

Juho Jutila

Turvaoviratkaisun suunnitleminen

Opinnäytetyö

Kevät 2021

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Juho Jutila

Työn nimi: Turvaoviratkaisun suunnitleminen

Ohjaaja: Mikko Ylihärsilä

Vuosi: 2021

Sivumäärä: 60

Liitteiden lukumäärä: 2

Tämä opinnäytetyö on tehty Finn-Power Oy:lle. Työn tavoitteena on suunnitella nykyisen oviratkaisun tilalle rakenteeltaan yksinkertaisempi, tukevampi ja helppokäyttöisempi ratkaisu huomioiden standardinmukaisuus ja turvallisuus.

Työssä käydään läpi koneiden ja laitteiden suunnittelussa huomioitavia asioita sekä perehdytään koneturvallisuuteen liittyviin standardeihin ja määräyksiin. Teoriaosuu- den jälkeen esitellään vaihtoehtoja uudelle turvaovelle.

Työn tuloksena on esitetty erilaisia vaihtoehtoja turvaoven valitsemiseen. Työn liitteessä esitetty suunnitellun mallin piirustukset.

Avainsanat: koneturvallisuus, konedirektiivi, koneturvallisuuden standardit

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Juho Jutila

Title of thesis: Designing of a Safety Door

Supervisor: Mikko Ylihärsilä

Year: 2021

Number of pages: 60

Number of appendices: 2

The purpose of the thesis was to design a simple, more robust and easier to use safety door considering safety requirements and machine safety standards. The thesis was assigned by Finn-Power Oy.

The thesis focused on issues to be considered in the design of machines and equipment as well as when getting familiar with machine safety standards and regulations. Options for the new safety door were presented after studying the related theory.

As the result of the thesis different options for a new safety door were presented. The appendices of the thesis include the drawings of the designed model.

Keywords: machine safety, machine directive, machine safety standards

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| Opinnäytetyön tiivistelmä..... | 2 |
| Thesis abstract..... | 3 |
| SISÄLTÖ..... | 4 |
| Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo..... | 6 |
| Käytetyt termit ja lyhenteet..... | 9 |
| 1 JOHDANTO..... | 10 |
| 1.1 Työn tausta ja tavoite..... | 10 |
| 1.2 Työn rakenne..... | 10 |
| 1.3 Finn-Power Oy..... | 10 |
| 2 TEORIA..... | 12 |
| 2.1 Konedirektiivissä ja koneasetuksessa esitetyt turvallisuusvaatimukset..... | 12 |
| 2.2 A-, B- ja C-tyyppin standardit..... | 15 |
| 2.3 Koneturvallisuuden perusstandardi SFS-EN ISO 12100 (Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen)..... | 16 |
| 2.4 Riskin arviointi ja riskin pienentäminen..... | 17 |
| 2.5 Erilaisten vaarojen ja vaaratilanteiden tunnistaminen..... | 20 |
| 2.6 Riskin suuruuden arviointi..... | 21 |
| 2.7 SFS-EN ISO 14120 (Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet)..... | 22 |
| 2.8 SFS-EN ISO 13857 (Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille)..... | 25 |
| 2.9 SFS-EN ISO 14119 (Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta)..... | 29 |
| 2.9.1 Yleistä toimintaankytkentälaitteista..... | 30 |
| 2.9.2 Toimintaankytkennän periaatteet lukinnalla ja ilman lukintaa oleville suojuksille..... | 33 |
| 2.9.3 Vaihtoehdot lukinnan toteuttamiselle..... | 36 |
| 2.9.4 Vaatimukset lukinnalla varustetulla ja ilman lukintaa oleville toimintaankytkentälaitteille..... | 38 |
| 2.9.5 Suojuksen lukinnan valvonta..... | 38 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.9.6 | Muut suojuksen lukinnan avaamismahdollisuudet | 39 |
| 2.9.7 | Toimintaankytkentälaitteiden valinta | 40 |
| 2.9.8 | Toimet toimintaankytkentälaitteiden mitätöinnin estämiseksi | 41 |
| 2.9.9 | Suoritustasot, luokat ja vikaantumisen estäminen | 43 |
| 3 | SUUNNITELLUT RATKAISUT | 47 |
| 3.1 | Suunnitteluprosessi..... | 47 |
| 3.2 | Mallinnus..... | 48 |
| 3.3 | Oven materiaalit..... | 49 |
| 3.4 | Muita vaihtoehtoja..... | 51 |
| 3.5 | Oveen kiinnitettäviä komponentteja | 52 |
| 3.6 | Ehdotus uudelle turvaovelle | 54 |
| 4 | YHTEENVETO..... | 55 |
| | LÄHTEET | 56 |
| | LIITTEET | 60 |

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Esimerkki toimintaan kytketystä suojuksesta. (Stronghold Safety engineering, [viitattu 18.3.2021]). | 23 |
| Kuva 2. Ulottuminen suojarakenteen yli ja taulukko turvaetäisyyksien määrittämiseen (SATECH, [viitattu 21.3.2021]). | 26 |
| Kuva 3. Yläraajojen ulottuminen (Troax, [viitattu 22.3.2021]). | 27 |
| Kuva 4. Esimerkki toimintaankytkentälaitteesta (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 12). | 30 |
| Kuva 5. 1-, 2-, 3- ja 4 tyyppin toimintaankytkentälaitteiden toimintaperiaate (Researchgate, [viitattu 19.4.2021]). | 32 |
| Kuva 6. Toimintaankytkennän periaate ilman lukintaa olevalle suojukselle (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 24). | 33 |
| Kuva 7. Ilman ehtoja olevan lukinnan avaaminen (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 26). | 35 |
| Kuva 8. Ehdollinen lukinnan avaaminen (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 26). | 36 |
| Kuva 9. Esimerkki mekaanisella lukinnalla varustetusta toimintaankytkentälaitteesta (Schmersal, [viitattu 22.4.2021]). | 37 |
| Kuva 10. Esimerkki sähkömagneettisesta toimintaankytkentälaitteesta (Rockwell Automation, [viitattu 22.4.2021]). | 37 |
| Kuva 11. Esimerkki lukinnalla varustetusta asematuntokytkimestä (Schmersal, [viitattu 24.4.2021]). | 39 |
| Kuva 12. Esimerkki yhden käden vaakasuorasta liikkeestä voima 700N (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 120). | 41 |
| Kuva 13. Riskigraafi ja selitteet (Perustuu SFS-EN ISO 13849-1 2015, 55). | 44 |

| | |
|---|----|
| Kuva 14. Esimerkki vaihtoehdosta, jossa kiinteä yläpalkki estää trukilla pääsyn (Etra, [viitattu 27.5.2021]). | 48 |
| Kuva 15. 3D-mallinnus turvaovesta. Kuvakaappaus Solid Edge-ohjelmistosta. ... | 49 |
| Kuva 16. Esimerkki täysin avautuvasta teleskooppijohteesta (Movetec, [viitattu 8.5.2021]). | 51 |
| Kuva 17. Axelentin turvaovi kiskoilla ja saranoilla (Axelent, [viitattu 28.5.2021]). | 51 |
| Kuva 18. Troaxin liukuovi ilman saranointia (Troax, [viitattu 29.5.2021]). | 52 |
| Kuva 19. Schmersalin 200-sarjan turvasolenoidilukko ja liitettäviä kahvoja (Schmersal, [viitattu 9.5.2021]). | 53 |
| Kuva 20. Schmersalin SZ200-1-lukitusrauta (Schmersal, [viitattu 29.5.2021]). | 53 |
| | |
| Kuvio 1. Päävaiheet konedirektiivin noudattamiseksi (Metsta, [viitattu 15.3.2021]). | 13 |
| Kuvio 2. Koneturvallisuuden standardien hierarkia (Pilz, [viitattu 9.3.2021]). | 16 |
| Kuvio 3. Riskin arvioinnin eri vaiheet (Metsta, [viitattu 9.3.2021]). | 18 |
| Kuvio 4. Riskin pienentämisen eri vaiheet (Metsta, [viitattu 9.3.2021]). | 18 |
| Kuvio 5. Riskien osatekijät (Perustuu SFS-EN ISO 12100 2010, 42). | 21 |
| Kuvio 6. Riskin suuruuden arviointimatriisi (Työterveyslaitos, [viitattu 16.3.2021]). | 22 |
| | |
| Taulukko 1. Turvaetäisyydet säännöllisen muotoisille aukoille (SATECH, [viitattu 22.3.2021]). | 28 |
| Taulukko 2. Turvaetäisyydet alaraajojen ulottumisen estämiseksi (SATECH, [viitattu 22.3.2021]). | 29 |

| | |
|--|----|
| Taulukko 3. Yleiskuvaus toimintaankytkentälaitteista (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 22)..... | 31 |
| Taulukko 4. Luokat ja niiden vaatimukset (SFS-EN ISO 13849-1 2015, 41)..... | 46 |

Käytetyt termit ja lyhenteet

| | |
|----------------|--|
| CEN | Yksityinen järjestö, jonka päätavoitteena on edistää eurooppalaista standardisointia. |
| CENELEC | Vuonna 1973 perustettu eurooppalainen sähköalan standardisoimisjärjestö. |
| EN | CEN ja CENELEC ovat vahvistaneet standardin, mutta sitä ei ole vahvistettu vielä kansalliseksi SFS-EN-standardiksi |
| ETSI | Eurooppalainen telealan standardisoimisjärjestö. |
| ISO | Maailmanlaajuinen kansallisten standardisoimisjärjestöjen liitto. |
| PL | Performance Level, suoritustaso |
| PLr | Performance Level required, vaadittava suoritustaso |
| RFID | Radio Frequency Identification. Asioiden havainnointiin, tunnistamiseen ja yksilöintiin käytettävä radiotaajuudella toimiva teknologia |
| SFS | Suomen Standardisoimisliitto |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoite

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Finn-Power Oy. Työn taustalla on yrityksen halu kehittää nykyistä käytössä olevaa turvaoviratkaisua paremmaksi. Nykyinen ratkaisu koostuu kahdesta kaksiosaisesta taiteovesta, jotka avautuvat molemmiin puolin oviaukkoa. Ovien lukitus tapahtuu sähkölukolla, joka on oviaukon keskellä. Johtuen oven rakenteesta ja käytetyn materiaalin paksuudesta nykyinen ratkaisu ei ole kovin tukeva.

Työn tavoitteena on suunnitella nykyisen oviratkaisun tilalle rakenteeltaan yksinkertaisempi, tukevampi ja helppokäyttöisempi ratkaisu huomioiden standardinmukaisuus ja turvallisuus.

1.2 Työn rakenne

Työn alussa käydään läpi työn tausta, tavoite ja rakenne sekä esitellään työn toimeksiantajana toimiva yritys. Toinen luku on teoriaosuus, jossa käydään läpi koneiden ja laitteiden suunnittelussa huomioitavia asioita sekä perehdytään koneturvallisuuteen liittyviin standardeihin ja määräyksiin. Teoriaosuuden jälkeen esitellään suunnitelma uudesta turvaovesta. Lopussa on yhteenveto sekä omaa pohdintaa opinnäytetyöstä.

1.3 Finn-Power Oy

Finn-Power Oy on vuonna 1969 perustettu levytyökoneisiin ja valmistusjärjestelmiin erikoistunut teollisuusyritys, jonka päätoimipiste on Seinäjoella. Yritys on vuodesta 2008 lähtien ollut osa Milanon pörssissä noteerattua Prima Industrie -konsernia. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2017 n. 450 miljoonaa euroa. Finn-Power Oy:n tuotteiden ja palveluiden tunnuksena on Prima Power. (Prima Power, [viitattu 9.6.2020].)

Prima Power on yksi maailmanmarkkinoiden johtavista levyntyöstökoneisiin ja -järjestelmiin erikoistuneista yrityksistä. Prima Powerin tuotantoyksiköitä on Suomessa, Italiassa, Yhdysvalloissa ja Kiinassa, joista on toimitettu yli 10 000 konetta ja järjestelmää asiakkaille kaikkialle maailmaan. (Prima Power, [viitattu 10.6.2020].)

2 TEORIA

Koneiden ja laitteistojen suunnittelussa ja rakennuksessa on otettava huomioon Euroopan parlamentin ja neuvoston asettama konedirektiivi 2006/42/EY sekä Suomen valtioneuvoston täytäntöön asettama koneasetus 400/2008 koneiden ja laitteiden turvallisuudesta. Tämä asetus pitää sisällään yleiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset koneiden ja laitteiden suunnittelussa sekä määrää suunnittelijan huomioidaan riskit ja tekemään riskiarvioinnin. (A 12.6.2008/400.)

Koneturvallisuuden standardit esittävät tarkemmin tekniset ratkaisut, jotka konedirektiivin yleisissä vaatimuksissa esitetään. Standardeissa on erikseen määritetty vaatimuksia erilaisille suojuksille, jotka täytyy ottaa huomioon suunnittelussa. Suojus voi olla kiinteä, avattava, aseteltava tai koneen toimintaan kytketty suojus. (Suomen standardisoimisliitto, [viitattu 6.11.2020].)

Tämän työn teoriaosuudessa perehdytään tarkemmin konedirektiivin turvallisuusvaatimuksiin ja standardeihin SFS-EN ISO 12100 (sisältää koneturvallisuuden yleiset suunnitteluperiaatteet, riskinarvioinnit ja kuvaukset riskien pienentämiseksi), SFS-EN ISO 13857 (standardissa esitetään turvaetäisyydet ylä- ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi koneen vaaravyöhykkeille), SFS-EN ISO 14119 (standardissa esitetään suojusten kytkentä koneen toimintaan) sekä SFS-EN ISO 14120 (sisältää yleiset periaatteet suojusten suunnitteluun ja rakenteeseen). Lisäksi standardin SFS-EN ISO 14119 yhteydessä käsitellään myös standardista SFS-EN ISO 13849-1 (Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat) kohtia koskien vaadittuja suoritustasoja ja luokkia.

2.1 Konedirektiivissä ja koneasetuksessa esitetyt turvallisuusvaatimukset

Koneturvallisuuden standardien pohjalla on konedirektiivissä esitetyt perusvaatimukset, joita koneen valmistajan tulee noudattaa. EU/ETA-alueella markkinoille tulevien ja käyttöön otettavien koneiden tulee noudattaa konedirektiiviä. Termillä kone tarkoitetaan kaikkia koneita, joihin konedirektiivissä on viitattu. Esimerkiksi erilaiset konesuojat ovat koneita. Koneen valmistajalla voidaan tarkoittaa varsinaisen val-

mistajan lisäksi myös tuotteen markkinoille saattajaa, jos esimerkiksi kone on valmistettu EU/ETA-alueen ulkopuolella eikä konedirektiiviä ole noudatettu. Myös asiakkaat, viranomaiset tai erilaiset testauslaitokset tarvitsevat koneturvallisuuden standardeja varmistamaan vaatimustenmukaisuuden ja koneen turvallisuuden. (Metsta, [viitattu 15.3.2021].)

Yhdenmukaiset standardit ovat eurooppalaisten standardijärjestöjen (CEN, CENELEC, ETSI) vahvistamia standardeja. Nämä standardit ovat saaneet yhdenmukaistetun standardin aseman, mikä tarkoittaa yksiselitteistä linkkiä konedirektiiviin. Yhdenmukaistetut standardit auttavat koneen suunnittelijaa täyttämään konedirektiivin liitteessä I esitetyt terveyst- ja turvallisuusvaatimukset. Tekniikan kehittyessä lainsäädännöllä voi olla vaikeuksia pysyä kehityksen mukana. Tässä tapauksessa yhdenmukaiset standardit ovat helppo tapa linkittää laissa säädetyt vaatimukset ja vapaaehtoiset standardit niin ettei lakia tarvitse muuttaa. (Metsta, [viitattu 16.3.2021].)

