

Tero Mehtänen

LASINLEIKKAUSLINJOJEN KONETURVALLISUUDEN
NYKYAIKAISTAMINEN

Automaatiotekniikan koulutusohjelma
2016

LASINLEIKKAUSLINJOJEN KONETURVALLISUUDEN NYKYAIKAISTAMINEN

Mehtänen, Tero
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2016
Ohjaaja: Suvela, Timo
Sivumäärä: 73
Liitteitä: 9

Asiasanat: työturvallisuus, riskinarviointi, automaatiojärjestelmät

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tehdä esisuunnittelu lasinleikkauslinjojen koneturvallisuuden nykyaikaistamiseksi. Työn tilasi Selo Oy, joka on erilaisia laseja valmistava yritys Huittisissa. Tarkoituksena oli selvittää lasinleikkauslinjoja koskevia turvallisuusvaatimuksia ja perehtyä mahdollisiin ratkaisuihin toteuttaa turvallistaminen.

Työn teoriaosuudessa käsitellään työturvallisuutta koskevia vaatimuksia sekä koneturvallisuuden peruseriaatteita. Näiden lisäksi teoriaosuudessa käsitellään riskin muodostuminen ja sen arviointi, sekä selvitetään turvalaitteita ja suojuksia koskevia vaatimuksia.

Käytännön osuudessa tuotantolinjoilta tunnistettiin vaaratekijät ja suoritettiin riskin arviointi. Keinoja riskien pienentämiseksi pohdittiin riskin suuruuden perusteella. Kyseessä olevien koneiden toimintaa ja sähkökuvia tutkimalla etsittiin mahdollisuuksia toteuttaa turvallistamistoimenpiteet. Koneiden, prosessien ja käyttäjien asettamat reunaehdot tulee huomioida koneita turvallistettaessa. Erilaisia suojausteknisiä vaihtoehtoja pohdittiin ja vertailtiin etsien toteuttamiskelpoisinta ratkaisua.

Projektin myötä syntyi käsitys siitä mitä kyseisten koneiden turvallistaminen vaatii ja mitä tulee ottaa huomioon. Turvallistaminen esitetään yleisellä tasolla ja sen tuloksia voidaan soveltaa. Työn tuloksia voidaan hyödyntää kyseisten tuotantolinjojen turvallistamista suunniteltaessa ja toteutettaessa.

MODERNIZING MACHINE SAFETY OF GLASS CUTTING LINES

Mehtänen, Tero

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Automation Technology

April 2016

Supervisor: Suvela, Timo

Number of pages: 73

Appendices: 9

Keywords: industrial safety, evaluation of the risk, automation systems

The subject of this thesis was preliminary planning to modernize machine safety of glass cutting line. The project was commissioned by Seloy Oy, which is glass production company in Huittinen. The objective was to clarify safety requirements of glass production line and study options to carry out safety procedures.

The theory part considers safety requirements and basic principles of machine safety. In addition to these this part deals with forming and evaluation of the risk. In this section safety devices and safety shields are also studied.

Practical work considers hazard factors in glass production lines. Those factors were recognized and risks were evaluated. Procedures to reduce risks were considered based on seriousness of the risk. Possibilities to carry out safety procedures were investigated by studying electrical diagrams and functions of machines. Preconditions set by machines, processes and operators need to be taken into account when implementing safety procedures. Different protection options were considered in terms of searching for the most convenient solution.

With this project a frame was created. The frame about what need to be taken into account when implementing safety procedures. In this thesis safety procedures are expressed in general way and results can be applied. Results of this thesis can be utilize when planning and implementing safety procedures for those production lines.

SISÄLLYS

MÄÄRITELMÄT	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Projektin rajaus ja tavoitteet.....	9
1.2 Tilaajayritys	9
2 TUOTANTOLINJAT.....	10
2.1 Vaatimusten asettaminen	13
3 KONETURVALLISUUS.....	14
3.1 Koneturvallisuuden periaatteet EU ja ETA-alueella.....	14
3.2 Työtaturmat Suomessa	14
4 LAINSÄÄDÄNTÖ	17
4.1 Konedirektiivi	17
4.2 Työnantajan velvollisuudet.....	17
4.2.1 Työturvallisuuslaki ja käyttöasetus	17
4.2.2 Vaaran arviointi ja poistaminen.....	18
4.3 Valmistajan velvollisuudet.....	18
4.3.1 Konelaki ja koneasetus	18
4.3.2 Vaatimustenmukaisuusvakuutus	19
4.4 Standardit	20
4.4.1 Yhdenmukaistettu standardi	20
4.4.2 Standardeissa esiintyvien kirjaimien merkitys	20
4.4.3 Standardien hierarkia.....	21
4.4.4 A-typin standardit.....	21
4.4.5 B-typin standardit	22
4.4.6 C-typin standardit	22
5 RISKIN ARVIOINTI.....	22
5.1 Riski	23
5.2 Riskin arvioinnin vaiheet	23
5.3 Riskin osatekijät.....	24
5.4 Riskiluokittelu.....	26
5.5 Riskiluokat	26
5.6 Toimenpiteet riskien vähentämiseksi.....	27
5.7 Riskin arvioinnin dokumentointi	28
6 KÄYNNISTÄMINEN JA PYSÄYTTÄMINEN	28

6.1	Odottamaton käynnistyminen	28
6.2	Koneen pysäyttäminen	29
6.2.1	Pysäytysluokat	29
7	TURVALAITTEET JA SUOJUKSET	29
7.1	Toimintaan kytkentä turvalaite	30
7.2	Tunnistava turvalaite	31
7.2.1	Vähimmäisetäisyys vaaravyöhykkeestä	31
7.3	Suoja-aidat ja turvaetäisyydet	32
7.4	Suojukseen tai turvalaitteeseen vaikuttamisen taajuus	32
8	TURVALLISUUTEEN LIITTYVÄ OHJAUSJÄRJESTELMÄ.....	33
8.1	Suoritustaso	33
8.2	Vaarallisen vikaantumisen todennäköisyyteen vaikuttavat tekijät	34
8.2.1	Luokat	34
8.2.2	Keskimääräinen vikaantumisaika (MTTF _d)	34
8.2.3	Diagnostiikan kattavuus (DC)	35
8.2.4	Yhteisvikaantuminen (CCF).....	35
8.3	Suoritustason kelpuus	36
8.4	Yhteisvaikutus.....	37
8.5	SISTEMA –ohjelmistotyökalu.....	37
8.6	Suoritustason määrittäminen.....	38
8.6.1	Turvatoiminto ja toiminnallinen kuvaus	39
8.6.2	Ominaisuudet	39
8.6.3	Vikaantumisen todennäköisyys	40
9	TYÖN TOTEUTUS	41
9.1	Riskit lasinleikkauslinjoilla.....	41
9.1.1	Kuljetinvaunu	41
9.1.2	Leikkauskone	42
9.1.3	Materiaali	42
9.1.4	Ympäristö	42
9.1.5	Vaurioituneen levyn tuotannosta poistaminen	43
9.2	Järjestelmien toimintaperiaatteet	43
9.3	Bottero.....	44
9.3.1	Kuljetinvaunu ohjausjärjestelmä	44
9.3.2	Leikkauskone ohjausjärjestelmä.....	49
9.4	Lisec	49
9.4.1	Kuljetinvaunu ja leikkauskone	49
9.5	Turvallistaminen	50
9.5.1	Alkuosan suojaaminen.....	51

9.5.2 Ovet	52
9.5.3 Suoja-aidat	53
9.6 SISTEMA-arviointi.....	54
9.7 Jäännösriskit.....	58
9.8 Yhteenveto	58
LÄHTEET	62
LIITTEET	

MÄÄRITELMÄT

Opinnäytetyössä esiintyviä määritelmiä

Kone tarkoittaa yhdistelmää jossa osat tai komponentit on liitetty yhteen ja jossa on vähintään yksi liikkuva. Yhdistelmä on koottu tarkoitettuja toimintoja varten ja se on varustettu energiansyötöllä. (SFS-EN ISO 12100, 12)

Riski on vahingon seurausten vakavuuden ja tapahtuman todennäköisyyden yhteisvaikutus. (SFS-EN ISO 12100, 14)

Vaaravyöhyke on koneessa tai sen ympärillä oleva alue, jossa henkilö voi altistua vaaralle. (SFS-EN ISO 12100, 14)

Vaara on vahingon mahdollinen aiheuttaja (SFS-EN ISO 12100, 14)

Jäännösriski on jäljelle jäävä riski suojaustoimenpiteiden toteuttamisen jälkeen (SFS-EN ISO 12100, 16)

Turvalaite tarkoittaa suojausteknistä laitetta, mutta ei suojusta (SFS-EN ISO 12100, 20)

Turvaetäisyys tarkoittaa vähimmäisetäisyyttä, jolle suojaava rakenne on sijoitettava vaaravyöhykkeestä (SFS-EN ISO 13857, 10)

Suojus tarkoittaa suojauksesta vastaavaa fyysistä estettä. (SFS-EN ISO 12100, 18)

1 JOHDANTO

Koneita voidaan käyttää entistä vaativimmissa sovelluksissa teknologian kehityksen myötä. Automaatioasteen kasvaessa koneiden turvallisuutta joudutaan tarkastelemaan uudesta näkökulmasta ihmisen työtehtävien siirtyessä suorittavasta työstä valvovaan työhön.

Koneturvallisuuteen kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Tavoitteena on tehdä koneista aiempaa turvallisempia ja käyttäjäystävällisempiä vaatimuksia yhdenmukaistamalla sekä valvomalla niiden noudattamista. Koneiden ja työympäristöjen turvallisuuteen vaikuttaa monet tekijät ja niiden huomioiminen vie sekä aikaa, että resursseja. Varsinkin pienemmissä yrityksissä ei aina ole riittävästi resursseja todellisen turvallisuustason määrittämiseen ja vaadittavien turvallistamistoimenpiteiden toteuttamiseen.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus perehtyä lasinleikkauslinjojen koneturvallisuuteen sekä esisuunnitella turvallistaminen. Selvitän eri vaihtoehtoja ja mahdollisuuksia toteuttaa linjojen turvallistaminen. Teoriaosuudessa käyn läpi koneiden turvallistamisessa huomioitavia asioita ja vaatimuksia.

Aloitan työni haastattelemalla koneiden käyttäjiä sekä tutustumalla kyseessä olevaan prosessiin sekä koneisiin. Tämän jälkeen tunnistetaan vaaratekijät lasinleikkauslinjalta ja suoritetaan riskin arviointi. Jokainen tunnistettu vaaratekijä arvioidaan erikseen, tapahtuman todennäköisyyden ja seurauksen vakavuuden perusteella. Riskin arviointiin käytän Tapio Siirilä Koneturvallisuus 2 kirjassa esitettyjä lukuarvoja, jotka pohjautuvat brittistandardiin BS 8800. Arvioinnin perusteella riskille saadaan suuruusluokka, jonka lukuarvo määrittää vaadittavat toimenpiteet riskin vähentämiseksi. Keinoja riskin vähentämiseksi on syytä pohtia, jos riskin on todettu olevan vähintään kohtalaista luokkaa. Riskin arvioinnin jälkeen perehdyn koneiden sähköjärjestelmiin koneturvallisuuden näkökulmasta. Riskien arvioinnissa saadut tulokset määrittävät ohjauksen turvallisuuteen liittyvien

osien vaatimukset. Riskien pienentämiseksi toteutettujen turvallistamistoimenpiteiden jälkeen on syytä arvioida riskit uudelleen.

1.1 Projektin rajaus ja tavoitteet

Tavoitteena on ottaa selvää koneille asetetuista vaatimuksista ja määräyksistä sekä pohtia vaihtoehtoja tuotantolinjojen turvallistamisen toteuttamiseksi. Työssä ei tehdä turvallistamista käytännössä. Tilaajalla tulisi olla projektin loputtua käsitys siitä mitä kyseessä olevien koneiden turvallistaminen käytännössä vaatii ja mitä sitä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon.

1.2 Tilaajayritys

Seloy Oy on Huittisissa sijaitseva erilaisten lasien valmistukseen erikoistunut perheyritys. Yritys työllistää keskimäärin 55 henkilöä ja liikevaihto (2013–2014) oli 9,2 miljoonaa euroa. Tuotantotiloissa on neljä lasinleikkauslinjaa. Eristyslaseja varten on kolme tuotantolinjaa. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 1000 neliometriä eristyslaseja työvuoron aikana. Kyseessä on Suomen suurin eristyslasein valmistaja. (Seloy materiaali)



Kuva 1. Lasitettu julkisivu (Seloy materiaali)

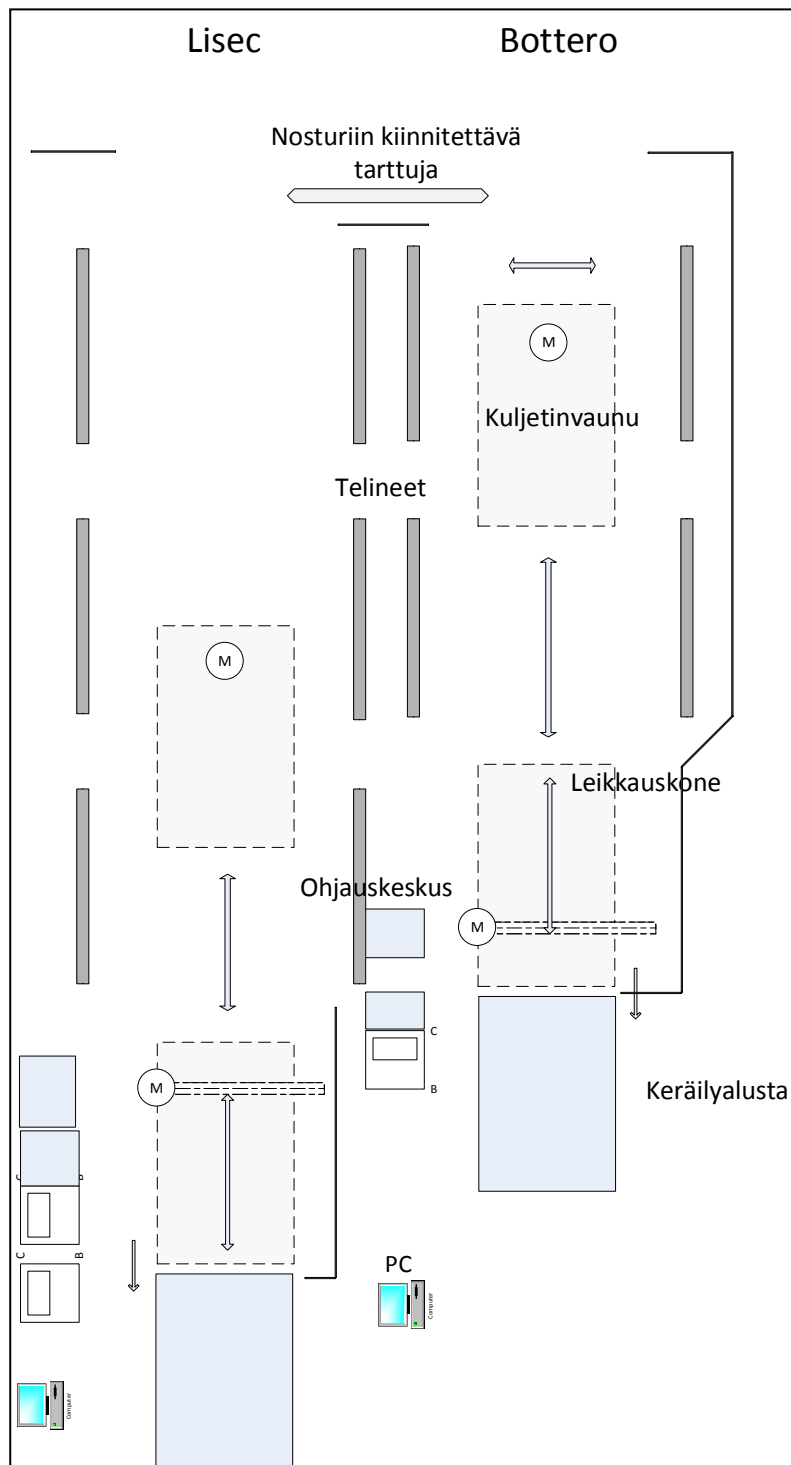
2 TUOTANTOLINJAT

Lasinleikkauslinjaan (Kuva 2) kuuluu lasilevyjä kuljettava ja poimiva vaunu sekä leikkauskone. Linjoja on kaksi vierekkäin, italialaisvalmisteinen Bottero ja itävaltalaisvalmisteinen Lisec. Lisecin toimittama linja on otettu käyttöön vuonna 1996 ja Botteron toimittama vuonna 2004. Tuotantolinjat ovat itsenäisiä eivätkä ole mitenkään yhteydessä keskenään. Ulkoisesti linjat näyttävät samanlaisilta pieniä yksityiskohtia lukuunottamatta. Eroja toiminnasta kuitenkin löytyy koneita tarkemmin vertailemalla ja sähkökuvia tutkimalla.

Lasilevyt ovat 6,000m*3,120m kokoisia ennen leikkaamista. Levyn massa riippuu tietysti levyn paksuudesta ja muista ominaisuuksista. Kyse on kuitenkin useita satoja kiloja painavista kappaleista.

Lasilevyjen työstäminen alkaa levynipun siirtämisellä telineeseen (Kuva 3) hakua odottamaan. Niput siirretään tuotantoon manuaalisesti, nosturiin kiinnitettävän tarttujan avulla. Tarttujan on sijoitettu päätyyn, tuotantolinjojen välissä olevaan aitaan nojaamaan. Levynippujen siirtäminen vaatii runsaasti vapaata tilaa, koska esteeseen osuessaan lasinippu saattaa vaurioitua ja levy myöhemmässä tuotannonvaiheessa särkyä. Nippujen väliin on asetettu välipahvit erottamaan niput toisistaan.

Kuljetinvaunun tarttujat poimivat yksittäisen levyn telineellä olevasta nipusta, jonka jälkeen kuljetinvaunu siirtää sen leikkauskoneelle. Leikkauskone (Kuva 4) leikkaa lasilevyn PC:llä määritetyn mallin mukaiseksi levyiksi. Leikkauskone ja kuljetinvaunu vaihtavat tietoa keskenään. Levyn leikkaamisen ollessa vielä kesken kuljetinvaunulta tulevaa uutta levyä ei voida siirtää leikkauskoneelle, jolloin levy jää odottamaan kuljetinvaunun päälle ja vaunun toiminta pysähtyy. Tieto siitä, että leikkauskone on leikannut ja on valmis vastaanottamaan uuden levyn välitetään kuljetinvaunulle, jolloin levyn siirtäminen voi alkaa. Levy siirtyy kuljetinvaunun pyörievien rullien päällä leikkauskoneelle. Levyn siirtymistä valvotaan koneiden väliin sijoitetulla rajakytkimellä. Leikkauskone kohdistaa levyn, jonka jälkeen leikkaaminen voi alkaa. Leikatut levyt siirtyvät leikkauskoneen hihnakuljettimilla keräilyalueelle, josta työntekijät poimivat halutut levyt jatkotuotantoa varten.



Kuva 2. Tuotantolinjan layout lähtötilanteessa.



Kuva 3. Tuotantolinjan alkuosa



Kuva 4. Tuotantolinjan loppuosa

2.1 Vaatimusten asettaminen

Käyttäjät, koneet ja prosessit määrittävät reunaehdot koneiden turvallistamiselle. Täydellisen turvallisuuden ja toiminnallisten vaatimusten täytyy olla tasapainossa keskenään. Tämä tarkoittaa, että jos esimerkiksi turvallisuus viedään äärimmäisyyksiin toiminnallisuus alkaa heikentyä ja päinvastoin. Riittävä turvallisuus on kuitenkin varmistettava.

