että koneen turvallisuus säilyy ja ettei kone käynnisty itsestään uudelleen, vaikka energiansyöttö koneeseen säilyykin. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

#### **1.2.4 Pysäyttäminen**

##### **1.2.4.1 Normaali pysäytys**

*Koneessa on oltava ohjauslaite, jolla se voidaan turvallisesti pysäyttää kokonaan.*

*Jokainen työasema on varustettava ohjauslaitteella, jolla pysäytetään olemassa olevista vaaroista riippuen joko kaikki tai vain osa koneen toiminnoista siten, että kone saadaan turvalliseen tilaan.*

*Koneen pysäytyslaitteen toiminnan on oltava ensisijainen käynnistyslaitteiden toimintaan nähden.*

*Kun kone tai sen vaaralliset toiminnot ovat pysähtyneet, energiansyötön asianomaisiin toimilaitteisiin on katkettava.*

KUVA 15. Pysäyttäminen (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Konedirektiivi määrittelee hätäpysäytykselle laajasti omat vaatimuksensa (kuva 16). Hätä-seis-painike on muita suojauslaitteita täydentävä keino eikä se ole suojauslaite itsessään. Hätä-seis-painiketta käytetään hätätilanteissa vaaratilanteen lähestyessä tai sen tapahtuttua. Hätä-seis-painikkeita pitää sijoittaa koneen vaaravyöhykkeiden, käyttöpaikan tai huoltoaikojen läheisyyteen. Hätä-seis-painikkeet pitää olla selvästi erottuvia ja helposti ulottuvilla olevia painikkeita. Jos koneen käytössä tarvitaan molempia käsiä, painikkeet voidaan korvata esimerkiksi köysillä tai jalkakäyttöisillä polkimilla. Hätä-seis-painikkeen pitää pysäyttää koneen kaikki liikkeet ja mahdollisesti energiansyöttö ilman lisäriskejä. Joissakin tapauksissa hätäpysäytyksen jälkeen, joidenkin koneiden toimintojen on pystyttävä jatkumaan. Esimerkiksi avattavien suojuksien avaaminen tai koneen laskeminen alas on oltava mahdollista hätäpysäytyksen jälkeen. Hätäpysäytyksen tai hätä-seis-painikkeen vapauttamisen jälkeen kone ei saa käynnistyä uudelleen, vaan käyttäjän on erikseen käynnistettävä kone. Poikkeustilanteissa konetta ei tarvitse varustaa hätä-seis-painikkeilla. Näitä poikkeustilanteita ovat esimerkiksi koneet, joissa hätä-seis-painike ei lyhentäisi pysäytysaikaa tai pienentäisi vaaratilanteen riskiä verrattuna normaaliin pysäyttämiseen. Myöskään kannettavissa tai käsin ohjatuissa koneissa ei tarvitse olla hätäpysäytintä välttämättä. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### 1.2.4.3 Hätäpysäytys

*Koneessa on oltava yksi tai useampia hätäpysäytyslaitteita, joiden avulla todellinen tai uhkaava vaara voidaan torjua.*

*Tästä voidaan poiketa*

- *koneissa, joissa hätäpysäytyslaite ei vähentäisi riskiä joko siksi, että se ei lyhentäisi pysäytysaikaa, tai siksi, että se ei mahdollistaisi niitä erityistoimenpiteitä, joita riskin hallitsemiseksi tarvitaan,*
- *käsinkannateltavissa ja/tai -ohjattavissa koneissa.*

*Hätäpysäytyslaitteen on*

- *oltava varustettu selvästi tunnistettavilla ja näkyvillä ohjaimilla, jotka ovat nopeasti käytettävissä,*
- *pysäytettävä vaarallinen prosessi mahdollisimman nopeasti aiheuttamatta muita riskejä,*
- *tarvittaessa käynnistettävä tiettyjä suojausliikkeitä tai sallittava niiden käynnistäminen.*

*Kun hätäpysäytyslaitteen aktiivinen käyttäminen, josta pysäytyskäsky seuraa, on lakanut, tämän käskyn on jäätävä voimaan hätäpysäytyslaitteen lukkiutumisen avulla kunnes tämä lukitus vapautetaan erityisellä toimenpiteellä; hätäpysäytyslaitteen lukkiutuminen ei saa olla mahdollista ilman, että aiheutuu pysäytyskäsky; hätäpysäytyslaitteen vapautaminen pysäytysasennon lukituksesta saa olla mahdollista vain tarkoituksellisella toimenpiteellä, eikä vapautuminen saa käynnistää konetta uudelleen vaan ainoastaan tehdä uudelleenkäynnistäminen mahdolliseksi.*

*Hätäpysäytystoiminnon on oltava koko ajan saatavilla ja toimintakunnossa toimintavasta riippumatta.*

*Hätäpysäytyslaitteiden on oltava muita suojausteknisiä toimenpiteitä täydentävä keino eikä niiden korvaaja.*

KUVA 16. Hätäpysäytys (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

Konedirektiivin mukaan pysäytystoimintojen tai hätäpysäyttimien pitää pysäyttää koneyhdistelmien kaikki yksiköt, joista aiheutuu riskejä. Jos koneyhdistelmään kuuluu monta yksikköä, yhden yksikön pysäytystoiminnon pitää pysäyttää muidenkin yksiköiden toiminta, jos niiden toiminnasta voi aiheutua riski- tai vaaratilanteita. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### 3.2.12 Ohjaus- ja toimintatavat

Ohjaus- ja toimintatavoille annetaan omia määräyksiä konedirektiivissä (kuva 17). Valittu ohjaustoiminnon pitää olla aina ensisijainen, eli se menee muiden toimintojen edelle, hätäpysäytystä lukuun ottamatta. Koneen erilaiset ohjaus- ja toimintatavat voidaan valita erillisen valitsimen avulla. Valitsimessa pitää olla selkeät symbolit tai tunnisteet eri toi-



mintatavoille, koska koneen turvallisuusjärjestelmän toiminta muuttuu eri toimintatapojen välillä. Esimerkiksi huoltotoimenpiteitä tehtäessä osa turvallisuuskomponenteista joudutaan mitätöimään, minkä takia huoltotoimenpiteille pitäisi olla oma ohjaus- ja toimintatapa. Koneessa voidaan myös käyttää erillisiä turvallisuustoimenpiteitä, kuten pin-koodia, joilla rajataan käyttäjien pääsyä koneen joihinkin ohjaus- tai toimintatapoihin. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### **1.2.5 Ohjaus- tai toimintatapojen valinta**

*Valitun ohjaus- tai toimintatavan on oltava ensisijainen kaikkiin muihin ohjaus - ja toimintatapoihin nähden, hätäpysäytystä lukuun ottamatta.*

*Jos kone on suunniteltu ja rakennettu niin, että sitä on mahdollista käyttää erilaisilla ohjaus- tai toimintatavoilla, jotka edellyttävät erilaisia suojaustoimenpiteitä ja/tai työmenetelmiä, siinä on oltava toimintatavan valitsin, joka voidaan lukita kuhunkin asentoon. Valitsimen kunkin asennon on oltava selkeästi tunnistetta vissa ja vastattava ainoastaan yhtä ohjaus- tai toimintatapaa.*

*Valitsin voidaan korvata muilla valintamenetelmillä, joiden avulla koneen tietyt toiminnot rajoitetaan tiettyihin käyttäjäryhmiin.*

*Jos tietyt toiminnot varten suojusta on siirrettävä tai se on poistettava ja/tai turvalaite on poistettava käytöstä, ohjaus - tai toimintatavan valitsimen on samanaikaisesti*

- poistettava kaikki muut ohjaus - tai toimintatavat käytöstä,*
- sallittava vaarallisten toimintojen toteuttaminen vain ohjauslaitteilla, joihin on jatkuvasti vaikutettava,*
- sallittava vaarallisten toimintojen toteuttaminen ainoastaan pienennetyn riskin olosuhteissa samalla, kun estetään toisiinsa liittyvien toimintajaksojen aiheuttamat vaarat,*
- estettävä vaaralliset toiminnot, joita tarkoituksellinen tai tahaton vaikuttaminen koneen antureihin aiheuttaa.*

*Jos näitä neljää ehtoa ei voida täyttää samanaikaisesti, ohjaus - tai toimintatavan valitsimen on aktivoitava muita suojaustoimenpiteitä, jotka on suunniteltu ja rakennettu turvallisen toimintaan puuttumisvyyhykkeen varmistamiseksi.*

*Lisäksi käyttäjän on voitava asettelupaikalta käsin ohjata niiden osien toimintaa, joiden parissa hän työskentelee.*

KUVA 17. Ohjaus- ja toimintatavat (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### **3.2.13 Energiansyötön häiriöt**

Koneen turvallisuus ei saa häiriintyä jos energiansyöttöön tulee keskeytys, vaihtelua tai häiriö konedirektiivin mukaan. Energiansyöttöön vaikuttaa sähkökatkokset tai jos energianlähteen syöttöön tulee vika, kuten kompressorin rikkoutuminen. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Energiansyötön keskeytyksen, vaihtelun tai häiriön jälkeen:

- kone ei saa käynnistyä itsestään
- koneen ominaisarvot eivät saa vaihdella
- koneen pysäyttämiskäskey ei saa keskeytyä
- koneen liikkuvat osat tai koneen työstämät osat eivät saa sinkoutua
- automaattinen tai käsikäyttöinen pysäytystoiminto ei saa estyä
- koneen turvallisuuskomponenttien toiminta täytyy säilyä ennallaan. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### **3.2.14 Vakavuus ja rikkoutumisriski**

Valmistajan on huolehdittava koneen, komponenttien ja varusteiden riittävästä vakaudesta koneen kaikissa elinkaaren vaiheissa. Kone tai sen osat eivät saa kaatua, pudota tai tehdä hallitsemattomia liikkeitä. Vakauteen vaikuttaa koneen ja sen jalustan muoto, asennuspaikan ominaisuudet, painon jakautuminen, dynaamiset vaikutukset ja ulkoiset tekijät. Valmistajan on ilmoitettava millaisissa olosuhteissa koneen ja sen osien vakaus säilytetään sekä toimenpiteistä, joita pitää tehdä koneen vakauden saavuttamiseksi. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Konedirektiivissä määritellään rikkoutumisen riskille omat vaatimukset (kuva 18). Koneen ja sen osien on kestävä normaalikäytössä niihin kohdistuvat rasitukset, iskut, korrosion, väsymisen ja kulumisen. Ne on suunniteltava ja rakennettava siten, että ne kestävät niiden koko suunnitellun elinkaaren ajan eri olosuhteissa. Valmistajan on ilmoitettava millaisia tarkastuksia koneen osille täytyy tehdä ja kuinka usein. Jos kuitenkin koneen osilla on rikkoutumisriski, koneen osat on sijoitettava niin, ettei rikkoutumisesta aiheudu vaaraa. Esimerkiksi sinkoutuvat partikkelit tai vuotavat hydraulikkaletkut jäisivät koneen sisään tai erillisten suojusten sisään. Jos koneen toiminnassa käytetään työkaluja, joille syötetään kappaleita, ovat työkalun nopeudet ja toimintatilan oltava kunnossa. Toimintatilan täytyy olla aina normaali, kun työkalu ja työstettävä kappale koskettavat. Työnopeuksien pitää olla sopivat, ettei työkalun tai työstettävän kappaleen rikkoutumisen riskiä ole. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### **1.3.2 Rikkoutumisriski toiminnan aikana**

*Koneen eri osien ja sen välisten liitosten on kestävä niihin käytössä kohdistuvat kuormitukset.*

*Käytettävien materiaalien on sovellettava valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan ennakoiman työskentely-ympäristön luonteeseen erityisesti niiden väsymisen, vanhenemisen, korroosion ja kulumisen osalta.*

*Ohjeissa on ilmoitettava turvallisuuden kannalta tarpeelliset tarkastus- ja kunnossapito-toimenpiteet ja se, millaisin väliajoin ne on tehtävä. Niissä on tarvittaessa yksilöitävä kuluvat osat ja määriteltävä niiden vaihtamisperusteet.*

*Jos murtumisen tai hajoamisen riski on edelleen olemassa toteutetuista toimenpiteistä huolimatta, kyseiset osat on asennettava, sijoitettava ja/tai suojattava siten, että sirpaleiden sinkoutuminen koneesta estyy ja vaaralliset tilanteet vältetään.*

*Fluideja sisältävien, erityisesti korkeapaineisten putkien ja letkujen on kestävä ennakoidut sisäiset ja ulkoiset kuormitukset ja oltava lujasti kiinnitetyt ja/tai suojatut sen varmistamiseksi, ettei murtumasta aiheudu riskiä.*

*Kun työskentävää materiaalia syötetään työkalulle automaattisesti, seuraavien edellytysten on täyttyttävä, jotta henkilöille ei aiheutuisi riskejä:*