Konedirektiivin noudattamiseen kuuluu viisi päävaihetta. Alla olevassa kuviossa on esitetty nämä viisi vaihetta. On huomioitavaa, että ”osittain valmiiden koneiden” kohdalla vaiheet ovat erilaisia. (Metsta, [viitattu 15.3.2021].)



Kuvio 1. Päävaiheet konedirektiivin noudattamiseksi (Metsta, [viitattu 15.3.2021]).

Kuviossa 1 esitetyt viisi päävaihetta konedirektiivin noudattamiseksi tarkoittavat seuraavaa:

1. Soveltamisalan varmistaminen: Tarkoituksena varmistaa, että koneeseen voidaan soveltaa konedirektiiviä.
2. Turvallisuussuunnittelu: Kone on suunniteltava täyttämään konedirektiivin liitteessä I esitetyt terveys- ja turvallisuusvaatimukset.
3. Vaatimustenmukaisuuden arviointi: Valmistajan tai puolueettoman toimijan tulee varmistaa, että kone täyttää konedirektiivin vaatimukset.
4. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatiminen: Asiakirja, joka laaditaan konedirektiivin liitteen II A pohjalta. Tämän asiakirjan tulee olla koneen mukana ja sen sisällön tulee sisältyä koneen ohjeessa.
5. CE-merkinnän kiinnittäminen: Koneessa täytyy CE-merkintä, johon löytyy malli konedirektiivin liitteestä III.

(Metsta, [viitattu 15.3.2021].)

Konedirektiivin liitteessä I on esitetty yleiset periaatteet terveys- ja turvallisuusvaatimuksille, jotka koneen tulee täyttää sekä toimintatavat riskin arviointiin. Riskin arvioinnista on kerrottu työn myöhemmässä vaiheessa. Seuraavaksi esitetään konedirektiivin liitteen I kohdan 1.4 vaatimuksia suojuksille ja turvalaitteille.

Konesuojien ja turvalaitteiden yleisissä vaatimuksissa on esitetty, että suojukset ja turvalaitteet tulisi suunnitella ja rakentaa niin, että ne ovat rakenteeltaan kestäviä ja pysyvät lujasti paikallaan eivätkä aiheuta lisävaaraa käyttäjälle. Suunnittelussa tulee myös huomioida, että suojusten tai laitteiden ohittaminen/toimimattomaksi tekeminen on vaikeaa tai mahdotonta. Lisäksi suojusten ja turvalaitteiden on oltava riittävästi kaukana vaara-alueesta ja niiden tulisi myös suojata koneesta sinkoutuvilta tai

putoavilta kappaleilta. Kuitenkaan suojusten tai turvalaitteiden käyttö ei saa haitata työskentelyä ja työprosessin tarkkailua eikä työkalujen vaihtoa ja kunnossapidon tehtäviä. (A 12.6.2008/400.)

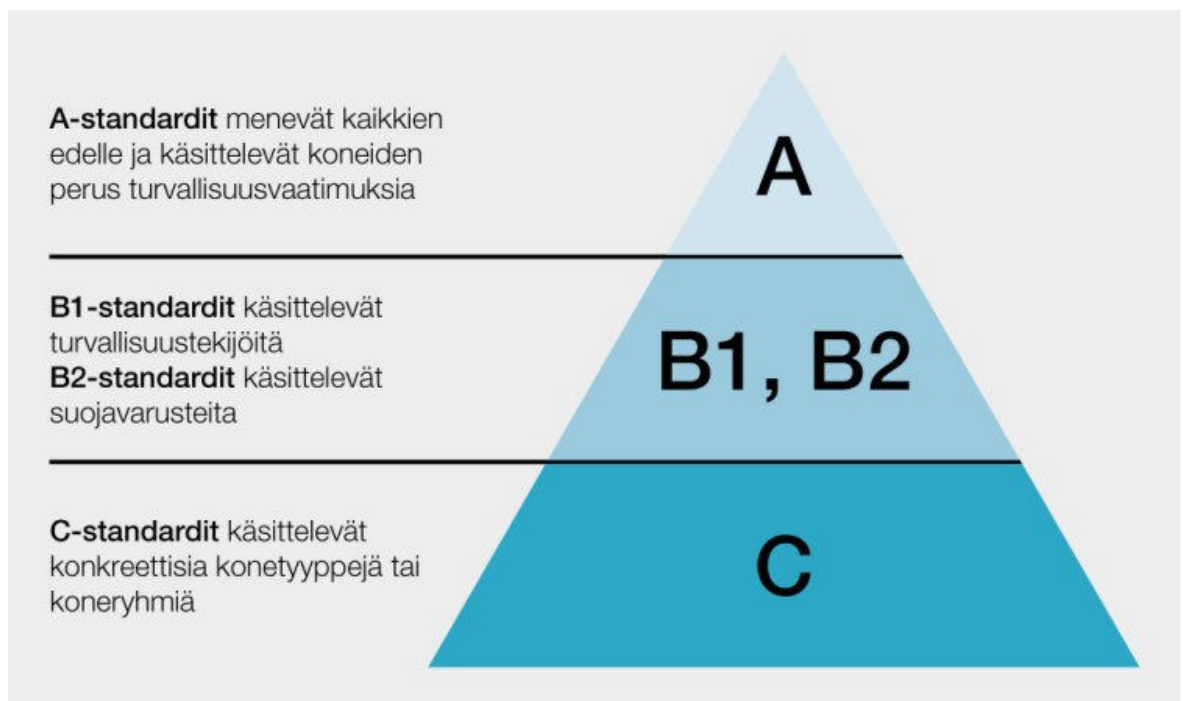
Kiinteitä ja avattavia toimintaankytkettyjä suojuksia koskee myös erityisvaatimukset. Kiinteiden suojusten kiinnitysjärjestelmien avaaminen tai irrottaminen ei saa olla mahdollista ilman työkaluja, kun suojus irrotetaan, on kiinnitysjärjestelmän pysyttävä kiinni joko suojuksessa tai koneessa. Suojukset tulee suunnitella niin, että ne pysyvät ainoastaan kiinnikkeillä kiinni. Toimintaankytkettyjen avattavien suojuksien on avattaessa jäätävä kiinni koneeseen, ja niissä on oltava toimintaankytkentälaitte. Toimintaankytkentälaitte estää koneen käynnistymisen suojuksen ollessa auki, kun suojus avataan se antaa pysäytyskäskyn koneelle. Suojuksessa tulee olla myös suojuksen lukintalaitte, jos koneen käyttäjällä on mahdollisuus ulottua vaara-alueelle ennen kuin koneen vaarallisista toiminnoista syntyneet riskit ovat hävinneet. Lukintalaitte estää koneen käynnistymisen suojuksen ollessa auki ja pitää suojuksen kiinni sekä lukittuna kunnes riskit ovat hävinneet. Toimintaankytkentälaitteella varustetun avattavan suojuksen suunnittelu täytyy toteuttaa niin, että yhdenkin komponentin puuttuessa tai rikkoontuessa koneen käynnistyminen estetään tai kone pysäytetään. (A 12.6.2008/400.)

Direktiivissä on mainittu turvalaitteita koskevat erityisvaatimukset. Turvalaitteiden suunnittelussa ja laitteita ohjausjärjestelmään liittäessä tulee huomioida, että koneen liikkuvat osat eivät käynnisty, kun käyttäjällä on mahdollisuus ulottua osiin, kun taas osien liikkeessä käyttäjä ei voi ulottua niihin. Turvalaitteen yhdenkin komponentin puuttuessa tai rikkoontuessa koneen käynnistyminen estetään tai koneen liikkuvat osat pysäytetään. Turvalaitteiden säätäminen on mahdollista vain tarkoituksellisella toimenpiteellä. (A 12.6.2008/400.)

2.2 A-, B- ja C-tyyppin standardit

Konedirektiivin yleisten vaatimusten teknisiä ratkaisuja esitetään tarkemmin koneturvallisuuden standardeissa, jotka jaotellaan hierarkkisesti A-, B- ja C-tyyppin standardeihin. A-tyyppin standardit esittävät koneturvallisuuden yleiset vaatimukset suunnitteluun, riskin arviointiin sekä esitetään koneturvallisuuden perussanastoa

(SFS-EN ISO 12100). B-tyyppin standardit esittelevät tarkemmin suunnittelijan tarvitsemää perustietoa esimerkiksi suojuksiin, turvalaitteisiin, turvaetäisyyksiin, kulkuteihin, meluun tai tärinään liittyen. C-tyyppin standardit esittävät suunnittelijalle yksityiskohtaista tietoa jostain tietyistä koneista tai koneryhmän turvallisuusvaatimuksista. C-tyyppin standardi on ensisijainen, jos C-tyyppin standardin turvallisuusvaatimuksissa poiketaan tietyiltä osin A- tai B-tyyppin standardeissa esitetyistä turvallisuusvaatimuksista. C-tyyppin standardeissa voi esiintyä viittauksia A- ja B-tyyppin standardeihin ja C-tyyppin standardeissa ilmoitetaan, miltä osin A- ja B-tyyppin standardeja voidaan soveltaa sekä mitä vaatimuksia on noudatettava. (Suomen standardisoi- misliitto, [viitattu 7.11.2020].) Standardien välinen hierarkia on esitetty kuviossa 2.



Kuvio 2. Koneturvallisuuden standardien hierarkia (Pilz, [viitattu 9.3.2021]).

2.3 Koneturvallisuuden perusstandardi SFS-EN ISO 12100 (Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen)

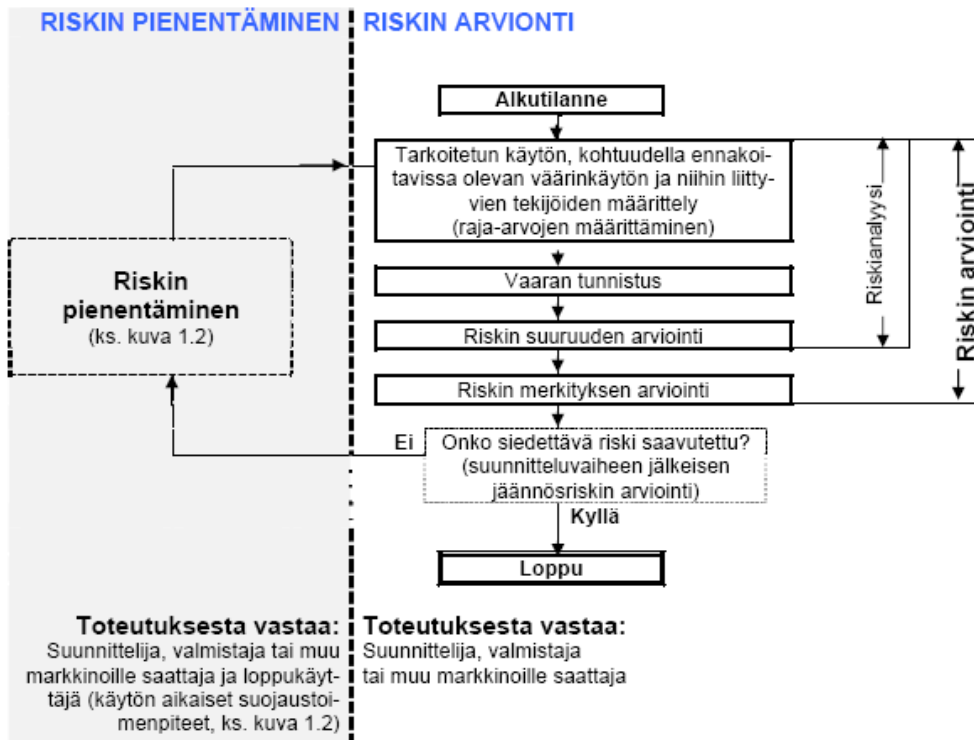
SFS-EN ISO 12100 on kansainvälinen A-tyyppin standardi, joka määrittää peruskäsitteet, periaatteet ja menetelmät turvallisten koneiden suunnitteluun. Periaatteiden

perustana on aiempi tietämys ja kokemus koneista, suunnittelusta, koneiden käytöstä, tapaturmista, riskeistä sekä käytössä esiintyneistä epätavallisista tapahtumista. Koneen suunnitteluvaiheessa on suunnittelijan otettava huomioon koneen käytöstä mahdollisesti aiheutuvat erilaiset vaarat ja arvioida riskien suuruudet ja merkitykset kunkin vaaran kohdalla. Lisäksi pitää laatia suunnitelmat näiden vaarojen poistamiseksi tai vähentää riskejä erilaisilla suojaustoimenpiteillä. Erilaisia vaaratekijöitä ovat esimerkiksi mekaaniset vaarat, sähköstä johtuvat tai melusta aiheutuvat vaarat. Näiden lisäksi myös ympäristötekijöistä ja käyttöympäristöstä sekä käytetyistä materiaaleista voi aiheutua vaaratilanteita. (SFS-EN ISO 12100 2010,12.)

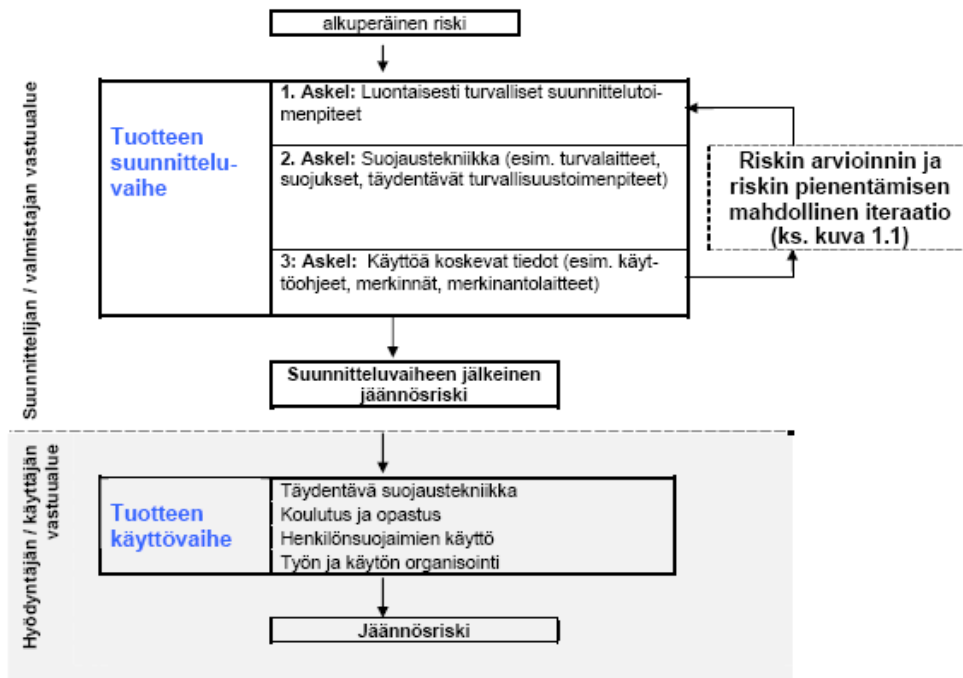
Tämä A-tyyppin standardi on ollut perustana laadittaessa B- ja C-tyyppin standardeja. A-tyyppin standardissa esitetään myös B- ja C-tyyppin standardien vaatimuksia, periaatteita ja sanastoa. Kuitenkin jokainen alemman tason standardi esittää yksityiskohtaisemmin standardikohtaiset vaatimukset, periaatteet sekä tekniset ratkaisut kuin tässä koneturvallisuuden perustandardissa esitetyt kohdat (SFS-EN ISO 12100 2010,12.)