Projektin alussa käytiin tilaajan kanssa läpi ehdot joiden puitteissa turvallistamista ryhdytään suunnittelemaan. Turvallistaminen ei saa aiheuttaa vahinkoa tuotteiden laadulle, eikä synnyttää uusia riskejä. Keskeiset reunaehdot:

Pääty aukkoa ei saa kaventaa

- Perusteet: Lasilevyjä telineisiin nostettaessa vaarana on, että suuret levyt osuvat johonkin ja niihin tulee säröjä.

Leikkauskoneen ja kuljetinvaunun täytyy toimia itsenäisesti.

- Perusteet: Tuotannon joustavuus kärsii, jos molemmat koneet pysähtyvät toiselle vaara-alueelle mentäessä. (Esimerkiksi välipahvien poisto)

Prosessia ei saa keskeyttää vaiheessa, jossa lasilevyä nostetaan telineiltä.

- Perusteet: Tämä aiheuttaa ongelmia tuotannon sujuvassa jatkamisessa ja levyn vahingoittumisen riski kasvaa

Molemmille linjoille täytyy kyetä tuomaan lasilevyjä yhtä aikaa.

- Perusteet: Toisen linjan suojaus ei saa olla esteenä toisen linjan toiminnalle.

3 KONETURVALLISUUS

3.1 Koneturvallisuuden periaatteet EU ja ETA-alueella

Koneturvallisuuden direktiivit koskevat Euroopan Unionin (EU) jäsenmaiden lisäksi kaikkia Euroopan talousalueeseen kuuluvia (ETA) maita. ETA-alueeseen kuuluu Euroopan Unionin jäsenvaltioiden lisäksi Norja, Islanti ja Liechtenstein. Direktiivejä asettaessa tavoitteena on ollut tavaroiden ja koneiden vapaa liikkuminen ETA-alueella määrättyin ehdoin. ETA-alueella vapaasti liikkuaakseen koneiden ja tavaroiden tulee täyttää niille asetetut turvallisuus- ja muut vaatimukset. Periaatteena on, että ETA-alueeseen kuuluvassa valtiossa vaatimukset täyttävä kone voidaan saattaa markkinoille ja myös myydä muissa ETA-maissa laillisesti. ETA-alueen ulkopuolelta tuotu kone katsotaan uudeksi koneeksi ja tarkastellaan sen mukaisesti. (Siirilä 2008b, 25)

1980-luvulla Euroopan talousyhteisö (EEC) otti käyttöön uuden menettelytavan direktiivien tekemiseen ja ylläpitämiseen. Nykyisissä direktiiveissä esitetään vain yleiset vaatimukset aiempien yksityiskohtaisten vaatimusten sijaan. Direktiivejä täsmennetään yhdenmukaistetuissa standardeissa, jotka EU teettää Euroopan standardisoimisjärjestöillä. Kansainväliset standardoimisjärjestöt ISO ja IEC ovat olleet halukkaita osallistumaan Euroopan koneturvallisuuden standardisoimiseen, tavoitteenaan luoda saman sisältöisiä standardeja maailmanlaajuisesti. (Siirilä 2008b, 25–26)

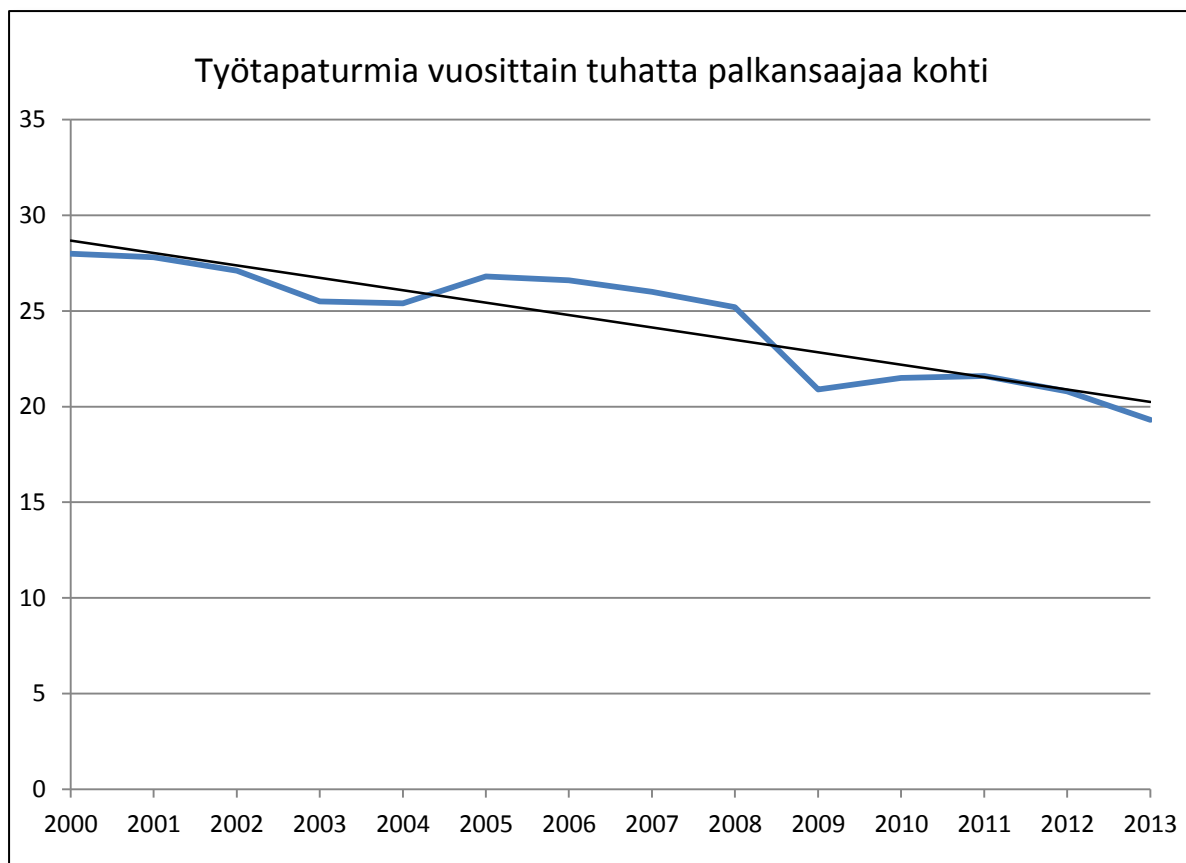
3.2 Työtaturmat Suomessa

Työterveyslaitoksen mukaan Suomessa sattuu vuodessa 130 000 työtaturmaa, joista 50 000 tapausta aiheuttaa vähintään neljän päivän poissaolon (Taulukko 1). Työtaturmissa kuolee vuosittain 50 ihmistä. Suomessa työhön liittyvät tapaturmat jaetaan työmatkalla sattuneisiin ja työpaikalla sattuneisiin tapaturmiin. Työmatkoilla sattuu vuodessa 20 000 tapaturmaa, joista 15–20 johtaa kuolemaan. (Työterveyslaitoksen www-sivut 2015)

Tapaturmavakuutuslaitosten liitto (TVL) ja Tilastokeskus julkaisevat virallisia työtapaturmatilastoja. Tässä opinnäytetyössä käytetyt Työterveyslaitoksen (Taulukko 1, Kuvaaja 1) tilastot on muokattu työsuojelu- ja tutkimustarkoituksiin.

Vuosi	Työtapaturmia alueella	Palkansaajia alueella	Työtapaturmia tuhatta palkansaajaa kohti alueella	Indeksi
2000	55 748	1 984 007	28	100
2001	55 596	1 993 065	27,8	99
2002	54 390	2 002 679	27,1	96
2003	51 593	2 018 645	25,5	90
2004	51 593	2 026 159	25,4	90
2005	54 364	2 027 858	26,8	95
2006	55 242	2 074 629	26,6	94
2007	55 448	2 128 254	26	92
2008	53 991	2 137 027	25,2	89
2009	42 998	2 053 431	20,9	74
2010	44 995	2 085 779	21,5	76
2011	45 634	2 104 914	21,6	77
2012	43 590	2 091 030	20,8	74
2013	40 479	2 091 030	19,3	68

Taulukko 1. Vuosittain vähintään 4 sairauspoissaolopäivää aiheuttaneiden tapaturmien määrät.



Kuvaaja 1. Työtapaturmien määrä vuosittain tuhatta palkansaajaa kohti.

Kuvaaja 1 havainnollistaa vähintään neljän päivän sairauspoissaoloon johtaneiden työtapaturmien määrän kehitystä 2000–2013 välisenä aikana. Siniseen kuvaajaan sovitetusta trendiviivasta voidaan helposti todeta työtapaturmien määrän myönteinen kehitys.

4 LAINSÄÄDÄNTÖ

Koneiden suunnitteluun, valmistukseen ja käyttöön liittyy monia asetuksia ja määräyksiä, jotka täytyy ottaa huomioon. Tavoitteena on tehdä koneista turvallisia sekä yhdenmukaistaa koneiden turvallisuuteen liittyviä vaatimuksia lainsäädännön avulla.

Suomessa koneiden turvallisuudesta säädetään ns. konelaisissa (2004/1016) ja työturvallisuuslaissa (738/2002). Näissä laeissa esitetään kuitenkin vain yleiset periaatteet, joita tarkennetaan asetuksilla ja päätöksillä. (Siirilä 2008b, 27)

4.1 Konedirektiivi

Konedirektiivissä esitetään koneturvallisuuden perusvaatimukset yleisesti. Alkuperäinen konedirektiivi (89/392/ETY) tuli Suomessa voimaan vuonna 1994 Suomen liityttyä EU:hun. Koska EU ei voi säätää jäsenvaltioiden lakeja tuotiin konedirektiivi Suomen lainsäädäntöön valtioneuvoksen päätöksellä (1410/1993). Vuonna 2006 konedirektiivi uusittiin ja uudeksi tunnukseksi tuli (2006/42/EY). Suomen lainsäädäntöön uusi konedirektiivi tuotiin valtioneuvoksen päätöksellä (400/2008) koneiden turvallisuudesta. Vaatimukset astuivat voimaan 29.12.2009. Konedirektiivi koskee vuoden 1994 jälkeen hankittuja koneita ja sen vaatimukset on pääasiassa suunnattu koneiden valmistajille. Työturvallisuuslaki ja käyttöasetus taas velvoittavat työnantajat hankkimaan konedirektiivin mukaisia koneita, joten konedirektiivi koskee työnantajaa tätä kautta. (Siirilä 2008a, 19,28)

4.2 Työnantajan velvollisuudet

4.2.1 Työturvallisuuslaki ja käyttöasetus

Työturvallisuuslain tarkoituksena on parantaa työympäristöä ja työolosuhteita työntekijöiden turvallisuuden varmistamiseksi. Työnantaja on velvollinen huolehtimaan työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä työssä. Työnantajan

tulee jatkuvasti tarkkailla työympäristöä, työyhteisön tilaa ja työtapojen turvallisuutta. Työnantajan on riittävän järjestelmällisesti selvitettävä ja tunnistettava työstä, työajoista, työympäristöstä ja olosuhteista aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät, sekä arvioitava niiden merkitys työntekijöiden turvallisuudelle. Mikäli työnantajalla ei ole riittävää asiantuntemusta työympäristön ja työolosuhteiden parantamiseksi on hänen käytettävä ulkopuolisia asiantuntijoita. Työnantajan tulee varmistua ulkopuolisen asiantuntijan pätevyydestä ja muista edellytyksistä suorittaa tehtävä. (Työturvallisuuslaki 738/2002, 8§, 10§)

Työturvallisuuslakia täsmennetään käyttöasetuksella. Käyttöasetuksella tarkoitetaan valtioneuvoston asetusta 2008/403 työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. Soveltamisala määräytyy työturvallisuuslain mukaan ja sitä sovelletaan kaikkiin työvälineisiin. (Käyttöasetuksen soveltamissuosituksia 2013, 10)

4.2.2 Vaaran arviointi ja poistaminen

Työvälineen käytön aiheuttaessa vaaraa on työnantajan ryhdyttävä toimenpiteisiin vaaran poistamiseksi. Ensisijaisesti vaara täytyy poistaa työvälineen rakenteeseen tai sen ympäristöön liittyvillä teknisillä toimenpiteillä. Tällä tarkoitetaan toimia kuten vaara-alueelle pääsyn estämistä tai vaarallisten osien liikkeiden pysäyttämistä ennen vaara-alueelle ehtimistä. Jos vaaraa ei ole mahdollista poistaa kokonaan tulee työvälineen käytön turvallisuus varmistaa opastuksella, varoituslaitteilla, turvamerkeillä ja henkilösuojaimilla. (Vna 2008/403, 4§)

4.3 Valmistajan velvollisuudet

4.3.1 Konelaki ja koneasetus

Konelain (2004/1016) tarkoituksena on varmistaa että kone on vaatimusten mukainen. Kone ei saa aiheuttaa tapaturman vaaraa eikä vaarantaa terveyttä, käytössä johon valmistaja on sen tarkoittanut. Konelaki velvoittaa koneen valmistajan suunnittelemaan ja valmistamaan koneen sellaiseksi, että se soveltuu

sille tarkoitettuun käyttöön. Mikäli vaaratekijää ei voida poistaa on käytettävä tarkoituksenmukaisia suojaustoimenpiteitä. (Konelaki 2004/1016, 1§, 4§)

Valmistajan tulee koneen ominaisuuksien edellyttämällä tavalla (Konelaki 2004/1016, 5§):

- Osoittaa luotettavasti, että kone on vaatimusten mukainen
- Koota tekniset asiakirjat vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi
- Laatia mukana toimitettavat käyttöohjeet
- Lisätä koneeseen merkintä vaatimustenmukaisuudesta

Koneasetuksella täsmennetään konelakia. Puhuttaessa koneasetuksesta tarkoitetaan Suomessa valtioneuvoksen asetusta 2008/400 koneiden turvallisuudesta. Ennen markkinoille saattamista ja käyttöön ottamista koneen valmistajan on koneasetuksen mukaan varmistettava seuraavat seikat (Vna 2008/400, 5§):

- Koneen tulee täyttää sitä koskevat turvallisuus- ja terveystvaatimukset
- Teknisen tiedoston täytyy olla käytettävissä
- Koneessa on tarvittavat tiedot, kuten ohjeet
- Vaatimustenmukaisuus on arvioitu asianmukaisesti
- Vaatimustenmukaisuusvakuutus on laadittava ja toimitettava koneen mukana
- CE-merkintä tulee kiinnittää koneeseen

4.3.2 Vaatimustenmukaisuusvakuutus

Valmistajan tulee laatia koneesta vaatimustenmukaisuusvakuutus, jossa valmistaja allekirjoituksellaan vakuuttaa koneen täyttävän kaikki sitä koskevat vaatimukset. Tämän allekirjoittamisen jälkeen tehdään koneeseen CE-merkintä ja kone voidaan tuoda markkinoille. CE-merkintä on vaatimustenmukaisuusmerkintä. Merkinnän tulee näkyä selkeästi, eikä koneeseen saa kiinnittää merkkejä, joita voi erehtyä pitämään CE-merkintänä. (Vna 2008/400, 9§; Koneturvallisuus säädökset ja soveltaminen 2007, 12)

4.4 Standardit

Standardit ovat direktiivejä yksityiskohtaisempia kuvauksia koneille asetetuista vaatimuksista. Standardeissa kuvataan muuttuvaa ja kehittyvää tekniikan tasoa, joka koneen tulee täyttää ollakseen konedirektiivin mukainen. Muodollisesti standardit eivät ole velvoittavia, mutta käytännössä niitä on lähes aina noudatettava. Mikäli standardeista poiketaan, on muilla keinoin osoitettava, että vaadittu turvallisuustaso saavutetaan. Tämä voi olla hankalaa, joten on luontevaa käyttää standardeja.

(Siirilä 2008b, 25–26; Siirilä 2008a, 58–59)

4.4.1 Yhdenmukaistettu standardi

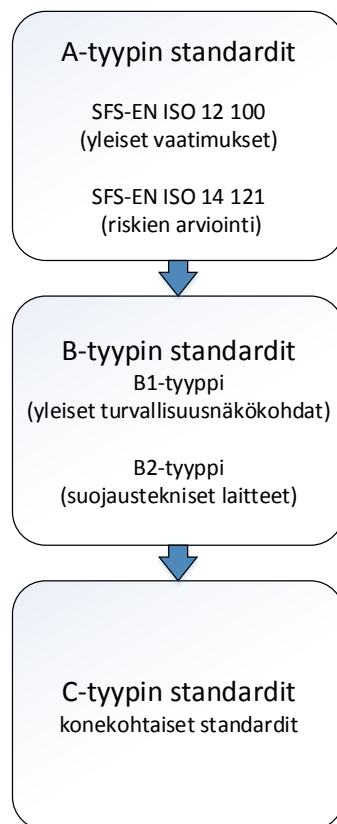
Suurin osa koneturvallisuuden standardeista on yhdenmukaistettuja, mutta ei kuitenkaan kaikki. Yhdenmukaistetulla standardilla tarkoitetaan EU:n teettämää EN-standardia, joka liittyy konedirektiivin olennaiseen turvallisuusvaatimukseen. Standardin tunnuksen ja otsikon julkaiseminen Euroopan unionin virallisessa lehdessä (EUVL) vahvistaa, että kyseinen standardi tarjoaa yleisesti hyväksytyntavan toteuttaa konedirektiivin vaatimukset. (Metsta koneturvallisuuden www-sivut 2015)

4.4.2 Standardeissa esiintyvien kirjaimien merkitys

Kirjainyhdistelmät (ISO, EN, SFS, jne.) osoittavat minkä maan organisaation hyväksymä standardi on kyseessä. Valtioilla on eri kirjainyhdistelmiä. Esimerkiksi SFS-EN tarkoittaa että standardi on voimassa Suomessa ja Euroopassa. SFS-EN ISO puolestaan tarkoittaa että kyseessä oleva standardi on hyväksytty kaikissa kolmessa organisaatiossa. ISO kirjainyhdistelmä tarkoittaa kansainvälistä standardisointiorganisaatiota. (SFS www-sivut 2015)

4.4.3 Standardien hierarkia

Standardit jaetaan A-, B- ja C-tyyppin standardeihin. Ne muodostavat kolmitasoisin järjestelmän. Ylimmällä tasolla on yleiset kaikkia koneita koskevat A-tyyppin standardit. A-tyyppin standardit on tarkoitettu erityisesti ohjeiksi B- ja C-tyyppin standardien tekijöille. B-tyyppin standardeissa on useimpia yleisiä koneita koskevia vaatimuksia ja C-tyyppin standardit ovat konekohtaisia. (Siirilä 2008b, 31)



Kuva 5. Standardien hierarkia mukailten (Siirilä 2008b, 31)

4.4.4 A-tyyppin standardit

A-tyyppin standardit ovat kaikkia koneita koskevia, yleisiä standardeja. Niissä määritellään koneita koskevat turvallisuusvaatimukset yleisellä tasolla. A-tyyppin standardilla on myös tarkoitus osoittaa yleinen turvallisuustaso. Mikäli

yksityiskohtaisempaa standardia ei ole tarjolla sovelletaan A-tyyppin standardia. (Siirilä 2008a, 59–60)

4.4.5 B-tyyppin standardit

B-tyyppin standardit käsittelevät koneisiin liittyviä tekijöitä kuten (melu, valaistus, syntyvät pölyt, kaasut, hätäpysäytin, toimintaan kytketyt suojukset, valoverhot jne.) ja turvatoimintoja kuten (odottamattoman käynnistymisen estäminen). (Siirilä 2008a, 60)

B-tyyppin standardit jaetaan kahteen luokkaan, B1- ja B2-tyyppin standardeihin.

