



## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Konetekniikan koulutusohjelma

Lauri Pentikäinen

### **Painesuodattimen automatisoidun kankaanvaihtolaitteen kehittäminen ja tekninen tuotteistaminen**

Diplomityö

2013

75 sivua, 7 kuvaa, 14 taulukkoa ja 14 liitettä

Tarkastajat: Professori Aki Mikkola  
TkT Kimmo Kerkkänen

Hakusanat: Riskianalyysi, järjestelmällinen koneensuunnittelu, CE-merkintä, tekninen tuotteistaminen

Tässä työssä tarkastellaan CE-merkintään vaadittavia teknisen tuotteistamisen vaiheita käyttäen esimerkkinä painesuodattimen automatisoidun kankaanvaihtolaitteen suunnitteluprosessia. Työssä selvitetään, mitä vaihtoehtoja on painesuodattimen lisälaitteiden luokitteluksi, että ne saadaan tuotteistettua Euroopan talousalueella (ETA). Esimerkkinä käytettävä kankaanvaihtolaitte on suunniteltu käyttäen järjestelmällisen koneensuunnittelun menetelmää. CE-merkinnän vaatima riskianalyysi on tehty laitteelle standardin SFS-EN ISO 12100:2010 mukaisesti.

Tuloksena saatu laitteen prototyyppi täyttää pääosin laitteelle asetettavat vaatimukset. Kustannusarvio ylittää kuitenkin toivotun omakustannehinnan valoverhojen suhteellisen kalliin hinnan takia. Kustannusarvion mukaan prototyyppi voidaan kuitenkin valmistaa edullisesti, sillä valoverhot eivät ole pakollisia laitteen toiminnallisissa testeissä. Ennen tuotteistamista valoverhojen korvaamisen mahdollisuutta muulla turvatekniikalla on kuitenkin tutkittava. Suunnitteluvaiheen jälkeen laitteen turvallisuuden voidaan todeta olevan vähintään riittävällä tasolla. Riskianalyysi on kuitenkin päivitettävä dokumentti, ja laitteen turvallisuus täytyy varmistaa prototyyppiä testaamalla.

Työn perusteella voidaan todeta, että huomioimalla laitteen mahdollisesti aiheuttamat vaaratilanteet jo tuotesuunnittelun alussa, voidaan tuotekehitysprosessia nopeuttaa. Tunnistamalla vaaratilanteet suunnittelun varhaisessa vaiheessa voidaan vähentää riskien määrää, ja siten tarvetta riskien pienentämiselle. Näin vähennetään rakenteen suunnittelun ja riskianalyysin iteroitukierrosten määrää, jolloin myös tuotteistamisprosessi nopeutuu.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
LUT Mechanical Engineering

Lauri Pentikäinen

### **The development and technical productization of an automated cloth replacement device for a pressure filter**

Master's thesis

2013

75 pages, 7 figures, 14 tables and 14 appendices

Examiners: Professor Aki Mikkola  
M.Sc. (Tech.) Kimmo Kerkkänen

Keywords: Risk assessment, systematic design method, CE-marking, technical productization

This thesis studies the phases of technical productization required for CE-marking of technical devices, using an automated cloth replacement tool for a pressure filter as a design example. The alternatives to classifying of auxiliary and optional devices of pressure filters, in order to commercialize them in the European Economic Area (EEA), are also studied. The design of the cloth replacement tool has been done using systematic design method. The risk assessment, required by the CE-marking, has been done using the instructions given in the international standard EN ISO 12100:2010.

The result of the design is a prototype, which fulfills the requirements set for the device well for the most parts. The cost price estimate, however, is exceeded due to the relatively high price of the light curtains used in the design. The prototype of the device can, though, be manufactured at a low-cost, hence the light curtains are not mandatory for the functional testing of the device. Before the commercialization of the product, the replacement of the light curtains with alternative safety technology should be examined. After the design phase, the safety of the device can be said to be at least at an adequate level. The risk assessment is, however, an update requiring document, so the safety of the device remains to be certified at the test phase of the prototype.

The thesis shows, that by acknowledging the possible hazards caused by a device from the start of the design, the product development process can be sped up. By identifying the possible hazards of a device at an early design phase, the number of risks can be reduced, and hence the need for risk minimization reduced. This reduces the iteration in both the product design, and the risk assessment, which results in a faster productization and commercialization.