- kun työkappale joutuu kosketuksiin työkalun kanssa, työkalun on oltava normaalissa toimintatilassa,*
- työkalun liikkeen käynnistyessä ja/tai pysähtyessä (tarkoituksellisesti tai vahingossa) syöttöliikkeen ja työkalun liikkeen on toimittava toisiaan vastaavalla tavalla.*

KUVA 18. Rikkoutumisriski (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### **3.2.15 Liikkuvat osat**

Koneet on suunniteltava ja rakennettava niin, että liikkuvista osista tulee mahdollisimman vähän riskejä. Turvallisuutta voidaan lisätä, kun liikkuvien osien massaa, nopeutta ja voimaa vähennetään. Liikkuvat osat voidaan mitoittaa ja sijoitella niin, että ne eivät pääse kosketuksiin ihmisen kanssa. Liikkuvat osat voidaan sijoitella tarpeeksi kauas suojarakenteista tai tarpeeksi etäälle käyttöpaikasta. Liikkuvista osista koituu isku-, hankaus-, viilto-, leikkaus-, pisto-, lävistys- tai kehonosan irtoamisriski. Myös juuttuminen, kiinni jääminen tai puristuminen on mahdollista. Käyttäjää voidaan suojata voimansiirron liikkuvilta osilta kiinteillä suojuksilla tai toimintaan kytketyillä avattavilla suojuksilla. Koneen liikkuvilta osilta voidaan suojata käyttäjää kiinteillä suojuksilla, toimintaan kytketyillä avattavilla suojuksilla tai erilaisilla turvalaitteilla. Koneen suunnittelun lisäksi suojuksilla ja turvalaitteilla taataan käyttäjän turvallisuus. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Koneen valmistajan täytyy suunnitella kone niin, että koneen osien juuttumista tapahtuisi mahdollisimman vähän. Juuttumisesta voi tapahtua vahinkoa koneelle tai käyttäjälle. Valmistajan on kerrottava ohjeet juuttumisen poistamiseksi tai toimitettava erikoistyökalut, jos niitä tarvitaan juuttumisen poistamisessa. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### **3.2.16 Muita vaaroja**

Sähkö ja staattinen sähkö voivat aiheuttaa vaaratilanteita koneturvallisuudessa. Konedirektiivi vaatii, että koneet suunnitellaan niin, että kaikki sähkönsyötöstä ja sähköstä aiheutuvat vaarat voidaan estää. Koneet on varustettava ja rakennettava niin, ettei vaaraa sähkölle ole. Sähköstä aiheutuvia vaaroja ovat sähköiskut sekä sähkökipinöistä tai sähkölaitteen kuumenemisestä aiheutuneet tulipalot, palovammat tai räjähdykset. Staattisen sähkön riskit täytyy myös huomioida. Staattinen sähkö voi aiheuttaa vaaraa sähköiskuna ihmisille, tulipalona, räjähdyksenä tai ohjausjärjestelmän vikaantumisenä. Staattisen sähkön vaaroja voidaan torjua maadoituksella tai eri tekniikoiden avulla, kuten käyttämällä sähköä johtavia materiaaleja. Jos koneen energianlähteenä käytetään muuta kuin sähköä, täytyy niiden riskit huomioida. Esimerkiksi hydraulikka- ja pneumaattikajärjestelmissä ylipaineet ja vuodot aiheuttavat riskejä. Ylikuumentuminen tai kaasuvuodot ovat myös riskejä eri energiamuodoissa. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Erittäin kuumille tai erittäin kylmille lämpötiloille on myös omat vaatimuksensa konedirektiivissä. Ääriämpötilojen syntymistä pitää vältellä mahdollisimman paljon, mutta esimerkiksi hitsauksessa tämä ei tietenkään ole mahdollista. Ääriämpötiloilta voidaan välttyä riittävän suurilla etäisyyksillä lämpölähteisiin tai käyttämällä suojuksia, suojaavia rakenteita tai erilaisia turvalaitteita hyödyksi. Myös ääriämpötiloissa olevia sinkoutuvia esineitä, kuten kipinöitä pitää varoa. Niiltä voidaan suojautua rakentamalla suojuksia tai suojarakenteita. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Tulipalo on äärimmäinen riski. Tulipalo voi vahingoittaa konetta, koneen ympäristöä, ihmisiä tai jopa koko rakennusta. Tulipalon syttymiseen vaaditaan palava aine, sytytyslähde ja happi. Tulipalon riskiä voidaan vähentää tarkkailemalla näitä kolmea asiaa. Palavia materiaaleja tulisi käyttää mahdollisimman vähän ja palonkestäviä materiaaleja suosia. Jos koneen toiminnassa syntyy palavia aineita, täytyy niiltä suojautua asianmukaisesti. Koneen käytössä tarvittavia palavia aineita täytyy säilyttää paloturvallisesti ja palava jäte

täytyy poistaa paloturvallisesti. Koneen, sen osien ja käytettyjen materiaalien ylikuumentumista täytyy ehkäistä tai tarkkailla mahdollisuuksien mukaan. Palavien aineiden ja sytytyslähteen kosketusta täytyy vältellä, esimerkiksi kipinät eivät saa sinkoutua palavaan materiaaliin. Tulipaloa voidaan ehkäistä erilaisilla antureilla, palohälyttimillä, sammutusjärjestelmillä tai suojaus- ja kotelointiratkaisuilla. Räjähdyksriskejä voidaan ehkäistä pitkälti samoilla keinoilla kuin tulipaloriskiä. Räjähdyksvaaran voi aiheuttaa kaasut, nesteet, pöly, höyryt ja herkästi syttyvät materiaalit. Räjähdysherkkien seosten kertymistä koneen alueelle tai sen läheisyyteen tulee välttää. Räjähdyksriskiä voidaan ehkäistä tai vähentää käyttämällä räjähdysten kestäviä rakenteita, räjähdysilmaisimia tai räjähdysherkkyttä tukahduttavia järjestelmiä. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Melu on otettava huomioon koneen turvallisamisessa. Melu voi aiheuttaa käyttäjälle pysyviä kuulovammoja, tinnitystä, stressiä ja keskittymisen puutetta. Koneen paikka, ympäristö ja rakenne vaikuttavat meluun. Koneen melupäästöjä voidaan vähentää koneen suunnitteluvaiheessa melulähteiden minimoinnilla tai esimerkiksi käyttämällä ääntä eristäviä koteloita. Jos melutaso on korkea, käyttäjä voi suojata itseään henkilösuojaimilla. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Tärinä voi aiheuttaa käyttäjälle tuki- ja liikuntaelin vammoja sekä se voi vahingoittaa lihaksia ja luita. Varsinkin kädet kärsivät kovasti tärinästä käsikäyttöisiä koneita käyttäessä. Tärinä voi aiheuttaa myös vaaratilanteita. Käyttäjä voi menettää koneen hallinnan kovan tärinän vuoksi. Koneen suunnittelulla vaikutetaan tärinään paljon. Voidaan käyttää materiaaleja, jotka vaimentavat tärinää sekä varmistaa, etteivät koneen resonanssitaajuuDET ole lähellä tärinää aiheuttavia taajuuksia. Lisäämällä massaa ja tasapainoa, tärinää voidaan edelleen vähentää. Koneen sijoituspaikka ja ympäristö vaikuttavat tärinään, esimerkiksi epätasainen lattia lisää tärinää. Koneessa voidaan käyttää rakenteita, jotka vähentävät tärinää. Koneeseen voidaan rakentaa vaimentimia ja käyttäjän käyttöpaikka voidaan eristää tärinältä. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Säteily voi vahingoittaa käyttäjää ja konetta. Erilaisia säteilyjä ovat radioaktiivinen säteily, röntgensäteily, magneettinen säteily, sähkömagneettinen säteily, infrapunasäteily, lasersäteily ja optinen säteily. Säteily voi aiheuttaa käyttäjälle syöpää, huimausta, pahoinvointia, palovammoja sekä vahinkoa silmiin, hermoihin ja lihaksiin. Sähkömagneettinen säteily voi haitata koneen toimintaa ja ulkopuolinen optinen säteily voi vaikuttaa turva-

laitteiden toimintaan. Säteilyä aiheuttavia materiaaleja tulisi välttää mahdollisimman paljon ja säteilyn taso pitää laskea mahdollisimman alas. Käyttäjien liikettä säteilyn vaikutusalueella pitää vältellä ja käyttäjät on suojattava asianmukaisin keinoin, esimerkiksi silmiä voidaan suojata laseilla. Säteilyä aiheuttavia komponentteja tulee käyttää vaan tarvittaessa ja turhaa käyttöä pitää välttää. Lasersäteitä hyödyntävissä komponenteissa täytyy huolehtia, ettei lasersäde ole haitallista terveydelle ja ettei haja-, heijastus- tai sekundaarisäteily vaikuta koneen toimintaan tai vahingoita käyttäjää. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Konedirektiivin vaatimuksien mukaan kone täytyy suunnitella niin, etteivät sen tuottamat vaaralliset ja haitalliset aineet aiheuta käyttäjälle terveystarpeita (kuva 19). Vaarallisten aineiden riskeihin voidaan puuttua jo suunnitteluvaiheessa. Haitallisten aineiden käyttöä tulisi välttää tai käyttää vähemmän haitallisia aineita, jos se on mahdollista. Kone täytyy suunnitella mahdollisimman vähäpäästöiseksi ja ekologiseksi. Jos haitallisia aineita käytetään, täytyy kone varustaa asianmukaisilla turvallisuuskomponenteilla. Esimerkiksi vaaralliset kaasut täytyy kerätä talteen tai suodattaa ja käyttäjille voidaan antaa hengityssuojaimia. Koneen ympäristöön täytyy sijoittaa paikkoja, jossa vaarallisten aineiden pois huuhtelu on mahdollista tarvittaessa. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

**1.5.13 Vaaraa aiheuttavien materiaalien ja aineiden päästöistä aiheutuvat riskit**

*Kone on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että voidaan välttää sen tuottamien vaaraa aiheuttavien materiaalien ja aineiden tuottamat sisäänhengitykseen, nielemiseen, iho-, silmä- ja limakalvokosketukseen ja ihon läpi tunkeutumiseen liittyvät riskit .*

*Jos vaaraa ei voida poistaa, koneet on varustettava siten, että vaaraa aiheuttavat materiaalit ja aineet voidaan kerätä talteen, poistaa, huuhtoa pois suihkuttamalla vettä, suodattaa tai käsitellä muulla yhtä tehokkaalla menetelmällä.*

*Jos prosessi ei ole täysin suljettu koneen normaalin toiminnan aikana, keruu - ja/tai poistolaitteiden on sijaittava niin, että saavutetaan paras mahdollinen vaikutus.*

KUVA 19. Vaaraa aiheuttavat materiaalit (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### 3.2.17 Kunnossapito

Koneen säätö- ja kunnossapitotoimenpiteet täytyy voida suorittaa koneen vaaravyöhykkeiden ulkopuolella. Kiinteitä suojuksia tai toimintaan kytkettyjä avattavia suojuksia ei tarvitse poistaa tai avata, jos säätö- ja kunnossapitopaikat ovat suunniteltu hyvin. Jos

säätö- tai kunnossapitotoimenpiteitä täytyy suorittaa koneen vaaravyöhykkeillä, täytyy tämän olla turvallista ja riskitöntä. Kun säätö- ja kunnossapitotoimenpiteitä tehdään, koneen täytyy olla pysähtynyt. Poikkeustapauksissa kone voi olla käynnissä kyseisten toimenpiteiden aikana, jos niistä ei aiheudu vaaraa tai riskiä. Automaattisissa koneissa täytyy olla liitännämahdollisuus vianetsintäkoneita varten sekä niiden usein vaihdettavat komponentit täytyy olla vaihdettavissa turvallisesti. Kunnossapidon aikana kone täytyy erottaa energianlähteistä. Tätä varten kone täytyy varustaa erotuslaitteella, jolloin energialähteiden turvallinen erottaminen on mahdollista. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

### 3.2.18 Koneessa olevat tiedot ja varoitukset

Riskeistä varoittavat tiedot, varoitukset ja ohjeet ovat turvallistamisen periaatteita. Konedirektiivin turvallistamisen kolmas vaihe on jäännösriskeistä tiedottaminen, jos riskejä ei saada poistettua koneen suunnittelulla tai turvallisuuskomponenteilla. Symboleja tai kuvatunnuksia tulisi käyttää kirjallisten tietojen tai varoitusten sijaan, jos se on mahdollista. Symbolit ja kuvatunnukset ovat nopeammin ja helpommin ymmärrettävissä ja niitä ei tarvitse kääntää eri kielille. Jos tietoja ja varoituksia esitetään kirjallisesti, on ne esitettävä sen maan kielellä, missä konetta käytetään. Koneessa saa esittää vain olennaisia tietoja ja varoituksia, koska liiallinen informaation määrä sekoittaa käyttäjää ja aiheuttaa keskittymisen puutetta (kuva 20). (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