2.4 Riskin arviointi ja riskin pienentäminen

Konedirektiivissä on esitetty yleiset periaatteet ja suunnittelukäytännöt riskin arviointiin ja riskin pienentämiseen. Konedirektiivi edellyttää koneen suunnittelijaa sekä valmistajaa noudattamaan tätä suunnittelukäytäntöä. Suunnittelijan tulee myös huomioida konedirektiivin liitteessä I esitetyt terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Standardissa SFS-EN ISO 12100 nämä periaatteet ja suunnittelukäytännöt riskin arviointiin ja pienentämiseen esitetään yksityiskohtaisemmin. (Metsta, [viitattu 9.3.2021].) Kuvioissa 3 ja 4 on kuvattu riskin arvioinnin ja riskin pienentämisen eri vaiheet.



Kuvio 3. Riskin arvioinnin eri vaiheet (Metsta, [viitattu 9.3.2021]).



Kuvio 4. Riskin pienentämisen eri vaiheet (Metsta, [viitattu 9.3.2021]).

Riskin arvioinnissa on koneen suunnittelijan tehtävä seuraavat vaiheet:

- a) Ensimmäisessä vaiheessa on koneelle määritettävä raja-arvot.
- b) Toisessa vaiheessa on tunnistettava vaarat ja mahdolliset vaaratilanteet.
- c) Vaarojen sekä mahdollisten vaaratilanteiden tunnistamisen jälkeen on arvioitava niistä aiheutuvien riskien suuruus.
- d) On tarkastettava ilmaantuneiden riskien merkitystä ja ryhtyä toimeen riskien pienentämiseksi. (Metsta, [viitattu 9.3.2021].)

Suunnittelijan on aloitettava suunnittelu koneen raja-arvojen määrittämisestä. Suunnittelijan tulee huomioida kaikki vaiheet koneen elinkaaren aikana sekä koneeseen tai koneyhdistelmään vaikuttavat asiat kuten koneen suoritusarvot, ominaisuudet ja käyttöympäristö (SFS-EN ISO 12100 2010, 36.)

Käyttörajoja määritettäessä on huomioitava, mihin konetta on tarkoitus käyttää. Lisäksi on otettava huomioon koneen mahdollinen väärinkäyttö. Koneen toimintapa vaikuttaa käyttörajoihin riippuen onko kone manuaali- tai automaattikäyttöinen. Myös konetta käyttävä henkilöstö sekä heidän saamansa koulutus vaikuttaa rajoihin. Tärkeää on myös ottaa huomioon tilarajat. Kuinka paljon koneella työskentelevä henkilöstö ja koneiden liikkuvat osat tarvitsevat tilaa. Tilarajojen lisäksi on huomioitava aikarajat esimerkiksi huoltovälit ja turvalliset koneen käyttölämpötilat. (Apex Automation, 2018.)

Riskien ilmaantuessa on ryhdyttävä toimenpiteisiin riskien pienentämiseksi tai kokonaan poistamiseksi. Riskien pienentämisessä noudatetaan konedirektiivissä ja koneturvallisuuden standardeissa esitettyä kolmen askeleen menetelmää. Tässä menetelmässä ensimmäisenä askeleena on tärkeää poistaa koneessa tai sen käytössä esiintyvät vaarat ja vaaratilanteet turvallisilla suunnittelutoimenpiteillä. Toisena askeleena pyritään pienentämään tai poistamaan jäljelle jääneiden riskien vaikutusta. Tämä tapahtuu erilaisilla suojaustoimenpiteillä, esimerkiksi turvalaitteet ja suojuukset. Kolmantena askeleena koneen turvallisen käytön mahdollistamiseksi on saatettava käyttäjän tietoon käytöstä aiheutuvat vaarat ja riskit, joita voi ilmentua

suunnittelu- ja suojaustoimenpiteiden jälkeen (merkinantolaitteet, käyttöohjeet). Askeleet yksi ja kaksi ovat ensisijaisia riskin pienentämisessä ja niitä ei saa korvata kolmannen askeleen toimenpiteillä. (Metsta, [viitattu 9.3.2021].)

2.5 Erilaisten vaarojen ja vaaratilanteiden tunnistaminen

Kun koneen raja-arvot ovat tiedossa voidaan tunnistaa koneen elinkaaren aikana mahdollisesti tapahtuvat vaaratilanteet sekä tilanteet, joita ei voi ennakoida. Koneen elinkaaren eri vaiheita ovat esimerkiksi koneen kuljetus, kokoonpano, asennus, käyttöönotto, käyttö ja käytöstä poisto. Vaarojen tunnistamisen jälkeen poistetaan syntyneet riskit tai pienennetään niiden vaikutusta. Koneen toiminta ja sen käyttötarkoitus sekä konetta käyttävän henkilöstön työtehtävät tulee selvittää, jotta vaaratilanteiden tunnistus saadaan päätettyä. Koneen suunnittelijan on huomioitava seuraavat seikat vaarojen tunnistuksessa standardin SFS-EN ISO 12100 mukaan:

a) Ihmisten vuorovaikutus koneen koko elinkaaren ajan

Tässä tulisi huomioida kaikki tehtävät koneen koko elinkaaren ajan. Näihin tehtäviin kuuluu esimerkiksi: alkuasetusten tekeminen, testaus, ohjelmoinnit, koneen käynnistäminen/pysäyttäminen, vianetsintä ja erilaiset kunnossapidon tehtävät. (SFS-EN ISO 12100 2010, 38.)

b) Koneen mahdolliset toimintatilat

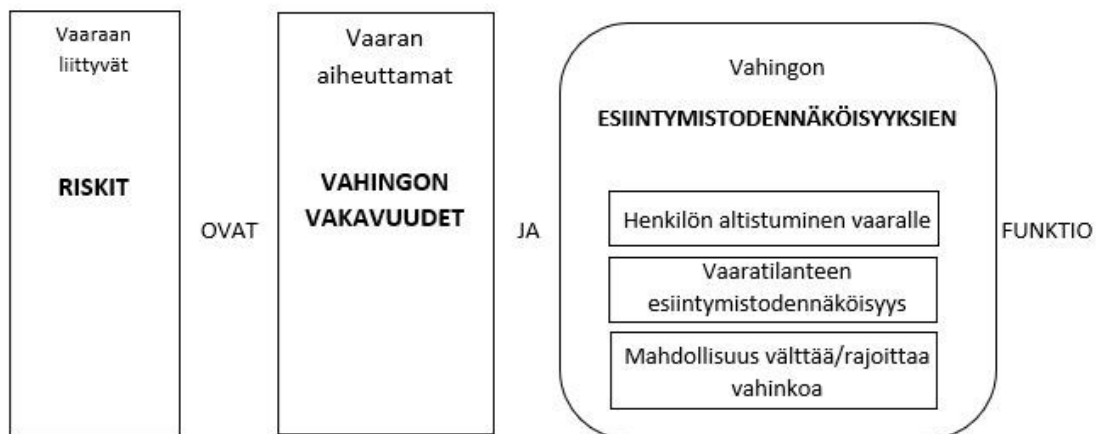
Vaarojen tunnistamisessa on myös tunnistettava koneen eri toimintatiloja. Onko koneen toiminta normaalia eli se suorittaa sille tarkoitetun toiminnon tai sitten koneessa on toimintahäiriö, jolloin koneen toiminta ei ole normaalia. Toimintahäiriöön voi olla syynä monta asiaa, esimerkiksi työstettävän kappaleen ominaisuuksissa tai mitoissa tapahtuu muutoksia, jotka johtavat koneen toimintahäiriöön. Muita syitä toimintahäiriöön voivat olla koneen osien vikaantuminen tai ulkopuolelta tulevat häiriöt (esim. iskut, värähtely, sähkömagneettiset kentät). Myös suunnitteluvirheet tai puutteet voivat aiheuttaa häiriöitä (erilaiset ohjelmistovirheet). (SFS-EN ISO 12100 2010, 40.)

c) Käyttäjän tarkoittamaton käyttäytyminen tai kohtuudella ennakoitavissa oleva koneen väärinkäyttö

Vaaratilanteita voi syntyä myös käyttäjän huolimattomuudesta, välinpitämättömyydestä, vahingosta tai koneen väärinkäytöstä. Esimerkiksi käyttäjä voi menettää käsikäyttöisen koneen hallinnan, josta aiheutuu vaaratilanne. (SFS-EN ISO 12100 2010, 40.)

2.6 Riskin suuruuden arviointi

Riskin osatekijöillä arvioidaan riskin suuruutta. Näitä osatekijöitä ovat vahingon vakavuus (vamman vakavuus ja vahingon laajuus) ja vahingon esiintymistodennäköisyys. Vahingon esiintymistodennäköisyys koostuu kolmesta kohdasta. Nämä ovat henkilön altistuminen vaaralle (vaaravyöhykkeellä oloaika), vaaratilanteiden esiintymistodennäköisyys (tilastot ja tapaturmat) ja mahdollisuus välttää/rajoittaa vahinkoa (inhimilliset kyvyt vahingon välttämiseen/rajoittamiseen). (SFS-EN ISO 12100 2010, 42.) Alla olevassa kuviossa 5 esitetty riskien osatekijät pohjautuvat SFS-EN ISO 12100 standardiin.



Kuvio 5. Riskien osatekijät (Perustuu SFS-EN ISO 12100 2010, 42).

Riskien suuruuden arvioinnissa voidaan käyttää myös apuna erilaisia matriiseja, joihin voidaan laittaa kyseessä olevan riskin esiintymistodennäköisyys, ja siitä koituvat seuraukset. Riskien ilmaantuessa tarkastellaan niiden aiheuttajaa sekä päätetään

jatkotoimista tarpeen vaatiessa. Vähäisten riskien kohdalla ryhdytään toimiin riskin pienentämiseksi, jos se on järkevää kustannusten ja saadun hyödyn kannalta. Riskitason kasvaessa suuremmaksi olosuhteet voivat kasvaa liian vaaralliseksi turvallisen työnteon jatkamiseksi. Sen vuoksi riskiä täytyy pienentää tai poistaa kokonaan. (Työsuojeluhallinto, [viitattu 16.3.2021].) Alla olevassa kuviossa 6 on riskin suuruuden arviointimatriisi.

| ESIINTYMINEN | SEURAUKSET | | |
|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | Vähäinen | Haitallinen | Vakava |
| Epätodennäköinen | Merkityksetön riski | Siedettävä riski | Kohtalainen riski |
| Mahdollinen | Siedettävä riski | Kohtalainen riski | Merkittävä riski |
| Todennäköinen | Kohtalainen riski | Merkittävä riski | Sietämätön riski |

Kuvio 6. Riskin suuruuden arviointimatriisi (Työterveyslaitos, [viitattu 16.3.2021]).

Työssä on nyt käsitelty vaiheet riskin arviointiin, riskin pienentämiseen, erilaisten vaarojen ja vaaratekijöiden tunnistamiseen sekä näistä syntyneiden riskien suuruuden arviointiin.

Tämän työn kohdeyrityksellä nykyisellä käytössä olevalla turvaoviratkaisulla on suuremmat riskit saatu poistettua, kuten alueelle pääsy estetty koneen ollessa päällä. Kuitenkin tämän työn tarkoituksena on kehittää rakenteeltaan tukevampi turvaovi nykyisen tilalle. Tämä vähentää mahdollisia riskejä vielä enemmän.

2.7 SFS-EN ISO 14120 (Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet)

SFS-EN ISO 14120 on B-tyyppin standardi, joka esittää yleiset periaatteet suunnitteluun ja rakenteeseen kiinteille ja avattaville suojuksille. Suojus on fyysinen este, joka

estää tai rajoittaa pääsyä koneen vaara-alueelle ja näin ollen suojaa vahingoilta. (SFS-EN ISO 14120 2015, 6.)

Suojukset voivat toimia yhdessä osana koneen ohjausjärjestelmää, jolloin suojaus on käytössä koko ajan riippumatta suojuksen asennosta, ja tällöin voidaan esimerkiksi estää koneen käynnistyminen suojuksen ollessa auki. Toinen vaihtoehto on, että suojus toimii ”yksin”. Esimerkkinä tästä on kiinteät ja avattavat suojuukset, joita ei ole kytketty koneen toimintaan. (SFS-EN ISO 14120 2015, 7.)

Nykyinen turvaovi on periaatteeltaan lukinnalla varustettu toimintaan kytketty suojus. Tämä toimintaperiaate on hyvä myös uudelle turvaovelle, joten se on varustettu lukinnan sisältävällä toimintaankytkentälaitteella. Kun käytetään suojuksessa lukinnalla varustettua toimintaankytkentälaitetta pystytään estämään koneen käynnistyminen suojuksen ollessa auki. Suojuksen ollessa kiinni ja lukittu voidaan koneella aloittaa toiminta. Suojuksen sulkeminen ei itsessään käynnistä konetta vaan siihen tarvitaan erillinen käynnistyskäsky (SFS-EN ISO 14120 2015,12.) Kuvassa 1 esimerkki toimintaan kytketystä suojuksesta.



Kuva 1. Esimerkki toimintaan kytketystä suojuksesta. (Stronghold Safety engineering, [viitattu 18.3.2021]).

Suunnitteluvaiheessa on huomioitava standardissa SFS-EN ISO 14120 esitetyt yleiset vaatimukset suojusten suunnitteluun ja rakenteeseen. Suojusten suunnittelussa on huomioitava koneeseen liittyviä näkökohtia kuten mahdollinen kulku koneen vaaravyöhykkeelle, johon voi olla syynä seuraavat seikat:

- koneen lastaus, purku
- työkalun vaihto tai jätteiden poisto
- kunnossapito, koneen/tukkeumien puhdistus
- koneen asetusten muuttaminen.

Suunnittelussa on myös huomioitava, että suojus suojaa koneen käyttäjää esimerkiksi liialliselta melulta tai erilaisilta sinkoutuvilta kappaleilta (työstettävät osat, koneen rikkoontunut työkalu).

Yleisissä vaatimuksissa on myös esitetty erilaisia inhimillisiä tekijöitä, jotka tulee huomioida suojuksen suunnittelussa ja rakenteessa. Inhimillisillä tekijöillä tarkoitetaan ennakoitavissa olevaa vuorovaikutusta ihmisen ja koneen välillä. Tällaisia vuorovaikutuksen muotoja ovat esimerkiksi turvaetäisyydet, joista on tarkemmin standardeissa SFS-EN ISO 13857 ja SFS-EN ISO 13854. Koneeseen ja inhimillisiin tekijöihin liittyvien näkökohtien lisäksi on huomioitava myös suunnittelussa ja suojuksen rakenteessa erilaisia kohtia. Suunnittelussa on otettava huomioon, ettei suojukselta aiheudu puristumista tai takertumista ja suojuksen tulee olla kestävä koko koneen odotetun käyttöajan. Suojuksen rakenteessa tulee myös ottaa huomioon, ettei rakenne sisällä vaaraa aiheuttavia teräviä reunoja tai kulmia ja erilaisten liitosten tulee olla kestäviä. Suojuksen suunnittelussa ja materiaalien valinnoissa tulee myös huomioida riittävä näkyvyys valmistusprosessiin, jos siihen on tarvetta (SFS-EN ISO 14120 2015, 15.)