## ALKUSANAT

Tätä kirjoittaessani alkaa opinnäytteeni olla viimeistelyjä vaille valmis, ja 21 vuotta kestänyt koulunkäynti takana. Tuolle opin tielle on mahtunut monenlaisia haasteita. Viimeisimmässä koulussa, Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa, olen viihtynyt pisimpään ja kaikkein parhaiten. Vaikka opiskelu onkin ollut aikaisempia kouluja rankempaa, olen saanut opintoihini tärkeää vastapainoa taisteluista Parru HT:n rinnalla kaukaloissa ja niiden ulkopuolella. Opiskeluaikani on ollut mukavaa kotiasioiden ollessa kunnossa, mistä saan kiittää perhettäni, ja etenkin avopuolisoani Reettaa.

Haluan kiittää myös Etteplan Design Center Oy:n Lappeenrannan toimipisteen työntekijöitä: Harri Mannista siitä, että antoi aikanaan nuorelle opiskelijan klopille mahdollisuuden päästä oman alan kesätöihin, sekä Esa Anttilaa ja Heikki Nuutista siitä että ovat mahdollistaneet töiden jatkumisen ja tämänkin diplomityön saamisen. Luonnollisesti kiitos työn etenemisestä kuuluu työn ohjaajille ja tarkastajille. Ennen kaikkea haluan kuitenkin kiittää toimiston kaikkia työntekijöitä lämpimästä vastaanotosta ja viihtyisän työympäristön luomisesta. Ilman teitä tämänkin työ tekeminen olisi varmasti ollut tuskaisempi taival.

Minulla ei ole ollut kenties savolaisten juurieni tapana hötkyillä, minkä vuoksi en turhia kiirehtinyt myöskään diplomityön aloittamisen kanssa: Myös opintotukikuukauteni ja opinto-oikeuteni käytin huolellisesti viimeistä päivää myöten loppuun. Toisaalta sitten kun jonkin asian aloitan, ei ole tapanani ollut jäädä kuhnailemaan: Työn tekemisen aloittamisesta tulee tänään kuluneeksi kolme kuukautta ja yksi viikko.

Joku teistä saattaakin ajatella pitävänsä käsissään hätiköityä työtä, ottaen huomioon insinööriyön perusteellisen luonteen. Teille totean vain aurinkokuningas Juhani Tammisen sanoin: Paska ei pöyhimällä parane (Tamminen, 2000, s. 112).

Lappeenrannassa 18.4.2013

Lauri Pentikäinen

## SISÄLLYSLUETTELO

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO .....	4
1 JOHDANTO .....	5
1.1 Työn tausta .....	5
1.2 Työn tavoitteet .....	7
1.3 Työn rajaus .....	8
2 TEKNISEN TUOTTEISTAMISEN VAIHEET .....	9
2.1 Järjestelmällinen koneensuunnittelu .....	9
2.1.1 Vaatimusten määrittely .....	10
2.1.2 Toimintojen määrittely .....	11
2.1.3 Ratkaisuvaihtoehtojen ideointi ja valinta .....	12
2.1.4 Kehittäminen .....	13
2.2 Turvallisuuskäsitteet ja -määräykset .....	14
2.2.1 Euroopan talousalueella vallitsevat säännökset .....	15
2.2.2 CE-merkintä .....	19
2.3 Riskien arviointi ja hallinta .....	22
2.3.1 Riskianalyysi .....	23
2.3.2 Riskin pienentäminen .....	31
3 TULOKSET .....	39
3.1 Esisuunnitteluvaihe .....	40
3.1.1 Vaatimuslista ja abstrahointi .....	41
3.1.2 Toiminnan kuvaus .....	44
3.1.3 Ratkaisuvaihtoehdot .....	46
3.1.4 Jatkokehittelyyn valittu ratkaisumuunnelma .....	47
3.2 Ratkaisumuunnelman kehittäminen .....	48
3.2.1 Tärkeimpien komponenttien mitoitukset .....	52
3.2.2 Kankaanvaihtolaitteen riskianalyysi .....	54
3.3 Kustannusarvio .....	61
4 TULOSTEN TARKASTELU .....	63
4.1 Laitteen suunnittelun tarkastelu .....	63
4.2 Laitteen rakenteen ja kustannusarvion tarkastelu .....	64
4.3 Riskianalyysin tarkastelu .....	66
4.4 EU-direktiivien täyttäminen .....	67