Koneessa voidaan käyttää ääni- tai valomerkkejä varoittamaan riskeistä tai vioista. Ääni- ja valomerkit pitää olla selkeitä ja helposti havaittavissa. Niille täytyy olla selitykset tai symbolit, että käyttäjä tietää mistä riskistä tai viasta varoitetaan. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

#### **1.7.1 Koneessa olevat tiedot ja varoitukset**

*Koneessa olevat tiedot ja varoitukset olisi mieluiten esitettävä helposti ymmärrettävinä symboleina tai kuvatunnuksina. Kirjalliset tai suulliset tiedot ja varoitukset on ilmaista-va yhdellä tai useammalla yhteisön kielellä, jotka se jäsenvaltio, jossa kone saatetaan markkinoille ja/tai otetaan käyttöön, voi määritellä perustamissopimuksen mukaisesti ja joihin voidaan pyynnöstä lisätä toisinnot muilla käyttäjien ymmärtä millä yhteisön virallisilla kielillä.*

KUVA 20. Koneessa olevat tiedot ja varoitukset (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### 3.2.19 Koneen merkinnät

Konedirektiivin mukaan koneeseen täytyy merkitä selkeästi, pysyvästi ja näkyvälle paikalle valmistajan tai tämän edustajan toiminimi ja osoite, kuvaus koneesta, CE-merkintä, sarja- tai tyyppimerkintä, sarjanumero mahdollisesti ja valmistusvuosi (kuva 21). Toiminimi tarkoittaa yrityksen rekisteröityä nimeä ja osoite tarkoittaa sitä postiosoitetta, johon asiakas saa lähetettyä kirjepostin. Koneen kuvauksella kone jaetaan siihen kuuluvaan kone-luokkaan. Koneeseen täytyy myös merkitä sen turvallista käyttöä koskevat tiedot. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)

#### *1.7.3 Koneen merkinnät*

*Jokaiseen koneeseen on merkittävä näkyvästi, selvästi ja pysyvästi seuraavat vähimmäistiedot:*

- valmistajan tai soveltuvin osin tämän valtuutetun edustajan toiminimi ja täyden osoite,*
- kuvaus koneesta,*
- CE-merkintä (katso liite III),*
- sarja- tai tyyppimerkintä,*
- mahdollinen sarjanumero,*
- rakennusvuosi eli vuosi jona valmistusprosessi on saatu päätökseen.*

*CE-merkintää kiinnitettäessä on kiellettyä varustaa konetta aikaisemmalla tai myöhäisemmällä päivityksellä.*

*...*

KUVA 21. Koneen merkinnät (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006)

### 3.2.20 Nostavat koneet

Konedirektiivin vaatimuksien mukaan nostavien koneiden vakaus pitää säilyä kaikissa tilanteissa. Vaikka kone olisi pysäytetty tai siihen tehtäisiin säätötoimia, koneen vakauksen pitää säilyä. Jos koneen vakaus on uhattuna, täytyy koneen ympärille rakentaa suojarakenteita tai turvallisuuskomponentteja, joilla koneen vakaus voidaan säilyttää. Koneen ja sen nostavien osien on kestettävä niille suunnitellut maksimikuormat eri olosuhteissa koko elinkaaren ajan. Koneen suunnittelussa on huomioitava väsyminen, kuluminen ja kuluvat osat. Jos maksimikuormaan vaikuttaa jokin muuttuja, esimerkiksi tuulennopeus tai lämpötila, on varmistettava koneen käyttö vain sallituissa olosuhteissa. (Konedirektiivi 2006/42/EY 2006.)



### 3.3 SFS EN-ISO 12100

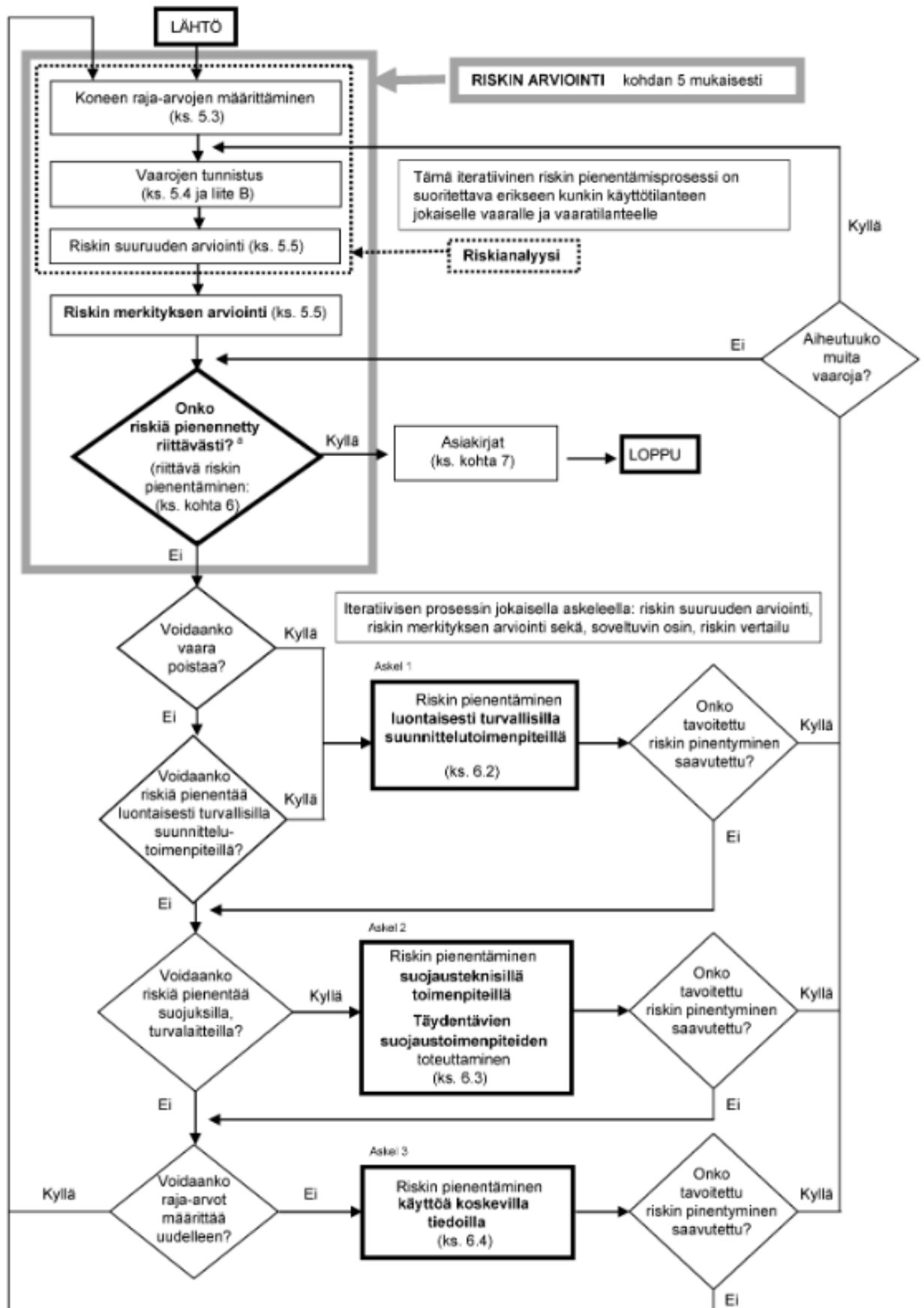
SFS EN-ISO 12100 on todella kattava koneiden turvallisuutta koskeva standardi. Se käsittelee koneen turvallisuutta niin suunnitteluvaiheessa kuin koneen elinkaaren muissakin vaiheissa. SFS EN-ISO 12100 on a-luokan standardi.

#### 3.3.1 Riskitilanteet

Tehdäkseen riskin arvioinnin ja riskin pienentämisen suunnittelijan on toteutettava seuraavat toimenpiteet osoitetussa järjestyksessä:

- a) määritettävä koneen raja-arvot, joihin sisältyvät tarkoitettu käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö
- b) tunnistettava vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet
- c) arvioitava riskin suuruus kunkin tunnistetun vaaran ja vaaratilanteen osalta
- d) arvioitava riskin merkitys ja tehtävä päätökset riskin pienentämisen tarpeesta
- e) poistettava vaara tai pienennettävä vaaraan liittyvää riskiä suojaustoimenpiteiden avulla. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

Robottisolun turvallistamisessa riskien ennakointi ja arviointi on tärkeää. Suunnittelijan on tunnettava robottisolun toiminnasta aiheutuvat vaarat tai vikatilanteista aiheutuvat vaaratilanteet. Riskit pitää tunnistaa ja niitä pitää ennakoida sekä niiden mahdollisuutta pitää pienentää (kuva 22). Robottisolun turvallisuuden suunnitteluvaiheessa on tehtävä riskianalyysi ja riskien merkityksen arviointi. (SFS EN-ISO 12100 2010.)



KUVA 22. Riskien pienentäminen (Rehn, T. 2012. Kierrätysraaka-aineen kosteusmittausjärjestelmän sähkösuunnitelma ja riskien arviointi. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö)

Riskien arvioinnissa on hyödyllistä tietää muuan muassa seuraavia asioita: robottisolun rakenne, toiminta-alue, ulottuvuudet ja energialähteet. Riskien arviointia tehtäessä pitää tutustua robottisolun turvallisuutta koskeviin määräyksiin, lakeihin ja standardeihin. Lisäksi on hyvä tutustua käyttäjien sekä asiantuntijoiden kokemuksiin ja mielipiteisiin. Aikaisemmin tapahtuneet tapaturmat ja läheltä piti-tilanteet tulee myös huomioida. Jos käytössä on myrkyllisiä aineita tai robottisolun käyttö voi olla terveydelle haitallista, nämä asiat on tietenkin huomioitava riskien arvioinnissa. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

SFS EN-ISO 12100 -standardin (SFS EN-ISO 12100 2010) mukaan riskeille on tehtävä riskien suuruuden arviointi sekä riskien tapahtumistodennäköisyyttä pitää arvioida. Standardissa määritellään riskeistä aiheutuvien vammojen vakavuutta ja vahinkojen laajuutta. Vahingon laajuuteen vaikuttaa se, että koskeeko vahinko yhtä ihmistä vai montaa ihmistä. Vammojen vakavuus voi olla lievä, vaikea ja kuolema. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

Riskien suuruuden arvioinnissa on otettava huomioon ainakin seuraavia asioita:

1. altistuvat henkilöt
2. altistumisen tapa, kesto ja taajuus
3. altistumisen ja sen vaikutusten kesto
4. inhimilliset tekijät
5. suojaustoimenpiteiden sopivuus
6. mahdollisuudet suojaustoimenpiteiden toimimattomaksi tekemiseen ja kiertämiseen
7. valmius suojaustoimenpiteiden ylläpitoon
8. käyttöä koskevat tiedot. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

Riskien suuruuden arvioinnin jälkeen riskeille pitää tehdä merkityksen arviointi. Jos riski on tarpeeksi merkittävä, täytyy tehdä riskin pienentäminen. SFS EN-ISO 12100 -standardissa riskien pienentämiseen neuvotaan ”kolmen askeleen menetelmää”. Ensimmäiseen askeleeseen kuuluvat suunnittelutoimenpiteet, toiseen askeleeseen kuuluu suojaustekniset toimenpiteet sekä niiden täydentäminen ja kolmanteen askeleen kuuluu käyttöä koskevat tiedot ja niistä tiedottaminen. Riskien pienentämisessä on edettävä askel kerrallaan. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

### 3.3.2 Koneen raja-arvot

SFS EN-ISO 12100 -standardi käsittelee koneiden raja-arvoja. Koneiden raja-arvoja ovat käyttörajat, aikarajat, tilarajat ja muut raja-arvot. Käyttörajoihin kuuluu esimerkiksi se, että kuka konetta käyttää ja millaisia rajoituksia kone asettaa käyttäjälle, kuten käyttäjän näkökyky ja ikä. Käyttörajoihin kuuluu myös koneen erilaiset toimintatavat ja käyttäjän puuttuminen koneen toimintaan. Tilaraja pitää sisällään koneen liikkeiden vaatimat tilat ja laajuudet. Esimerkiksi robottisolun turvallisuudessa pitää huomioida, kuinka pitkälle robotin käsivarsi ylettyy. Tilarajat sisältävät myös koneen käyttäjän tarvitsemat tilat käytön ja kunnossapidon aikana. Aikarajat koskevat koneen sekä sen osien käyttöikä ja vaihtoväliä. Huoltovälit kuuluvat koneen aikarajoihin. Muihin koneen raja-arvoihin sisältyy vaadittava puhtaustaso, esimerkiksi pölynmäärä. Käytettävien materiaalien ominaisuudet ja käyttöympäristö kuuluvat muihin raja-arvoihin. Esimerkiksi lämpötila, kosteusarvot ja se, että voidaanko konetta käyttää ulkona vai sisällä, kuuluvat muihin raja-arvoihin. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