- B1-tyyppin standardeissa määritellään yksittäisiä turvallisuusnäkökohtia
 - B2-tyyppin standardit koskevat suojausteknisiä laitteita
- (SFS-EN ISO 13855, 8)

4.4.6 C-tyyppin standardit

C-tyyppin standardit käsittelevät tiettyä konetta tai koneryhmää. C-tyyppin standardia kannattaa hyödyntää, mikäli koneesta sellainen on olemassa. C-tyyppin standardeissa on viittauksia A- ja B-tyyppin standardeihin, koska ylemmillä tasoilla esitettyjä asioita ei toista muissa standardeissa. C-tyyppin standardien lisäksi myös yleisiä standardeja tarvitaan, koska C-tyyppin standardeissa ei käsitellä kaikkia vaaratekijöitä. (Siirilä 2008a, 61)

5 RISKIN ARVIOINTI

Koneiden turvallisuussuunnittelussa konedirektiivi (2006/42/EY) ja sitä vastaava valtioneuvoston päätös (400/2008) edellyttävät riskin arviointiin ja hallintaan perustuvaa lähestymistapaa. Tavoitteena on pienentää tuotteen, prosessin tai palvelun käyttämisestä tai muusta hyödyntämisestä syntyvät riskit siedettävälle tasolle.

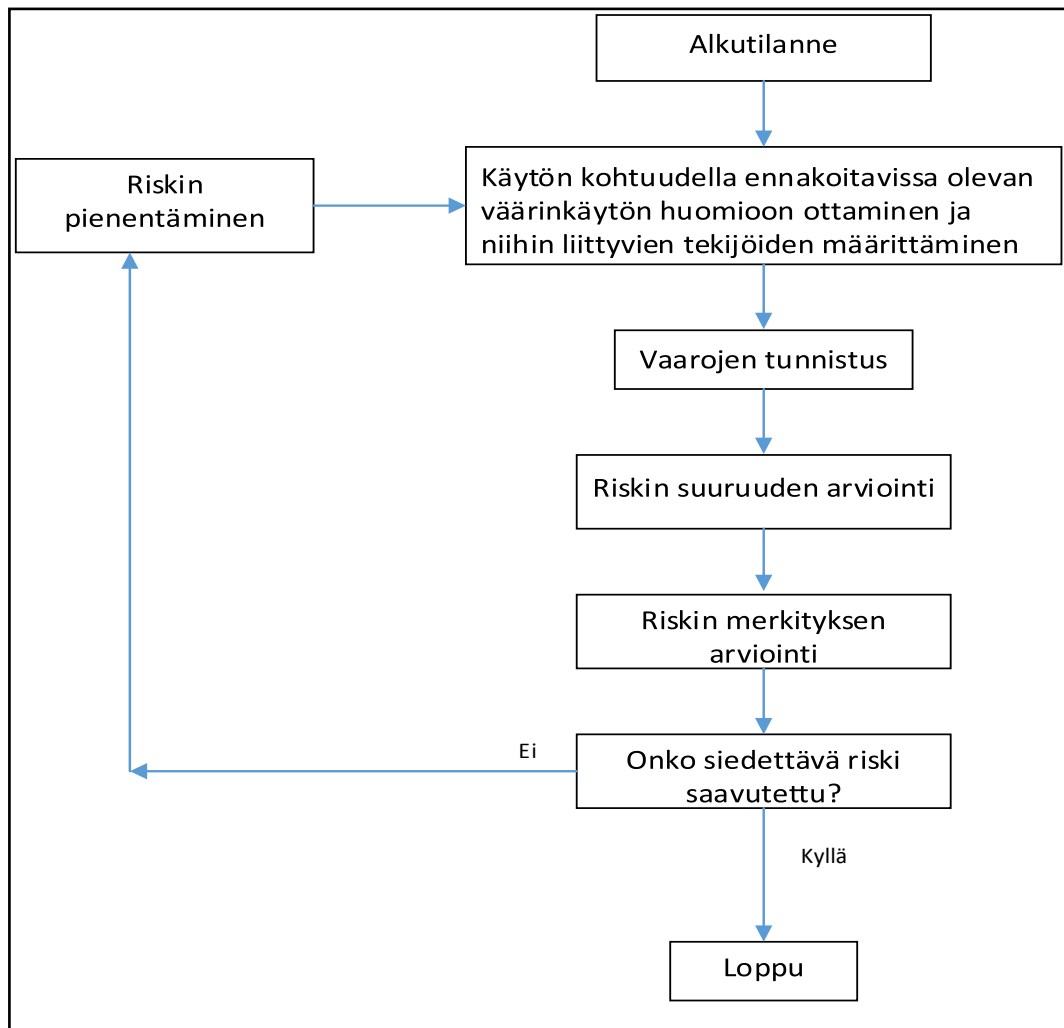
Siedettävän riskin tasoa määritettäessä on etsittävä tasapainoa toiminnallisten vaatimusten ja täydellisen turvallisuuden väliltä. Riskin arvioinnissa on myös syytä ottaa huomioon kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. (SFS-EN ISO 12100, 28)

5.1 Riski

Käsite riski tarkoittaa suunnilleen samaa asiaa niin puhekielessä kuin lainsäädännössä ja standardeissa. Riski muodostuu tapahtuman todennäköisyydestä ja mahdollisten seurausten vakavuudesta. Riskien luokitteluun on käytössä monia erilaisia taulukoita. Käytän riskin arviointiin Tapio Siirilän kirjassa esitettyä menetelmää, joka perustuu brittistandardiin BS 8800. (Siirilä 2008b, 77)

5.2 Riskin arvioinnin vaiheet

Riskin siedettävyyttä voidaan arvioida iteratiivisen arviointiprosessin avulla (Kuva 6.). Tämä tarkoittaa, että havaitut riskit arvioidaan uudelleen ja toimenpitein pyritään poistamaan tai pienentämään siedettävälle tasolle. Siedettävän riskin tasoa on tarpeellista tarkistaa toistuvasti uusien toteuttamiskelpoisten ratkaisujen löytämiseksi teknologian kehittyessä. (SFS-EN ISO 12100, 28)



Kuva 6. Riskin arvioinnin iteratiivinen itseään toistava arviointiprosessi. (SFS-EN-ISO 12100, 42)

Riskien arvioinnin jälkeen on syytä pohtia riskien merkitystä ja valita sopivat toimenpiteet riskien pienentämiseksi. Riskit tulee arvioida uudelleen jokaisen kerran jälkeen kun koneeseen tehdään muutoksia. Täytyy myös pohtia aiheutuiko toimenpiteistä uusia riskejä ja vähensivätkö ne riittävästi riskien suuruutta.

(SFS-EN-ISO 12100, 42)

5.3 Riskin osatekijät

Tapahtuman todennäköisyydelle ja seurausten vakavuudelle määritetään mahdollisen tapahtuman perusteella lukuarvo. Arviointia varten on olemassa useita eri

menetelmiä. Käyttämässäni menetelmässä riskiin vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan tiheällä asteikolla, joka lisää menetelmän tarkkuutta. Taulukoissa esiintyviä lukuarvoja ei ole tarkoituksella yritetty laittaa tarkasti kohdalleen, vaan lukuarvot ovat suuntaa antavia. (Siirilä 2008b, 92)

Todennäköisyys	
1	Tapahtuma on varma
0,9	Tapahtuu lähes varmasti
0,8	Hyvin todennäköinen
0,7	Todennäköinen
0,6	Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen ovat suunnitteen yhtä todennäköisiä
0,5	
0,4	Mahdollinen
0,3	Epätodennäköinen
0,2	Hyvin epätodennäköinen
0,1	Äärimmäisen epätodennäköinen, lähes mahdoton

Taulukko 2. Tapahtuman todennäköisyys (Siirilä 2008b, 92)

Seurausten vakavuus	
100	Kuolema
90	
80	Raajojen menetys tai muita pysyviä vammoja
70	
60	Raajan, silmän tai kuulon menetys
50	
40	Suuri luunmurtuma tai vaikea sairaus
30	Pieni luunmurtuma tai palautuva sairaus
20	Haava tai naarmuja
10	Mustelmia, naarmuja
1	Ei seurauksia

Taulukko 3. Seurausten vakavuus (Siirilä 2008b, 87)

5.4 Riskiluokittelu

Riskiä arvioitaessa todennäköisyyden ja seurausten vakavuuden tulona saadaan riskin suuruudelle lukuarvo. Alla olevassa taulukossa lukuarvot kuvaavat riskin suuruutta. Punaisella merkitty alue osoittaa riskin olevan vähintään kohtalainen. (Siirilä 2008b, 108)

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

Taulukko 4. Riskiluokittelu (Siirilä 2008b, 108)

5.5 Riskiluokat

Taulukosta 4 saatavan lukuarvon perusteella riskit luokitellaan viiteen luokkaan (Taulukko 5.). Riskiä vähentäviin toimenpiteisiin on syytä ryhtyä, mikäli riskin on todettu olevan vähintään kohtalaista luokkaa. (Siirilä 2008b, 109)

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

Taulukko 5. Riskiluokat (Siirilä 2008b, 109)

5.6 Toimenpiteet riskien vähentämiseksi

Riskin arvioinnin perusteella ryhdytään toimenpiteisiin riskin pienentämiseksi, mikäli riski on todettu olevan kohtalainen tai suurempi. Riskin suuruusluokan mukaan määritetään vaadittavat toimenpiteet. Toisin sanoen mitä suurempi riskin on todettu olevan, sitä merkittävämpiä turvallistamistoimenpiteitä täytyy toteuttaa, jotta vähintään siedettävän riskin taso saavutettaisiin. Suojauksen perustaminen yhteen vankkaan suojaustapaan ei ole paras mahdollinen tapa, sillä sen vikaantuessa ihminen altistuu heti koneen kaikille vaaroille. Suojauksen tulisi perustua toisiaan täydentäviin suojaustoimenpiteisiin, jotka rinnakkain tai päällekkäin estävät ihmisen ja vaaratekijän kohtaamisen. (Siirilä 2008b, 110)

Riskiluokka	Tarvittavat toimenpiteet
Vähäinen	Ei toimenpiteitä
Siedettävä	Riskin suuruutta on seurattava ja valvottava. Tarvittaessa riski on arvioitava uudelleen.
Kohtalainen	Toimenpiteisiin riskin vähentämiseksi täytyy ryhtyä ja toimenpiteiden toteuttamiselle on laadittava aikataulu
Merkittävä	Ennen kuin riskiä vähentävät toimenpiteet on tehty, työtä ei saa aloittaa. Työn teon keskeyttämistä tulee harkita ja riskin poistaminen tai vähentäminen tulee suorittaa kiireellisesti
Sietämätön	Työtä ei saa aloittaa ja käynnissä oleva työ tulee keskeyttää. Mikäli riskiä ei saada vähennettyä, täytyy työn teko kieltää

Taulukko 6. Toimenpiteet riskien vähentämiseksi (Siirilä 2008b, 109)

Kolmen kohdan riskin vähentämismenetelmä ensisijaisuusjärjestyksessä:

1. Ensisijaisesti riskit poistetaan suunnittelulla ja rakenteellisilla keinoilla.
2. Mikäli riskiä ei saada vähennettyä riittävästi tai poistettua kokonaan tulee ottaa käyttöön suojaustekniikkaa.

3. Viimeiseksi turvaudutaan muihin turvallisuustoimenpiteisiin kuten ohjeisiin, varoituksiin, koulutukseen ja henkilösuojaimiin.

(Käyttöasetuksen soveltamissuosituksia 2013, 15)

5.7 Riskin arvioinnin dokumentointi

Standardissa SFS-EN ISO 12100 esitetään riskin arvioinnin dokumentoinnin vähimmäisvaatimukset. Dokumentointi tulee tehdä huolellisesti ja yksityiskohtaisesti. Riskien arvioinnista on järkevää laatia yhteenveto, josta näkyvät keskeiset tulokset. (Siirilä 2008b, 112)

6 KÄYNNISTÄMINEN JA PYSÄYTTÄMINEN

Koneasetuksen (400/2008) liitteessä 1 kohdassa 1.2.3 esitetään koneen käynnistymiseen liittyvät perusvaatimukset

6.1 Odottamaton käynnistyminen

Standardissa SFS-EN 1037 +A1 määrittellään vaatimuksia liittyen odottamattomaan käynnistymiseen. Sen mukaan ohjausjärjestelmän tulee olla suunniteltu siten, että pysäytyspainikkeella annettu pysäytyskäsky on ensisijainen käynnistyskäskyyn nähden. Laitteissa on myös oltava toiminnot joilla pysäytyksessä järjestelmään jäävä energia voidaan purkaa vaara aiheuttamatta. (SFS-EN 1037 +A1, 12, 18)

Tavallinen syy vakaville tapaturmille on koneen odottamaton käynnistyminen. Kone suorittaa odottamattoman liikkeen, johon käyttäjä ei ollut varautunut. Tällainen ei aiheuta vaaraa, ellei koneen vaarakohdassa ole ketään. Tilanteessa, jossa vaara-alueella työskennellään ja kone tekee odottamattoman liikkeen, on erittäin suuri tapaturman riski. Tilanteesta tekee entistä vaarallisemman, jos koneen liikkeet ovat nopeita eikä väistämiseen jää aikaa tai tilaa. Edellä kuvailtu tilanne on usein

seurausta koneen heikosta suojauksesta ja vaarakohtiin on mahdollista päästä turvalaitteiden sitä havaitsematta. (Siirilä 2009, 259–260)

6.2 Koneen pysäyttäminen

Koneasetuksen (400/2008) liitteessä 1 kohdassa 1.2.4 esitetään koneen käynnistymiseen liittyvät perusvaatimukset.

6.2.1 Pysäytysluokat

Luokka 0: Järjestelmän energian syöttö katkaistaan välittömästi pysäytyskäskyn asetuttua.

Luokka 1: Energian syöttö katkaistaan heti kun liikkeet ovat pysähtyneet. Tämän pysäytysluokan pysäytystä käytetään esimerkiksi silloin, kun pysähtymisajat ovat pitkiä johtuen suurista liikuteltavista massoista. Järjestelmän katsotaan menneen turvalliseen tilaan vasta kaikkien liikkeiden loputtua.

Luokka 2: Pysäytyskäskyn asetuttua päälle järjestelmässä oleva energia ohjataan laitteiden hallittuun pysäyttämiseen. Energian syöttöä ei siis kytketä pois päältä. Koneen sujuva käyttäminen pysäytyksen jälkeen saattaa edellyttää tämän luokan pysäytystä. Luokan 2 pysäyksen tilaa on kuitenkin valvottava luotettavasti, koska odottamaton käynnistyminen on paljon todennäköisempää kuin luokan 0 tai luokan 1 pysäytyksessä. (Siirilä 2009, 277)

7 TURVALAITTEET JA SUOJUKSET

Koneasetuksen liitteessä 1 kohdassa 1.4.1 esitetään suojuksia ja turvalaitteita koskevat yleiset vaatimukset.

Turvalaitteella tarkoitetaan suojausteknistä laitetta joka ei ole suojus. Turvalaitteen tarkoitus on poistaa tai pienentää riskiä yksin tai suojuksen liitettynä. Turvalaitteita

on erityyppisiä, erilaisilla ominaisuuksilla varustettuna. Turvalaitteiden ja suojusten tulee olla rakenteeltaan kestäviä. Niitä mitoittaessa ja valittaessa täytyy ottaa huomioon koneen suunniteltu käyttöikä sekä käyttöympäristö. Suoja-aidassa olevan oven tulee olla kestävä, jotta asennon tunnistava elin kuten rajakytkin toimii tarkoitetulla tavalla. Rajakytkintä ei saa käyttää pysäyttämään oven liikettä, koska sitä ei ole suunniteltu sellaiseen. Ajan mittaan väärinkäytettynä kytkin saattaa vaurioitua ja seurauksena olla mahdollisesti turvatoiminnon menettäminen. (Siirilä 2009, 344,372)

Kun ihmisen ja vaarakohdan välillä ei ole fyysistä suojaa tulee turvalaite asentaa riittävän etäälle vaarakohdasta, jotta havaitseminen tapahtuu ajoissa ja vaaralliset liikkeet ehtivät pysähtyä ennen vaarakohtaan ehtimistä. Vaatimus koskee myös ilman lukintaa olevaa toimintaan kytkettyä avattavaa suojusta. (Siirilä 2009, 381)

Suojusstandardissa SFS-EN 953 + A1 esitetään suojuksia koskevat täydentävät vaatimukset. Suojuksien ja turvalaitteiden valintaan vaikuttavia tekijöitä:

- Koneen ominaisuudet
- Ympäristön ominaisuudet
- Ihmisten toiminta ja ominaisuudet
- Suojusten ja turvalaitteiden ominaisuudet
- Turvalaitteiden ja ohjausjärjestelmän osuus riskin pienentämisessä
- Riskin arvioinnissa määritetyn riskin vakavuus
- Koneen tarkoitettu käyttö
- Koneeseen liittyvät vaarat
- Vaarakohtaan pääsyn luonne ja taajuus

(SFS-EN 953 + A1, 38; Siirilä 2009, 348)

7.1 Toimintaan kytkentä turvalaite

Turvalaite ja siihen yhteydessä oleva ohjausjärjestelmän osa estää koneen toiminnan tilanteissa, joissa ihmisen on mahdollista olla vaaravyöhykkeellä tai koneen toiminnasta saattaisi muuten aiheutua vaaraa. Suojuksessa voi myös olla lukinta, joka sallii turvalaitteeseen vaikuttamisen vain koneen ollessa turvallisessa tilassa.