5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	69
LÄHTEET .....	73
LIITTEET	
Liite I. Kehittelyn vaiheet.	
Liite II. Painesuodattimiin ja niiden lisälaitteisiin sovellettavat koneturvallisuuslaissa määrätyt terveys- ja turvallisuusvaatimukset.	
Liite III. Koneilta vaadittavien vaatimustenmukaisuusvakuutusten ja osittain valmiilta koneilta vaadittavien liittämiskäytösten sisällöt.	
Liite IV. Painesuodattimien ja niiden lisälaitteiden teknisten tiedostojen sisältövaatimukset.	
Liite V. Sähkölaitteistojen sähkömagneettisen yhteensopivuuden erityisvaatimukset.	
Liite VI. Riskien arvioinnin ja hallinnan eteneminen.	
Liite VII. Riskien arvioinnin ja pienentämisen dokumentointi.	
Liite VIII. Huomioitavia näkökulmia laitteen riskien pienentämiseksi suunnitteluratkaisuina.	
Liite IX. Tunnistavien turvalaitteiden käyttöä ohjeistavia tietoja.	
Liite X. Koneen mukana toimitettavien kirjallisten ohjeiden sisältövaatimukset.	
Liite XI. Abstrahointi oleellisten ongelmien tunnistamiseksi.	
Liite XII. Eri toiminnoille ideoidut ratkaisuvaihtoehdot.	
Liite XIII. Kelauslaitteen moottorin ja hammashihnavälityksen mitoituslaskut.	
Liite XIV. Koneen vaarat sen elinkaaren aikana.	

## KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

### Kuvat

Kuva 1. Lisälaitteena myytävä kankaanvaihtoteline. ....	6
Kuva 2. Havainnollistava kuva kankaanvaihdosta nykyisillä menetelmillä. ....	7
Kuva 3. Suojusten ja turvalaitteiden valintakaavio. ....	35
Kuva 4. Kankaanvaihtolaitteen toimintorakenne. ....	45
Kuva 5. Kankaiden kelaussuunnat ja kelaustelineen sijoittuminen. ....	49
Kuva 6. Suodattimen kankaankelausyksikkö normaalitoiminnan aikana. ....	51
Kuva 7. Ura-akseli ja -holkki. ....	52

### Taulukot

Taulukko 1. Laitteen suunnittelussa huomioitavat ja noudatettavat standardit ja direktiivit. ..	19
Taulukko 2. Koneen raja-arvojen luokittelu. ....	24
Taulukko 3. Vaaratilanteiden tunnistamisessa huomioonotettavia seikkoja. ....	25
Taulukko 4. Vahingon vakavuuden luokittelu. ....	27
Taulukko 5. Vahingon esiintymisen todennäköisyyden arvioinnissa huomioitavia tekijöitä. .	28
Taulukko 6. Riskien suuruuden arviointitaulukko. ....	29
Taulukko 7. Koneeseen kiinnitettävät merkinnät. ....	39
Taulukko 8. Kankaanvaihtolaitteen vaatimuslista. ....	41
Taulukko 9. Toteuttamiskelpoisimmat ideat kankaanvaihtolaitteen toiminnoista. ....	47
Taulukko 10. Moottorin mitoituslaskujen lähtöarvot ja niiden avulla saadut tulokset. ....	53
Taulukko 11. Moottorilta vaadittavat ominaisuudet hihnakäyttö huomioiden. ....	54
Taulukko 12. Kankaanvaihtolaitteen rajat. ....	56
Taulukko 13. Kustannusarviossa käytetyt terästen kilohinnat, sekä työkustannusten hinnat. .	61
Taulukko 14. Kankaanvaihtotelineen kustannusarviointitiedot. ....	62