### 3.3.3 Vaarojen tunnistaminen ja ehkäisy

Koneen käyttäjien ja koneen aiheuttamat vaarat pitää tunnistaa ja niitä tulee ehkäistä mahdollisimman hyvin. SFS EN-ISO 12100 -standardissa vaarojen tunnistamiseen ja ehkäisyyn on hyvät ohjeet. Vaarat pitää tunnistaa koneen elinkaaren kaikissa eri vaiheissa, joita ovat:

1. kuljetus ja asennus
2. käyttöönotto
3. käyttö
4. käytöstä poistaminen ja purkaminen. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

Sen jälkeen, kun vaarat ovat tunnistettu, on niiden ehkäiseminen mahdollista. Tarvittavat turvallisuuskomponentit voidaan asentaa vasta sen jälkeen, kun tiedetään mitä vaaroja kone ja sen käyttäjä voi aiheuttaa. Myös käyttäjän on helpompi ja turvallisempi käyttää konetta, kun käyttäjä on tunnistanut ja tiedostanut mahdolliset vaaratilanteet. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

Käyttäjän toiminta vaikuttaa koneen turvallisuuteen paljon. Käyttäjä vaikuttaa vaaroihin ja riskeihin ainakin seuraavien asioiden osalta: asetuksien tekeminen, asetusten muuttaminen, testaus, ohjelmointi, opettamalla ohjelmointi, koneen työkalun vaihtaminen, käynnistäminen, pysäyttäminen, koneeseen syöttäminen, koneesta poistaminen, toiminta jumiutumisen tai äkillisen pysähdyksen jälkeen, uudelleenkäynnistys vikatilanteen jälkeen, käyttäjän osallistuminen vianetsintään tai jumiutumisen purkamiseen, puhdistus, ylläpito ja kunnossapito. Robottisolun turvallisuuteen liittyen esimerkiksi opettamalla ohjelmointi on suuressa osassa vaarojen tunnistamisessa. Jos käyttäjä opettamalla ohjelmoi robottia, voi käyttäjä vahingoittaa itseään tai ympäristöä helposti, jos robotin kauko-ohjaus ei ole hänelle tuttu. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

Käyttäjän arvaamaton tai väärä toimintapa vaikuttaa vaaroihin myös. Vaarojen tunnistamisessa on huomioitava esimerkiksi jos käyttäjä menettää koneen hallinnan, käyttäjä tekee refleksinomaisesti väärän liikkeen, käyttäjä ei keskity, käyttäjällä on huono huomiointikyky tai käyttäjä on huolimaton. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

Itse koneen toiminta on huomioitava vaarojen tunnistamisessa. Vaarojen tunnistamisessa on otettava huomioon seuraavia konetta koskevia asioita: koneen toimintahäiriöt, koneen osien rikkoutuminen, suunnitteluvirheet, ulkoiset tekijät, tehonsyötön häiriö ja olosuhteet. Esimerkiksi sähkökatkot, tärinä ja luonnonvalo voivat aiheuttaa vaaratilanteita koneiden toiminnassa ja nämä vaaratilanteet pitää tunnistaa ja ennakoida. (SFS EN-ISO 12100 2010.)

### 3.4 Muita robottisolun turvallisuuteen liittyviä määräyksiä

Robottisolun turvallisuuteen liittyviä muita standardeja, määräyksiä ja säädöksiä ovat esimerkiksi:

- SFS EN-ISO 13857 Turvaetäisyysstandardi
- SFS EN-ISO 13850 Hätäpysäytysstandardi
- SFS EN-ISO 13849-1 Ohjausjärjestelmästandardi
- SFS EN-ISO 10218-1 Robottistandardi
- SFS EN 1037 + A1 Odottamattoman käynnistyksen estäminen
- SFS EN 1088 + A2 Suojusten kytkentä koneen toimintaan
- SFS EN 953 + A1 Suojusstandardi
- SFF EN 359 + A1 Turvavälistandardi
- Pienjännitedirektiivi 2006/95/EY

## 4 TURVALLISUUSKOMPONENTIT

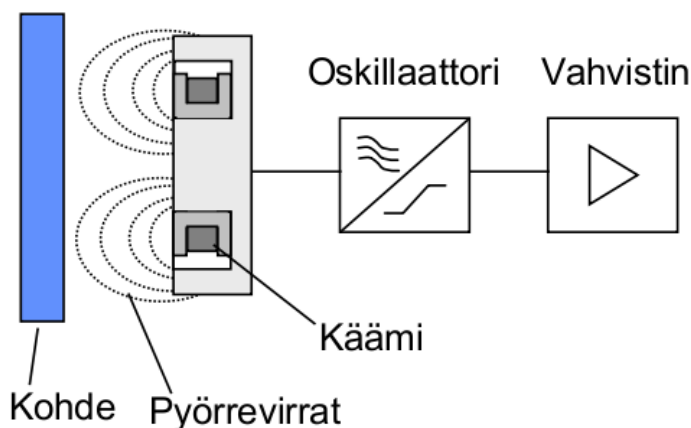
### 4.1 Rajakytkimet

Rajakytkimien toiminta perustuu antureihin. Erilaisia antureita on olemassa kymmeniä. Anturit ja niiden antamat tiedot ovat todella tärkeitä robotiikassa. Antureilla voidaan mitata esimerkiksi etäisyyttä, lämpötilaa, painetta, nopeutta, kiihtyvyyttä, voimaa ja paikkaa.

Rajakytkimet ja anturit ovat iso osa robottien turvallisuutta. Antureilla paikannetaan, rajoitetaan, ohjataan ja estetään robottien liikettä. Jos esimerkiksi robotti on liikkumassa yli toiminta-alueensa, rajakytkin pystyy estämään sen. Antureita käytetään myös robottisolun ovissa ja kulkureiteillä. Rajakytkimiä on induktiivisia, kapasitiivisia, optisia, mekaanisia, ultraäänisiä ja magneettisia.

#### 4.1.1 Induktiivinen rajakytkin

Induktiivisen rajakytkimen eli induktiivisen anturin toiminta perustuu magneettikentän muutokseen. Induktiivinen anturi koostuu keloista, oskillaattorista ja vahvistimesta (kuva 23). Induktiivinen anturi tunnistaa metallin tai muun hyvin sähköä johtavan kappaleen lähestyessä sen tuntopintaa. Induktiivisen anturin tuntopinnassa on keloja, joiden sähkökenttä muuttuu, kun sähköä johtava kappale lähestyy tuntopintaa. Magneettikentän muuttuessa oskillaattorin värähtelytaajuus muuttuu, jolloin anturi reagoi ja lähettää signaalin. Induktiivinen anturi tunnistaa ilman, että sähköä johtava kappale koskettaa tuntopintaa. Induktiivinen anturi tunnistaa kaikkia metalleja ja se ei reagoi pölyyn, tärinään tai kosteuteen. Induktiivisia antureita on PNP- ja NPN-tyyppisiä. (Savolainen 2010.)



KUVA 23. Induktiivinen anturi (Savolainen, J. 2010. Induktiiviset rajakytkimet. Luettu 17.11.2015. <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Induktiivinen+rajakytkin>)

#### 4.1.2 Kapasitiivinen rajakytkin

Kapasitiivinen rajakytkin toimii kapasitiivisen anturin tavoin ja sen toiminta perustuu sähkökentän muutokseen (kuva 24). Anturin runko ja sen tuntopää muodostavat kondensaattorin, jossa ilma on eristeenä. Esineen lähestyessä anturin tuntopäätä, kondensaattorin kapasitanssi muuttuu, jolloin anturissa olevan oskillaattorin taajuus muuttuu eli anturi tunnistaa ja lähettää signaalin. Tunnistettavan materiaalin dielektrisyysvakio vaikuttaa anturin tunnistusherkyyteen. Mitä korkeampi dielektrisyysvakio, sen helpommin kapasitiivinen anturi tunnistaa. Kapasitiivinen anturi tunnistaa lähes kaikkia materiaaleja, mutta se tunnistaa hyvin myös ei-metallisia kappaleita, kuten muovia, puuta, lasia ja kumia. Kapasitiivinen anturi tunnistaa induktiivisen anturin tavoin koskettamatta tunnistettavaa kappaletta. Kapasitiivinen anturi pystyy tunnistamaan esineen lävitse, esimerkiksi säiliön lävitse nesteen pinnan korkeuden. Tämä on mahdollista, koska esimerkiksi vedellä on korkeampi dielektrisyysvakio kuin muovilla. Kapasitiivisia antureita PNP- ja NPN-tyyppisiä. (Savolainen 2010.)





KUVA 24. Kapasitiivinen anturi (Sick. Capacitive proximity sensors. Luettu 17.11.2015. <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&FamilyID=421&Category=Produktfinder&Selections=54819>)

### 4.1.3 Optinen rajakytkin

Optisen anturin toiminta perustuu sen lähettämän yhden tai useamman valosäteen muutokseen. Optinen anturi lähettää infrapunavaloa, näkyvää valoa tai valoa hehkulampun välityksellä. Yleensä valonsäde modifioidaan eli valonsäteen taajuus pienennetään, jolloin muualta tuleva valo ei häiritse lähettimien tai vastaanottimien toimintaa. Optiset anturit voidaan jakaa neljään eri tyyppiin toimintaperiaatteen mukaan:

1. lähetin-vastaanotin periaate
2. vastaanotin periaate
3. suoraan heijastava periaate
4. v-heijastava periaate. (Savolainen 2010.)

Lähetin-vastaanotin periaatteella toimiva anturi toimii silloin, kun kappale katkaisee lähettimen ja vastaanottimen välissä olevan valonsäteen. Vastaanotin periaatteella toimivassa anturissa havaittava kappale toimii lähettimenä. Esimerkiksi kuuma metalli lähettää infrapuna-aallonpituudella säteilyä ja anturi havaitsee sen. Suoraan heijastavassa anturissa on anturi ja peili/heijastin, josta valonsäde heijastuu takaisin. Suoraan heijastava anturi tunnistaa silloin, kun kappale katkaisee anturin ja peilin välisen valonsäteen. V-heijastavan anturin toiminta perustuu siihen, että itse havaittava kappale heijastaa valonsäteen takaisin anturille. (Savolainen 2010.)

#### 4.1.4 Mekaaninen rajakytkin

Mekaaninen rajakytkin toimii, kun sen päässä oleva tuntopää koskettaa jotakin tai vaihtoehtoisesti lakkaa koskettamatta. Mekaaninen rajakytkin vaatii aina kosketuksen havaittavaan kappaleeseen. Sen tuntopäänä voi toimia rulla, tappi, rullatappi tai vääntörulla (kuva 25). Mekaaninen rajakytkin on varmatoiminen. Mekaanisen rajakytkimen tunnistuksessa se värähtelee muutaman kerran, ennen kuin sen tila asettuu lopulliseen tilaansa. (Savolainen 2010.)



KUVA 25. Mekaaninen rajakytkin, jonka tuntopäänä on rulla (Sick. Safety switches. Luettu 17.11.2015.

<https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=DtaSheet&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&ProductID=7525&Category=Produktfinder>)

#### 4.1.5 Ultraäänirajakytkin

Ultraäänianturin toiminta perustuu nimensä mukaisesti äänen lähettämiseen ja vastaanottamiseen ja se mittaa äänen kulku-aikaa mitattavaan kohteeseen. Ultraäänikytkin laskee äänen kulku-aikaa lähettimen ja vastaanottimen välillä, ja se havaitsee äänen kulkuajasta, jos mitattava kappale osuu anturin mitta-alueelle. Ultraäänianturi koostuu tavallisesti lähettimestä, vastaanottimesta, vahvistimesta ja signaalinmuodostusyksiköstä. Ultraäänikytkimen mittaustaajuus voi olla parhaimmillaan 100 kertaa sekunnissa eli 100 Hz ja sen mitta-alue voi vaihdella sentteistä kymmeniin metreihin. Anturin lähettämän äänen taajuus on tyypillisesti 20 kHz – 1 GHz. Ultraäänianturi kykenee mittaamaan lähes kaik-

kia materiaaleja, kunhan äänen heijastuminen takaisin on mahdollista. Esimerkiksi kuumat kappaleet, kankaat ja vaahtomuovi heijastavat ääntä huonosti takaisin. Ultraäänikytkin sietää hankalia olosuhteita hyvin, kuten epäpuhtauksia. (Savolainen 2010)

Ultraäänikytkin voi toimia joko anturilla, jossa on samassa paketissa lähetin ja vastaanotin tai anturilla, jossa on erikseen lähetin ja vastaanotin. Myös peilejä voidaan käyttää hyväksi äänen heijastamiseen. (Savolainen 2010.)