Tavallisin toimintaan kytketty turvalaite on rajakytkin tai muu asemantuntoelin, joka on kytketty koneen ohjausjärjestelmään. (Siirilä 2009, 344)

7.2 Tunnistava turvalaite

Turvalaitteen tehtävä on tunnistaa vaaravyöhykettä lähestyvä henkilö ja synnyttää ohjausjärjestelmälle tästä viesti. Ohjausjärjestelmä reagoi viestiin pysäyttäen koneen ja estäen käynnistymisen havaitessaan ihmisen. Esimerkiksi valoverho kuuluu tunnistaviin turvalaitteisiin. (Siirilä 2009, 345)

7.2.1 Vähimmäisetäisyys vaaravyöhykkeestä

Vähimmäisetäisyys on määritettävä, jotta varmistutaan että koneiden liikkeet ovat pysähtyneet ennen kuin on mahdollista ulottua vaaravyöhykkeelle. Yleinen yhtälö riittävän etäisyyden määrittämiseen vaaravyöhykkeestä:

$$S=(K*T)+C$$

S on vähimmäisetäisyys millimetreinä

K on muuttuja (mm/s). Se saadaan kehon tai kehonosien liikenopeustiedoista

T on järjestelmän kokonaispysähtymisaika sekunneissa

C on lähestymisetäisyys millimetreinä

(SFS-EN ISO 13855, 24)

Esimerkkilaskema vähimmäisetäisyydestä valoverhoa käytettäessä. Voidaan olettaa, että turvalaiteen ylin valon säde asennettaisiin, niin korkealle ettei ihmisen ole mahdollista kurottaa sen yli vaarakohtaan. Tällöin voidaan käyttää standardissa SFS-EN ISO 13855 tilannetta varten esitettyä yhtälöä:

$$S = (2000 \times T) + 8 (d - 14).$$

Jossa **T** on järjestelmän kokonaispysähtymisaika sekunteina, joka muodostuu turvalaitteen reagoimisajasta t_1 ja ajasta jossa järjestelmä pysähtyy t_2 pysäytyskäskyn asetuttua. Vakio **2000** tarkoittaa ihmisen lähestymisnopeutta (mm/s) ja **d** on

turvalaitteen havaitsemiskyky (mm). Anturin havaitsemiskyvyn ollessa 14mm saadaan yhtälöstä: $S = (2000 \times T) = 2000T$. (SFS-EN ISO 13855, 52)

Käytettäessä yksi säteistä valopuomia, S vähimmäisetäisyys vaarakohdasta on laskettava yhtälöllä: $S = (1600 \times T) + 1200$. (SFS-EN ISO 13855, 32)

7.3 Suoja-aidat ja turvaetäisyydet

Fyysisten suojusten kattavuutta arvioidaan standardissa SFS-EN ISO 13857. Suoja-aidan läpi tai yli ei saa olla mahdollista ulottua vaarakohtaan. Aidan ali ryömiminen katsotaan riittävän hyvin estetyksi, jos aidan alle ei jää yli 180mm rakoa. Fyysisten esteiden on oltava hankalia ohittaa esimerkiksi kiipeämällä. Turvalaite tai suojuus ei myöskään saa olla helposti ohitettavissa. Standardissa SFS-EN ISO 13857 esitetyn taulukon perusteella määritellään vaadittava vähimmäisetäisyys vaarakohdasta. Verkkosuojuksissa olevien aukkojen kokoa pienentämällä voidaan vaadittavaa vähimmäisetäisyyttä lyhentää. Esimerkiksi aukon koon ollessa 12...30mm turvaetäisyydeksi riittää 120mm. (Siirilä 2009, 376, 381; SFS-EN ISO 13857, 22)

7.4 Suojukseen tai turvalaitteeseen vaikuttamisen taajuus

Valmistaja antaa turvalaitteen sähköiselle kestävyydelle jonkin arvon, jonka laite hyvin todennäköisesti kestää. Koneen suunniteltu käyttöikä on otettava huomioon suojuksien ja turvalaitteiden valinnassa, koska niiden tulisi kestää koneen koko käyttöiän ajan. Määritettäessä turvakomponentilta vaadittavia ominaisuuksia täytyy tietää komponenttiin vaikuttamisen taajuus ja tapa. Suojukset ja turvalaitteet tulee ylivoimittaa tai kahdentaa, jotta mahdollinen turvatoiminnon menettäminen saadaan riittävän epätodennäköiseksi. (Siirilä 2009, 372–373)

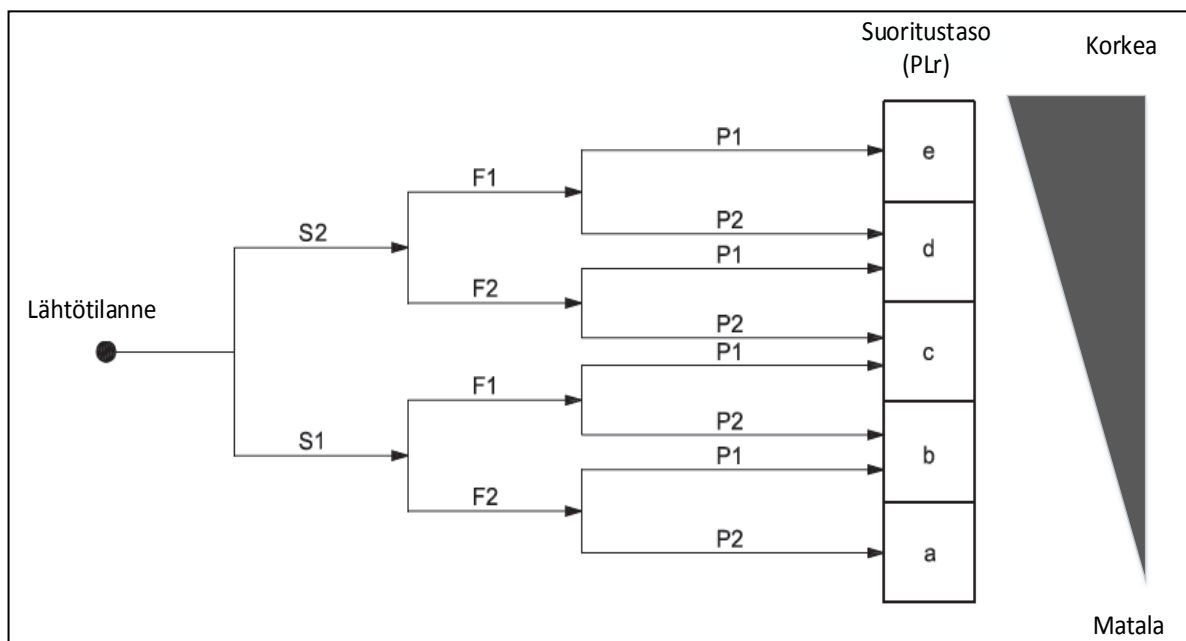
8 TURVALLISUUTEEN LIITTYVÄ OHJAUSJÄRJESTELMÄ

8.1 Suoritustaso

Järjestelmältä vaadittava turvallisuuden taso (PL_r) määritellään riskin arvioinnin perusteella. Turvallisuuden taso määrittelee vähimmäisvaatimukset turvallisuuteen liittyville ohjausjärjestelmän osille. (Suvela, T. 2010)

Suoritustaso PL	Keskimääräinen vaarallisen vikaantumisen todennäköisyys tunnissa (1/h)
a	$\geq 10^{-5} < 10^{-4}$
b	$\geq 3 \cdot 10^{-6} < 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6} < 3 \cdot 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7} < 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8} < 10^{-7}$

Taulukko 7. Suoritustasot (SFS-EN 13849-1, 17)



Kuva 7. Vaadittavan turvallisuuden tason määrittäminen (SFS-EN 13849-1, 51)

Riskiparametrit: (SFS-EN 13849-1, 51)

S mahdollisen vahingon vakavuus

S1 ei kovin vakava, palautuva vamma

S2 vakava tai kuolema

F mahdolliselle vahingolle altistumisen taajuus

F1 harvoin, ei niin usein ja/tai lyhyt altistuminen

F2 usein, jatkuvasti ja/tai pitkä altistuminen.

P mahdollisen vahingon vältettävyyden tai rajoitettavuus

P1 mahdollista tietyissä olosuhteissa

P2 tuskin mahdollista

8.2 Vaarallisen vikaantumisen todennäköisyyden vaikuttavat tekijät

8.2.1 Luokat

Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien luokittelulla huomioidaan osien vikasietoisuus, käyttäytyminen vikatilanteissa ja niiden jälkeen, sekä vian paljastuvuus ja osien luotettavuus. Luokkia on viisi B,1,2,3,4 ja ne määritellään luotettavuuden mukaan. Esimerkiksi B-luokan osan keskimääräisen vaarallisen vikaantumisaikan ($MTTF_d$) tulee olla vähintään 3 vuotta. Muiden luokkien tulee niille asetettujen lisävaatimusten lisäksi täyttää myös luokan B vaatimukset. Luokan 3 turvallisuuteen liittyvällä ohjausjärjestelmän osalla tulee keskimääräisen diagnostiikan kattavuuden (DC) olla vähintään 60 %, eikä yksittäinen vika saa johtaa turvatoiminnon menettämiseen. (SFS-EN 13849-1, 8,30,32)

8.2.2 Keskimääräinen vikaantumisaika ($MTTF_d$)

$MTTF_d$ tarkoittaa kanavan odotettavissa olevaa aikaa vaarallisen vikaantumisen toteutumiselle. Vikaantumisaikan arviointia varten tiedonhankinta suoritetaan ensisijaisuusjärjestyksessä seuraavasti: (SFS-EN 13849-1, 11,23)

1. Valmistajan komponentille ilmoittamat tiedot
2. Käytetään standardin SFS-EN 13849-1 liitteissä C ja D esitettyjä menetelmiä

3. Valitaan 10 vuotta

Keskimääräinen vikaantumisaika (MTTF_d)	
Matala	3 vuotta ≤ MTTF _d < 10 vuotta
Keskimääräinen	10 vuotta ≤ MTTF _d < 30 vuotta
Suuri	30 vuotta ≤ MTTF _d < 100 vuotta

Taulukko 8. Vaarallisen vikaantumisen keskimääräinen vikaantumisaika (SFS-EN 13849-1, 23)

8.2.3 Diagnostiikan kattavuus (DC)

Diagnostiikan tehokkuuden mitta, joka määrittää paljastuneiden vaarallisten vikaantumisten taajuuden suhteessa kaikkien vikaantumisten taajuuteen. Standardin SFS-EN 13849-1 liitteessä E esitetään yksinkertaisia lähestymistapoja diagnostiikan kattavuuden määrittämiseksi. (SFS-EN 13849-1, 23)

Diagnostiikan kattavuus (DC)	
Merkintä	Vaihteluväli
Ei mitään	DC < 60 %
Matala	60 % ≤ DC < 90 %
Keskimääräinen	90 % ≤ DC < 99 %
Korkea	99 % ≤ DC

Taulukko 9. Diagnostiikan kattavuus (SFS-EN 13849-1, 11, 23)

8.2.4 Yhteisvikaantuminen (CCF)

Yhteisvikaantuminen tarkoittaa yksittäisestä tapahtumasta aiheutuvaa eri kohtien vikaantumista. Yksittäiset viat eivät ole seurausta toisistaan. Standardin SFS-EN 13849-1 liitteessä F esitetään yhteisvikaantumista käsittelevä taulukko F.1. Järjestelmän katsotaan sietävän vikaantumisia riittävän hyvin kun taulukosta F.1 saatava pistemäärä on 65 tai enemmän. (SFS-EN 13849-1, 9, 67)

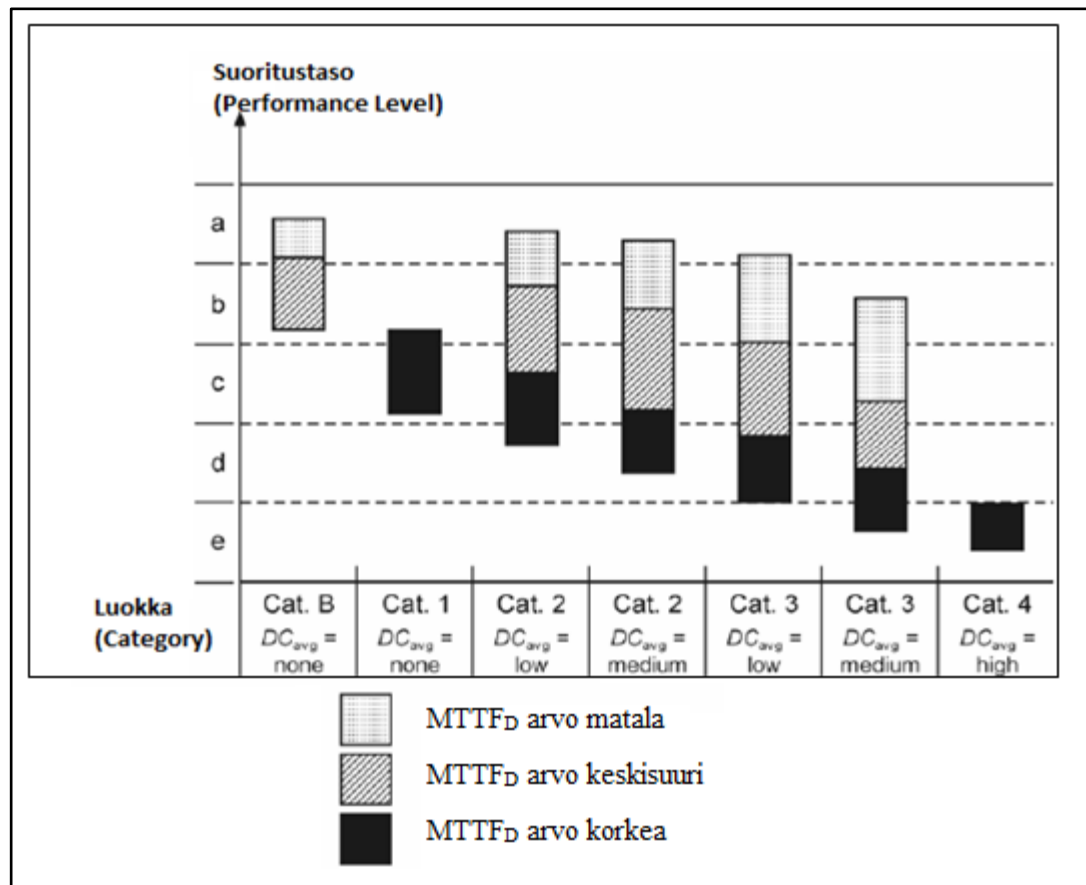
8.3 Suoritustason kelpuus

Ohjausjärjestelmän turvatoimintoja toteuttavan turvallisuuden osallistuvan osan tai osien yhdistelmän kelpuutuksella tulee osoittaa, että vaadittavien suoritustasojen (PL_r) sekä luokkien vaatimukset täyttyvät. Vikaantumisanalyysin tekemiseen tarvitaan periaatteessa piirikaavioita. (SFS-EN ISO 13849-2, 28)

Arvioitaessa saavutettua suoritustasoa tulee ottaa huomioon seuraavia seikkoja:

- Yksittäisen komponentin $MTTF_d$ -arvo
- Yhteisvikaantuminen DDF
- Diagnostiikan kattavuus DC
- Turvallisuuden liittyvien osien
- Turvallisuuden liittyvien osien käyttäytyminen virhetilanteissa
- Turvallisuuden liittyvä ohjelmisto
- Systemaattiset vikaantumiset
- Kyky toteuttaa turvatoiminnot odotetuissa ympäristöolosuhteissa (SFS-EN 13849-1, 21)

8.4 Yhteisvaikutus



Kuva 8. Pylväsdiagrammi ohjausjärjestelmän turvallisuuteen vaikuttavien tekijöiden yhteisvaikutuksesta (BGIA Report 2/2008e, 83)

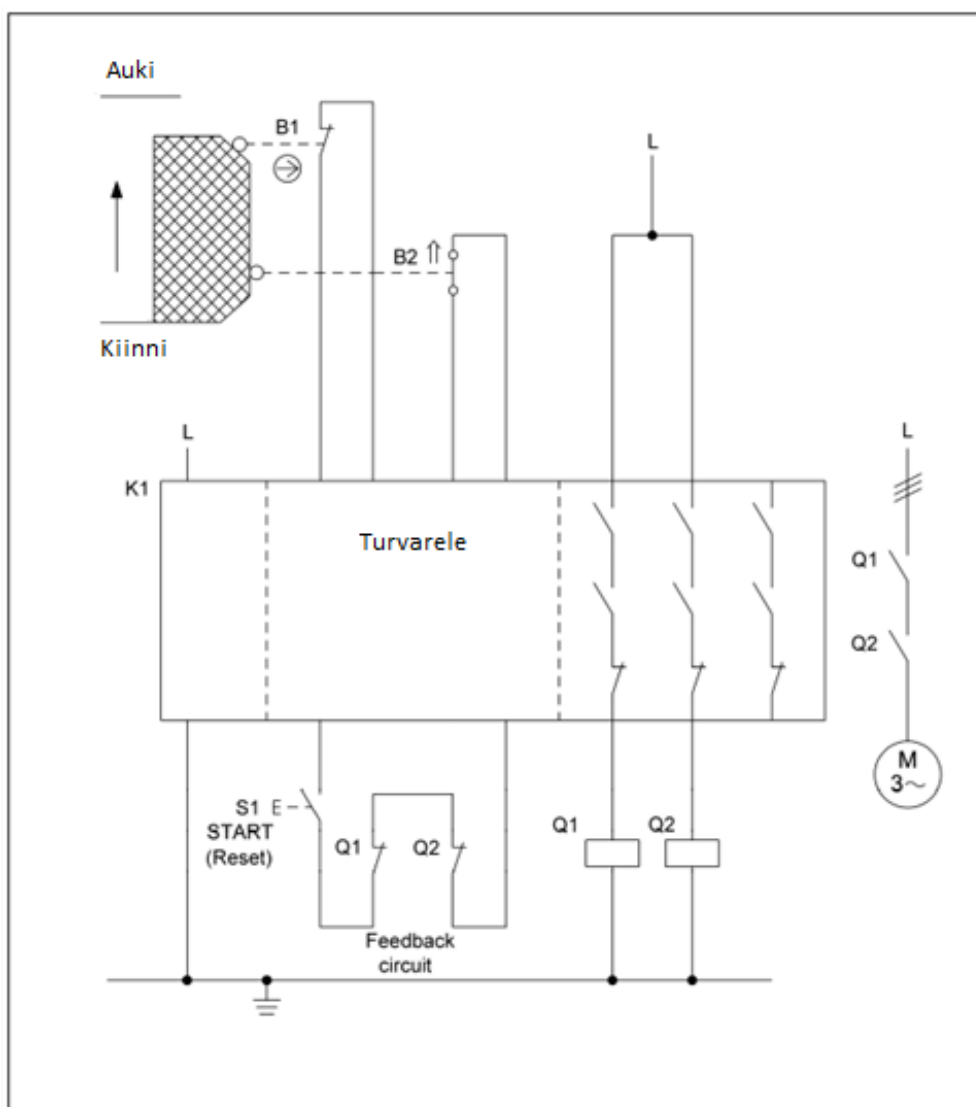
Johtuen kanavan MTTFD-arvosta vain tietty suoritustaso PL voidaan saavuttaa käyttämällä tietyn luokan vaatimukset täyttäviä rakenteita. Kuvasta 8 ilmenee, että käyttämällä Luokan B rakenteita voidaan saavuttaa enintään suoritustaso b. Vastaavasti käytettäessä Luokan 3 tai 4 vaatimukset täyttäviä rakenteita voidaan saavuttaa suoritustaso e.