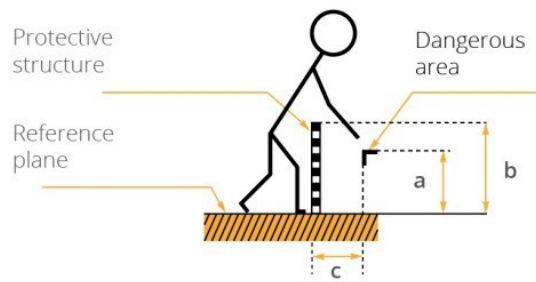
2.8 SFS-EN ISO 13857 (Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille)

SFS-EN ISO 13857 on B-tyyppin standardi, jossa esitetään turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Standardissa esitetyjä turvaetäisyyksiä käyttämällä pystytään koneesta aiheutuvia riskejä pienentämään tai poistamaan kokonaan. Huomioitava on kuitenkin erilaiset ulottumistilat, joita esiintyy koneen käytössä sekä kehon osien puristumiset, venymiset ja nivelten liikerajat. Turvaetäisyydet perustuvat olettamuksiin. Näitä olettamuksia on muun muassa seuraavat:

- suojuksessa olevien aukkojen muoto eikä sijainti muutu
- turvaetäisyyksien mittaus tapahtuu suojuksen siitä kohdasta, joka estää kehoa tai kehonosaa ulottumasta vaaravyöhykkeelle
- kehoa työnnetään suojuksen yli tai sen aukoista kohti vaaravyöhykettä
- vertailutasoon (taso millä henkilöt normaalisti työskentelevät tai kulkevat vaaravyöhykkeelle) on olemassa kosketus ja samalla henkilöllä on jalkineet (Ei oteta huomioon korkeapohjaisia jalkineita, hyppäämistä tai kiipeämistä suojuksen yli)
- Mitään apuvälineitä ei käytetä vertailutason tai yläraajojen ulottuman muuttamiseksi, kuten tikkaita, tuoleja tai työkaluja (SFS-EN ISO 13857 2019, 8.)

Turvaetäisyyksiä ja suojuksen mittoja määriteltäessä voidaan käyttää apuna standardissa SFS-EN ISO 13857 esitetyjä taulukoita. Taulukoissa on muuttujia, joiden avulla saadaan esimerkiksi selville suojarakenteen korkeus. Muuttujat ovat merkitty a, b ja c-kirjaimilla, joista a tarkoittaa vaaravyöhykkeen korkeutta, b suojarakenteen korkeutta ja c vaakasuoraa etäisyyttä vaaravyöhykkeeseen. Esimerkiksi jos tiedetään vaikka vaaravyöhykkeen korkeus $a = 2200$ mm ja vaaravyöhykkeen vaakasuora etäisyys $c = 600$ mm, tällöin suojarakenteen korkeuden b tulee olla vähintään 2000 mm. (SFS-EN ISO 13857 2019, 9.) Kuvassa 2 on havainnollistettu tätä paremmin.

EN ISO 13857, 4.2.2: reaching over protective structures



a: height of hazard zone
b: height of protective structure
c: horizontal distance to hazard zone

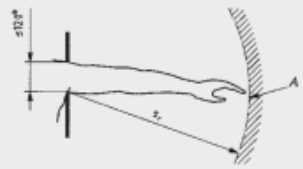
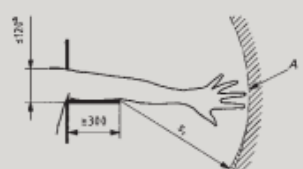
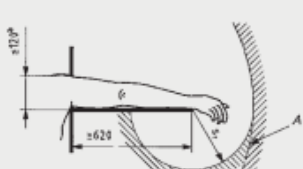
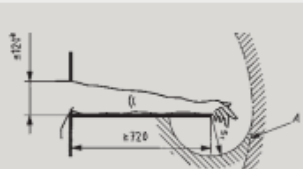
Table 2 Dimensions in millimeters

| Height of dangerous area a | Height of the protection structure b | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | 2400 | 2500 | 2700 |
| 2700 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2600 | 900 | 800 | 700 | 600 | 600 | 500 | 400 | 300 | 100 | - |
| 2400 | 1100 | 1000 | 900 | 800 | 700 | 600 | 400 | 300 | 100 | - |
| 2200 | 1300 | 1200 | 1000 | 900 | 800 | 600 | 400 | 300 | - | - |
| 2000 | 1400 | 1300 | 1100 | 900 | 800 | 600 | 400 | - | - | - |
| 1800 | 1500 | 1400 | 1100 | 900 | 800 | 600 | - | - | - | - |
| 1600 | 1500 | 1400 | 1100 | 900 | 800 | 500 | - | - | - | - |
| 1400 | 1500 | 1400 | 1100 | 900 | 800 | - | - | - | - | - |
| 1200 | 1500 | 1400 | 1100 | 900 | 700 | - | - | - | - | - |
| 1000 | 1500 | 1400 | 1000 | 800 | - | - | - | - | - | - |
| 800 | 1500 | 1300 | 900 | 600 | - | - | - | - | - | - |
| 600 | 1400 | 1300 | 800 | - | - | - | - | - | - | - |
| 400 | 1400 | 1200 | 400 | - | - | - | - | - | - | - |
| 200 | 1200 | 900 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0 | 1100 | 500 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Kuva 2. Ulottuminen suojarakenteen yli ja taulukko turvaetäisyyksien määrittämiseen (SATECH, [viitattu 21.3.2021]).

Standardissa on esitetty myös esimerkkejä yli 14-vuotiaiden ja vanhempien henkilöiden yläraajojen liikkeiden ulottumisesta erilaisten säännöllisten muotoisten aukkojen läpi ja vaadituista turvaetäisyyksistä. Kuvan 3 taulukossa on havainnollistettu yläraajojen liikkeitä ja niihin liittyviä rajoituksia sekä esitetty tarvittavat turvaetäisyydet näille liikkeille (SFS-EN ISO 13857 2019, 12.)

TABLE 3 – SHOWS EXAMPLES OF FUNDAMENTAL MOVEMENTS COVERING PEOPLE OF 14 YEARS AND OLDER. DIMENSION IN MILLIMETERS.

| Limitation of movement | Limitation of movement | Illustration |
|--|------------------------|---|
| Limitation of movement only at shoulder and armpit | ≥ 850 |  |
| Arm supported up to elbow | ≥ 550 |  |
| Arm supported out to wrist | ≥ 230 |  |
| Arm and hand supported up to knuckle joint | ≥ 130 |  |

A = The range of movement of the arm
Sr = The radial safety distance

a = This is either the diameter of a round opening, or the side of a square opening, or the width of a slot opening.

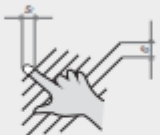
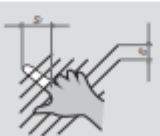
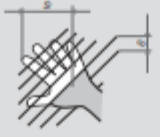
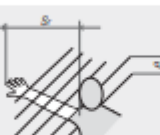
Kuva 3. Yläraajojen ulottuminen (Troax, [viitattu 22.3.2021]).

Taulukossa 1 on havainnollistettu aukoille vaadittuja mittoja, jotta saavutetaan riittävä turvaetäisyys vaaravyöhykkeeseen. Taulukossa esitetyillä e-mitoilla tarkoitetaan neliömäisen aukon sivua, pyöreän aukon halkaisijaa ja pitkänomaisen aukon kapeimman kohdan mitta. (SATECH, [viitattu 22.3.2021].)

Taulukko 1. Turvaetäisyydet säännöllisen muotoisille aukoille (SATECH, [viitattu 22.3.2021]).

Table 4

Dimensions in millimeters

| Part of body | Illustration | Opening | Safety distance S_r | | |
|----------------------------------|---|-------------------|-----------------------|------------|------------|
| | | | Slot | Square | Round |
| Fingertip |  | $e \leq 4$ | ≥ 2 | ≥ 2 | ≥ 2 |
| | | $4 < e \leq 6$ | ≥ 10 | ≥ 5 | ≥ 5 |
| Finger up to knuckle joint |  | $6 < e \leq 8$ | ≥ 20 | ≥ 15 | ≥ 5 |
| | | $8 < e \leq 10$ | ≥ 80 | ≥ 25 | ≥ 20 |
| Hand |  | $10 < e \leq 12$ | ≥ 100 | ≥ 80 | ≥ 80 |
| | | $12 < e \leq 20$ | ≥ 120 | ≥ 120 | ≥ 120 |
| | | $20 < e \leq 30$ | $\geq 850^*$ | ≥ 120 | ≥ 120 |
| | | $30 < e \leq 40$ | ≥ 850 | ≥ 200 | ≥ 120 |
| Arm up to junction with shoulder |  | $40 < e \leq 120$ | ≥ 850 | ≥ 850 | ≥ 850 |





The bold lines within the table indicate the part of the body which is restricted by the opening size.

a) If the length of the slot opening is less or equal to 65 mm, the thumb will act as a stop and the safety distance can be reduced to 200 mm.

Turvaetäisyydet määritetään useimmiten käyttämällä yläraajoja koskevia taulukoita. Kuitenkin tietyissä tapauksissa, kun esimerkiksi on odotettavaa, ettei yläraajoilla päästä käsiksi aukoihin voidaan tällöin soveltaa taulukossa 2 olevaa taulukkoa turvaetäisyyksien määrittämiseksi alaraajoille. Taulukossa esitetty aukon mitta e tarkoittaa neliömäisen aukon sivua, pyöreän aukon halkaisijaa tai pitkänomaisen aukon kapeimman kohdan mitta (SFS-EN ISO 13857 2019, 17.)

Taulukko 2. Turvaetäisyydet alaraajojen ulottumisen estämiseksi (SATECH, [viitattu 22.3.2021]).

Table 7 Dimensions in millimeters

| Part of lower limb | Illustration | Opening | Safety distance S_r | |
|--------------------------|--|--------------------|-----------------------|-----------------|
| | | | Slot | Square or round |
| Toe tip |  | $e \leq 5$ | 0 | 0 |
| | | $5 < e \leq 15$ | ≥ 10 | 0 |
| Toe |  | $15 < e \leq 35$ | $\geq 80^a$ | ≥ 25 |
| | | $35 < e \leq 60$ | ≥ 180 | ≥ 80 |
| Foot |  | $60 < e \leq 80$ | $\geq 650^a$ | ≥ 180 |
| | | $80 < e \leq 95$ | $\geq 1100^c$ | $\geq 650^b$ |
| Leg (toe tip to knee) |  | $95 < e \leq 180$ | $\geq 1100^c$ | $\geq 1100^c$ |
| | | $180 < e \leq 240$ | not admissible | $\geq 1100^c$ |

a) If the length to the slot opening is ≤ 75 mm, the distance can be reduced to ≥ 50 mm

b) The value corresponds to leg (toe tip to knee)

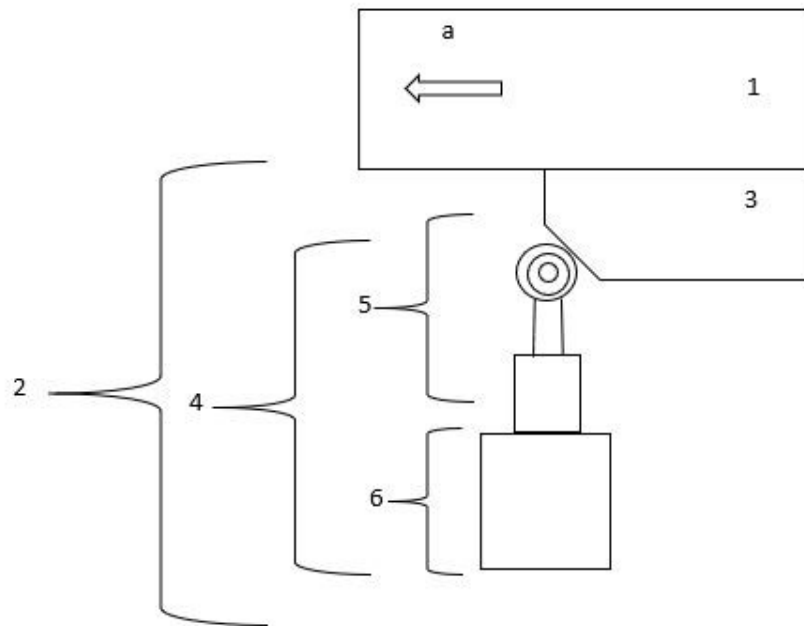
c) The value corresponds to leg (toe tip to crotch)

Note: Slot openings with $e > 180$ mm and square or round openings with $e > 240$ mm will allow access for the whole body (see also Clause 1, final paragraph)

2.9 SFS-EN ISO 14119 (Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta)

SFS-EN ISO 14119 on B-tyyppin standardi, jossa on esitetty periaatteita, vaatimuksia ja ohjeita suojuksiin yhteydessä olevien toimintaankytkentälaitteiden suunnitteluun ja valitsemiseen. Toimintaankytkentälaitteella tarkoitetaan mekaanista, sähköistä tai muulla tavalla toimivaa laitetta, jonka tarkoituksena on estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen esimerkiksi suojuksen ollessa auki. Lisäksi standardissa esitetään keinot toimintaankytkentälaitteiden mitätöimisen tai ohittamisen estämiseksi. (SFS-EN ISO 14119 2013, 10.)

2.9.1 Yleistä toimintaankytkentälaitteista



Selite:

- | | | |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1. Suojus | 4. Asemantuntokytkin | a = Suojuksen avautumissuunta |
| 2. Toimintaankytkentälaitte | 5. Vaikutusjärjestelmä | |
| 3. Vaikuttaja | 6. Lähtöjärjestelmä | |

Kuva 4. Esimerkki toimintaankytkentälaitteesta (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 12).