#### 4.1.6 Magneettinen rajakytkin

Magneettinen rajakytkin tunnistaa magneettisia aineita ja se toimii joko reed-kytkimen (kuva 26) tai hall-anturin (kuva 27) avulla. Reed-kytkimessä on kaksi ferromagneettista kieltä, jotka menevät kiinni magneettikentän lähestyessä reed-kytkintä, jolloin anturi antaa signaalin. Kielet avautuvat jälleen, kun magneettikenttä on heikentynyt tarpeeksi reed-kytkimen läheisyydestä. Reed-kytkimen kielet on sijoitettu hermeettisesti lasiputken sisään. (Savolainen 2010.)



KUVA 26. Reed-kytkin. (Wikipedia. Reedswitch. Luettu 17.11.2015. [https://en.wikipedia.org/wiki/Reed\\_switch](https://en.wikipedia.org/wiki/Reed_switch))

Hall-anturi mittaa magneettikentän suuruutta. Magneettikentän kasvaessa tarpeeksi suureksi, hall-anturi antaa signaalin. Hall-anturi kestää tärinää ja nopeuden vaihteluja paremmin kuin reed-kytkin.



KUVA 27. Hall-anturi (R-Motorsport. Anturit. Luettu 17.11.2015. [http://www.rmotorsport.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=8](http://www.rmotorsport.com/index.php?main_page=product_info&products_id=8))

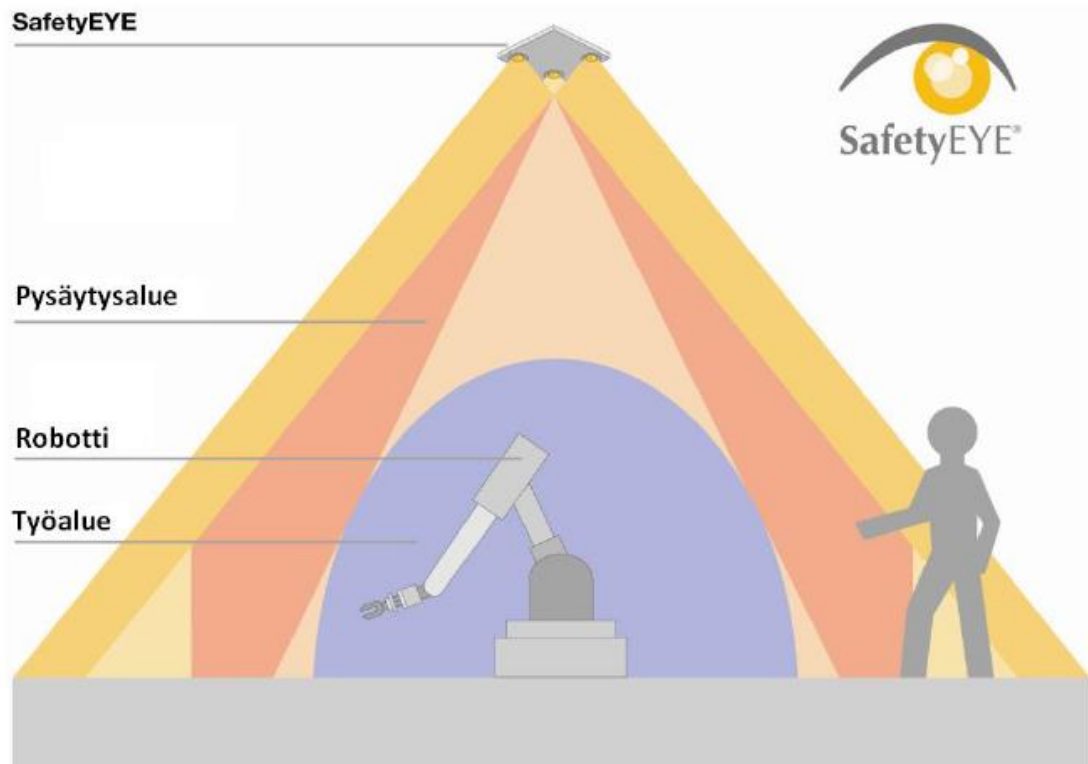
## 4.2 Valoverho

Valoverhon toiminta perustuu infrapunasäteisiin. Usealla infrapunasäteellä muodostetaan verhomainen rakenne, joka tunnistaa infrapunasäteiden katketessa. Valoverho toimii infrapuna-anturin tavoin. Kun tunnistettava kappale tai ihminen on poistunut valoverhon vaikutusalueelta, robotti ei saa jatkaa toimintaansa, ennen kuin valoverho on resetoitu. Resetoinnin jälkeen valoverho voi jatkaa normaalia toimintaansa ja robotin toiminta voidaan käynnistää uudelleen. Valoverhon muodostavat säteet voidaan asettaa niin tiiviisti, etteivät pienemmätkään ulkopuoliset häiriötekijät pääse robottisolun alueelle. (Siirilä 2008a, 151.)

## 4.3 Konenäkösovellus

Konenäkö ja sen sovellukset kehittyvät jatkuvasti. Konenäköä hyödynnetään teollisuudessa jatkuvasti enemmän ja nykyään konenäköä voidaan hyödyntää myös robottisolun turvallisuudessa. Konenäkösovelluksessa järjestelmä piirtää tunnistettavan alueen kolmiulotteisesti, jolloin tunnistaminen on helppoa (kuva 28). Konenäkökamera tunnistaa kuvassa muutokset, esimerkiksi ihmisen ja sen raajat, jolloin robotin toiminta voidaan pysäyttää. Robotin liikkeitä voidaan myös pysäyttämisen sijasta hidastaa ihmisen saapuessa robottisolun alueelle. Konenäkökameralle voidaan määrittää vaara-alue, joka pysäyttää robotin liikkeen ihmisen saapuessa robotin toiminta-alueelle. Konenäkölle voidaan opettaa

erilaisia muotoja, joten esimerkiksi tuotanto ei keskeydy, vaikka konenäkökameran vaikutusalueella liikkuu työstettäviä kappaleita. (Ruohola 2011, 27.)



KUVA 28. SafetyEYE-konenäkösovellus robottisolun turvallistamisessa. (Malm, T. 2008. Robottijärjestelmien uudet turvallisuustekniikat. Luettu 17.11.2015. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/RobUudetTurv.pdf>)

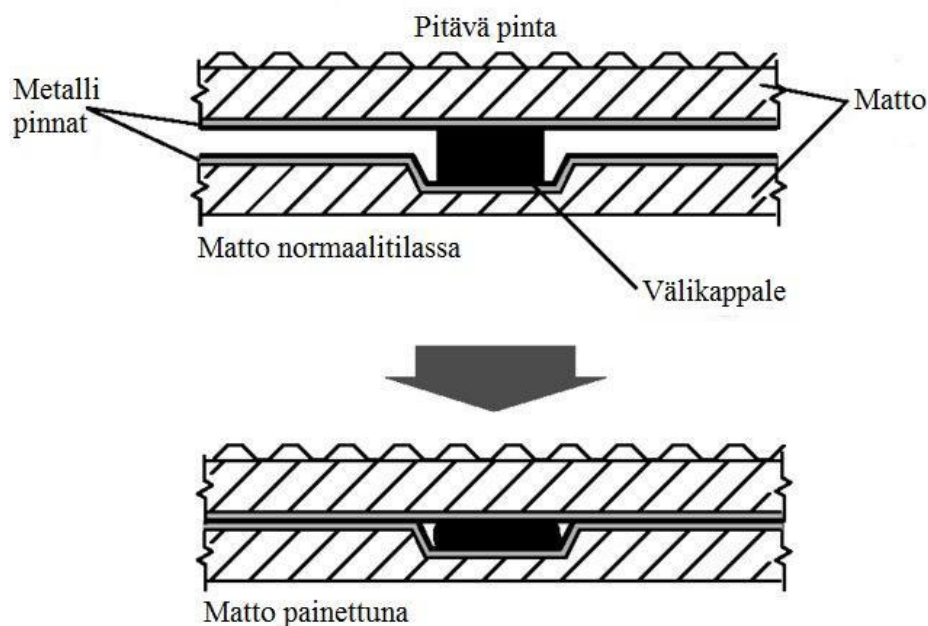
#### 4.4 Turva-aita

Turva-aita on robottisolun turvallisuuden perusta. Turva-aidoilla on helppo erottaa robotisolu muusta tilasta ja estää ihmisten pääsy robotin toiminta-alueelle. Turva-aita täytyy sijoittaa tarpeeksi etäälle robotista, etteivät esimerkiksi raajat ylety aidan läpi tai alitse kosketuksiin robotin kanssa. Verkkomallisissa turva-aidoissa verkon aukon koko on suunniteltu käyttötarpeen mukaan. Joissakin malleissa verkon aukot ovat isompia näköyhteiden takia, jolloin käsi tai sormi mahtuu aidan lävitse, mikä on turvallisuusriski. Pieni aukkoisia verkkoja tarvitaan esimerkiksi kipinöiden tai pienien sinkoavien kappaleiden takia. Hitsausrobottien yhteydessä turva-aidassa pitää olla näköä suoavaa tummennettu lasi tai aukoton aita. Turva-aidoissa voi olla myös kestävästä materiaalista valmistettuja ikkunoita, jolloin näköyhteys robottisoluun parane. Turva-aitojen ovet voivat

olla saranaovia, nosto-ovia tai liukuovia. Oveen täytyy aina asentaa turvallisuuskomponentti, joka havaitsee oven avautumisen ja pysäyttää robotin liikkeit. Oveen voidaan asentaa esimerkiksi mekaaninen rajakytkin, magneettinen rajakytkin tai optinen rajakytkin. Oven sulkeutumisen jälkeen robotti ei saa aloittaa liikkeitä automaattisesti, vaan robotin liikkeitä täytyy käynnistää uudelleen. Turva-aidan ovi on sijoitettava tarpeeksi etäälle siten, että robotin liikkeitä ehtivät pysähtyä ennen kuin ihminen pääsee kosketuksiin robotin kanssa. Robottisolun turva-aidalle on vaatimukset standardissa SFS EN-ISO 13857. (Siirilä 2008b, 134.)

#### 4.5 Turvamatto

Turvamatoilla estetään robotin liikkeitä ihmisen lähestyessä robottia. Turvamatto tai toiselta nimeltään tuntomatto tunnistaa, kun ihminen astuu maton päälle. Turvamaton sisällä on kaksi sähköä johtavaa metallilevyä, jotka on erotettu ja eristetty toisistaan. Ihmisen astuessa matolle, metallipinnat koskettavat toisiaan, jolloin syntyy oikosulku. Oikosululla saadaan aikaan signaali, joka pysäyttää robotin liikkeitä (kuva 29). Turvamatto voi toimia myös paine-ilman tai valokuidun avulla. (Tuunanen 2014, 20.)



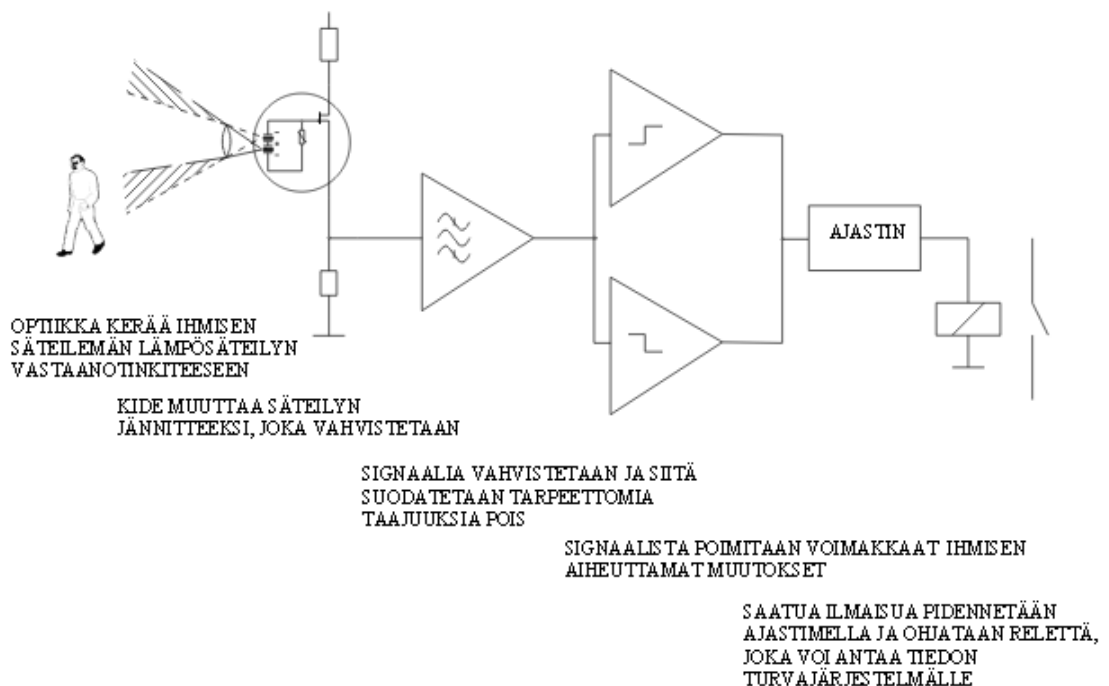
KUVA 29. Turvamaton toiminta. (Tuunanen, T. 2014. Teollisuusrobotin käyttöönotto ja ohjelmointi. Sähkötekniikka. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö)

## 4.6 Tuntoreunat

Tuntoreunat toimivat samalla periaatteella kuin tuntomatto ja niitä käytetään suojaamaan ihmistä robottisolun toiminta-alueella. Tuntoreunat voivat suojella myös itse robottia tai esineitä. Tuntoreunoja voidaan asentaa robotin raajoihin, robottisolun pöytien reunoihin, ihmisen kulkureitille sekä nosto- tai liukuoviin. Tuntoreuna koostuu kosketinnauhasta ja sitä suojaavasta kumiprofiilista. (Tuunanen 2014, 22.)