# 1 JOHDANTO

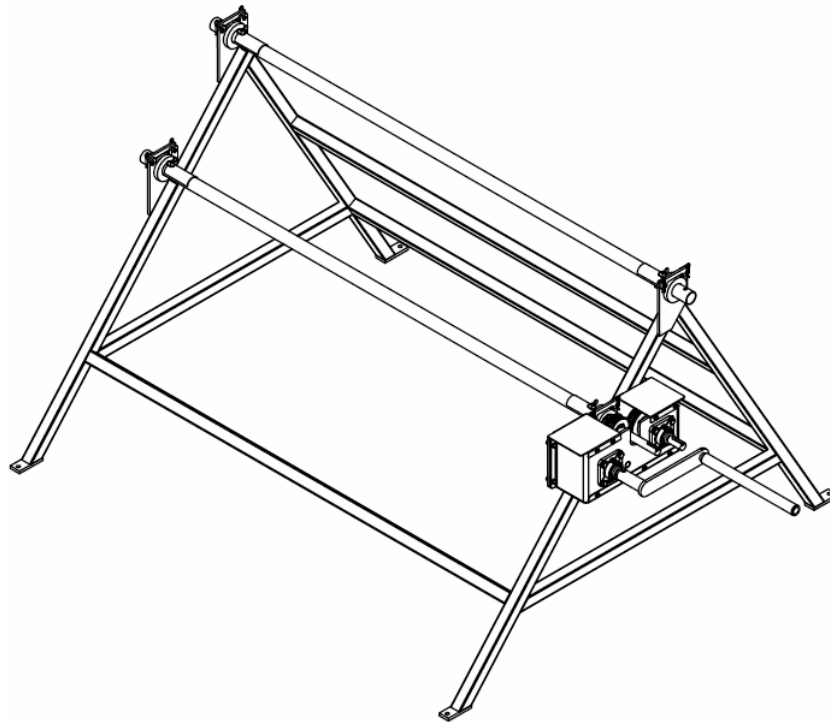
## 1.1 Työn tausta

Painesuodattimet ovat ylipaineella toimivia laitteita, joita käytetään kaivos- ja kemianteollisuudessa hienojakoisen lietteen mekaaniseen erotukseen. Tässä työssä kehityksen kohteena oleva painesuodatin toimii automaattisesti, ja sen suodatuspinta-ala vaihtelee suodatinlevyjen koon ja määrän mukaan, pienimmän ja suurimman suodatuspinta-alan erotuksen ollessa yli 100 neliometriä.

Suodatinkankaan tehtävänä on erottaa suodatettavasta lietteestä kiintoainepartikkelit mahdollisimman tehokkaasti. Käytön seurauksena suodatinkankaan huokokset tukkeutuvat, joten kangasta pestään työkiertojen aikana läpäisykyvyn säilyttämiseksi. Mekaanisen rasituksen vuoksi suodatinkangas altistuu kulumiselle, ja sen suodatusominaisuudet ja lujuus heikkenevät ajan myötä. Kangasta joudutaankin vaihtamaan aika-ajoin suodatustehon ja suodatettavan tuotteen laadun ylläpitämiseksi. Suodattimen käyttökohteista riippuen suodatinkangasta voidaan joutua vaihtamaan myös suodatettavaa tuotetta vaihdettaessa esimerkiksi hygienia- tai pigmenttisyistä.

Nykyään suodatinkankaan vaihto tehdään käsin. Lisälaitteena suodattimeen myydään muutamaa erilaista kankaanvaihtolinettä, joista yksi on esitelty kuvassa 1. Tapauksissa, joissa asiakas ei ole halunnut ostaa kyseistä lisälaitetta, voidaan kankaanvaihto pienemmissä suodattimissa suorittaa jopa ilman työkaluja. Suodatinkankaan vaihdossa vanhan kankaan liitossauma avataan, ja siihen liitetään kiinni uusi kangas. Koneita ajetaan huoltotilanteissa käytettävän käsiajon avulla, ja uutta kangasta syötetään koneeseen sitä mukaa kun kone vetää sitä sisäänsä. Samalla koneesta ulos tulevaa vanhaa kangasta kannatellaan tai kelataan rullalle. Käytännössä kankaan vaihto vaatii kolme huoltomiestä: yhden ajamaan konetta, yhden syöttämään kangasta, ja yhden kelaamaan vanhaa kangasta rullalle. Koska kangasta on koneen koosta riippuen jopa yli sata metriä, vaihtelee myös kankaan asema leveyssuunnassa. Jotta vanha kangas saadaan siististi rullalle, on kangasta oiottava reunasta käsin vetämällä sitä mukaa kun se ajautuu pois linjasta.





**Kuva 1.** Lisälaitteena myytävä kankaanvaihtoteline.

Käsin suoritettavan kankaanvaihdon hankaluuden lisäksi kankaanvaihtotapahtuma halutaan automatisoida turvallisuussyistä. Nykyisessä järjestelmässä huoltohenkilökunta on asiakkaan valitsemista kankaanvaihtovälineistä riippuen suoraan tai välillisesti mekaanisessa yhteydessä konetta pyörittäviin voimakkaisiin hydraulimoottoreihin. Tilannetta hankaloittaa se, että kangasta kelaava henkilö ei pysty kontrolloimaan itse konetta, eikä näköyhteyttä kaikissa suodatintyypeissä koneen käyttäjän ja kangasta kelaavan henkilön välillä ole.