Toimintaankytkentälaitteita voidaan luokitella eri tavoilla. Esimerkiksi millä tavoin suojuksen ja lähtöjärjestelmän ovat yhteydessä toisiinsa tai lähtöjärjestelmässä käytetyn tekniikan perusteella. Toimintaankytkentälaitteet sisältävät toimintoja, joilla pystytään valvomaan suojuksen asentoa, ja tällöin suojuksen ollessa auki saadaan koneelle pysäytyskäsky toimintojen lopettamiseksi. Lisäksi toimintaankytkentälaitteita pystytään käyttämään myös muihin toimintoihin ja ohjaukseen. Esimerkiksi toimintaankytkentälaitteilla voidaan toteuttaa käsky koneen jarrutukselle, minkä avulla saadaan koneen vaaralliset toiminnot pysähtyneeksi, ja vaaravyöhykkeelle voidaan tämän jälkeen mennä. Toimintaankytkentälaitteet voivat olla myös varustettu suojuksen lukinnalla, jolloin suojuksen pysyy niin kauan lukittuna, kun koneen vaaralliset

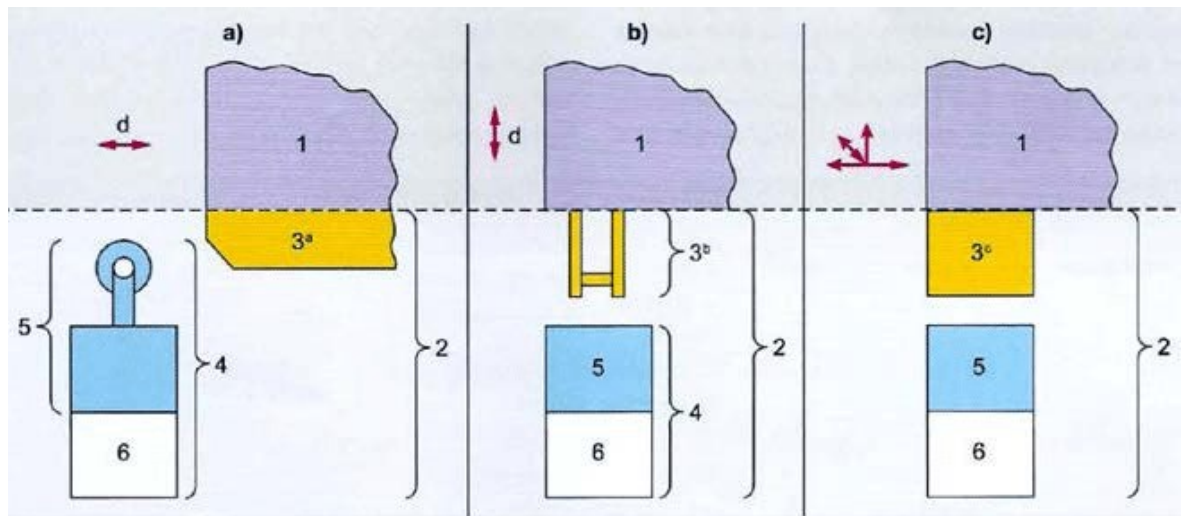
toiminnot ovat käynnissä. Suojuksen lukintalaitteessa on valvontatoiminto, joka valvoo lukintalaitetta, ja muodostaa lähtösignaalin lukintalaitteen tilasta eli onko lukintalaite lukinta-asennossa vai vapautettuna. (SFS-EN ISO 14119 2013, 20.) Kuvassa 4 esimerkki toimintaankytkentälaitteesta ja sen eri osista sekä taulukossa 3 esitetty yleiskuvaus toimintaankytkentälaitteista.

Taulukko 3. Yleiskuvaus toimintaankytkentälaitteista (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 22).

| Esimerkkejä vaikuttamisperiaatteista | | Esimerkkejä vaikuttajista | | Tyyppi |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|----------|
| Mekaaninen | Fyysinen kosketus tai voima | Koodaamaton | Pyörähtävä ohjauskappale | Tyyppi 1 |
| | | | Suoraviivaisesti liikkuva ohjauskappale | |
| | | | Sarana | |
| | | Koodattu | Kieli (muotoiltu vaikuttaja) | Tyyppi 2 |
| | Siirtoavain | | | |
| Koskettamatta vaikuttettava | Induktiivinen | Koodaamaton | Sopiva rautakappale | Tyyppi 3 |
| | Magneetti | | Magneetti, solenoidi | |
| | Kapasitiivinen | | Mikä tahansa sopiva kappale | |
| | Ultraääni | | Mikä tahansa sopiva kappale | |
| | Optinen | | Mikä tahansa sopiva kappale | |
| | Magneetti | Koodattu | Koodattu magneetti | Tyyppi 4 |
| | Radiotaajuinen tunniste | | Koodattu radiotaajuinen tunniste | |
| | Optinen | | Optisesti koodattu tunniste | |

Koodaus tarkoittaa, että esimerkiksi asematuntokytkimessä vaikuttajana toimiva muotoiltu kieli on koodattu jollain tietyllä tasolla. Kielen koodauksella varmistetaan se, ettei kytkin tunnista, jos sinne laitetaan jokin muu samankaltainen kappale.

Koodauksen tasoja on kolme erilaista: matalan, keskinkertaisen ja korkean tason koodaaminen (SFS-EN ISO 14119 2013, 66.)



Kuva 5. 1-, 2-, 3- ja 4 tyyppin toimintaankytkentälaitteiden toimintaperiaate (Researchgate, [viitattu 19.4.2021]).

Kuvassa 5 on kuvattu tyyppin 1-, 2-, 3- ja 4-tyypin toimintaankytkentälaitteiden toimintaperiaate. Selitteet kuvassa oleville numeroille:

1. avattava suojus
2. toimintaankytkentälaitte
3. vaikuttaja
 - a. ohjauskappale
 - b. kieli
 - c. radiotaajuinen tunniste, heijastin tai sopiva pinta
 - d. liikkeen suunta
4. asemantuntokytin
5. vaikutusjärjestelmä

6. lähtöjärjestelmä.

Kuvassa 5 **a**) on tyypin 1 toimintaankytkentälaitte, joka toimii koodaamattomalla ohjaukappaleella. Kuvassa suojus on suljettuna. (SFS-EN ISO 14119 2013, 22.)

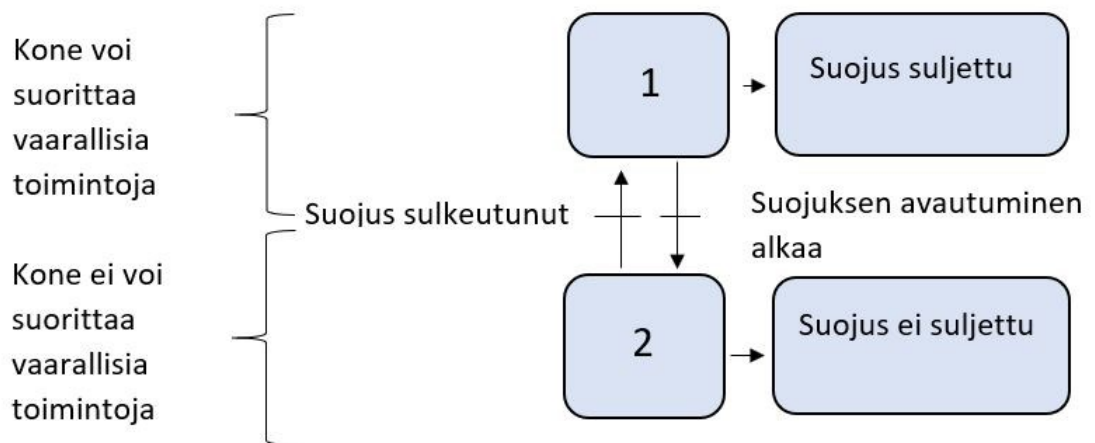
Kuvassa 5 **b**) on tyypin 2 toimintaankytkentälaitte varustettuna koodatulla kielellä. Kuvassa suojus on auki.

Kuvassa 5 **c**) on tyypin 3,4 toimintaankytkentälaitte koodattuna tai koodaamattomana. Tyypin 3 tai 4 toimintaankytkentälaitte on vaikutusperiaatteeltaan koskettamatta vaikutettava. Kuvassa suojus on suljettuna (SFS-EN ISO 14119 2013, 22.)

2.9.2 Toimintaankytkennän periaatteet lukinnalla ja ilman lukintaa oleville suojuksille

Suojaus, joka on varustettu ilman lukintaa olevalla toimintaankytkentälaitteella voidaan avata missä tahansa vaiheessa koneen ollessa käynnissä. Suojuksen ollessa auki on toimintakytkentälaitteen pysäytettävä kone. (SFS-EN ISO 14119 2013, 24.)

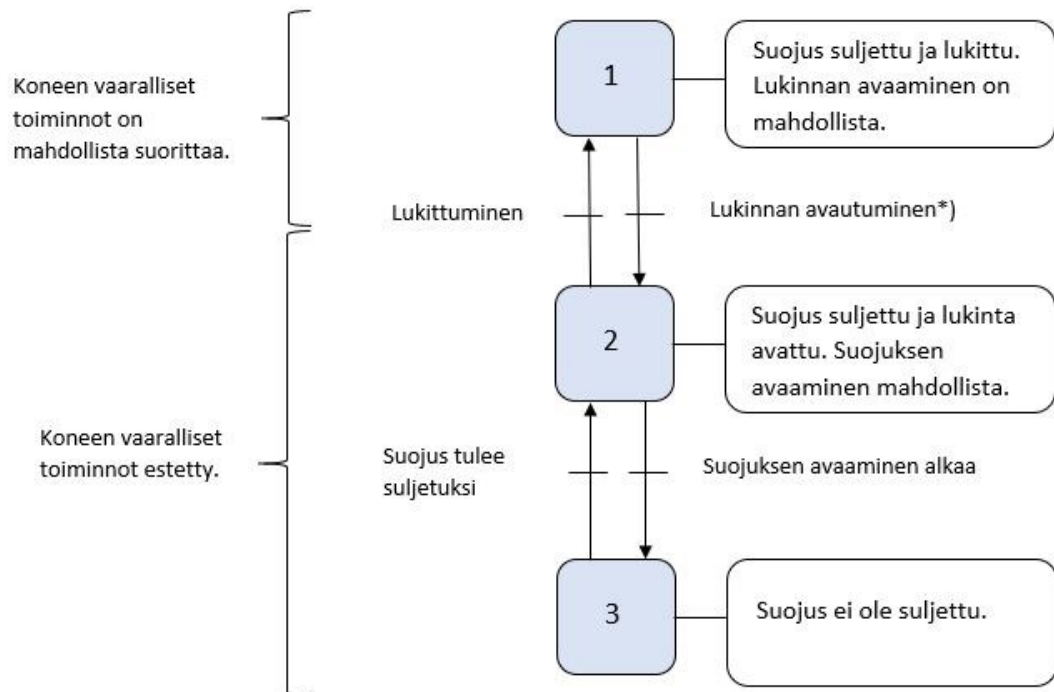
Kuvassa 6 on toimintaankytkennän periaate ilman lukintaa olevalle suojukselle.



Kuva 6. Toimintaankytkennän periaate ilman lukintaa olevalle suojukselle (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 24).

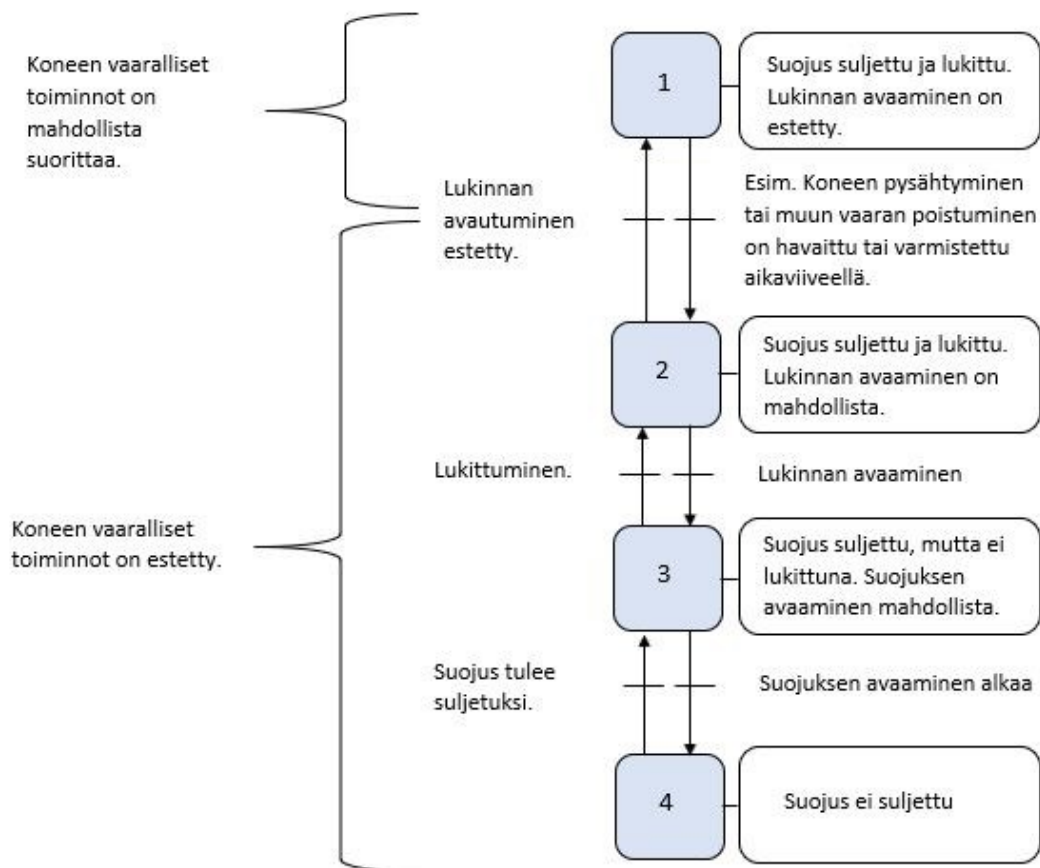
Kun käytössä on lukinnalla varustettu toimintaankytkentälaitte, suojuksen lukintatoiminto voidaan suorittaa kahdella eri tavalla:

- Suojuksen lukinnan avaaminen voidaan aloittaa koska tahansa. Lukinnan avautuessa suojuksen lukintalaitte muodostaa pysäytyskäskyn. Tätä kutsutaan ilman ehtoja olevaksi lukinnan avaamiseksi. Suojuksen lukinnan avaamiseen kuluva ajan tulee olla pidempi kuin koneen vaarallisten toimintojen pysähtymiseen kuluva ajan. Kuvassa 7 havainnollistettu ilman ehtoja olevan lukinnan avaaminen. (SFS-EN ISO 14119 2013, 24.)
- Suojuksen lukinnan avaaminen on mahdollista ainoastaan silloin kun koneen vaaralliset toiminnot ovat pysähtyneet. Tätä kutsutaan ehdolliseksi lukinnan avaamiseksi. (SFS-EN ISO 14119 2013, 24.) Kuvassa 8 havainnollistettu ehdollinen lukinnan avaaminen.



*) Lukinnan avautuminen tarkoittaa sitä, että pysäytyskäsky on muodostettu samaan aikaan, kun aloitetaan vaikuttaminen lukinnan avauslaitteeseen ja tämän vaikuttamisen seurauksen kanssa. Suojuksen avaamiseen tulee kulua enemmän aikaa, kun koneen vaarallisten toimintojen pysähtymiseen.

Kuva 7. Ilman ehtoja olevan lukinnan avaaminen (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 26).



Kuva 8. Ehdollinen lukinnan avaaminen (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 26).

2.9.3 Vaihtoehdot lukinnan toteuttamiselle

Standardissa SFS-EN ISO 14119 esitetään eri vaihtoehtoja toteuttaa suojuksen lukinta. Lukinta voidaan toteuttaa käyttämällä mekaanisella lukinnalla varustettua toimintaankytkentälaitetta, kuten kuvan 9 esimerkissä on käytetty, jossa lukitseva mekaaninen osa voidaan avata tai sulkea seuraavilla tavoilla:

- Avaaminen ja lukitseminen tapahtuu käsin
- Lukitseminen jousella (tai vastaavalla) ja avaaminen ulkoisella teholla
- Lukitseminen ulkoisella teholla ja avaaminen jousella (tai vastaavalla)

- Lukitseminen ja avaaminen ulkoisella teholla. (SFS-EN ISO 14119 2013, 26.)



Kuva 9. Esimerkki mekaanisella lukinnalla varustetusta toimintaankytkentälaitteesta (Schmersal, [viitattu 22.4.2021]).

Suojuksen lukinta voidaan toteuttaa myös käyttämällä sähkömagneettisesti toimivalla lukinnalla varustettua toimintaankytkentälaitetta. Suojuksen lukinta tapahtuu tällöin sähkömagneettisesti ilman mitään mekaanisia osia. Suojus lukitaan ulkoisella teholla ja avautuminen tapahtuu ulkoisen voiman poistuessa. (SFS-EN ISO 14119 2013, 28.) Kuvassa 10 esimerkki sähkömagneettisesta toimintaankytkentälaitteesta.