## 4.7 Passiivinen infrapuna-anturi

Passiivinen infrapuna-anturi tunnistaa ihmisen ihon lämpösäteilyä. Infrapuna-anturi havaitsee lämpötilan muutoksen mittausalueella, jonka ansiosta se erottaa ihmisen muista esineistä. Sen toiminta perustuu anturin tuntopäässä olevaan pyrosähköiseen kiteeseen, jonka avulla voidaan lämmönvaihtelu muuttaa sähköiseksi signaaliksi (kuva 30). Passiivinen infrapuna-anturi on sopiva anturi esimerkiksi kulkuaukoille, jossa pitää erottaa esine ja ihminen toisistaan. (Kivipuro, Malm & Tiisanen 2008, 28.)



KUVA 30. Passiivisen infrapuna-anturin toiminta (Kivipuro, M. Malm, T. Tiisanen, R. 1998. Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus. Luettu 17.11.2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1938.pdf>)

## 4.8 Laserskanneri

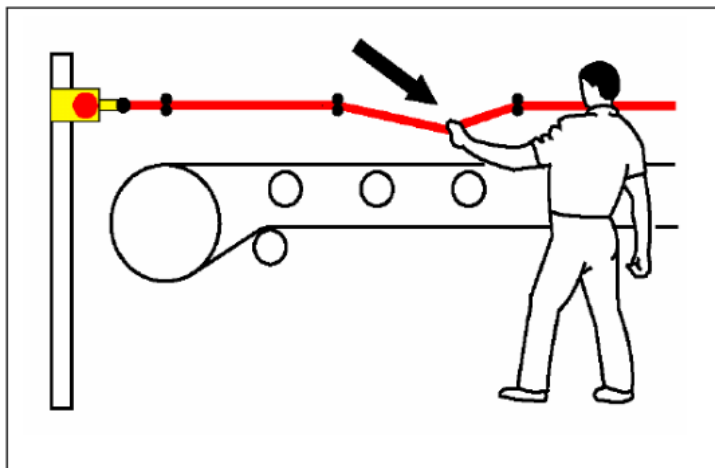
Laserskannerin toiminta perustuu lähetettyjen lasersäteiden kulkemisajan mittaamiseen kohteeseen ja takaisin laserskannerille. Laserskannerissa on pyörivä peili, joka lähettää lasersäteet tasaisesti mitattavalle alueelle. Ihmisen tai esineen saapuessa mittausalueelle, lasersäteet heijastuvat takaisin skannerille, ja skanneri pystyy heijastumiseen kuluvan ajan perusteella paikantamaan mitattavan kohteen tarkan sijainnin. Skanneri tunnistaa kohteen tarkan sijainnin peilin kulman avulla. Laserskannerin voi luoda halutun muotoisen varoitus- ja vaara-alueen erikseen. Kohteen saapuessa varoitusalueelle, robotin toiminnan ei tarvitse pysähtyä, vaan se voi jatkaa normaalia toimintaansa tai hidastua. Skannerin havaitessa kohteen varoitusalueella, se voi antaa varoitusäänen- tai merkin. Kohteen saapuessa vaara-alueelle robotin liikkeen on pysähdyttävä. (Ruohola 2011, 24.)

## 4.9 Hätä-seis-painike

Hätä-seis-painikkeet luokitellaan muita suojalaitteita täydentäviksi laitteiksi. Hätä-seis-painikkeella pysäytetään laitteen toiminta välittömästi. Se ei siis valvo tai estä robottisolun alueella tapahtuvia liikkeitä tai vaaratilanteita. Hätä-seis-painiketta käytetään nimensä mukaisesti vain hätätilanteissa. Sitä käytetään viime hetkellä ennen vaaratilannetta tai vasta vaaratilanteen tapahduttua. Hätä-seis-painikkeet tulee sijoittaa paikkoihin, joissa vaaratilanne on mahdollinen sekä muutama paikkaan robottisolun läheisyyteen. Myös käsiohjaimessa olisi hyvä olla hätä-seis-painike, koska opettamalla ohjelmoinnissa voi tapahtua vaaratilanteita. Hätä-seis-painikkeen pitää jäädä pohjaan, kun sitä on painettu eikä robotin liikkeitä tai toimintaa saa jatkua, kun hätä-seis-painike vapautetaan. (Siirilä 2008b, 206.)

Hätä-seis-painikkeet sijaitsevat näkyvässä paikassa ja ne ovat väritykseltään ympäristöstä erottuvia. Ne ovat yleensä punaisen värisiä painikkeita keltaisella taustalla. Hätä-seis-painikkeet voivat olla yhteydessä toisiinsa myös esimerkiksi vaijerin avulla, jolloin vaaratilanteen sattuessa hätä-seis-painikkeen painaminen helpottuu (kuva 31). (Siirilä 2008b, 218.)





KUVA 31. Hätä-seis-laitteisto vaijerilla (Ifm Electronic. Köysiturvarajakytkimet. Luettu 17.11.2015. <http://www.ifm.com/mounting/7390877FI.pdf>)

#### 4.10 Sallintakytkin

Sallintakytkin eli ”kuolleen miehen kytkin” on kolmiasentoinen kytkin, joka on sijoitettu robottia ohjaavaan käsikäyttöiseen ohjauslaitteeseen. Käsikäyttöistä ohjauslaitetta käytetään, kun robottia ohjelmoidaan käsin, testataan tai etsitään vikaa. Robotin nopeudet laskevat turvallisuussyistä yleensä, kun robottia ohjelmoidaan käsin. Käsikäyttöinen ohjauslaite toimii, kun sallintakytkin on keskiasennossa. Sallintalaitetta pitää puristaa sopivalla voimalla, että se pysyy keskiasennossa. Muut kaksi asentoa on turvallisuuden takia sähköisku ja esimerkiksi törmäyksiä varten. Jos esimerkiksi robotti törmää käyttäjään ja käyttäjän ote irtoaa, sallintakytkin vapautuu keskiasennosta, jolloin robotin liikkeet pysähtyvät. Kovan sähköiskun saadessaan ihmisen lihakset kouristelevat voimakkaasti, jolloin ihminen puristaa sallintakytkimen ääriasentoon, jolloin robotin liikkeet pysähtyvät.

#### 4.11 Merkkivalot ja äänimerkit

Merkkivaloilla ja äänimerkeillä voidaan muistuttaa ja varoittaa ihmistä robottisolun toiminnasta aktiivisesti. Robotin käynnistyessä voidaan antaa esimerkiksi valomerkki tai äänimerkki, jolloin ihminen havahtuu mahdolliseen vaaraan. Erivärisillä valoilla tai vilkkuvaloilla voidaan kertoa sen hetkisestä tilanteesta. Vihreä valo voi tarkoittaa robotin normaalia toimintaa, keltainen valo lähestyvää tai mahdollista vaaraa ja punainen valo

voi tarkoittaa vaaratilannetta. Varoittavat valot tulee sijoittaa näkyvälle paikalle sillä tavalla, että valo näkyy joka suunnasta. (Tuunanen 2014, 12.)

#### **4.12 Varoituskyltit**

Robottisolun läheisyyteen pitää sijoitella varoituskylttejä kertomaan ja muistuttamaan passiivisesti robotin toiminnasta ja liikkeistä. Esimerkiksi melusta, hitsauksesta tai mahdollisista lentävistä osista pitää varoittaa kylteiltä. Jos robotin liikkeet ovat laajoja tai nopeita, tulee niistäkin varoittaa varoituskylteillä. Asiattomasta oleskelusta tai koulutuksen tarpeesta on hyvä muistuttaa kylteillä. (Tuunanen 2014, 14.)

Robottisolun alue ja sallitut kulkureitit pitää merkitä lattiaan näkyvästi teipillä tai maalilla. Robotin erilaiset toiminta-alueet, kuten vaara-alue ja suoja-alue on hyvä erottaa toisistaan lattiaan merkkamalla. Alueet, joille meneminen on kielletty, on hyvä erottaa muusta tilasta teipillä tai maalilla.

## **5 ROBOTTISOLUN TURVALLISTAMINEN**

### **5.1 Työn tausta**

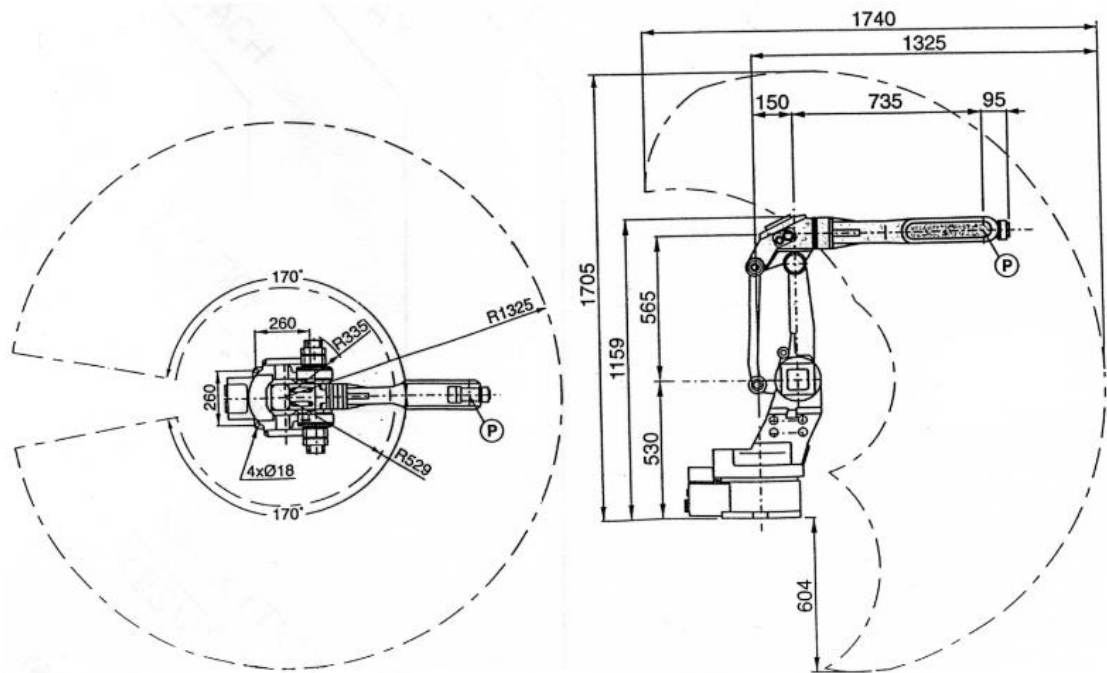
Työn tarkoituksena oli robottisolun turvallistaminen. Opetuskäytössä ollut Motoman SK-6 -robotti siirrettiin Tampereen ammattikorkeakoulusta Ammatti-instituutti Iisakkiin Hämeenkyröön. Tehtävänä oli suunnitella robottisolun turvallistaminen Hämeenkyrössä. Työn taustana tutustuin standardeihin, konedirektiivin ja työturvallisuuslakiin, joista selvisi minkälainen robottisolun turvallisuus pitää olla ja mitä turvallistamiselta vaaditaan. Lisäksi tutustuin eri kirjallisuuteen ja moneen eri internet-lähteeseen, joista sain tietoa varsinkin turvallisuuskomponenteista ja robottisoluja koskevista määräyksistä. Suunnittelemani robottisolu merkitään CE-merkinnällä työn päätteeksi, koska opetuskäyttöön tulevat koneet sen vaativat.