8.5 SISTEMA –ohjelmistotyökalu

SISTEMA on koneiden turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän arviointia varten kehitetty tietokoneavusteinen työkalu ja se perustuu täysin standardiin SFS-EN 13849-1. SISTEMA kattaa eri tekniikoilla toteutettavat koneiden ohjausjärjestelmät. SISTEMAn käyttö aloitetaan luomalla projekti, johon syötetään ohjausjärjestelmän

tiedot. Projektin avulla tarkistetaan koneiden turvatoiminnoilta vaadittavan suoritustason (PL_r) toteutuminen. SISTEMA ohjaa käyttäjää huomioimaan myös systemaattiset vikaantumiset sekä ohjelmistovirheet. SISTEMAn käyttö edellyttää, että kyseiselle koneelle on tehty riskin arviointi. SISTEMA määrittelee alajärjestelmän parametrit alajärjestelmän rakenteen muodostavien kanavien sekä niihin kuuluvien lohkojen ja elementtien parametrien mukaan. (Sesko standardisointijärjestön www-sivut 2016)

8.6 Suoritustason määrittäminen



Kuva 9. Luokan 4 ja suoritustason e täyttävä ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvä osa. (BGIA Report 2/2008e, 264)

8.6.1 Turvatoiminto ja toiminnallinen kuvaus

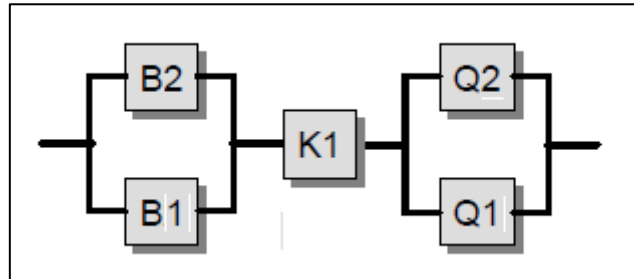
Järjestelmän turvallisuuteen liittyvä pysäytystoiminto (Kuva 9.). Toimintaan kytketyn suojuksen avaaminen pysäyttää moottorin. Vaara-alueelle pääsyä valvotaan toimintaan kytketyllä suojuksella. Suojuksen avaaminen havaitaan avautuvalla koskettimella B1, sekä sulkeutuvalla koskettimella B2. Suojus on kytketty turvareleeseen K1, jossa tilanmuutos havaitaan. Suojuksen avautuessa turvarele K1 vaikuttaa kontaktoreihin Q1 ja Q2 pysäyttäen moottorin. Vikaantumisen huomaamiseksi koskettimia valvotaan turvareleellä K1. Vikaantumiset kontakteissa Q1 tai Q2 havaitaan käynnistettäessä turvarelettä K1. Käynnistyskomennon antaminen on mahdollista vain, jos kontaktorit Q1 ja Q2 eivät ole jo päällä. Vikaantumiset havaitaan toiminnan aikana tai toimintaan kytketyn suojan vaihtaessa tilaa. Turvatoimintoa ei menetetä yhden komponentin vikaantuessa. Useamman kuin kahden vian kertyminen saattaa johtaa turvatoiminnon menettämiseen. (BGIA Report 2/2008e, 265)

8.6.2 Ominaisuudet

Hyvin koetellut turvallisuusperiaatteet on huomioitu ja Luokan B vaatimukset täyttyvät. Suojusten kiinteällä asennuksella varmistetaan koskettimien niille tarkoitettu toiminta. Kosketin B1 on avautuva sekä standardin IEC 60947-5-1, liite K on otettu huomioon. Anturit B1 ja B2 eivät aiheuta häiriötä toinen toisensa toimintaan, koska ne on asennettu erilleen ja niiden johtimet on eristettyjä. Turvarele K1 täyttää Luokan 4 ja suoritustason e kaikki vaatimukset. Kontakteilla Q1 ja Q2 kytkentä tapahtuu mekaanisella elementillä. Luokka 4 tulee kyseeseen vain, jos eri suojusten mekaaniset koskettimet eivät ole sarjaankytkettyjä. Silloin vikaantumisia koskettimissa ei havaita. (BGIA Report 2/2008e, 265)

8.6.3 Vikaantumisen todennäköisyys

Kuva 10. Lohkokaavio alajärjestelmistä (BGIA Report 2/2008e, 265)



Piirin kytkentä voidaan jakaa kolmeen alajärjestelmään (Kuva 10) lohkokaaaviona esitettynä.

$MTTF_d$: Vian poissulkeminen koskettimelle B1 on mahdollista, koska sen kosketin on avautuva. Koskettimen B2 B_{10d} arvo on 1,000,000 sykliä. B_{10d} arvo tarkoittaa kytkentäkertojen määrää, johon mennessä 10 % komponenteista on vaarallisesti vikaantuneita. Kyseinen arvo on koskettimien B1 ja B2 mekaanisille osille. Vuodessa on 365 päivää, koneita käytetään 16 tuntia päivässä ja sykliäika eli kytkennän taajuus on kerran tunnissa. Näin ollen n_{op} arvoksi saadaan 5840 sykliä vuodessa. Tästä saadaan $MTTF_d$ arvoiksi koskettimelle B1 1712 vuotta ja koskettimelle B2 856 vuotta. Kontaktoreiden Q1 ja Q2 B_{10} arvo sähköisten kytkentöjen määrälle on 1,000,000. Jos 50 % vioista oletetaan vaarallisiksi, B_{10d} arvo saadaan kertomalla B_{10} arvo kahdella. Aiemmin arvioitu vuosittainen syklien määrä n_{op} johtaa $MTTF_d$ arvoon 3424 vuotta kanaville Q1 ja Q2. $MTTF_d$ arvo kanavaa kohtaan kahdessa alajärjestelmässä on suurempi kuin 100 vuotta, joka on korkea arvo. (BGIA Report 2/2008e, 266)

DC_{avg} : Vikaantumisten havaitsemisen todennäköisyys koskettimille B1 ja B2 on 99 % johtuen niiden eri toteutustekniikoista. Diagnostiikan kattavuuden arvo 99 % kontaktoreille Q1 ja Q2 perustuu turvareleen K1 takaisinkytkentään. (BGIA Report 2/2008e, 266)

CCF: Standardista SFS-EN 13849-1 liitteessä F taulukosta F.1 saadaan pistemäärä yhteisvikaantumiselle. Alajärjestelmille B1/B2 ja Q1/Q2 saadaan 70 pistettä. (BGIA Report 2/2008e, 266)

- Erottaminen 15
- Hyvin koeteltuja komponentteja 5
- Ylijännitesuojaus 15
- Ympäristötekijät 25+10

Alajärjestelmät B1/B2 ja Q1/Q2 molemmat vastaavat luokan 4 vaatimuksia korkealla $MTTF_d$ arvolla 100 vuotta ja korkealla DC_{avg} 99 % arvolla. Tästä johtuen vaarallisen vikaantumisen keskimääräinen todennäköisyys on $2,47 \cdot 10^{-8}/h$. Lisäksi turvareleen K1 vastaava todennäköisyys on $5,16 \cdot 10^{-8}/h$. Tämä vastaa suoritustasoa e. (BGIA Report 2/2008e, 266)

9 TYÖN TOTEUTUS

9.1 Riskit lasinleikkauslinjoilla

Jaoin vaaratekijät neljään kategoriaan mahdollisen vaaran lähteen mukaan. Aloitin vaaratekijöiden tunnistamisen haastatteleamalla työntekijöitä sekä tutustumalla kyseisiin koneisiin. Apuna käytin standardissa SFS-EN ISO 12100 liitteessä B esitettäviä taulukoita. Opinnäytetyön liitteissä 1-9 on tunnistettujen vaaratekijöiden arviointi ja riskin suuruuden määrittäminen. Punaisella merkityt luvut tarkoittavat, että toimenpiteisiin riskin vähentämiseksi on ryhdyttävä. Tuotantolinjojen ollessa samankaltaisia ovat vaaratekijätkin molempien osalta samat. Riskin arviointi tehtiin tilaajan kanssa suppeassa ryhmässä. Riskin arviointi on kuitenkin suositeltavaa tehdä useamman henkilön ryhmässä, jotta siitä saadaan mahdollisimman kattava.

9.1.1 Kuljetinvaunu

Kuljetinvaunun vaaratekijät liittyvät tilanteisiin, joissa vaunun vaara-alueelle mennään tarkoituksella tai vahingossa. Vaaratekijät ovat luonteeltaan

puristumisvaaroja vaunun liikkuvien ja kiinteiden osien väliin. Myös kuljetinvaunun ja leikkauspöydän väliin jäävässä pienimmillään 250mm raossa on puristumisvaara. Kuljetinvaunu liikkuu nopeudella 400mm/s ja toimii automaattisesti, jolloin se saattaa yllättäen lähteä noutamaan uutta levyä.

Koko vartalon puristumisvaaran vähentämiseksi vähimmäisetäisyyden leikkauskoneen ja kuljetinvaunun välissä tulee olla 500mm. C-tyypin standardeissa määritellään konekohtaisia lukuarvoja suurimmille sallituille nopeuksille, kun konetta käytetään ensisijaisten turvalaitteiden ollessa pois käytöstä. Siedettävän riskin rajana pidetty arvo koneen liikkeen aiheuttamassa iskussa vapaassa tilassa on 200mm/s. (Siirilä 2009, 305, taulukko 10.1) (SFS-EN 349 + A1, 10)

9.1.2 Leikkauskone

Leikkauskoneen vaara-alueita ei ole suojattu mitenkään, joten merkittävin riski on osua koneen kyljessä nopeasti liikkuvaan moottorikoteloon. Lisecin järjestelmässä myös ohjauspaneeli on sijoitettu leikkauskoneen moottorikotelon viereen. Tämän lisäksi kulkureitti kuljetinvaunun vaara-alueelle sijaitsee aivan leikkauskoneen moottorikotelon vieressä.

9.1.3 Materiaali

Lasi on joissakin tilanteissa arvaamatonta materiaalia käsitellä. Linjan suurimmat riskit liittyvätkin juuri lasin ominaisuuksiin. Särkyessään lasi hajoaa teräviksi sirpaleiksi ja voi aiheuttaa suurta vahinkoa ihmisen osuessa kohdalle. Näin on käynytkin, mutta vahingoilta on välttytty.

9.1.4 Ympäristö

Lasilevyjen leikkaamisesta syntyvä lasipöly on erittäin hienojakoista, joten lattia on hyvin liukas kohdista joihin pölyä kertyy.

9.1.5 Vaurioituneen levyn tuotannosta poistaminen

Lasilevyn vaurioituessa joudutaan se poistamaan tuotannosta. Tämä tapahtuu manuaalisesti nosturiin kiinnitettävien imukuppitarttujen avulla. Mahdollisesti särkyneessä olevaa levyä tuetaan kiinnittämällä imukuppeja jokaiseen mahdolliseen palaseen. Tämän jälkeen levy nostetaan telineeltä pois ja viedään tuotantolinjan alkupäähän, jossa se pudotetaan lattialle toivoen mahdollisimman pieniä sirpaleita siivoamisen helpottamiseksi. Turvallisuuskulmasta tällainen toimenpide vaatii dokumentointia siitä kuinka levyn poistaminen ja pudotus lattialle tulee suorittaa turvallisesti.

9.2 Järjestelmien toimintaperiaatteet

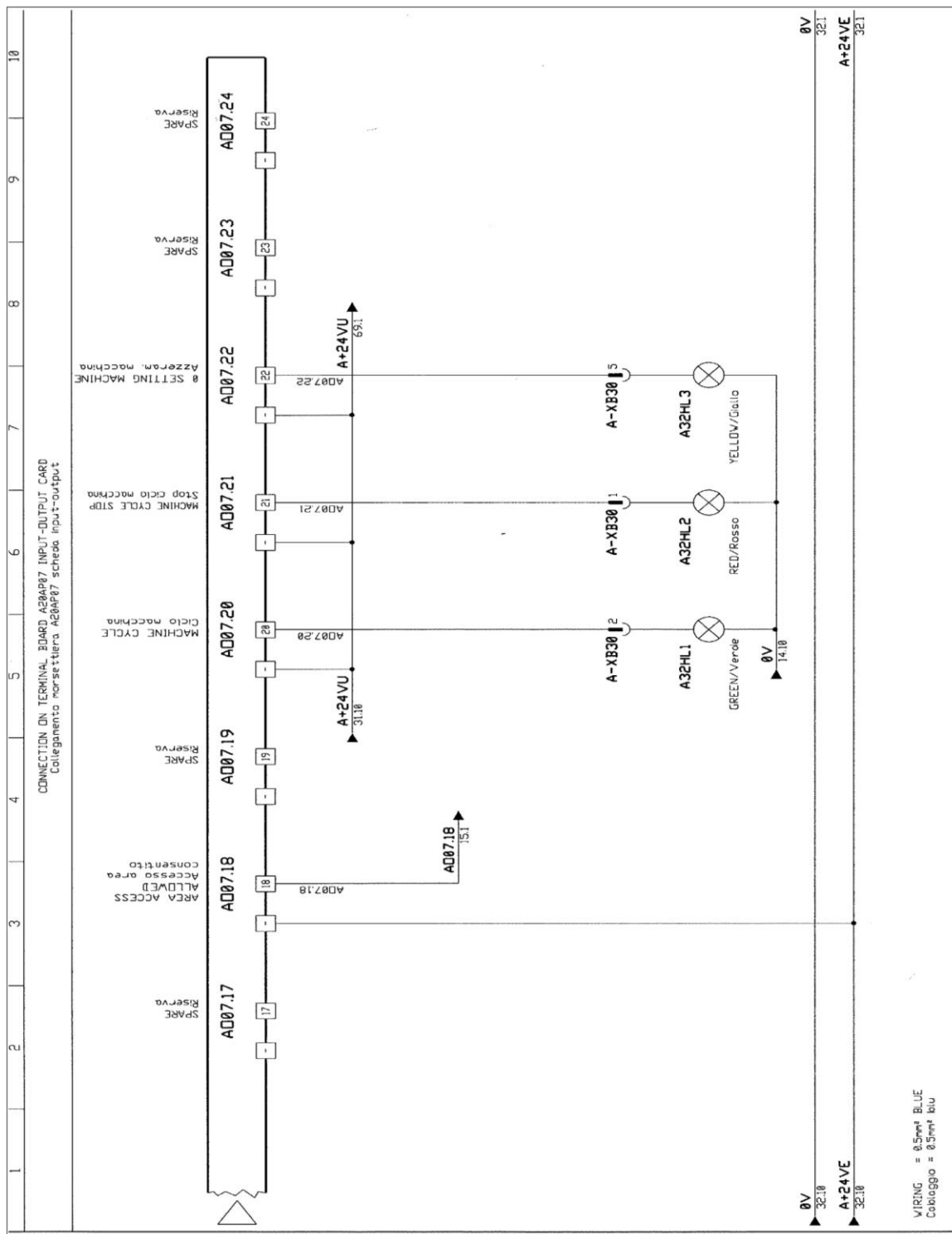
Vaikka linjojen toiminnot ovat samat, poikkeavat toteutustavat ja tekniikka hieman toisistaan. Suurimmat erot löytyvät kuljetinvaunujen toiminnasta. Molemmille yhteisen pitkittäisliikkeen lisäksi Botteron toimittama kuljetinvaunu liikkuu myös sivusuunnassa lasilevyn poimintaa suorittaessaan. Toinen merkittävä ero on kuljetinvaunujen nostoliikkeiden toteutustavat. Poiketen Botteron sähkötoimisista liikkeistä, saa Lisecin kuljetinvaunun nostoliikkeet voimansa hydraulisesti.

Huomasin, että koneiden sähkökuvat eivät vastaa todellisuutta. Kuviin piirrettyjä rajakytkimiä ja valoverhoja ei todellisuudessa ole. Botteron toimittamille koneille on suunniteltu ja piirretty myös toimintaan kytkettyjä sähkölukollisia ovia turva-alueelle pääsemisen valvontaan. Näitäkään ei todellisuudessa ole. Sain kuitenkin idean tarkastelemalla Botteron tekemää suunnitelmaa suojata vaara-alueet. Tätä toteutustapaa muokkaamalla ja soveltamalla voidaan hyödyntää molemmilla tuotantolinjoilla.

9.3 Bottero

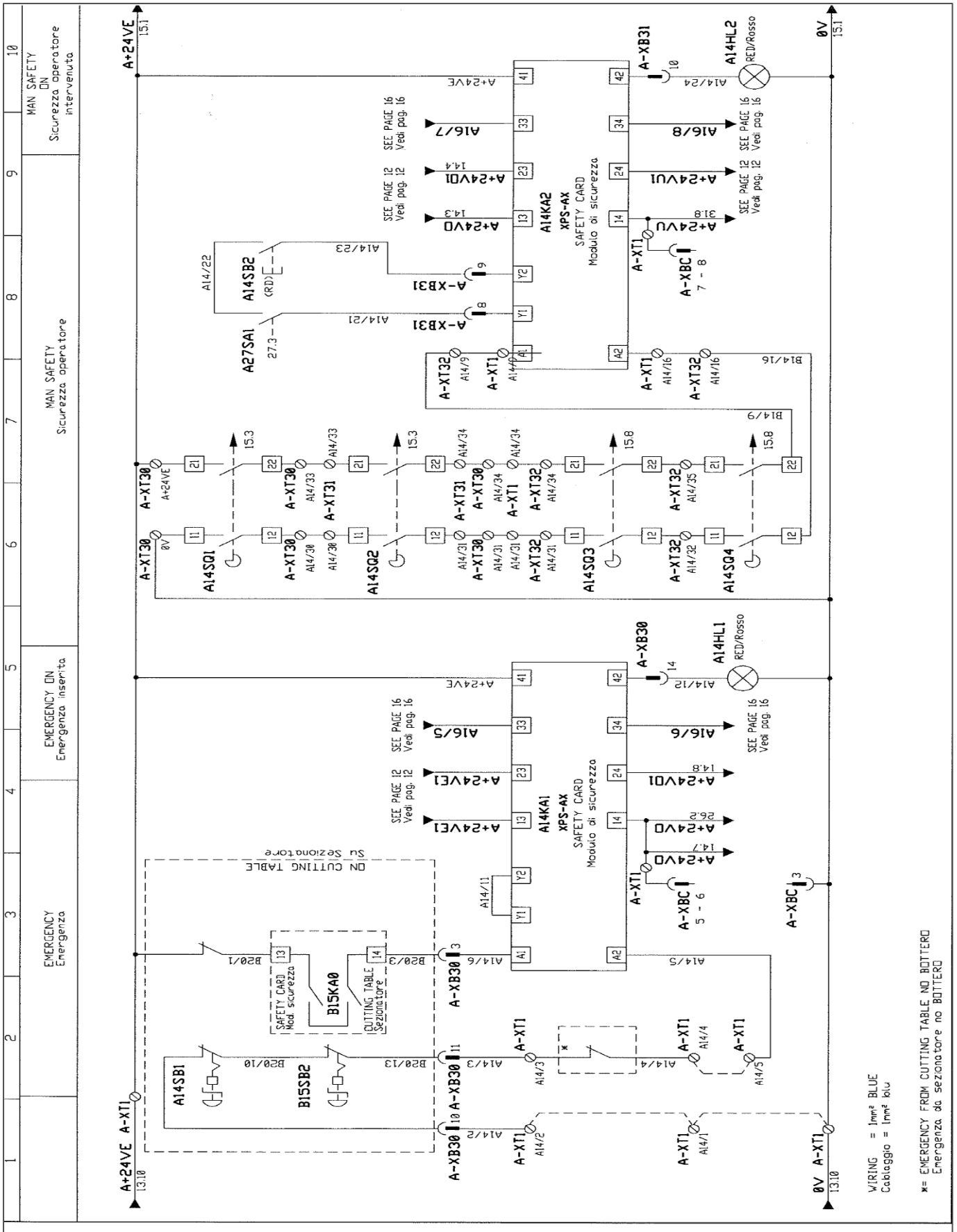
9.3.1 Kuljetinvaunu ohjausjärjestelmä

Kuljetinvaunun moottoreiden pyörimisnopeutta säädellään taajuusmuuttajalla, johon moottorit on kytketty. Moottoreiden ja muiden elinten kontaktoreita ohjataan logiikan lähdöillä. Sähkön syöttö taajuusmuuttajalle tuodaan pääkontaktorin kautta, jolloin sitä ohjaamalla voidaan toimilaitteet kytkeä irti energian syötöstä tarvittaessa. Järjestelmässä on kaksi turvarelettä, joista toinen on hätäpysäytystä varten ja toinen turvapysäytystä varten. Mikäli sähkön syöttö toiselta tai molemmilta turvareleiltä katkeaa aukeaa pääkontaktori, jolloin toimilaitteet kytkeytyvät irti sähkön syötöstä. Pysäytyksen jälkeen turvareleet edellyttävät kuitaamista salliakseen koneiden uudelleen käynnistämisen.



Kuva 11. Ohjelmoitavan logiikan lähtökortti.

Kyseisissä järjestelmissä ei vaara-alueita ole eristetty. Sähkökuvan (Kuva 11) mukaan logiikan lähtökortilta on kuitenkin varattu paikka toimintoa ”Area access allowed” varten. AO07.18 ”Area access allowed” aktivoituessa se nimensä mukaisesti mahdollistaa vaara-alueelle turvallisen pääsyn. Ohjelman tarkastaminen ei kuitenkaan ollut mahdollista.