Kuva 10. Esimerkki sähkömagneettisesta toimintaankytkentälaitteesta (Rockwell Automation, [viitattu 22.4.2021]).

2.9.4 Vaatimukset lukinnalla varustetulla ja ilman lukintaa oleville toimintaankytkentälaitteille

Standardin vaatimuksissa koskien toimintaankytkentälaitteiden suunnittelua, valintaa ja asennusta on esitetty, että toimintaankytkentälaitteet tulee kiinnittää tukevasti ja luotettavasti rakenteisiin valmistajan ohjeiden mukaan eikä niitä voi irrottaa ilman työkaluja tai käyttää mekaanisena pysäyttimenä, ellei sitä ole laitteen valmistaja siihen erikseen tarkoittanut. Lisäksi laitteiden tulee kestää niihin kohdistuvia odotettavissa olevia iskuja ja voimia sekä ympäristöstä aiheutuvia tekijöitä (kuten pöly, lämpötila ja värinät). (SFS-EN ISO 14119 2013, 30.)

2.9.5 Suojuksen lukinnan valvonta

Suojuksessa olevan lukinnan tilaa on valvottava. Koneen vaaralliset toiminnot voidaan suorittaa vain, kun suojus on suljettuna ja lukintalaite on lukinta-asennossa. Lukinnan tehokas valvonta voidaan suorittaa käyttämällä jompaa kumpaa standardissa SFS-EN ISO 14119 esitettyä menetelmää:

- lukitseva osa voi siirtyä lukinta-asentoon vain, kun avattava suojus on suljetussa asennossa. Tässä tapauksessa suojuksen suljettuna ja lukittuna oleminen voidaan tarkistaa valvomalla lukitsevaa osaa.

- muussa tapauksessa on valvottava lukitsevaa osaa ja lisäksi toimintaan kytketyn suojuksen asemaa. (SFS-EN ISO 14119 2013, 36.)

Kuvassa 11 on esimerkkinä koodatulla kielellä varustettu asemantuntokytkin, jolla voidaan lukita suojus paikoilleen sekä valvoa suojuksen asentoa ja lukinnan tilaa. Tämän tyyppisten asemantuntokytkimien vaikuttajalla eli tässä tapauksessa kielellä on kaksi tehtävää: vaikuttaa koskettimiin ja toteuttaa suojuksen lukintatoiminto. Vaikuttaminen koskettimiin tapahtuu suoralla mekaanisella vaikutuksella, jolloin avautuvien koskettimien pakkoavautuminen on mahdollista. Kielen lukittuminen paikoilleen tapahtuu vastakappaleen sisällä olevalla tavalla, joka voi toimia solenoidilla tai pneumaattisella sylinterillä. Koneen käynnistyminen on vasta tällöin mahdollista, kun suojus on kiinni ja tappi on kokonaan lukittunut paikoilleen. (SFS-EN ISO 14119 2013, 38.)

joittamisessa se, että lukinnan hätävapautus on näkyvällä paikalla, helposti käytettävissä ja merkitty selvästi vain hätätilanteita varten käytettäväksi. Hätävapautusta sijoitettaessa on myös hyvä huomioida se, ettei lukinnan vahingossa avaaminen ole mahdollista. (SFS-EN ISO 14119 2013, 42.)

Poikkeuksellisissa tilanteissa, joissa esimerkiksi tehonsyöttö katkeaa ulkoisella teholla avattavaan suojuksen lukintaan, voidaan suojus avata suojatun alueen ulkopuolelta suojuksen lukinnan lisävapautuksella. Lisävapautus on mahdollista vain työkaluilla tai avaimilla ja sen käyttämisen on synnyttävä koneelle pysäytyskäsky. (SFS-EN ISO 14119 2013, 42.)

2.9.7 Toimintaankytkentälaitteiden valinta

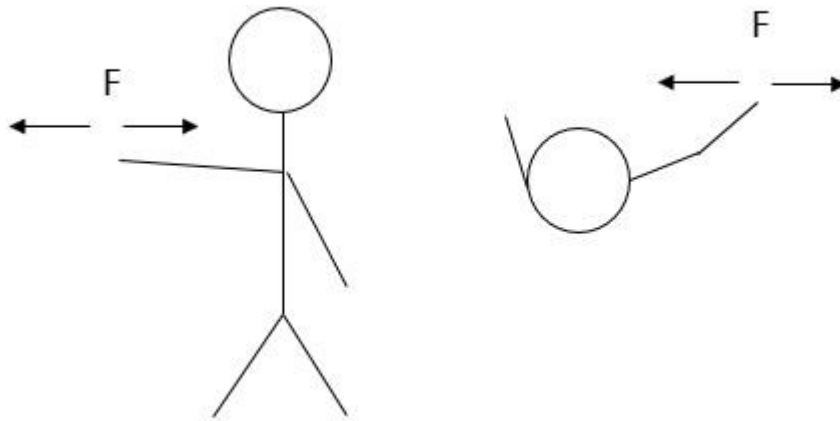
Toimintaankytkentälaitteiden valinnassa on tärkeää huomioida koneen elinkaareen eri vaiheet, koneen tarkoitettu käyttö ja koneeseen liittyvät vaarat. Lisäksi laitteiden valinnassa tulee ottaa huomioon, että niiden rakenne ja tekniikka kestää ympäristön olosuhteita (kuten pöly, kosteus, lämpötila). (SFS-EN ISO 14119 2013, 44.) Esimerkiksi pölyisissä olosuhteissa tyypin 2 kielitoimisen asematuntokytkimen toiminta voi heikentyä tai lakata kokonaan toimimasta (SFS-EN ISO 14119 2013, 48).

Suojukseen tulee valita lukinnalla varustettu toimintaankytkentälaitte silloin kun koneen vaarallisten toimintojen kokonaispysähtymisaika on suurempi tai yhtä suuri kuin henkilöltä kuluva lähestymisaika vaaravyöhykkeelle. Jos henkilöllä kestää kauemmin päästä vaaravyöhykkeelle kuin mitä koneen vaarallisten toimintojen pysähtymiseen kuluva aika, tällöin voidaan valita ilman lukintaa oleva toimintaankytketty suojus. (SFS-EN ISO 14119 2013, 44.)

Lukinnan pitovoiman on oltava riittävä pitämään suojus lukittuna ilman että käytetään sorkkarautaa tai muita järeitä työkaluja. Tämä koskee niin mekaanisia osia sisältäviä lukintalaitteita kuin myös sähkömagneettisesti toimivia laitteita. (SFS-EN ISO 14119 2013, 46.)

Standardin liitteessä I on esitetty esimerkkejä ihmisen lihasten voimista eri asennoissa. Pienin voima 600 N syntyy istuma-asennossa yhdellä kädellä vaakasuoraan vetämällä ja suurin voima 1400 N kahdella kädellä suoraan ylöspäin nostaessa.

(SFS-EN ISO 14119 2013, 120.) Alla olevassa kuvassa 12 esitetty yksi liike ja siihen liittyvät voimat.



Kuva 12. Esimerkki yhden käden vaakasuorasta liikkeestä voima 700N (Perustuu SFS-EN ISO 14119 2013, 120).

2.9.8 Toimet toimintaankytkentälaitteiden mitätöinnin estämiseksi

Koneet on suunniteltava niin, että houkutukset toimintaankytkentälaitteiden mitätöimiseen ovat mahdollisimman pienet. Lisäksi toimintaankytkentälaitteet tulee suunnitella niin, että ne haittaavat koneen normaalia käyttöä mahdollisimman vähän. Toimintaankytkentälaitteiden hyvällä suunnittelulla taataan koneen helppokäyttöisyys esimerkiksi huoltojen ja kunnossapidon aikana sekä koneen toimivuus myös muissa tilanteissa, mikä osaltaan vähentää houkutusta laitteiden mitätöimiseen. (SFS-EN ISO 14119 2013, 48.)

Standardin SFS-EN ISO 14119 liitteessä H on esitetty ohjeita ja menetelmiä toimintaankytkentälaitteiden mitätöimisen houkutuksen arviointiin. Liitteessä on käytetty esimerkkinä automaattista metallintyöstökoneita, mutta samalla tavalla voidaan suorittaa arviointi myös muille koneille, kunhan huomioidaan koneen tai tuotannon kaikki piirteet. Arviointi voidaan suorittaa samalla tavalla, kuten liitteen H.1 taulu-

kossa on tehty työstökoneelle. Taulukkoon on merkitty koneen toimintatapa, koneella suoritettavat eri tehtävät ja merkitty mahdollinen hyöty ilman turvalaitteita tapahtuvasta työskentelystä. (SFS-EN ISO 14119 2013, 112.)

Syitä turvalaitteen mitätöimiseen voi olla monia. Esimerkiksi suojus voi haitata tiettyjen työvaiheiden tekemistä ja koneen säätäminen sekä työstettävän kappaleen valvominen voivat olla helpompaa ilman suojusta. Myös se, että työtehtävät sujuvat helpommin, nopeammin ja kuormittavat vähemmän fyysisesti, voi osaltaan motiivoida turvalaitteen mitätöimiseen. (SFS-EN ISO 14119 2013, 112.)

Toimintaankytkentälaitteiden mitätöinnin estämiseksi voidaan tehdä toimenpiteitä, jotka estävät mahdollisen mitätöinnin. Toimintaankytkentälaitteiden mitätöinti voidaan estää seuraavilla toimenpiteillä:

a) Pääsyn estäminen toimintaankytkentälaitteen osiin

- asennus käyttäjän ulottumattomiin
- fyysinen este tai kotelointi
- asennus näkymättömään paikkaan

b) Estetään toimintaankytkentälaitteen käyttö muilla kuin siihen tarkoitetuilla esineillä

- vaikuttajan koodaaminen (matalatasoinen, keskinkertainen, korkeatasoinen)

c) Toimintaankytkentälaitteiden osien irrottamisen tai muualle siirtämisen estäminen käyttämällä pysyvää kiinnitystä (esimerkiksi hitsaus, liimaus, niittaus tai yksisuuntaiset ruuvit)

d) Käytetään ohjausjärjestelmässä valvontaa mitätöinnin estämiseksi

- esimerkiksi tietyissä koneen työkierron vaiheissa järjestelmän ohjaus vaatii signaalia oven avaamisesta. Ohjaussignaalin puute on merkki mitätöinnistä ja kone ei käynnisty tai se pysähtyy.

- käyttäjältä odotetaan oven avaamista tai sulkemista tietyn ajan välein. Ohjaussignaalin puute on merkki mitätöinnistä ja kone ei käynnisty tai se pysähtyy. (SFS-EN ISO 14119 2013, 50.)

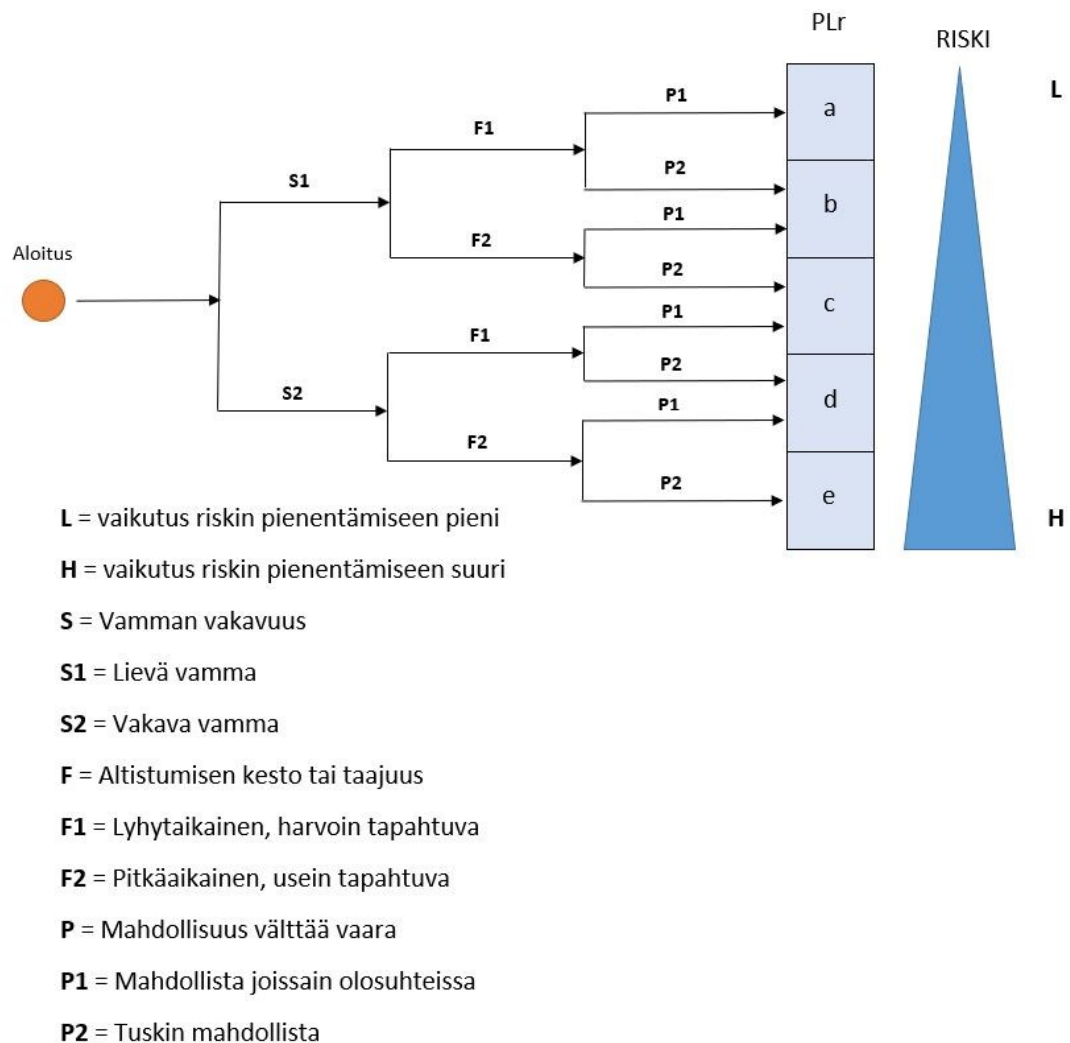
2.9.9 Suoritustasot, luokat ja vikaantumisen estäminen

Ilman lukintaa tai lukinnalla varustettu toimintaankyntälaite kuuluu osana turvallisuuteen liittyvää ohjausjärjestelmää. Tämän vuoksi sitä käsitellään standardin SFS-EN ISO 13849-1 mukaan. (SFS-EN ISO 14119 2013, 56.) Standardissa SFS-EN ISO 13849-1 esitetään ohjeita ja vaatimuksia sähköisten, elektronisten, ohjelmoitavien järjestelmien ja muiden ohjaustekniikoiden suunnitteluun ja integraatioon ohjausjärjestelmän kanssa. Standardissa on määritetty näille turvallisuuteen liittyville ohjausjärjestelmän osille turvatoimintojen toteuttamiseen vaadittava suoritustaso. Erilaisilla laskentamenetelmillä saadaan suoritustaso selville. Tätä kuvataan neljällä tunnusarvolla, jotka ovat seuraavat:

- kategoriat (rakenteelliset vaatimukset)
- keskimääräinen vikaantumisaika (MTTFd)
- Diagnostiikan kattavuus (DC)
- Yhteisvikaantuminen (CCF). (SFS-EN ISO 13849-1 2015, 7.)