### **5.2 Ammatti-instituutti Iisakki**

Ammatti-instituutti Iisakki on toisen asteen koulu, jolla on toimipisteet Hämeenkyrössä, Parkanossa ja Osarassa. Tein opinnäytetyöni Hämeenkyrön yksikköön. Iisakissa voi opiskella tekniikan- ja liikenteen alaa, majoitus- ja ravitsemusalaa, maaseutuyrittäjäksi, luonnonvaratuottajaksi, luonto- ja ympäristöneuvojaksi sekä sosiaali- ja terveysalaa. Ammatti-instituutti Iisakki on osa Sastamalan koulutuskuntayhtymää (Sasky).

### **5.3 Käytettävä laitteisto**

Robottisolu suunniteltiin Motoman SK-6 -robotin ympärille. Motoman SK-6 robotissa on hitsaustoiminto, paineilmallä toimiva tarttuja sekä alipaineella toimiva imukuppi. Motoman SK-6 -robotin valmistusvuosi on 1996 ja sen kantokyky on 6 kg. Robotti on varustettu kauko-ohjattavalla hallintalaitteella, jolla opettamalla ohjelmointi on mahdollista. Motoman SK-6 -robotin toimintasäde on 1325 mm (kuva 32).



KUVA 32. Motoman SK-6 etäisyydet. (Hakala, M. 2007. Kokoonpanoharjoituksen suunnittelu ja toteutus. Kone- ja tuotantotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö)

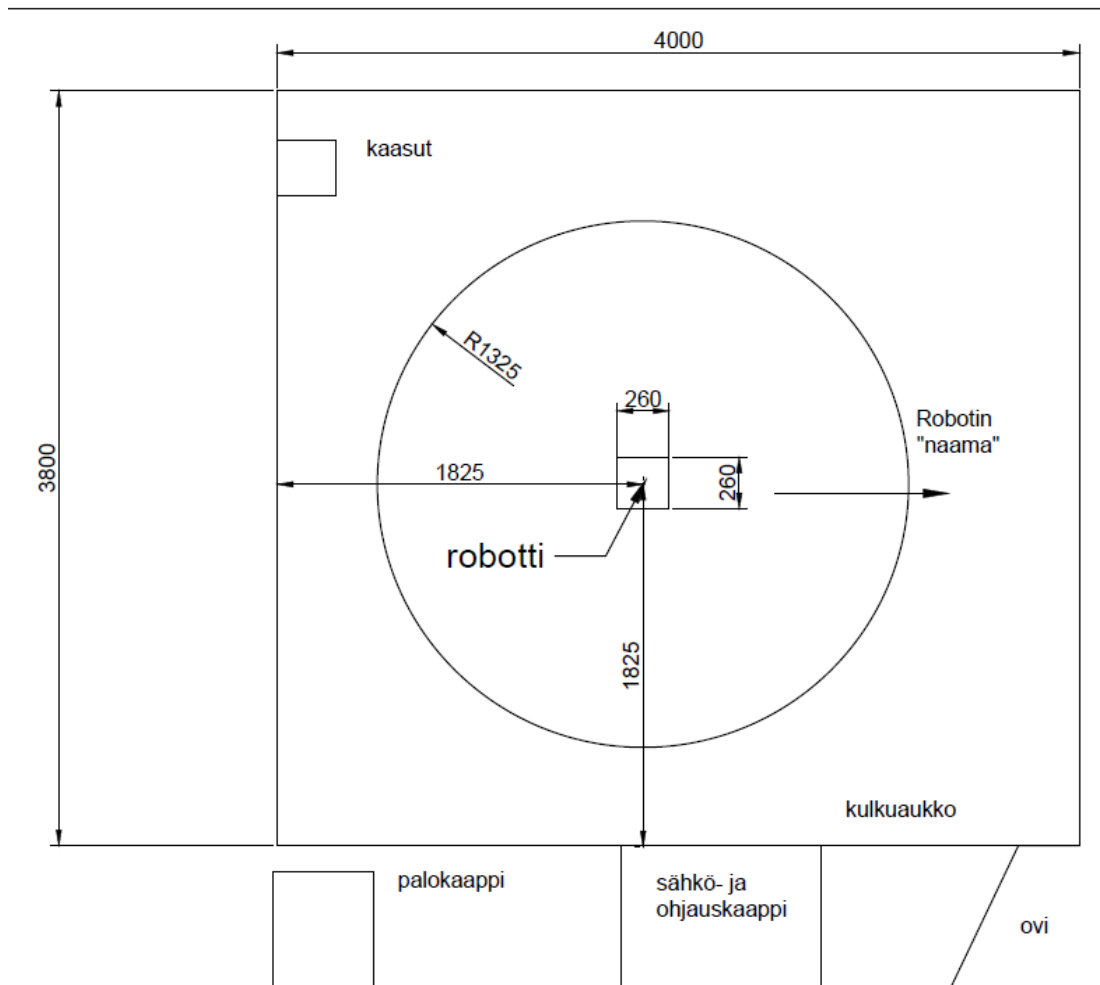
#### 5.4 Robottisolun turvallistamisprosessi

Ensimmäisenä robottisolun turvallisuuden suunnittelussa pitää tehdä riskianalyysi kuvan 22 mukaisesti. Riskianalyysin jälkeen voidaan aloittaa robottisolun turvallisuuden suunnittelu, jonka ensimmäisenä vaiheena on robottisolun rakenteen suunnittelu. Kun rakenne on suunniteltu, voidaan päättää robottisolua ympäröivän aidan materiaali ja mitat. Seuraavaksi täytyy asentaa tarvittavat turvallisuuskomponentit ja suojukset robottisoluun. Asennetut turvallisuuskomponentit sekä suojukset pitää testata ja niiden täytyy olla standardien ja direktiivien mukaisia. Viimeisenä vaiheena on robottisolun toiminnan testaus ja tarvittavat tarkastukset. Robotille pitää tehdä käyttöönottotarkastus kappaleen 3.1.7 mukaisesti. Kun robottisolun turvallistaminen on valmis, se merkataan CE-merkinnällä. CE-merkinnän pitää täyttää EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen mukaiset ehdot. Käsittelemme CE-merkintää ja EY-vaatimustenmukaisuusvakuutusta kappaleessa 3.2.1.

Sain suunniteltua robottisolun rakenteen sekä aidan materiaalin ja mitat konseptitasolla. Suunnittelin myös muutamia tarvittavia turvallisuuskomponentteja. Haastavan aikataulun takia loput vaiheet robottisolun turvallistamisprosessista jäi tekemättä.

## 5.5 Robottisolun rakenne

Ensimmäisessä vaiheessa piirsin layout-piirustuksen ja suunnittelin robotin paikan robottisolussa vaadittujen etäisyyksien mukaisesti. Robotin maksimiulottuman ja kiinteiden rakenteiden väliin jäävä tila piti olla 500 - 800 mm standardien mukaan (Siirilä 2008b, 352). 500 mm:n etäisyydellä vältetään puristumisvaaralta. Kulkuteiden leveys tulee olla 800 mm, mutta 600 mm leveys riittää, jos käytettävä tila on pieni (Siirilä 2008b, 339). Robottisolussa kulkuteitä tarvittiin kaasuhanojen luokse sekä opettamalla ohjelmoitiin käytettävän paikan luokse. Haasteita toi käytettävissä oleva pieni tila ja robottisolun läheisyydessä oleva palokaappi. Piirsin AutoCad-ohjelmalla layout-kuvan suunnittelemani robottisolun rakenteesta (kuva 33). Kuvasta selviää robottisolun mitat, robotin työkentelysäde, robotin paikka solussa, robotin ulkomitat, kulkuaukon ja oven paikka, sähkö- ja ohjauskaapin paikka, kaasuhanojen paikka, palokaapin paikka sekä robotin pääasiallinen työskentelysuunta.



KUVA 33. Robottisolun rakenne

## 5.6 Robottisolun aidat

Seuraavana suunnittelin robottisolun ympärillä käytettävien aitojen materiaalin ja mitat. Standardit ja konedirektiivit antavat vaatimuksia aidan mitoille ja rakenteille. Varsinkin standardi SFS EN-ISO 13857 (SFS EN-ISO 13857 2008) keskittyy koneita ympäröivien aitojen vaatimuksiin. Standardista selviää aidan korkeuden, silmäkokojen sekä lattian ja aidan välisen raon vaatimukset. Robottisolussa aidan materiaalin pitää olla tukevaa ja paloturvallista materiaalia, esimerkiksi metallia. Aidan korkeudeksi valitsin standardin SFS EN-ISO 13857 taulukon mukaisesti 2200 mm (kuva 34). Valitsin aidan korkeudeksi 2200 mm, koska vaaravyöhykkeen korkeus on 1705 mm ja vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen pitää olla vähintään 500 mm. Vaaravyöhykkeen korkeus on sama kuin robotin maksimitoimintasäteen korkeus.

Vaaravyöhykkeen korkeus <sup>c</sup> a	Suojarakenteen korkeus <sup>a, b</sup> b									
	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400	2 500	2 700
	Vaakasuora turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen, c									
2 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	0
2 400	1 100	1 000	900	800	700	600	400	300	100	0
2 200	1 300	1 200	1 000	900	800	600	400	300	0	0
2 000	1 400	1 300	1 100	900	800	600	400	0	0	0
1 800	1 500	1 400	1 100	900	800	600	0	0	0	0
1 600	1 500	1 400	1 100	900	800	500	0	0	0	0
1 400	1 500	1 400	1 100	900	800	0	0	0	0	0
1 200	1 500	1 400	1 100	900	700	0	0	0	0	0
1 000	1 500	1 400	1 000	800	0	0	0	0	0	0
800	1 500	1 300	900	600	0	0	0	0	0	0
600	1 400	1 300	800	0	0	0	0	0	0	0
400	1 400	1 200	400	0	0	0	0	0	0	0
200	1 200	900	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1 100	500	0	0	0	0	0	0	0	0

<sup>a</sup> Korkeudeltaan alle 1 000 mm suojarakenteita ei ole otettu mukaan, koska ne eivät rajoita kehon liikettä riittävästi.  
<sup>b</sup> Korkeudeltaan alle 1 400 mm suojarakenteita ei suositella käytettäväksi ilman täydentäviä suojaustoimenpiteitä.  
<sup>c</sup> Yli 2 700 mm korkeudella olevien vaaravyöhykkeiden osalta ks. kohta 4.2.1.

KUVA 34. Robottisolun aidan korkeus (SFS EN-ISO 13857 2008)

Aidan silmäkokoon vaikuttaa turvaetäisyydet, silmäaukon muoto sekä haluttu näköyhteys. Turvaetäisyys on 500 mm suunnittelemani robottisolussa, mikä täyttää turvavälien vaatimukset. Robottisolua ympäröivän aidan silmäkoko muodostui standardin SFS EN-ISO 13857 taulukoiden mukaisesti. Toisessa taulukossa oli vaatimukset käsien sekä sormien mittojen ja toisessa taulukossa jalkaterän sekä jalkojen mittojen mukaan (kuva 35; kuva 36). Silmäkooksi valitsin 20 – 35 mm, jos käytössä on säännöllisen muotoinen silmäaukko (neliö tai pyöreä aukko). Jos säännöllisen muotoisen silmäaukon koko on 20 – 35 mm, tällöin turvaetäisyydeksi riittää suunniteltu 500 mm sekä käsille että jaloille. Jos silmäaukko on pitkänomaisen suorakulmion muotoinen, tällöin silmäaukon leveys saa olla enintään 20 mm. Pitkänomaisessa suorakulmion muotoisessa silmäaukossa 20 mm:n leveys riittää suunnitelluille turvaväleille.

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

Taulukon leveät viivat osoittava sen kehon osan, jota aukon koko rajoittaa.

<sup>a</sup> Jos pitkänomaisen aukon pituus on  $\leq 65$  mm, peukalo toimii rajoittimena ja turvaetäisyyttä voidaan lyhentää 200 mm asti.

KUVA 35. Silmäaukon koko sormien ja käsien mukaan (SFS EN-ISO 13857 2008)



Alaraajan osa	Kuva	Aukko	Turvaetäisyys, $s_r$	
			Pitkänomainen	Neliö tai pyöreä
Varpaan pää		$e \leq 5$	0	0
Varvas		$5 < e \leq 15$	$\geq 10$	0
Jalka		$15 < e \leq 35$	$\geq 80^a$	$\geq 25$
Sääri (varpaan päästä polveen asti)		$35 < e \leq 60$	$\geq 180$	$\geq 80$
		$60 < e \leq 80$	$\geq 650^b$	$\geq 180$
Sääri (varpaan päästä haaroihin asti)		$80 < e \leq 95$	$\geq 1\ 100^c$	$\geq 650^b$
		$95 < e \leq 180$	$\geq 1\ 100^c$	$\geq 1\ 100^c$
		$180 < e \leq 240$	Ei sallittu	$\geq 1\ 100^c$

<sup>a</sup> Jos pitkänomaisen aukon pituus  $\leq 75$  mm, turvaetäisyyttä voidaan pienentää arvoon  $\geq 50$  mm.  
<sup>b</sup> Arvo vastaa arvoa säarelle (varpaan päästä polveen asti).  
<sup>c</sup> Arvo vastaa arvoa säarelle (varpaan päästä haaroihin asti).