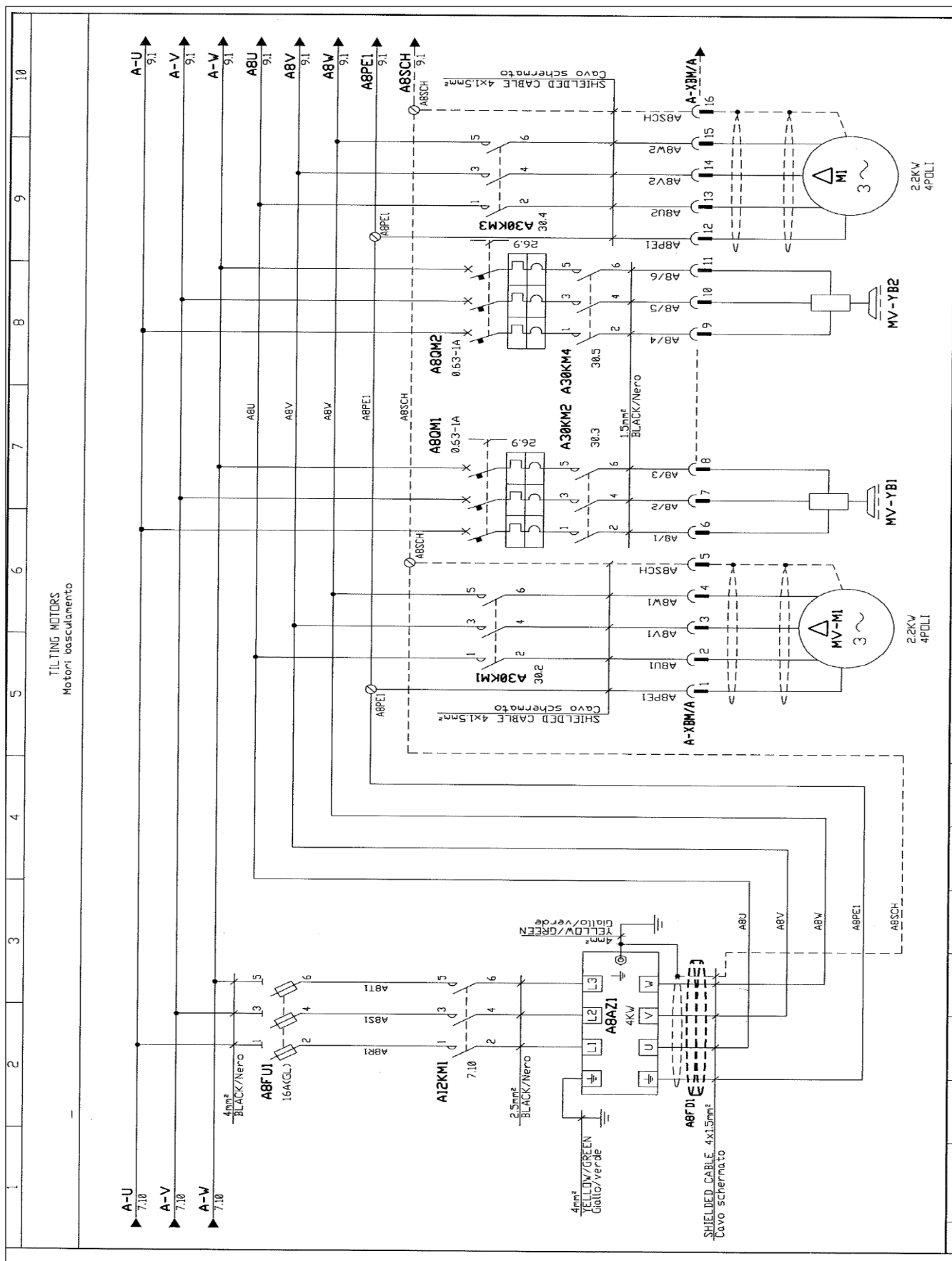
WIRING = Imm^o BLUE
Cablaggio = Imm^o blu

* = EMERGENCY FROM CUTTING TABLE NO. ROTTERD
Emergenza da sezionatore no ROTTERD

Kuva 12. Kuljetinvaunun hätäpysäytysrele ja turvarele.

Vasemmalla (Kuva 12) on hätäpysäytyspiiri A14KA1 ja oikealla turvapysäytyksestä vastaava turvarele A14KA2. Järjestelmään on suunniteltu neljä toimintaan kytkettyä ovea, joiden rajakytkimet ovat A14SQ1, A14SQ2, A14SQ3 ja A14SQ4. Eli rajakytkimen auetessa sähkönsyöttö turvareleelle katkeaa ja laitteet pysähtyvät. Turvareleen kuittaaminen ja koneiden uudelleen käynnistäminen edellyttää ovien sulkemista sekä painikkeen A14SB2 painamista. Lisäksi A27SA1 on laitteita ohjaavan logiikan lähtöön kytketty ”Kunnossapito”-tieto. Sen täytyy olla päällä laitteita käynnistettäessä. En ole tarkastanut vastaako todellisuus sähkökuvia ja onko laitteita ohjaavalta logiikalta varattu kyseinen tulotieto.

B15KA0 on leikkauskoneen hätäpysäytyksen turvarele. Se on kytketty kuljetinvaunun hätäpysäytysreleeseen. Eli jos toisen koneen hätäpysäytyspainiketta painetaan pysähtyvät molemmat koneet. Sähkökuvan (Kuva 12) mukaan hätäpysäytysreleen A14KA1 laukeaminen ei laukaise turvarelettä A14KA2. Hätäpysäytysrele kuittaantuu automaattisesti hätäpysäytyspainike vapautettaessa, tällöin myös turvarele kuittaantuu. Käytännössä turvarele tulee kuitenkin kuitata erikseen, eikä hätäpysäytyspainikkeen vapauttaminen saa kytkeä laitteita energian syöttöön.



Kuva 13. Taajuusmuuttaja ja molemmat nostoliikkeen moottorit

Kuljetinvaunun toimilaitteiden (Kuva 13) nopeutta säätävä taajuusmuuttaja A8AZ1, jota syötetään pääjännitteellä. Sähkön syöttö kuljetinvaunun toimilaitteille pääkontaktorin A12KM1 kautta. A30KM1 ohjaa toisen puolen nostoliikkeen tekevää moottoria MV-M1. Tarttuvia kyseiseltä puolelta laskettaessa ohjataan jarrua ohjaavaa kontaktoria A30KM2, jolloin tarttumat laskeutuvat hallitusti. Moottorin M1 ja sitä vastaavan jarrun MV-YB2 toiminta on samanlainen, mutta liike tapahtuu toiselle puolelle.

9.3.2 Leikkauskone ohjausjärjestelmä

Koneen toimittajan ollessa sama leikkauskoneen tekninen toteutustapa on hyvin samankaltainen kuin kuljetinvaunun. Lasia leikkausalustan päällä siirtävien kuljetinhihnojen moottorit on kytketty taajuusmuuttajaan, joten niiden nopeutta voidaan säätää. Leikkaavaa terää ohjataan servokäyttöillä ja sitä voidaan ohjata X,Y ja Z-suunnissa. Servo-ohjaimien syöttöä ohjataan kontakteilla. Samalla tavoin kuin kuljetinvaunun järjestelmässä on leikkauskoneella kaksi turvarelettä, joista toinen hätäpysäytystä ja toinen turvapysäytystä varten. Myös turvareiden toimintaperiaate on samanlainen kuin kuljetinvaunussa. Leikkauskoneen hätäpysäytyksestä vastaava rele on liitetty kuljetinvaunun hätäpysäytysreleen toimintaan.

9.4 Lisec

9.4.1 Kuljetinvaunu ja leikkauskone

Kuten jo aiemmin on mainittu, ovat järjestelmät hyvin samankaltaisia. Myös Lisecin järjestelmässä kuljetinvaunun nopeutta säädetään taajuusmuuttajalla ja leikkauskoneen ohjaus tapahtuu servokäyttöillä. Leikkauskoneen turvareleen katkaistessa sähkön syötön, toimilaitteet pysähtyvät ja logiikan tulo ohjataan päälle. Ajatellen toimintaan kytkettyjen ovien käyttämistä, kuljetinvaunun ohjausjärjestelmästä puuttuu toinen turvarele turvapysäyttämistä varten. Lisäksi leikkauskoneelle on sähkökuvien mukaan suunniteltu kahdennettu oven rajakytkin, mutta niin tätä kytkintä kuin oveakaan ei järjestelmässä tällä hetkellä ole. Kuten

Botteron toimittamassa järjestelmässä myös tässä kuljetinvaunun hätäpysäytysrele on kytketty leikkauskoneen toimintaan. Hätäpysäytyskäsky pysäyttää molempien koneiden toiminnan.

9.5 Turvallistaminen

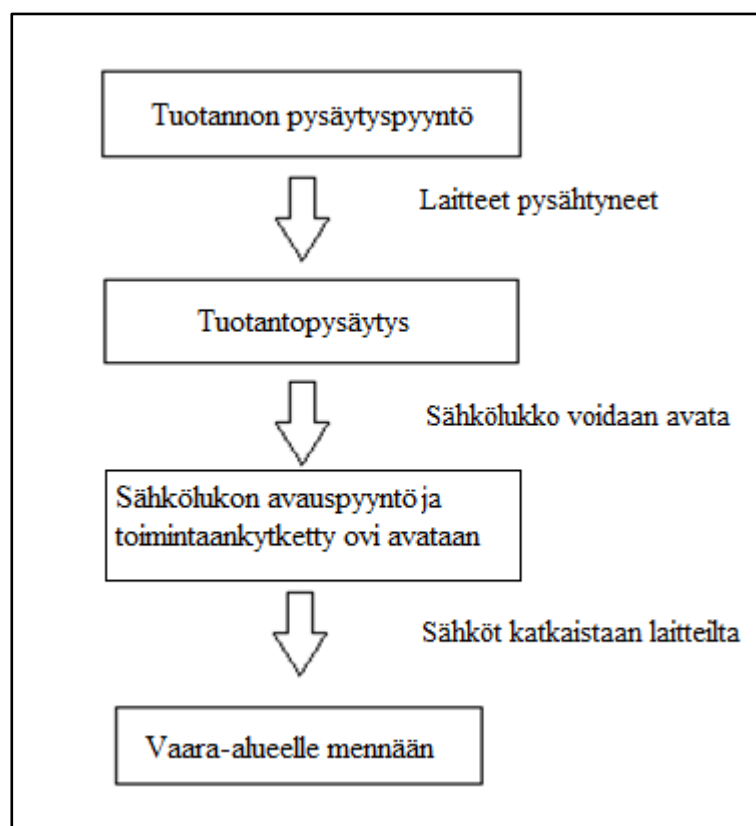
Tämän projektin keskeisimpiä kysymyksiä ovat olleet, miten jo käytössä oleviin koneisiin voidaan rakentaa vaadittavat turvapiirit ja turvatoiminnot ja kuinka suojata leveä aukko tuotantolinjojen alkupäässä.

Tunnistettuja ja arvioituja riskejä voidaan pienentää eristämällä koneet ihmisistä ja valvomalla kulkua vaara-alueille. Ajatuksena on jakaa molemmat tuotantolinjat kuljetinvaunun ja leikkauskoneen vaara-alueisiin. Kuljetinvaunua ja leikkauskonetta ohjaavat komponentit sijaitsevat eri sähkökaapeissa, joten vaaravyöhykkeen kahtiajako on tämänkin puolesta luontevaa. Tutkimalla koneiden sähkökuvia löytyi mahdollisia tapoja toteuttaa turvallistaminen.

Sähkön syöttö järjestelmiin kulkee turvareleen läpi. Turvareleeseen kytketyt rajakytkimet katkaisevat turvareleeltä sähkön syötön, jonka seurauksena pääkontaktori lakkaa vetämästä. Eli esimerkiksi toimintaan kytketyn oven rajakytkin katkaisee sähkön syötön toimilaitteilta. Tämä tarkoittaa luokan 0 pysäytystä, jolloin toimilaitteet kytketään välittömästi irti energian syötöstä.

Vaara-alueet aidataan ja alueelle kulkua valvotaan koneiden toimintaan kytketyin ovin, jotka on varustettu sähkölukoilla ja rajakytkimillä. Sähkölukon avaaminen ja vaara-alueelle pääseminen on mahdollista, kun laitteet ovat pysähtyneet. Toimintaan kytketty ovi avattaessa oveen asennettu rajakytkin katkaisee sähköturvareleeltä. Tällä tavoin toteutettuna järjestelmä ei kuitenkaan olisi kovinkaan joustava. Käyttäjän tulee ottaa prosessin tila huomioon vaara-alueelle halutessaan. Tällöin on käyttäjän vastuulla missä vaiheessa prosessi keskeytetään. Tilanne, jossa järjestelmän pysäyttäminen haittaa merkittävästi sujuvaa jatkamista on lasilevyn noston keskeyttäminen kohdassa, jossa imukupitarttuvat ovat jo saavuttaneet alipaineen.

Kuljetinjärjestelmän joustavuutta voidaan parantaa muokkaamalla laitteita ohjaavan logiikan ohjelmaa niin, että käyttäjä joutuu ikään kuin pyytämään lupaa avata ovi. Vaara-alueelle halutessaan käyttäjä painaa tuotannon pysäytyspyyntö painiketta, joka ohjaa logiikan tulon päälle. Kyseisen tulon aktivoituttua logiikka pysäyttää prosessin tilaan, josta koneet voidaan helposti palauttaa automaattikäytölle. Prosessin ollessa pysähtyneenä sähkölukko voidaan avaimella avata. Oven avaaminen katkaisee järjestelmästä sähköt. Vaara-alueelta poistuttaessa uudelleen käynnistäminen edellyttää oven sulkemista ja turvareleen kuittaamista. Joustavuus riippuu pitkälti turvallistamisen toteutustavasta ja järjestelmästä vaadittavista ominaisuuksista.



Kuva 14. Periaatekuva tuotannon pysäytyspyynnöstä

9.5.1 Alkuosan suojaaminen

Alkuosan suojaamiseksi käytiin läpi erilaisia ideoita ja vertailtiin vaihtoehtoja. Leveän aukon käytännöllinen suojaaminen asetetut vaatimukset täyttäen osoittautui haastavaksi tehtäväksi. Kyseinen osa on kuitenkin saatava suojattua, koska lasilevyn särkymisen kesken kuljetinvaunun noston arviointiin olevan yksi suurimmista

riskeistä. Näin ollen alkuosan suojaamiseksi ei riitä pelkkä turvalaite vaan sen lisäksi tarvitaan suojus fyysiseksi esteeksi.

Lasileikkauslinjojen osalta päädyn suojaaminen esimerkiksi valoverhoilla, valopuomeilla tai tuntomatoilla on hankalaa, johtuen lasilevyn korkeudesta ja riskistä särkyä kesken noston. Valoverho tai valopuomi tulisi asentaa riittävän etäälle lasilevytelineestä juuri edellä mainitut seikat huomioiden. Turvalaitteita ja suojuksia käsittelevässä kappaleessa 7 esitetyistä yhtälöistä ilmenee, että esimerkiksi valopuomin sijoittaminen vaatii valoverhoakin enemmän tilaa.

9.5.2 Ovet

Erilaisia ehdotuksia tuotantolinjan alkuosaa suojaavan oven toiminnasta ja sen rakenteesta pohdittiin. Koko aukon kattavalle kiinteärakenteiselle yli 5 metriä pitkälle ovelle olisi riittävästi tilaa kääntyä auki ja kiinni. Ratkaisu ei kuitenkaan ole kovin käytännöllinen johtuen oven suuresta koosta. Myöskään liukuovea ei koettu toteuttamiskelpoiseksi ratkaisuksi. Syyksi todettiin tilan puute ja ympärillä oleva tuotanto. Varteenotettavimmaksi vaihtoehdoksi päädyn suojaamiseksi todettiin paljeovi, joka on mahdollista taittaa kokoon saranoimalla se sopivista kohdista. Välttääkseen liiallista saranoihin kohdistuvaa räsitusta ovi tulisi tukea riittävän hyvin. Suuren oven avaamisen ja sulkemisen helpottamiseksi ovi voisi olla pyörillä varustettu. Oveen kiinnitettävä rajakytkin ja sähkölukko tulee kytkeä kuljetinvaunun turvapiirin toimintaan. Lisäksi päädyssä säilytettävää lasinippujen siirtämiseen tarkoitettua tarttujaa tulee siirtää hieman ulospäin, jotta ovi on mahdollista asentaa paikoilleen.

9.5.3 Suoja-aidat

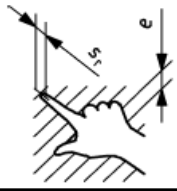
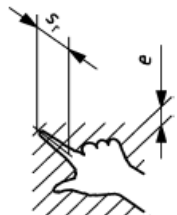
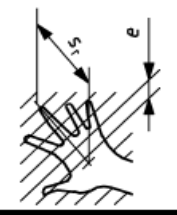
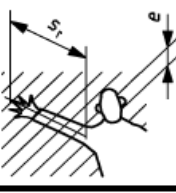
Suojarakenteiden yli ulottuminen riskin ollessa suuri

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

Taulukko 10. Suojarakenteen korkeudesta (SFS-EN ISO 13857, 18)

- a alle 1000 mm suojarakenteita ei ole otettu huomioon, koska ne eivät rajoita kehon liikkeitä tarpeeksi.
- b alle 1400 mm suojarakenteita ei suositella käytettäväksi ainoana suojaustoimenpiteenä (SFS-EN ISO 13857, 18)

Suojarakenteen aukkojen läpi ulottuminen

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

Taulukko 11. Suojarakenteen aukkojen koko (SFS-EN ISO 13857, 24)

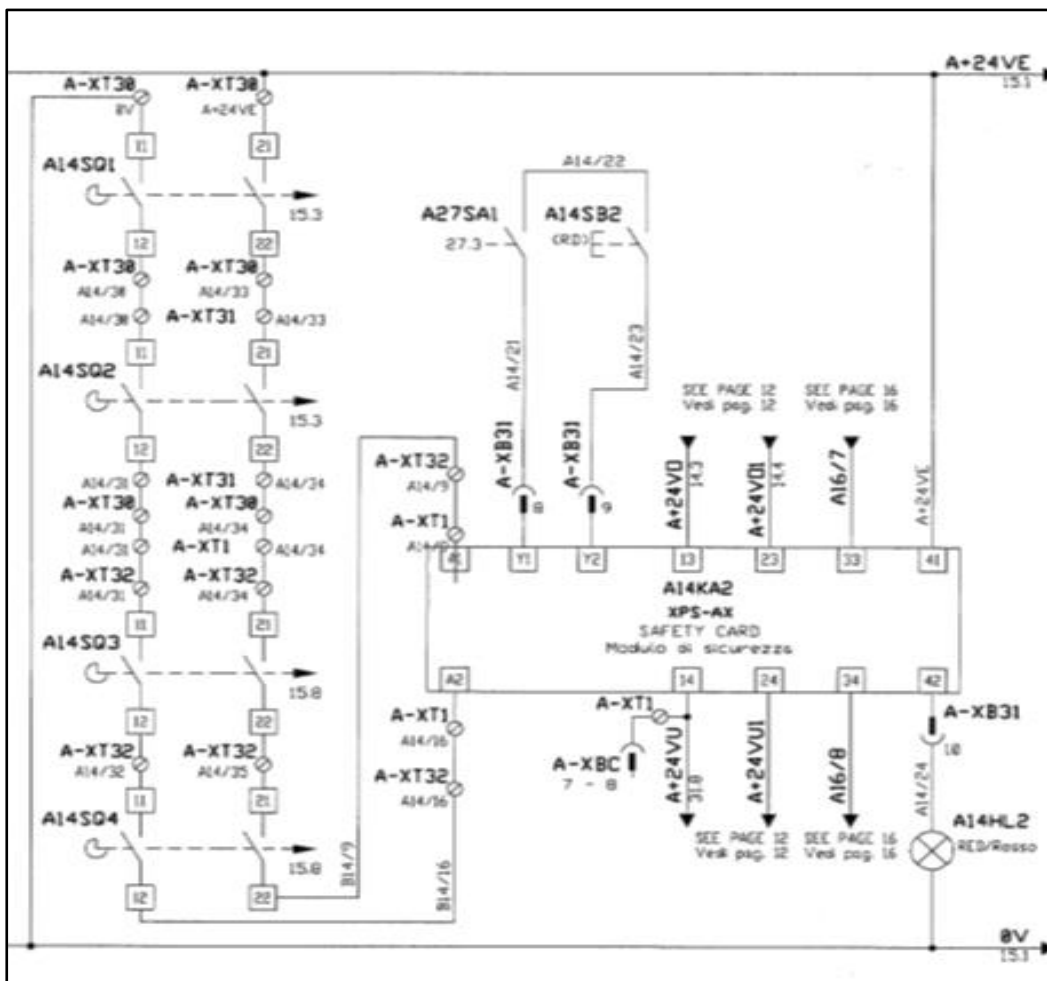
- Leveämmät viivat osoittavat kehon osan, jota aukon koko rajoittaa

9.6 SISTEMA-arviointi

Vaadittavan turvallisuuden tason (PL_r) määrittämisestä lasinleikkauslinjoilla. Riskin arvioinnin tuloksena (LIITE 4) todettiin kuljetinvaunun ja sen tarttujien väliin puristumisen aiheuttavan riskin, jonka suuruutta pienentäviin toimenpiteisiin on ryhdyttävä. Mahdollisen vahingon **S** todettiin olevan vakava **S2**. Altistuminen **F** tapahtuu useita kertoja työvuoron aikana eli **F2**. Vahinko on mahdollista välttää **P** tietyissä olosuhteissa **P1**. Tämän perusteella ohjausjärjestelmän turvallisuuden tasoksi kyseistä riskiä pienentäessä vaaditaan suoritustaso **d**.