Ohjausjärjestelmän turvallisuudesta vastaavien osien suunnitteleminen tapahtuu useammassa vaiheessa. Ensimmäiseksi määritetään vaatimukset ja vaaditut ominaisuudet turvallisuustoiminnoille. Riskien kasvaessa myös vaatimukset ohjausjärjestelmälle kohoavat. Tämän vaiheen jälkeen määritetään vaadittu suoritustaso (PL). Suoritustaso määritetään riskigraafin avulla, jossa vaaratilanteet on jaettu viiteen luokkaan a - e. Luokassa a ohjaustoiminnon osuus riskin pienentämiseen on vähäinen, kun taas luokassa e osuus on korkea. Suoritustaso voidaan määrittää erilaisia ohjelmistoja apuna käyttäen, joihin arvot syöttämällä saadaan vaadittu suoritustaso selville. Ohjelmistoja ovat esimerkiksi Sistema ja PAScal. Suoritustason määrittämisen jälkeen suunnitellaan turvallisuustoiminnot ja toteutetaan tekniset rat-

kaisut. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että valitaan esimerkiksi avattavalle suojukselle asematuntokytkimet ja muut tarvittavat toimintaankytkentälaitteet. Lopuksi tarkastellaan, onko vaadittu suoritustaso saavutettu valituilla komponenteilla. Saavutetun suoritustason tulee olla yhtä korkea tai korkeampi kuin riskinarvioinnin perusteella turvatoiminnoille vaadittu suoritustaso eli PLr. (Pilz, [viitattu 2.5.2021].) Alla olevassa kuvassa 13 on esitetty riskigraafi, josta saadaan vaadittu suoritustaso PLr selville.



Kuva 13. Riskigraafi ja selitteet (Perustuu SFS-EN ISO 13849-1 2015, 55).

Teollisuusympäristössä tapahtuvien tapaturmien vakavuus on tavallisesti suuri, joten tapaturmista syntyneet vammatkin ovat tavallisesti vakavia, joten riskigraafista valitaan S2. Tämän jälkeen valitaan vaaralle altistumisen taajuuden tai keston pe-

rusteella joko F1 tai F2 sekä mahdollisuus välttää vaara P1 tai P2. Usein vaaratilanteet ovat yllättäviä ja niitä on mahdoton välttää, joten valitaan P2. Edellä mainittujen valintojen perusteella vaaditun suoritustason turvatoiminnoille täytyy olla e tai d.

Kun suoritustasoksi Plr tulee e tai d, on vikasietoisuuden oltava tällöin vähintään 1. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että käytetään kahta tyyppin 1 toimintaankytkentälaitetta yhden sijaan, koska ei voida jättää huomioimatta laitteisiin tulevia mahdollisia vikaantumisia (esim. vaikuttajan rikkoontuminen, kuluminen tai muut mekaaniset viat). Vaadittavan suoritustason saavuttamiseksi voidaan edellyttää toiminnallista testiä sovelluksessa, jossa käytetään toimintaankytkentälaitteen automaattista valvontaa vaadittavan diagnostiikan kattavuuden saavuttamiseksi. Testi voidaan tehdä aina kun laite vaihtaa tilaansa, esimerkiksi kun suojusta avataan. Tilanteet, joissa sovellusta eli tässä tapauksessa suojusta avataan harvoin, on toimintaankytkentälaitteessa oltava lisätoimenpiteitä, jotta havaitaan mahdolliset vikaantumiset ajoissa. Lisätoimenpiteenä koneen ohjausjärjestelmä voi tietyn aikavälein vaatia koneen käyttäjää avaamaan ja sulkemaan suojusta. Ohjausjärjestelmä valvoo testiä ja jos sitä ei suoriteta ohjausjärjestelmä pysäyttää koneen. (SFS-EN ISO 14119 2013, 56.)

Turvallisuuteen liittyvien ohjausjärjestelmän osien on oltava standardissa SFS-EN ISO 13849-1 esitettyjen luokkien mukaisia. Luokat ja niiden vaatimukset on kuvattu seuraavassa taulukossa 2.

Taulukko 4. Luokat ja niiden vaatimukset (SFS-EN ISO 13849-1 2015, 41).

| Luokka | Yhteenvedo vaatimuksista | Järjestelmän käyttäytyminen vikatilanteessa |
|--------|--|--|
| B | Ohjausjärjestelmien turvallisuuteen liittyvät osat on suunniteltava, rakennettava, valittava, koottava ja yhdistettävä asiaankuuluvien standardien mukaisesti, että ne kestävät odotetut vaikutukset. | Vian esiintyminen voi johtaa turvatoiminnon menetykseen. |
| 1 | Sovelletaan luokan B vaatimuksia. Lisäksi on käytettävä hyvin koeteltuja komponentteja ja noudatettava hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita. | Vian esiintyminen voi johtaa turvatoiminnon menetykseen, mutta todennäköisyys vian esiintymiselle on pienempi kuin luokassa B. |
| 2 | Sovelletaan luokan B vaatimuksia ja noudatetaan hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita. Koneen ohjausjärjestelmän on tarkistettava turvatoimintojen tila tietyin aikavälein. | Vian esiintyminen tarkastusten välillä voi johtaa turvatoiminnon menetykseen. Turvatoiminnon menetys huomataan tarkistuksella. |
| 3 | Sovelletaan luokan B vaatimuksia ja noudatetaan hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita. Ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvät osat on suunniteltava niin, että yksittäinen vika jossakin näistä osista ei johda turvatoiminnon menettämiseen, ja aina kun vain on mahdollista, yksittäinen vika on havaittava. | Turvatoiminnon jatkuva suorittaminen yksittäisen vian esiintyessä. Osa vioista havaitaan, mutta ei kaikkia. Turvatoiminto voidaan menettää havaitsemattomien vikojen kerääntyessä. |
| 4 | Sovelletaan luokan B vaatimuksia ja noudatetaan hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita. Ohjausjärjestelmän turvallisuuteen liittyvät osat on suunniteltava niin, että yksittäinen vika jossakin näistä osista ei johda turvatoiminnon menettämiseen. Yksittäiset viat havaitaan turvatoiminnon seuraavan vaatimuksen yhteydessä tai ennen sitä, mutta jos vikojen havaitseminen ei ole mahdollista havaitsemattomien vikojen kertyminen ei saa johtaa turvatoiminnon menetykseen. | Turvatoiminnon jatkuva suorittaminen yksittäisen vian esiintyessä. Kaikki viat havaitaan ennen turvatoiminnon menettämistä. |

Hyvin koeteltuja turvallisuusperiaatteita ovat esimerkiksi: tietyllä tavalla vikaantuvien komponenttien käyttö (komponentin vikaantumistapa tunnetaan ennalta, ja se on aina sama), vikojen todennäköisyyden pienentäminen ylimitoittamalla sekä hyvin valittujen materiaalien ja valmistusmenetelmien käyttö (SFS-EN ISO 13849-2 2012, 44).

Kun suojuksessa käytetään useampaa toimintaankytkentälaitetta, on laitteiden yhteisvikaantuminen estettävä. Yhteisvikaantumisella tarkoitetaan toimintaankytkentälaitteiden vikaantumista samasta syystä. Yhteisvikaantumisen estäminen voidaan tehdä esimerkiksi käyttämällä yhtä mekaanisesti vaikutettavaa asematuntokytkintä ja koskematta vaikutettavaa asematuntokytkintä. (SFS-EN ISO 14119 2013, 58.)

3 SUUNNITELLUT RATKAISUT

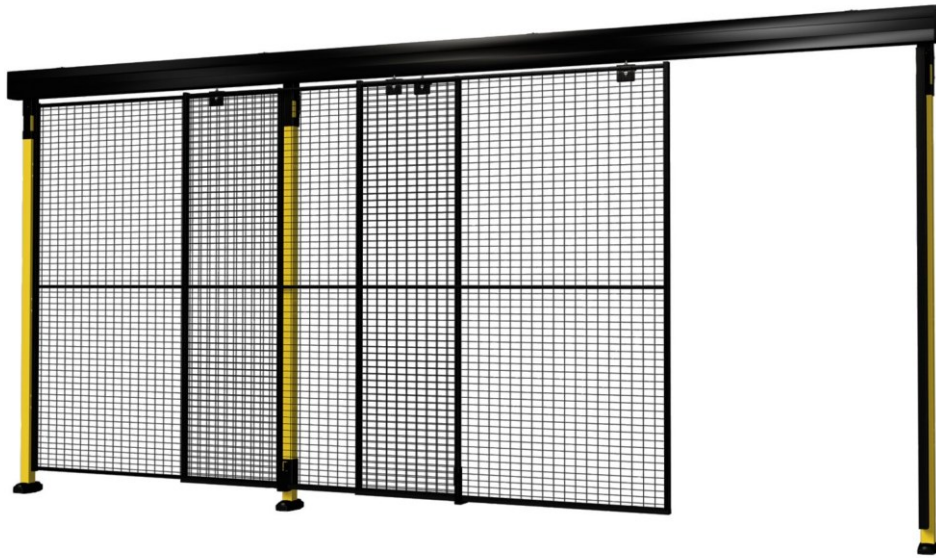
Tässä työn osuudessa esitetään lähtökohdat suunnitteluun, miten valittuihin ratkaisuihin on päädytty ja mitkä vaihtoehdot eivät ole mahdollisia. Lisäksi esitetään mitä komponentteja oveen voidaan kiinnittää ja ehdotus lopulliseksi vaihtoehdoksi uudelle turvaovelle.

3.1 Suunnitteluprosessi

Nykyinen ratkaisu koostuu kahdesta kaksiosaisesta taiteovesta, jotka avautuvat oviaukon molemmin puolin. Oven lukitus tapahtuu oviaukon keskellä olevalla sähkölukolla. Uuden turvaoven suunnittelu alkoi vanhan oven ominaisuuksien ja puutteiden arvioinnilla sekä miettimällä, mitä ominaisuuksia uudelle ovelle vaadittaisiin. Vanhassa turvaovessa ongelmana oli muun muassa oven rakenne, joka oli huojuva eikä kovin tukeva. Lisäksi taiteoven avaaminen oli aikaa vievää. Uuden oven suunnittelussa on näihin kohtiin kiinnitetty huomiota. Muita huomioitavia asioita oven suunnittelussa:

- turvaoven tulee täyttää sitä koskevat koneturvallisuuden standardit
- trukilla oltava esteetön kulku
- käytön oltava helppoa ja turvallista

Koska turvaoven sisäpuoliselle alueelle tulee olla pääsy trukilla (lastaus, purku), se rajoitti vaihtoehtojen määrää. Esimerkiksi suojukset, joiden asennukseen vaaditaan kiinteitä palkkeja ylä- tai alareunaan, eivät olleet mahdollisia (kuten kuvassa 14). Valoverhon käyttöä ei myöskään voinut ajatella tässä tapauksessa, sillä se vaatii suuremman turvaetäisyyden vaara-alueelle, mikä tässä oli mahdollista. Oviaukeaman ollessa neljä metriä myös yksiosaisen liukuoven käyttö olisi haasteellista, sillä se veisi niin paljon tilaa, ja oven avaaminen olisi vaikeaa yhdelle henkilölle. Vaihtoehtojen pohtimisen jälkeen päädyttiin kahdesta osasta koostuvaan kaksiosaiseen liukuoveen, joka on kiinnitetty saranoilla tukipylväisiin.

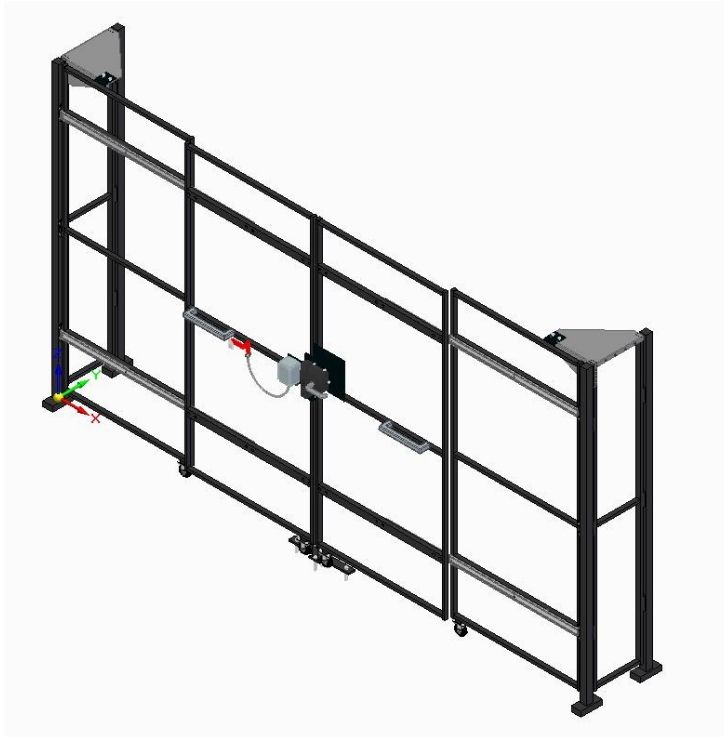


Kuva 14. Esimerkki vaihtoehdosta, jossa kiinteä yläpalkki estää trukilla pääsyn (Etra, [viitattu 27.5.2021]).

3.2 Mallinnus

3D-mallinnuksella tai kolmiulotteisella mallinnuksella tarkoitetaan kappaleiden suunnittelua ja mallintamista tietokoneavusteisesti. Tietokoneella luodun kolmiulotteisen mallin pohjalta voidaan esimerkiksi tehdä ohjelmia NC-työstökoneille tai 3D-tulostukseen. (Koulutus.fi, [viitattu 3.6.2021].)

Suunnittelun aikana ilmentyneiden seikkojen perusteella tehtiin 3D-mallinnus vaihtoehdoksi uudelle turvaovelle. Suunnittelun pohjana oli kaksiosainen liukuovi ja myöhemmin vastaan tuli samankaltaisia markkinoilta löytyviä ratkaisuja kuten kuvassa 15 esitetty malli. Mallinnuksessa käytettiin Siemensin Solid Edge 3D -suunnitteluohjelmistoa sen ollessa suhteellisen tuttu ohjelmisto.



Kuva 15. 3D-mallinnus turvaovesta. Kuvakaappaus Solid Edge-ohjelmistosta.

Kuvassa 15 esitetyssä ratkaisussa on taiteovet korvattu liukuovilla. Ovien lukitus tapahtuu edelleen samalla tavalla kuin vanhassa ovesta eli oviaukon keskellä ja samanlaisella lukituksella. Myös ovet voidaan kääntää samalla tavalla oviaukon molemmin puolin kuin vanhassakin.

3.3 Oven materiaalit

Turvaoviin ja konesuojiin on tarjolla monia erilaisia vaihtoehtoja ja materiaaleja. Hyvä vaihtoehto on käyttää teräksisiä verkkoelementtejä. Teräksisten verkkoelementtien modulaarisuuden ansiosta voidaan helposti muokata omaan tarpeeseen sopivat ratkaisut ilman että hinnat kasvavat liian suuriksi. Suomessa verkkoelementtejä sekä kokonaisia ja valmiita ratkaisuja myyvät muun muassa Troax ja Etra. Etralla on valikoimassaan ruotsalaisen Axelentin valmistamia tuotteita. Troax puolestaan valmistaa itse omat verkkoelementit ja suojat. Yrityksillä on laajat valikoimat erilaisia elementtejä, suojia, lukkoja ja muita tarvikkeita. Yrityksille voi myös toimittaa CAD-malleja omasta suunnitelmasta. Tällöin voidaan mahdollisesti valmistaa

mittatilaustyönä suojus. Suojusten ja verkkoelementtien valmistaja huolehtii, että suojukset täyttävät niihin liittyvien standardien vaatimukset.