HUOM. Pitkänomaiset aukot, joilla  $e > 180$  mm, ja neliömäiset tai pyöreät aukot, joilla  $e > 240$  mm, tekevät mahdolliseksi koko kehon mahtumisen aukosta (ks. myös kohdan 1 viimeinen kappale).

KUVA 36. Silmäaukon koko jalkaterän mukaan (SFS EN-ISO 13857 2008)

Myös lattian ja aidan väliselle raon kokoon on standardissa SFS EN-ISO 13857 vaatimukset. Valitsin raon kooksi maksimissaan 200 mm standardin taulukon mukaan (kuva 37). Rako saa olla pienempi tai rako ei tarvita lainkaan. Jotkut toimenpiteet, kuten siivous vaativat pienen raon lattian ja aidan väliin. Raon koon valinnassa huomioin kolme tapausta jalan erilaisiin asentoihin liittyen.

Suojarakenteen alareunan korkeus $h$	Etäisyys $l$		
	Tapaus 1	Tapaus 2	Tapaus 3
$h \leq 200$	$\geq 340$	$\geq 665$	$\geq 290$
$200 < h \leq 400$	$\geq 550$	$\geq 765$	$\geq 615$
$400 < h \leq 600$	$\geq 850$	$\geq 950$	$\geq 800$
$600 < h \leq 800$	$\geq 950$	$\geq 950$	$\geq 900$
$800 < h \leq 1\,000$	$\geq 1\,125$	$\geq 1\,195$	$\geq 1\,015$

HUOM. Pitkänomaiset aukot, joilla  $e > 180$  mm, ja neliömäiset tai pyöreät aukot, joilla  $e > 240$  mm, tekevät mahdolliseksi koko kehon mahtumisen aukosta.

KUVA 37. Lattian ja aidan välisen raon koko (SFS EN-ISO 13857 2008)

## 5.7 Turvallisuuskomponenttien valinta

Aikataulun takia sain tehtyä turvallisuuskomponenttien valinnan vain suunnittelun tasolla. Käsittelin erilaisten turvallisuuskomponenttien toimintaan kappaleessa 4. Robottisolun oviaukko pitää varustaa rajakytkimellä, joka antaa tiedon ohjausjärjestelmälle oven tilasta. Rajakytkin voi olla esimerkiksi magneettinen tai mekaaninen. Rajakytkimien toimintaa käsittelin kappaleessa 4.1. Oven rakenteen pitää olla sellainen, että se aukeaa tai menee kiinni vain kahvaa tai vastaavaa painamalla. Ovi ei saa lukittua kiinni-asentoon vain ”paiskaamalla”. Robotin liikkeitä pitää pysähtyä, jos ovi aukaistaan kesken robotin toiminnan. Kappaleen 4.4 mukaan robotin toiminta ei saa jatkua oven sulkemisen jälkeen, vaan robotti pitää käynnistää uudelleen. Ovi voidaan varustaa myös toiminnolla, jolla estetään oven avaus robotin liikkeiden aikana. Oveen voidaan asentaa rajakytkimen lisäksi esimerkiksi induktiivinen tai optinen anturi valvomaan oven tilaa. Anturilla varmistetaan turvallisuus rajakytkimen vikatilanteissa. Lisäksi kaksi turvallisuuskomponenttia ei ole liikaa valvomaan oven toimintaa. Robottisolun voidaan varustaa erillisellä napilla, jolla varmistetaan alueen tyhjyys ennen käynnistämistä. Käyttäjän pitää tarkistaa alueen tyhjyys ja tämän jälkeen painaa erillistä ”kuittaus-nappia”, jonka jälkeen robotin käynnistäminen on mahdollista.

Turvamatoille tai tuntoreunoille ei ole tarvetta suunnittelemani robottisolussa, koska turvaetäisyydet ovat vaatimuksien mukaiset ja robotin toiminta-alueelle ei pääse sen toiminnan aikana. Robottisolun sijoitettava pöytä voitaisiin varustaa tuntoreunoilla, joilla estetäisiin kovat törmäykset robotin ja pöydän välillä. Kovat törmäykset estetään huolellisella ohjelmoinnilla ja varovaisuudella, kun robottia ajetaan käsiajolla.

Myöskään valoverhoille, laserskannereille tai muille antureille ei ole käyttöä, koska robotin vaara-alueet on aidattu hyvin. Valoverhoa voitaisiin käyttää kulkuaukon valvontaan, mutta oven ja sen turvallisuuskomponenttien asennuksen jälkeen se ei ole tarpeellista. Laserskannereita käytetään tilanteissa, joissa ihminen tai kone työskentelevät samassa tilassa tai ihmisen kulkua robottisolun alueelle joudutaan valvomaan. Robotin raajat voidaan varustaa antureilla tai tuntoreunoilla, jotka estävät robottien raajojen ylimääräiset törmäykset. Konenäkösovellukselle ei ole käyttöä, koska robotti ja ihminen eivät työskentele samassa tilassa tässä tapauksessa.

Robottisolu pitää varustaa tarvittavalla määrällä hätä-seis-painikkeita. Hätä-seis-painikkeita pitää sijoittaa robotin toiminta-alueelle, käsiohjauslaitteeseen, ohjauslaitteiden läheisyyteen ja robottisolun läheisyyteen kappaleen 3.2.11 mukaan. Robottisolun ympäristöön voidaan sijoitella varoituskyltit, jotka muistuttavat hitsauksesta ja robotin liikkeistä. Myös ohjauslaitteiden viereen voidaan asentaa kylttejä muistuttamaan alueen tyhjyydestä, henkilösuojaimista tai hitsauksesta. Robotin toiminta-alue ja kulkureitit pitää merkata teipillä tai maalaamalla lattiaan. Myöskin käyttöpaikka voidaan merkata erikseen teipin tai maalin avulla.

Robottisolua ympäröivään aitaan pitää asentaa tummennuslasit hitsauksesta aiheutuvaa säteilyä varten. Motoman-robotin hitsaustoimintoa käytettäessä pitää varustuksen olla kunnossa kappaleen 3.1.5 mukaan. Vaatteiden, hansikkaiden ja maskin avulla suojataan paljasta ihoa sekä naamaa säteilyltä.

Robotin opettamalla ohjelmoinnissa pitää olla käytössä hitaammat nopeudet. Robotin liikkeiden nopeudet pitää säätää niin hitaalle tasolle, ettei käyttäjälle aiheudu vaaraa robotin liikkeistä. Myöskään hitsaustoiminto ei saa olla mahdollista, kun robottia opettamalla ohjelmoidaan. Opettamalla ohjelmointiin käytettävään käsiohjauslaitteeseen pitää asentaa sallintakytkin sekä hätä-seis-painike.

## **5.8 Testaus ja CE-merkintä**

Haastavan aikataulun takia testaus ja CE-merkinnän leimaaminen jäivät tekemättä. Robotille tehdään yksinkertainen ohjelma, jossa sen toiminta testataan eri tilanteissa. Hit-

saustoiminto ja paineilmajärjestelmän toiminta testataan myös. Opettamalla ohjelmoinnin toimivuus käydään läpi. Turvallisuuskomponentit ja suojukset testataan standardien ja konedirektiivin mukaisesti sekä turvaetäisyyksien riittävyys ja robottisolun rakenne tarkistetaan.

Robottisolu vaatii CE-merkinnän muiden koneiden ohella. CE-merkinnän saamiseksi ulkopuolinen taho tarkastaa noudattaako robottisolun turvallisuus standardeja ja direktiiviä. Ulkopuolinen taho käy läpi robottisolun turvallisuuden riskianalyysin ja EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen mukaisesti sekä robottisolulle tehdään myös käyttöönottotarkastus.

## 6 POHDINTA

Robottisolun turvallistaminen on tarkka ja vaativa prosessi. Eri standardeissa ja konedirektiivissä annetaan tiukat vaatimukset robottisolun kokonaisuudelle. Työturvallisuuslaki kuvaa työpaikan ja koneiden yleistä turvallisuutta. Turvaetäisyydet, rakenteet, suojukset, turvallisuuskomponentit ja robotin toimintatavat pitää olla vaatimuksien mukaisia. Myös käyttäjän koulutukselle ja toiminnalle annetaan omat vaatimuksensa.

Sain suunniteltua robottisolun turvallistamisen Ammatti-instituutti Iisakkiin kohtalaisella menestyksellä. Teoria-osuuden kirjoittamisen ja eri lähteisiin tutustumisen sain tehtyä huolellisesti, mutta robottisolun turvallisuuden suunnitteluun ja varsinkin käytännön toteutukseen aikaa oli liian vähän. Suunnittelun sain tehtyä kohtalaisesti konseptitasolla, mutta käytännön toteutus jäi alkuvaiheeseen aikataulun vuoksi. Onnistuin suunnittelemaan robottisolun pohjarakenteen ja valitsemaan robottisolua ympäröivän aidan mitat sekä materiaalin standardien ja direktiivien mukaisesti. Robottisolun turvallistamisprosessin muut vaiheet jäivät heikolle tasolle. Olisin halunnut olla mukana käytännön toteutuksessa loppuun asti, koska siinä olisin nähnyt suunnitteluni tuloksen ja toimivuuden. Lisäksi käytännön toteutuksessa olisi nähnyt standardien ja direktiivien vaatimukset käytännössä. Myös robottisolulle varattu pieni tila ja suunnittelun kokemattomuus toivat ongelmia suunnittelussa.

Robottisolun turvallistamisen suunnittelu oli kokonaisuutena todella kattava ja mielenkiintoinen prosessi. Opin paljon lisää direktiiveistä, standardeista ja työturvallisuuslaista. Eri lähteisiin tutustumalla opin paljon uutta turvallisuuskomponenttien rakenteista ja toiminnasta. Turvallistamisen suunnittelu aukaisi uusia näkökulmia eri koneiden turvallisuutta koskien. Opinnäytetyöprosessi oli oppimisen ja kehittymisen kannalta yksi opiskeluaikani parhaita, ellei parhain. Kasvoin ihmisenä ja insinöörinä valtavasti eteenpäin.

## LÄHTEET

Hakala, M. 2007. Kokoonpanoharjoituksen suunnittelu ja toteutus. Kone- ja tuotantotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Ifm Electronic. Köysiturvarajakytkimet. Luettu 17.11.2015. <http://www.ifm.com/mounting/7390877FI.pdf>.

Kivipuro, M., Malm, T. & Tiusanen, R. 1998. Laajojen koneautomaatiojärjestelmien turvallisuus. Luettu 17.11.2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1938.pdf>.

Konedirektiivi 2006/42/EY 17.5.2006.

Malm, T. 2008. Robottijärjestelmien uudet turvallisuustekniikat. Luettu 17.11.2015. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2008/RobUudetTurv.pdf>.

Rehn, T. 2012. Kierrätysraaka-aineen kosteusmittausjärjestelmän sähkösuunnitelma ja riskien arviointi. Sähkötekniikka. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

R-Motorsport. Anturit. Luettu 17.11.2015. [http://www.rmotorsport.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=8](http://www.rmotorsport.com/index.php?main_page=product_info&products_id=8).

Ruohola, R. 2011. Robottisolun turva-alue suunnittelu. Kone- ja tuotantotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Savolainen, J. 2010. Rajakytkimet. Luettu 17.11.2015. <https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/rajakytkimet>.

Sick. Capacitive proximity sensors. Luettu 17.11.2015. <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=FinderSearch&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&FamilyID=421&Category=Produktfinder&Selections=54819>.

Sick. Safety switches. Luettu 17.11.2015. <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=DataSheet&Cat=Row&At=Fa&Cult=English&ProductID=7525&Category=Produktfinder>.

Siirilä, T. 2008a. Koneturvallisuus. EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 2. uudistettu painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Siirilä, T. 2008b. Koneturvallisuus. EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. 2. uudistettu painos. Keuruu: Otava Kirjapaino Oy.

Standardi SFS EN-ISO 13857 Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. 23.6.2008.

Standardi SFS EN-ISO 12100 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. 13.12.2010.

Tuunanen, T. 2014. Teollisuusrobotin käyttöönotto ja ohjelmointi. Sähkötekniikka. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738.

Wikipedia. Reedswitch. Luettu 17.11.2015. [https://en.wikipedia.org/wiki/Reed\\_switch](https://en.wikipedia.org/wiki/Reed_switch).