Tein SISTEMA-arvioinnin kuljetinvaunun turvallisuuteen liittyvälle ohjausjärjestelmän osalle, johon kuuluu turvarele, rajakytkimet ja pääkontaktorit.

Arvioinnin pohjana käytin kuljetinvaunun turvareleen sähkökuvassa (Kuva 15.) esitettyä kytkentää.



Kuva 15. Kuljetinvaunun turvarele sekä rajakytkimet.

Riskin arvioinnin perusteella aiemmin mainittu riski vaatii ohjausjärjestelmältä vähintään suoritustason **d**. Alajärjestelmien avulla SISTEMA määrittää järjestelmän suoritustason.

Rajakytkimiksi määrittelin SICK i11-S213 ovirajakytkimet. Valmistajan sivuilta löysin kyseisen komponentin tiedot, jotka syötin SISTEMAan. Kuljetinvaunulla on Luokan 3 vaatimukset täyttävä turvarele Schneider Electric XPS AX. Luokka 3 on valmistajan ilmoittama luotettavuusluokka ja valmistaja vastaa sen toteutumisesta.

Pääkontaktorin B_{10d} arvoksi määritin 1,000,000 sykliä. Sykliä vuotuista määrää eli n_{op} arvoa laskettaessa määrittelin, että lasinleikkauslinjalla töitä tehdään vuoden jokaisena päivänä 8 tuntia vuorokaudessa. Syklien aika on 3600 sekuntia. Näistä

arvoista saadaan vuotuinen syklien määrä, joka on 2920 sykliä. Sykلياika tarkoittaa kytkentöjen välistä aikaa. Esimerkiksi, jos vaara-alueella käydään kerran tunnissa sykلياika on 3600 sekuntia. Todellisuudessa lasinleikkauslinjalla ei työskennellä vuoden jokaisena päivänä, eikä syklien määrän ylöspäin pyöristäminen johda todellisuutta suurempiin $MTTF_d$ arvioihin, vaan päinvastoin.


Kontaktorin $MTTF_d$ arvoksi näillä parametreilla sain 3424 vuotta. Määrittelin SISTEMA:lla esimerkki kontaktorin $MTTF_d$ arvon B_{10d} arvon avulla. Ovirajakytkimen B_{10d} arvoksi valmistaja ilmoittaa 4,000,000 sykliä, jos vaara-alueelle mennään keskimäärin kerran tunnissa sykلياika on 3600 sekuntia ja n_{op} arvo 2920 sykliä vuodessa. Tällöin $MTTF_d$ arvoksi saadaan yli 10,000 vuotta. Rajakytkimen kytkentä täyttää Luokan 4 vaatimukset, jolloin seuraavat vaatimukset täyttyvät:

- Turvallisuuden peruseriaatteita on käytetty
- Hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita on käytetty
- Yksittäisen vian sietoa on käytetty
- Vikojen kerääntyminen ei johda turvatoiminnon menettämiseen

Alajärjestelmän muodostavien komponenttien yhteisvikaantumisessa otin huomioon standardissa SFS-EN 13849-1 liitteessä F taulukossa F.1 esitettäviä kohtia ja valitsin käytettävät toimenpiteet. SISTEMA laskee yhteispistemäärän ja määrittää onko toimenpiteet riittävät. Alajärjestelmän suoritustasoa määritettäessä SISTEMA vaatii kaksi kanavaa, jos käytetään komponentteja, joiden suoritustaso määritetään kanavan lohkojen ja/tai elementtien avulla. Lasinleikkauslinjalla on yksi pääkontaktori yhtä konetta kohti. SISTEMA-työkalu ei kuitenkaan hyväksynyt alajärjestelmää, joka käsittää vain yhden pääkontaktorin, joten valitsin tähän esimerkkiin kaksi pääkontaktoria. Tilalla voisi olla myös yksi riittävän korkean suoritustason komponentti, jonka luotettavuuden valmistaja takaa.

Alajärjestelmien diagnostiikan kattavuuden arvot määritetään alajärjestelmän rakenteen eli lohkojen ja elementtien avulla. Turvareleellä valvotaan siihen kytkettyjen komponenttien mahdollisia vikaantumisia. Rajakytkimien avautuvat koskettimet (Kuva 15) katkaisevat sähköt turvareleeltä. Kuvan 15 mukaan turvareleeseen kytkettyjen rajakytkimien mahdollisia vikaantumisia ei kyetä

kattavasti diagnosoimaan. Rajakytkimien mahdollisten vikaantumisten diagnostiikkaa voidaan parantaa kytkemällä rajakytkimet kuvassa 9 esitetyllä tavalla. Tämä kuitenkin edellyttää uuden turvareleen hankintaa. Kuvassa 9 valvonta tapahtuu, aina kun ovi avataan. Silloin turvarele edellyttää molempien koskettimien aukeavan kuvan (Kuva 9) kytkennän mukaisesti. Oven avaus tapahtuu noin kerran tunnissa, kun vaara-alueelle mennään hakemaan esimerkiksi välipahveja.

SISTEMA - Ohjelmistotyökalu konesovellusten turvallisuuden eheyden arviointiin 

Projektin nimi: Kuljetinvaununturvallisuuteenliittyväohjaus

Tiedoston päiväys: 07.02.2016 12:13:30 Raportin päiväys: 7.2.2016 Tarkistussumma: b7507fc92c841fc717836d31eab6d0de

PR Projektin nimi: Kuljetinvaunun turvallisuuteen liittyvä ohjaus

Tekijä:	Tero Mehtänen
Vaarallinen kohta/kone:	Kuljetinvaunun tarttujen väliin puristuminen
Dokumentaatio:	
Dokumentti:	
Tiedoston nimi:	C:\Users\Tero\Desktop\Kuljetinvaunun turvallisuuteen liittyvä ohjaus.ssm
Ohjelmiston versio:	1.1.9 build 2
Standardin versio:	ISO 13849-1:2006, ISO 13849-1/Cor1:2009, EN ISO 13849-1:2006, EN ISO 13849-1:2008
Tarkistussumma:	b7507fc92c841fc717836d31eab6d0de
Asetukset:	<input checked="" type="checkbox"/> Käytä DC:n väliarvoja PFH:n laskentaan (tarkempi). <input type="checkbox"/> Nosta MTTFd-arvon yläraja 100 vuodesta 2500 vuoteen luokassa 4
Tila:	vihreä
Huomautus:	Tähän projektiin (tai siihen kuuluviin peruselementteihin) ei ole merkitty yhtään varoitusta.

Tähärkuuluvatturvatoiminnot

SF Nimi: Turvapysäytys
 Vaadittu: PLr d Saavutettu: PL d PFH [1/h]: 3,66E-7 Tila: vihreä

Kuva 16. SISTEMA arvioinnin raportti

SISTEMAan määriteltyjen parametrien sekä turvallisuuteen liittyvää ohjausjärjestelmää rakennettaessa huomioitavien toimenpiteiden perusteella järjestelmän suoritustasoksi saadaan **d**.

9.7 Jäännösriskit

Jäännösriski tarkoittaa jäljelle jäävää riskiä turvallistamistoimenpiteiden toteuttamisen jälkeen. Koneiden ja ihmisten eristäminen toisistaan voi aiheuttaa uusia riskejä, jos ihminen jää vaaravyöhykkeelle järjestelmän sitä huomaamatta. Tällaisten tilanteiden varalta toimintaan kytketyissä ovissa tulee olla hätäpoistumismahdollisuus. Ovet täytyy voida avata alueen sisäpuolelta välittömästi esimerkiksi painonappiin vaikuttamalla. Painonappi pysäyttää koneiden toiminnan ja avaa sähkölukon.

9.8 Yhteenvedo

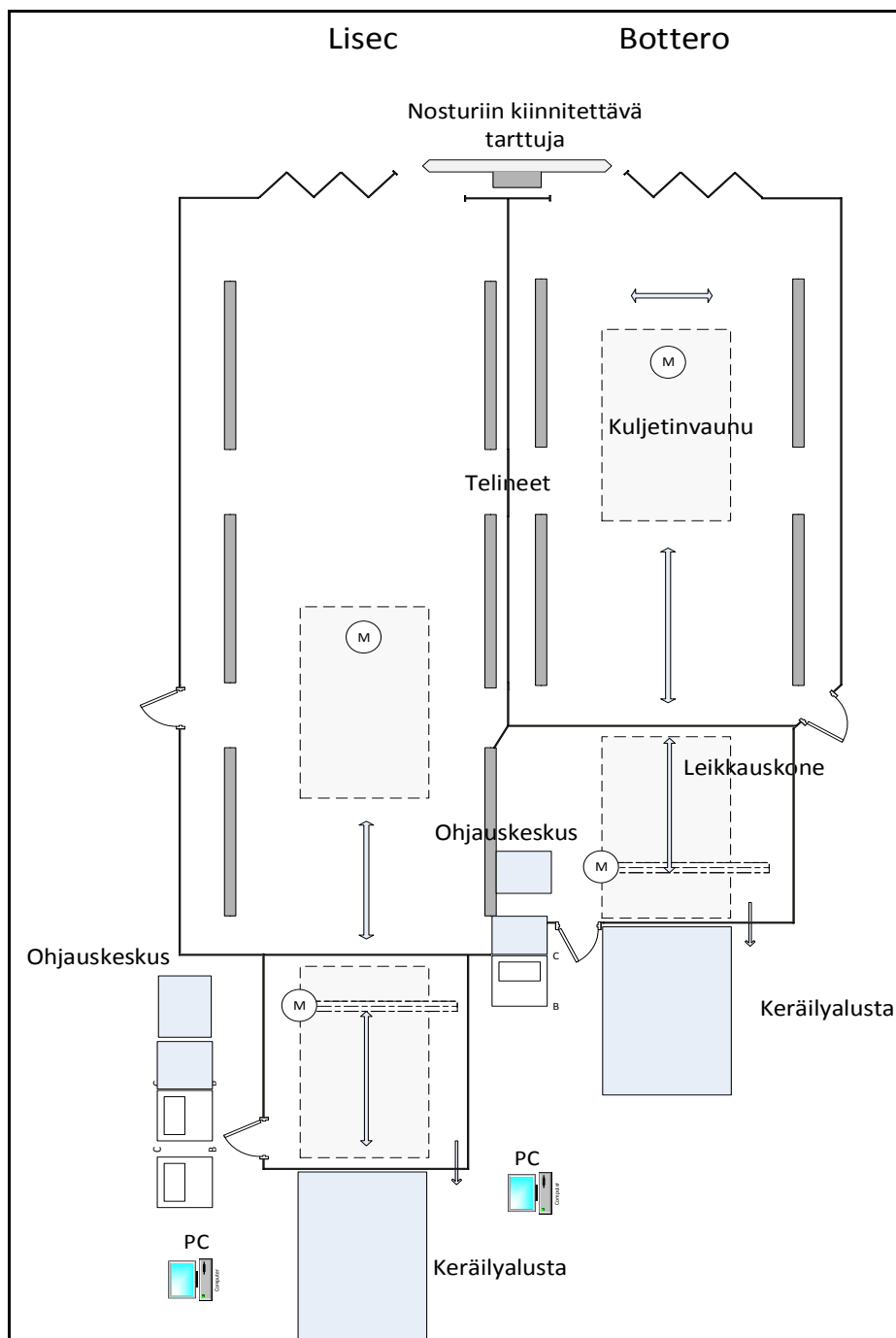
Kuljetinvaunun ja leikkauskoneen (Kuva 17) vaara-alueet suojataan aidalla sekä kulkua valvotaan oviin kytkettävillä rajakytkimillä. Vaara-alueet eristetään toisistaan, eikä toisen koneen toiminta pysähdy toisen koneen vaara-alueelle mentäessä.

Koneiden sähköjärjestelmät on suunniteltu niin, että molemmat koneet pysähtyvät hätäpysäytyspainiketta painettaessa. Sähkökuvan (Kuva 12) mukaan Botteron kuljetinvaunun hätäpysäytysrele ei laukaise kuljetinvaunun turvarelettä. Hätäpysäytysrele laukaisee järjestelmän pääkontaktorin. Vapautettaessa hätäpysäytyspainike, hätäpysäytysrele kuitaantuu automaattisesti. Tämä tarkoittaa, että järjestelmä kytketään sähkön syöttöön välittömästi hätäpysäytyspainike vapautettaessa. Käytännössä hätäpysäytysreleen täytyy laukaista myös turvarele, joka laukaisee järjestelmän pääkontaktorin. Näin ollen hätäpysäytyksen kuittaaminen ja uudelleen käynnistäminen edellyttää myös turvareleen kuittaamista.

Kuljetinvaunun toimintaan kytketään tuotantolinjan alkuosaan asennettava paljeovi sekä tavallinen ovi. Ovien asentoa valvotaan turvareleeseen kytketyillä rajakytkimillä. Rajakytkimiksi asennetaan rakenteeltaan ja tekniikaltaan sellaiset kytkimet joiden ohittaminen ei ole yksinkertaista. Rajakytkimen tulee olla esimerkiksi koodattu niin että se hyväksyy vastinkappaleeksi vain oikean vastinkappaleensa.

Lisecin leikkauskoneen vaara-alueella ei käydä säännöllisesti, mutta esimerkiksi huoltotöiden helpottamiseksi aitaan asennetaan toimintaan kytketty ovi. Botteron järjestelmässä koneiden sähkökeskuksille ja päävirtakatkaisijoille pääsy edellyttää leikkauskoneen vaara-alueelle menemistä, joten toimintaan kytketyn oven asentaminen on tässäkin tapauksessa perusteltua. Samalla tavalla kuin kuljetinvaunun järjestelmässä oviin kytketään rajakytkimet ja niiden tilaa valvotaan turvareleillä.

Vaara-alueet aidataan (Kuva 17) niin, ettei vaarakohtiin pääsy järjestelmän sitä huomaamatta ole mahdollista. Kuljetinvaunun vaara-alue aidataan huomattavasti korkeammalla aidalla kuin leikkauskoneen, johtuen kuljetinvaunun tarttujista ja lasilevyn korkeudesta. Leikkauskoneen vaara-alueen aitaamiseksi riittää matalampi aita. Taulukossa 10 esitetään suojarakenteelta vaadittava vähimmäisetäisyys vaarakohdasta. Lisäksi taulukossa 11 esitetään suojarakenteen aukkojen koot, kehon osat huomioiden. Oviin asennettavat sähkölukot varmistavat ovien kiinnipysymisen koneiden liikkessa. Turvallistamistoimenpiteiden jälkeen ei ole enää mahdollista siirtää esimerkiksi kuljetinvaunua materiaalia lisättäessä ilman turvajärjestelmän tietoista ohittamista.



Kuva 17. Tuotantolinjojen layout-kuva turvallistamisen jälkeen.

Aloittamalla turvallistaminen Botteron toimittamasta tuotantolinjasta voidaan siinä käytettäviä ratkaisuja hyödyntää myös Lisecin tuotantolinjassa. Turvallisuuteen liittyvän ohjausjärjestelmän osan diagnostiikan kattavuutta voidaan parantaa asentamalla uudet suorituskykyisemmät turvareleet. Luokan 4 vaatimukset täyttävät turvareleet kytketään kuvan (Kuva 9) osoittamalla tavalla. Toimenpide nostaa ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvien osien vikaantumisten diagnostiikan

kattavuuden tasoa. Tällöin yksittäiset vikaantumiset rajakytkimissä ja pääkontaktoreissa kyetään havaitsemaan.

Linjojen turvallistaminen täytyy tehdä yhteistyössä kyseisten linjojen toimittajien kanssa, koska esimerkiksi logiikkaohjelman muokkaaminen edellyttää laajempia käyttöoikeuksia. Alkupään suojausta suunnitellessani otin yhteyttä suoja-aitoja ja ovia toimittavaan yritykseen ja selvitin mahdollisuuksia suojata linjojen alkuosa. Heillä on aiempaa kokemusta samankaltaisesta turvallistamisratkaisusta leveän aukon osalta.

Lasinleikkauslinjojen riskejä voidaan vähentää aiemmin mainituilla toimenpiteillä automaattikäytön osalta. Koneet ja prosessi täytyy kuitenkin saada turvalliseksi myös materiaalin osalta. Lasin ominaisuuksista aiheutuvat riskit vähenevät, koska koneet eivät turvallistamisen jälkeen liiku samaan aikaan, kun vaara-alueella ollaan. Lasin sirpaleista johtuvat riskit vähenevät lukuun ottamatta häiriötilanteita, joissa rikkoutunutta lasia poistetaan tuotannosta. Turvallistamalla koneiden toiminta ei näitä sirpaleista johtuvia riskejä voida kokonaan poistaa. Rikkoutuneen lasilevyn tuotannosta poistaminen tulee tehdä siitä laaditun ohjeen mukaisesti. Ohjeessa tulee esittää menetelmät, kuinka rikkoutunut lasilevy poistetaan tuotannosta turvallisesti.