Tämän työn vaihtoehdossa uudelle ovelle on käytetty 2300 mm korkeita pylväitä ja 2200 mm korkeita verkkoelementtejä, jotka on sijoitettu 100 mm:n korkeudelle lattiatasosta. Useimmissa verkkoelementeissä verkon silmäkoko 50x30, mikä edellyttää 200 mm:n vähimmäisetäisyyttä vaara-alueelle. Korkein verkkoelementti on valittu sen takia, koska ovi on osana konesolua, jossa on muun muassa järjestelmä ohutlevyjen varastointiin ja keräykseen.

Liukuovien toiminta voidaan toteuttaa käyttämällä teleskooppijohteita. Teleskooppijohteita on erilaisia osittain avautuvista teleskooppijohteista täysin avautuviin. Maksimipituuksien ollessa jopa kolme metriä ja maksimikuormituksen yli 1000 kg. (Movetec, [viitattu 8.5.2021].) Teleskooppijohteet voidaan kiinnittää suoraan oven rakenteisiin joko hitsaamalla tai asettamalla teleskooppijohde erilaisilla ulokkeilla roikkumaan oven rakenteissa oleviin reikiin. Toinen vaihtoehto on kiinnittää teleskooppijohde oven rakenteisiin ruuvi- tai pulttiliitoksella. Tämä kiinnitystapa voi olla haasteellinen tietyissä kohteissa oven rakenteen ollessa epäsoveltuva kiinnitykselle. Kiinnitystavoissa hitsausta lukuun ottamatta on hyvänä puolena se, että esimerkiksi kiskon rikkoontuessa se on mahdollista vaihtaa. Kuvassa 16 on esimerkki teleskooppijohteesta.

Suomessa teleskooppijohteita myy muun muassa Movetec Oy ja Rollco Oy, myös Etra myy erikseen yhteensopivia kiskoja Axelentin liukuoviin ja verkkoelementteihin. Tämän työn liitteissä on piirustukset suunnitellusta turvaovesta sekä tarkempi osaluettelo.



Kuva 16. Esimerkki täysin avautuvasta teleskooppijohteesta (Movetec, [viitattu 8.5.2021]).

3.4 Muita vaihtoehtoja

Tässä työssä suunnittelun turvaoven sijaan voidaan myös valita markkinoilta valmis malli. Esimerkiksi ruotsalaisella Axelentilla on valikoimassaan samankaltainen turvaovi, kuin kuvan 15 mallinnuksessa esitetty vaihtoehto, mutta tietyillä eroavaisuuksilla. Suomessa Axelentin konesuojien ja turvaovien jälleenmyyjänä on muun muassa Etra, kuten edellä on jo mainittu. Kuvassa 17 Axelentin valmistama liukuovi.



Kuva 17. Axelentin turvaovi kiskoilla ja saranoilla (Axelent, [viitattu 28.5.2021]).

Axelentin lisäksi markkinoilla on myös muiden valmistajien tarjoamia turvaovia ja suojuksia. Esimerkiksi ruotsalaisella Troaxilla on laaja valikoima valmiita oviratkaisuja ja verkkoelementtejä teollisuuden tarpeisiin. Yrityksen tuotevalikoimasta ei suoraan löytynyt saranoilla varustettua kahdesta osasta koostuvaa kaksiosaista liukuovea, mutta yritykseltä voi olla mahdollista tilata sellainen tilaustyönä omien mittojen ja CAD-mallien pohjalta. Kuvassa 18 esimerkki Troaxin tuotevalikoimasta löytyvästä kahdesta osasta koostuvasta kaksiosaisesta liukuovesta, jossa ei ole saranoita. Yrityksellä on toimipiste myös Suomessa.



Kuva 18. Troaxin liukuovi ilman saranoita (Troax, [viitattu 29.5.2021]).

3.5 Oveen kiinnitettäviä komponentteja

Nykyisessä turvaovessa käytössä oleva Schmersalin 200-sarjan turvasolenoidilukko on toimiva ratkaisu myös tähän suunnitelmaan. Turvasolenoidilukko toimii

RFID-tekniologialla, jolla pystytään valvomaan lukinnan tilaa ja oven asemaa. RFID-koodaus voi olla joko standardi tai yksilöllisesti koodattu. Yksilöllistä koodausta käyttämällä lukon mitätöinti on lähes mahdotonta. Kuvan 19 kahvassa on kiinni kielityypinen vaikuttaja, jolla voidaan vaikuttaa mekaanisesti lukko-osaan ja näin estetään mahdollinen yhteisvikaantuminen ja turvatoiminnon menettäminen käyttämällä laitteessa kahta erilaista vaikuttamistapaa (mekaanisesti vaikutettava ja koskettamatta toimiva). Suoritustaso lukolla on PL e. (Schmersal, [viitattu 9.5.2021]).



Kuva 19. Schmersalin 200-sarjan turvasolenoidilukko ja liitettäviä kahvoja (Schmersal, [viitattu 9.5.2021]).

Schmersalin 200-sarjan turvasolenoidilukossa on lukitusvoima 2000N lukittuna ja suojausluokka on IP67, mikä tarkoittaa sitä, että se kestää pölyä ja vettä. (Schmersal, [viitattu 9.5.2021]). Turvalukkoon voidaan liittää muita laitteita, esimerkiksi oven sisäpuolelle asennettava punainen lukinnan ulospääsykahva tai huoltoon varten lukituksenestorauta, kuten kuvassa 20. Halutessa lukko voidaan päivittää Schmersalin uudempaan 201-sarjan turvalukkoon.



Kuva 20. Schmersalin SZ200-1-lukitusrauta (Schmersal, [viitattu 29.5.2021]).

3.6 Ehdotus uudelle turvaovelle

Kaikki seikat huomioiden paras ratkaisu olisi kahdesta osasta koostuva kaksiosainen liukuovi, jossa lukitus tapahtuu oviaukon keskellä. Liukuoven avaaminen on nopeaa, mutta rakenteen ansiosta se ei vie kuitenkaan liikaa tilaa. Lisäksi sen rakenne on myös tukevampi verrattuna taiteoveen.

Tässä tapauksessa olisi järkevintä hankkia markkinoilta valmis ratkaisu turvaovelle. Silloin saadaan kaikki oveen tarvittavat osat samalla kertaa ja myös valmiit käyttöohjeet asennukseen, jolloin oven lopullinen paikoilleen asentaminen helpottuu. Jos osat tilattaisiin erikseen, hinnat nousisivat mahdollisesti suurimmiksi kuin mitä valmis paketti tulisi maksamaan ja yksittäisiä osia voisi joutua odottamaan.

Etralta voisi tiedustella onko kuvassa 19 esitettyä Axelentin valmistamaa turvaovea tai vastaavaa tuotetta saatavilla, ja jos on saako oven räätälöityä omille mitoille sopivaksi. Samoin Troaxin Vantaalla sijaitsevasta Suomen pisteestä voisi kysyä, onnistuuko heiltä valmistaa samankaltainen saranoilla varustettu kahdesta osasta koostuva kaksiosainen liukuovi.

4 YHTEENVETO

Tämän työn aiheena oli suunnitella turvaovi Finn-Powerille. Turvaoven suunnittelu aloitettiin selvittämällä vanhan oven ominaisuuksia sekä siinä esiintyviä puutteita. Tämän jälkeen pohdittiin mitä ominaisuuksia uudelta turvaovelta vaaditaan. Työn teoriaosuudessa käydään läpi konedirektiiviä ja koneturvallisuuden standardeja.

Työn tavoitteena oli suunnitella nykyisen oviratkaisun tilalle rakenteeltaan yksinkertaisempi, tukevampi ja helppokäyttöisempi ratkaisu huomioiden standardinmukaisuus ja turvallisuus.

Työn tuloksena esitettiin vaihtoehto uudelle turvaovelle. Turvaoven hankkiminen olisi tässä tapauksessa järkevintä valmiina pakettina markkinoilta, jolloin saadaan kaikki osat kerralla, asennus helpottuu ja hinta pysyy kohtuullisena. Mielestäni työn tavoite toteutui ja jää työn toimeksiantajan päätettäväksi hankkivatko he tässä työssä ehdotetun vaihtoehdon kaltaisen turvaoven.

Työn tekeminen opetti, mitä kaikkea asioita koneen suunnittelussa täytyy huomioida. Esimerkiksi konedirektiivissä ja koneturvallisuuden standardeissa on esitetty paljon asioita, jotka täytyy ottaa huomioon koneen suunnittelussa tai valmistuksessa turvallisuuden takaamiseksi. Työn tekeminen oli mielenkiintoista ja työtä tehdessä opittua paljon uutta direktiiveistä ja koneturvallisuuden standardeista. Haastavaa oli löytää sopiva vaihtoehto uudelle turvaovelle.

LÄHTEET

A 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta.

Apex Automation. 11.4.2018. Kone ja sen turvallistaminen. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2021].

Saatavana: <https://www.apexautomation.fi/uutiset/kone-ja-sen-turvallistaminen/>

Axelent. Ei päiväystä. Combined hinged- and sliding door. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 28.5.2021].

Saatavana: <https://www.axelent.com/products/machine-guarding/x-guard-machine-guarding/doors/combined-hinged-and-sliding-door/>

Etra. Ei päiväystä. X-Guard 2-Osaiset liukuovet 2-osaisella yläkiskolla. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 27.5.2021].

Saatavana: <https://www.etra.fi/fi/materiaalinkasittely-ja-kalusteet-e360/kone-suojaverkot-axelent-e3635/x-guard-ovet-e363535/x-guard-2-osaiset-liukuovet-2-osaisella-ylakiskolla-e36353525>

Koulutus.fi. Ei päiväystä. 3D-mallinnuksen ja -suunnittelun koulutukset. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 3.6.2021].

Saatavana: <https://www.koulutus.fi/haku/3d-mallinnuskurssi>

Metsta. Ei päiväystä. Koneturvallisuuden standardisoinnin historiaa ja perusteita. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.3.2021].

Saatavana: <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/standardisointi/>

Metsta. Ei päiväystä. Koneturvallisuuden standardien suhde lainsäädäntöön. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 15.3.2021].

Saatavana: <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/standardisointi/koneturvallisuuden-standardien-suhde-lainsaadantoon/>

Metsta. Ei päiväystä. Yhdenmukaistetut standardit. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.3.2021].

Saatavana: <https://metsta.fi/koneturvallisuuden-standardit-metsta/yhdenmukaistetut-standardit/>

Movetec Oy. Ei päiväystä. Teleskooppijohteet. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 8.5.2021].

Saatavana: <https://www.movetec.fi/fi/tuotteet/lineaariliikkeen-mekaniikka/lineaarijohteet/teleskooppikiskot/teleskooppijohteet>

PILZ. Ei päiväystä. Perusstandardit (A+B-standardit). [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 9.3.2021]. Saatavana: <https://www.pilz.com/fi-FI/support/knowhow/law-standards-norms/iso-standards>

- PILZ. Ei päiväystä. EN ISO 13849-1: Suorituskykytaso (PL). [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.5.2021].
Saataavana: <https://www.pilz.com/fi-FI/support/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>
- Prima Power. Ei päiväystä. Historia. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 9.6.2020]. Saataavana: <https://www.primapower.com/fi/historia/>
- Prima Power. Ei päiväystä. Yritys. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.6.2020]. Saataavana: <https://www.primapower.com/fi/yritys/>
- Researchgate. Ei päiväystä. Principles of Type 1,2,3 and Type 4 interlocking devices. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.4.2021].
Saataavana: https://www.researchgate.net/figure/Principles-of-Type-1-Type-2-Type-3-and-Type-4-interlocking-devices-a-Type-1_fig1_312490665
- Rockwell Automation. Ei päiväystä. 440G-EZ Electromagnetic Interlocking Switch. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.4.2021].
Saataavana: <https://www.rockwellautomation.com/en-id/products/hardware/allen-bradley/safety-products/safety-sensors/safety-interlock-switches/guard-locking-switches/440g-ez-electromagnetic.html>
- SATECH. Ei päiväystä. Machine guards for industrial robots. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.3.2021].
Saataavana: <https://www.satech.it/en/machine-guards-for-industrial-robots/>
- SATECH. Ei päiväystä. GENERAL CATALOGUE. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.3.2021].
Saataavana: https://www.satech.it/cataloghi/CatalogoSatech_ENG_FULL.pdf?x86343
- Schmersal. Ei päiväystä. Avainkytkimet. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 24.4.2021].
Saataavana: https://products.schmersal.com/fi_FI/category/1/avainkytkimet
- Schmersal. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.4.2021].
Saataavana: <https://www.schmersal.com/en/home/>
- Schmersal. Ei päiväystä. AZM 200. [verkkojulkaisu]. [Viitattu 9.5.2021].
Saataavana: https://products.schmersal.com/fi_FI/product/642/azm200bsk-t-1p2pwa
- Schmersal. Ei päiväystä. SZ200-1. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.5.2021].
Saataavana: https://products.schmersal.com/fi_FI/product/398/sz200-1
- SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

- SFS-EN ISO 13857. 2019. Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 14120. 2015. Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 14119. 2013. Koneturvallisuus. Suojusten kytkentä koneen toimintaan. Suunnittelu ja valinta. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 13849-1. 2015. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 1: Yleiset suunnitteluperiaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- SFS-EN ISO 13849-2. 2012. Koneturvallisuus. Turvallisuuteen liittyvät ohjausjärjestelmien osat. Osa 2: Kelpuutus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto
- Stronghold Safety Engineering. Ei päiväystä. Prismont Drill Press Front Opening Guard – Interlocked. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 18.3.2021].
Saatavana: <https://www.strongholdsafety.com/prismont-drill-press-front-opening-guard-interlocked.html>
- Suomen Standardisoimisliitto. 2016. Koneturvallisuuden standardit. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 6.11.2020].
Saatavana: <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Koneturvallisuus-esitys2016.pdf>
- Suomen Standardisoimisliitto. 2016. Koneturvallisuuden standardit. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 7.11.2021].
Saatavana: <https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Koneturvallisuus-esitys2016.pdf>
- Troax. Ei päiväystä. SAFETY GUIDE. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 22.3.2021].
Saatavana: https://www.troax.com/sites/default/files/downloads/Brochure%20-%20Safety%20Guide_EN_0.PDF
- Troax. Ei päiväystä. TELESCOPIC DOUBLE SLIDING DOOR. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 29.5.2021].
Saatavana: <https://www.troax.com/fi/en/telescopic-double-sliding-door>
- Työsuojeluhallinto. Ei päiväystä. Riskin arviointi. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 16.3.2021].
Saatavana: https://www.tyosuojelu.fi/documents/14660/2426906/Riskinarviointi_TSO_14_2013.pdf/9bfd87ed-88be-47cb-8611-d8b4ac99b6a1

Työterveyslaitos. Ei päiväystä. Riskien tunnistus ja hallintakeinot. [Verkkajulkaisu].
[Viitattu 16.3.2021].
Saatavana: <https://www.ttl.fi/vesihuoltolaitosten-tyoturvallisuus-opas/riskien-tunnistus-ja-hallintakeinot/>

LIITTEET

Liite 1. Piirustus 1

Liite 2. Piirustus 2