Tämän koneturvallisuusprojektin alussa oli selvää, että aihe on laaja ja opeteltavia asioita on paljon. Koneturvallisuuteen liittyvän materiaalin lukeminen sekä ymmärtäminen veivät runsaasti aikaa. Koneita turvallistettaessa täytyy ottaa huomioon myös koneista riippumattomia seikkoja, kuten ihmisen käyttäytyminen. Riskien arvioinnilla luotiin projektin perusta ja sen tuloksiin palattiin useasti. Tällaista projektia tekemässä on hyvä olla asiantunteva työryhmä, jolloin turvallistamisen suunnitteluun saadaan useamman henkilön näkökulma. Opin tämän opinnäytetyön myötä paljon niin koneturvallisuudesta kuin sähkökuvien tulkitsemisestakin. Vertailin vaihtoehtoja toteuttaa turvallistaminen ja löysin mielestäni parhaan ratkaisun. Uskon, että tilaajan on helppo jatkaa tämän projektin tuloksista nykyaikaistaessaan lasinleikkauslinjojen koneturvallisuutta.

LÄHTEET

Siirilä, T. 2008a. Koneturvallisuus EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. 2. uudistettu painos.

Siirilä, T. 2008b. Koneturvallisuus EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 2.uudistettu painos.

Siirilä, T. 2009. Koneturvallisuus Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. 2. uudistettu painos.

Työturvallisuuslaki. 2002. 23.8.2002/738

Työterveyslaitoksen www-sivut. Viitattu 19.11.2015. <http://www.ttl.fi>

Käyttöasetuksen soveltamissuosituksia. 2013. Tampere: Työsuojeluhallinto. Viitattu 12.11.2015. http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2013/06/TSO_47.pdf

Valtioneuvoston asetus työvälaineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta. 2008. 12.6.2008/403

Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta. 2004. 26.11.2004/1016

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. 2008. 12.6.2008/400

Koneturvallisuus säädökset ja soveltaminen. 2007. Tampere: Työsuojeluhallinto. Viitattu 12.11.2015.
http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2007/08/TSJ_57.pdf

Metsta koneturvallisuuden www-sivut. 2015. Viitattu 21.11.2015
http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut

Suomen standardisoimisliitto SFS www-sivut 2015. Viitattu 21.11.2015
<http://www.sfs.fi>

SFS-EN ISO 13855. Safety of machinery. Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body (ISO 13855:2010). 2010. Finnish standards association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 10.11.2015. <http://www.sfs.fi>

SFS-EN ISO 12100. Safety of machinery. General principles for design. Risk assessment and risk reduction (ISO 12100:2010). 2010. Finnish standards association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 10.11.2015. <http://www.sfs.fi>

SFS-EN 1037 + A1 Safety of machinery. Prevention of unexpected start-up (EN 1037:1995+A1:2008). 2008. Finnish standards association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 10.11.2015. <http://www.sfs.fi>

SFS-EN 953 + A1 Safety of machinery. Guards. General requirements for the design and construction of fixed and movable guards (EN 953:1997+A1:2009). 2009. Finnish standards association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 11.11.2015. <http://www.sfs.fi>

SFS-EN ISO 13857 Safety of machinery. Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs (ISO 13857:2008). 2008. Finnish standards association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 12.11.2015. <http://www.sfs.fi>

SFS-EN 13849-1 Safety of machinery. Safety-related parts of control systems. Part 1: General principles for design (ISO 13849-1:2015). 2015. Finnish standards association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 26.01.2015. <http://www.sfs.fi>

SFS-EN ISO 13849-2 Safety of machinery. Safety-related parts of control systems. Part 2: Validation (ISO 13849-2:2012). 2012. Finnish standards association SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 26.01.2015. <http://www.sfs.fi>

Sesko standardisointijärjestön www-sivut. 2016. Viitattu 7.2.2016
<http://www.sesko.fi/>

Suvela, T. 2010. Koneturvallisuus. Luentomateriaali Satakunnan ammattikorkeakoulun sisäisessä koulutuksessa. Viitattu 7.2.2016
<https://moodle2.samk.fi/login>

BGIA Report 2/2008e. Functional safety of machine controls 2008. Viitattu 7.2.2016
<http://www.dguv.de/medien/ifa/en/pub/rep/pdf/rep07/biar0208/rep22008e.pdf>

LIITE 1

Vaaratekijä	Telineessä olevan lasilevyn kaatuminen ja sen alle puristuminen
-------------	---

	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Äärimmäisen epätodennäköistä, lähes mahdoton (0,1)	Lasilevyt asetetaan nojaamaan telineisiin, odottaen kuljetinvaunun noutoa. Automaattikäytöllä vaara-alueelle ei tarvitse mennä. Telineessä ollessa on äärimmäisen epätodennäköistä että levy kaatuu.
Häiriötilanne	Äärimmäisen epätodennäköistä, lähes mahdoton (0,1)	Häiriön luonteesta riippuen alueelle on mahdollisesti mentävä poistamaan häiriötä. Telineessä ollessa on äärimmäisen epätodennäköistä että levy kaatuu.
Kunnossapito, siivous	Äärimmäisen epätodennäköistä, lähes mahdoton (0,1)	Alueelle täytyy mennä siivoamisen ja kunnossapidon yhteydessä. Koneet pysäytetään kunnossapidon ja siivouksen ajaksi, joten on äärimmäisen epätodennäköistä että levy kaatuu juuri silloin.
Materiaalin lisäys, välipahvit	Äärimmäisen epätodennäköistä, lähes mahdoton (0,1)	Lasilevyjä lisättäessä telineisiin kuljetinvaunun vaara-alueelle täytyy mennä. Materiaalin lisäyksen yhteydessä levynippujen väliin viedään välipahvit, jotta erilaiset lasit eivät sekoitu keskenään. Välipahveja on myös haettava pois, kun koko nippu on työstetty. Telineessä ollessa on äärimmäisen epätodennäköistä että levy kaatuu.

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Lasilevyt painavat satoja kiloja. Sellaisen massan alle jääminen voi johtaa suuriin luunmurtumiin tai muihin vakaviin vaurioihin	50

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,1	50	5
Häiriötilanne	0,1	50	5
Kunnossapito, siivous	0,1	50	5
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,1	50	5

LIITE 2

Vaaratekijä	Lasilevyn särkyminen ja sirpaleiden alle jääminen
-------------	---

	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Mahdollinen, mutta epätodennäköinen (0,4)	Lasilevyt asetetaan nojaamaan telineisiin odottamaan kuljetinvaunun noutoa. Automaattikäytöllä vaara-alueelle ei tarvitse mennä. On olemassa mahdollisuus, että levy on vaurioitunut ja särkyy teräviksi sirpaleiksi ja osuu ihmiseen.
Häiriötilanne	Mahdollinen, mutta epätodennäköinen (0,5)	Häiriön luonteesta riippuen alueelle on mahdollisesti mentävä poistamaan häiriö. Lasi saattaa särkyä häiriötä poistettaessa.
Kunnossapito, siivous	Hyvin epätodennäköinen, kuitenkin ajateltavissa (0,2)	Vaara-alueelle täytyy mennä siivoamisen ja kunnossapidon yhteydessä, mutta koneet ovat pysäytettyinä, joten on hyvin epätodennäköistä että lasi särkyy.
Materiaalin lisäys, välipahvit	Mahdollinen, mutta epätodennäköinen (0,5)	Tuotannon aikana kuljetinvaunun vaara-alueelle on mentävä hakemaan lasilevynippujen välissä olevia pahveja.

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Sirpaleet ovat erittäin teräviä ja ne voivat pudota muutaman metrin korkeudelta. Ihmiseen osuessaan sirpaleet voivat aiheuttaa merkittävää vahinkoa kuten raajan menettämisen taikka muita vastaavia pysyviä vammoja	70

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,4	70	28
Häiriötilanne	0,5	70	35
Kunnossapito, siivous	0,2	70	14
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,5	70	35

LIITE 3

Vaaratekijä	Kuljetinvaunun alle puristuksiin jääminen
-------------	---

	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Hyvin epätodennäköinen, kuitenkin ajateltavissa (0,2)	Käyttäjien ei tarvitse mennä kuljetinvaunun vaara-alueelle laitteen ollessa automaattikäytöllä. Tätä ei kuitenkaan ole estetty.
Häiriötilanne	Epätodennäköinen (0,3)	Jos kuljetinvaunun vaara-alueelle mennään selvittämään esimerkiksi miksi vaunu on pysähtynyt kesken liikkeen. On epätodennäköistä, että vaunu lähtee liikkeelle yllättäen. Tämä on kuitenkin todennäköisempää kuin automaattikäytöllä
Kunnossapito, siivous	Epätodennäköinen (0,2)	Vaara-alueella tehdään kunnossapitotöitä hätäpysäytyspainike painettuna. Alueen siivous on kielletty koneiden ollessa käynnissä, mutta ei rajoitettu.
Materiaalin lisäys, välipahvit	Epätodennäköinen (0,3)	Lasilevyjä lisättäessä kuljetinvaunua täytyy välillä siirtää, jotta käyttäjä voi viedä kuorman oikeaan telineeseen. Käyttäjät kommunikoivat keskenään, jotta kuljetinvaunua ei siirretä samaan aikaan kun lasikuormaa tuodaan. On kuitenkin mahdollista joskin epätodennäköistä, että koneen käyttäjä siirtää vaunua samaan aikaan kun alueelle tuodaan lasia, viedään välipahveja tai haetaan niitä pois.

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Vaunun alle puristuksiin joutumisen seurauksena voi olla suuren luun murtuma taikka pysyviä lieviä vammoja, kuten sormien menettäminen tai niiden toimintakyvyn heikentyminen	50

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,2	50	10
Häiriötilanne	0,3	50	15
Kunnossapito, siivous	0,2	50	10
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,3	50	15

LIITE 4

Vaaratekijä	Kuljetinvaunun ja tarttujien väliin puristuminen	
	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Epätodennäköinen (0,3)	Käyttäjien ei tarvitse mennä kuljetinvaunun vaara-alueelle laitteen ollessa automaattikäytöllä. Tämä on kuitenkin mahdollista.
Häiriötilanne	Epätodennäköinen (0,4)	Jos häiriö tapahtuu tarttujapalkkien ollessa yläasennossa ja syytä selvittäessä joudutaan menemään alueelle. On epätodennäköistä, että palkit laskeutuvat takaisin ala-asentoon ihmisen ollessa vaunun ja palkkien välissä.
Kunnossapito, siivous	Hyvin epätodennäköinen, kuitenkin ajateltavissa (0,2)	Vaara-alueella tehdään kunnossapitotöitä hätäpysäytyspainike painettuna. Koneet on tällöin kytketty irti energian syötöstä. Alueen siivous on kielletty koneiden ollessa käynnissä, mutta ei rajoitettu. On hyvin epätodennäköistä että turvatoiminto menetetään ja kone lähtee käyntiin odottamattomasti.
Materiaalin lisäys, välipahvit	Epätodennäköinen (0,3)	Lasilevyjä lisättäessä kuljetinvaunua täytyy välillä siirtää ja tarttumat ajaa yläasentoon. Koneen käyttäjät ja lasikuormaa käsittelevä käyttäjä kommunikoivat keskenään. On epätodennäköistä että käyttäjä menee kuljetinvaunun päälle samaan aikaan kun koneen käyttäjä laskee tarttumat takaisin ala-asentoon.

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Telineiltä levyjä haettaessa kuljettimesta nousee palkit, joissa on imukuppitarttumat. Palkkien laskeutuessa takaisin alas kuljetinvaunun ja tarttuman väliin puristuksiin joutuminen voi aiheuttaa suuren luun murtuman tai muita vakavia vammoja	60

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,3	60	18
Häiriötilanne	0,4	60	24
Kunnossapito, siivous	0,2	60	12
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,3	60	18

LIITE 5

Vaaratekijä	Leikkauskoneen kyljessä liikkuvan kotelon eteen jääminen
-------------	--

	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Mahdollinen, mutta epätavallinen (0,4)	Leikkauskoneen vaara-alueelle ei tarvitse mennä automaattikäytöllä, mutta se on mahdollista. Kulkureitti on hyvin lähellä koneen suojaamatonta liikkuvaa osaa ja on mahdollista erehtyä jäämään kotelon liikealueelle.
Häiriötilanne	Mahdollinen, mutta epätavallinen (0,5)	Riippuen häiriön luonteesta alueelle täytyy mennä. Prosessia päästään usein jatkamaan ajamalla kone käsikäytöllä pois tilanteesta, jossa häiriö on ilmennyt. Eikä näissä tapauksissa alueelle ole syytä mennä.
Kunnossapito, siivous	Hyvin epätodennäköinen, kuitenkin ajateltavissa (0,2)	Vaara-alueella tehdään kunnossapitotöitä hätäpysäytyspainike painettuna. Alueen siivous on kielletty koneiden ollessa käynnissä, mutta ei rajoitettu. On hyvin epätodennäköistä että turvatoiminto menetetään ja kone lähtee käyntiin odottamattomasti.
Materiaalin lisäys, välipahvit	Mahdollinen, mutta epätavallinen (0,5)	Käyttäjät hakevat välipahveja kuljettimen vaara-alueelta. He menevät alueelle leikkauskoneen liikkuvan osan vierestä. On mahdollista, mutta epätavallista että he joutuvat leikkauskoneen kotelon tönäisemäksi.

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Kelkka, jossa terä on, liikkuu nopeasti. Kelkan tönäisemäksi tuleminen voi aiheuttaa suuren luunmurtuman tai vaikean mutta parantuvan sairauden taikka pysyviä lieviä vammoja	60

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,4	60	24
Häiriötilanne	0,5	60	30
Kunnossapito, siivous	0,2	60	12
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,5	60	30

Vaaratekijä	Leikkauskoneen terään osuminen
-------------	--------------------------------

	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Hyvin epätodennäköinen, kuitenkin ajateltavissa (0,2)	Leikkauskoneen vaara-alueelle ei tarvitse mennä automaattikäytöllä, mutta se on mahdollista. Terään osuminen on kuitenkin hyvin epätodennäköistä, koska terän edessä on esteitä
Häiriötilanne	Epätodennäköinen (0,3)	Riippuen häiriön luonteesta alueelle täytyy mennä. Prosessia päästään usein jatkamaan ajamalla kone käsikäytöllä pois tilanteesta, jossa virhe on ilmennyt. Eikä näissä tapauksissa vaara-alueelle ole syytä mennä.
Kunnossapito, siivous	Epätodennäköinen (0,2)	Vaara-alueella tehdään kunnossapitotöitä hätäpysäytyspainike painettuna. Alueen siivous on kielletty koneiden ollessa käynnissä, mutta ei rajoitettu.
Materiaalin lisäys, välipahvit	Epätodennäköinen (0,3)	Käyttäjät hakevat välipahveja kuljettimen vaara-alueelta. He kulkevat alueelle leikkauskoneen liikkuvan osan vierestä. On kuitenkin epätodennäköistä, että käyttäjä laittaa esimerkiksi käden leikkauskoneen terään.

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Jonkin raajan vieminen leikkaavan terän läheisyyteen esimerkiksi häiriönpoiston yhteydessä voi aiheuttaa pysyviä vammoja kuten raajan menettämisen tai niiden toimintakyvyn heikkenemisen	60

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,2	60	12
Häiriötilanne	0,3	60	18
Kunnossapito, siivous	0,2	60	12
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,3	60	18

LIITE 7

Vaaratekijä	Lattialle kertyvän lasipölyn aiheuttama liukastuminen
-------------	---

	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Mahdollinen, mutta epätodennäköinen (0,4)	Alueelle, jossa lasipölyä on, ei tarvitse automaattikäytön aikana mennä. On kuitenkin mahdollista kävellä vaara-alueilla koneiden käydessä ja liukastua.
Häiriötilanne	Mahdollinen, mutta epätodennäköinen (0,5)	Todennäköisyys liukastumiselle on luonnollisesti suurempi tilanteissa joissa vaara-alueelle on mentävä.
Kunnossapito, siivous	Mahdollinen, mutta epätodennäköinen (0,5)	sama kuin edellinen
Materiaalin lisäys, välipahvit	Mahdollinen, mutta epätodennäköinen (0,5)	sama kuin edellinen

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Alueella on lasinleikkaamisessa syntyvää lasipölyä, joka on erittäin hienojakoista. Näin ollen pölyyn saattaa liukastua. Liukastumisesta voi seurata lieviä vammoja kuten naarmuja tai mustelmia	20

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,4	20	8
Häiriötilanne	0,5	20	10
Kunnossapito, siivous	0,5	20	10
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,5	20	10

Vaaratekijä	Kuljetinvaunulta siirtyvän levyn ja leikkauskoneen väliin jääminen	
	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Hyvin epätodennäköinen (0,2)	Vaara-alueelle ei ole syytä mennä automaattikäytöllä. Leikkauskoneen ja kuljetinvaunun väliin jää pienimmillään 250mm rako. On hyvin epätodennäköistä, että ihminen menee tai laittaa esimerkiksi kätensä kuljetinvaunulta siirtyvän levyn ja leikkauskoneen väliin.
Häiriötilanne	Epätodennäköistä (0,3)	Vaara-alueelle mentäessä ja häiriötä poistettaessa on suurempi todennäköisyys jäädä levyn ja leikkauskoneen väliin. Tämä on kuitenkin epätodennäköistä
Kunnossapito, siivous	Hyvin epätodennäköinen (0,2)	Vaara-alueella tehdään kunnossapitotöitä hätäpysäytyspainike painettuna. Alueen siivous on kielletty koneiden ollessa käynnissä, mutta ei rajoitettu.
Materiaalin lisäys, välipahvit	Epätodennäköistä (0,3)	Kuljetinvaunun ja leikkauskoneen väliin jäävän raon läheltä kuljetaan vaara-alueelle hakemaan välipahveja.

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Levyn ja leikkauskoneen väliin jääminen voi aiheuttaa pienen luunmurtuman tai pienehkön palautuvan sairauden. Lisäksi levyn terävät kulmat saattavat aiheuttaa haavoja.	30

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,2	30	6
Häiriötilanne	0,3	30	9
Kunnossapito, siivous	0,2	30	6
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,3	30	9

Vaaratekijä	Kuljetinvaunun ja leikkauskoneen väliin puristuksiin jääminen
-------------	---

	Todennäköisyysarvio (0,1-1)	Perustelu arviolle
Automaattikäyttö	Hyvin epätodennäköinen (0,2)	Vaara-alueelle ei ole syytä mennä automaattikäytöllä. Leikkauskoneen ja kuljetinvaunun väliin jää pienimmillään 250mm rako. Kuljetinvaunu liikkuu nopeudella 400mm/s. On hyvin epätodennäköistä, että ihminen menee kuljetinvaunun ja leikkauskoneen väliin.
Häiriötilanne	Epätodennäköistä (0,3)	Vaara-alueelle mentäessä ja häiriötä poistettaessa on suurempi todennäköisyys jäädä kuljetinvaunun ja leikkauskoneen väliin puristuksiin. Tämä on kuitenkin epätodennäköistä
Kunnossapito, siivous	Hyvin epätodennäköinen (0,2)	Vaara-alueella tehdään kunnossapitotöitä hätäpysäytyspainike painettuna. Alueen siivous on kielletty koneiden ollessa käynnissä, mutta ei rajoitettu.
Materiaalin lisäys, välipahvit	Epätodennäköistä (0,3)	Kuljetinvaunun ja leikkauskoneen väliin jäävän raon läheltä kuljetaan vaara-alueelle hakemaan välipahveja.

Mahdolliset seuraukset	Lukuarvo
Puristuksiin joutumisen seurauksena voi olla pieni luunmurtuma tai pienehkö palautuva sairaus.	30

Riskin suuruus

Käyttötilanne	Todennäköisyys	Seurauksen vakavuus	Riski
Automaattikäyttö	0,2	30	6
Häiriötilanne	0,3	30	9
Kunnossapito, siivous	0,2	30	6
Materiaalin lisäys, välipahvit	0,3	30	9