Nykyinen kankaanvaihtoteline vaatii myös tilaa sekä säilytykseen kankaanvaihtojen välisenä aikana, että käyttötilaa kangasta vaihdettaessa. Asiakkaat eivät aina noudata asetettuja huoltotilavaatimuksia, joten joissain tapauksissa tilaa kankaanvaihtotelineelle ei tehtaalta löydy. Tehdasympäristö, jossa laitteita käytetään, on usein myös hyvin likainen, mikä hankaloittaa entisestään suodatinkankaan vaihtotoimenpidettä. Uusi automatisoitu kankaanvaihtolaite halutaankin kiinteäksi osaksi koneen rakennetta. Tällä ratkaisulla pyritään välttämään tilanteet, joissa tilaa kankaan vaihtamiselle ei ole riittävästi, tai kankaan vaihto vaatii laajemman siivouksen ja huoltoalueen tyhjennyksen. Nykyistä kankaanvaihtotilannetta suuremmassa suodatinmallissa ilman kankaanvaihdon lisälaitteita on havainnollistettu kuvassa 2. Kangasta kelaava henkilö joutuu seisomaan korokkeella kampea kääntääkseen, mikä heikentää turvallisuutta. Tässä suodatinmallissa konetta ajetaan liikuteltavalla

käsiohjaimella, mikä mahdollistaa näköyhteyden kankaan kelaajaan. Samalla konetta ajava henkilö voi huolehtia, että kangas kelautuu rullalle linjassa. Kuvan tilanteessa kangasta poistetaan koneesta ilman uuden syöttämistä tilalle, joten syötettävää kangasta ei ole seurattavana.



**Kuva 2.** Havainnollistava kuva kankaanvaihdosta nykyisillä menetelmillä.

## 1.2 Työn tavoitteet

Tämän diplomityön tavoitteena on suunnitella automatisoitu suodatinkankaanvaihtolaite, joka on integroitu osaksi koneen rakennetta. Laitteen tulee olla myös liitettävissä modernisaationa vanhojen laitteiden rakenteeseen. Samalla vanhoihin suodattimiin halutaan kuitenkin tarjota vaihtoehtona automatisoitua kankaanvaihtolinettä. Tällä ratkaisulla asiakas saa automatisoidun kankaanvaihtolaitteen käyttöönsä, välttyen suurempien muutosten tekemiseltä koneen rakenteisiin. Kehittelyn päätarkoitus on poistaa tai vähintäänkin minimoida nykyiseen kankaanvaihtotoimenpiteeseen liittyvät työturvallisuusriskit. Tämä on tarkoitus tehdä poistamalla vanhassa ratkaisussa välttämätön mekaaninen yhteys huoltohenkilökunnan ja

koneen rakenteen välillä. Laitteesta on tarkoitus kehittää myöhemmin erikokoisia vaihtoehtoja kattamaan kaikki yrityksen painesuodatinkokoluokat. Koska kehiteltävää tuotetta aiotaan myydä myös erikseen, tulee sen täyttää kansainvälisten standardien mukaiset vaatimukset turvallisuuden osalta. Yrityksen tietojen mukaan vastaavaa automatisoitua kankaanvaihtolaitetta ei tällä hetkellä markkinoilta löydy. Kehiteltävällä laitteella tavoitellaankin kilpailuetua markkinoilla, mitä CE-merkintä edesauttaa.

Tavoitteena on tuotekehitystyön ohessa selvittää ja toteuttaa CE-merkintään vaadittavat tuotteistamisen vaiheet. Selvityksen perusteella työn menetelmiä ja esimerkkiä käyttäen tuotteistamisen vaiheita on tavoitteena voida soveltaa myös muihin vastaaviin suodattimien lisälaitteina myytäviin modernisaatiokokonaisuuksiin.

### **1.3 Työn rajaus**

Tämä diplomityö sisältää laitteen mekaanisen suunnittelun siltä osin, kun se on tarpeellista CE-merkinnän vaatimusten täyttämiseksi. Suunnittelu sisältää siis toimintaperiaatteen suunnittelun, komponenttien mitoituksen ja valinnan, automaatorajapinnan suunnittelun, sekä materiaalien valinnat. Mekaaninen rakenne sisältää myös kaikki kiinteän kankaanvaihtolaitteen lisäksi kankaanvaihtotapahtumaan mahdollisesti tarvittavien erikoistyykalujen suunnittelun. Mekaanisen rakenteen suunnittelun lisäksi työ sisältää CE-merkintään vaadittavien turvallisuusnäkökohtien selvittämisen. Tarvittavat turvallisuusjärjestelmät myös suunnitellaan mekaanisen rakenteen ja toimintaperiaatteen osalta. Lopuksi valmiille rakenteelle laaditaan kustannusarvio laitteen hinnoittelua varten.

Työ ei sisällä sähköautomaation ohjelmien ja piirustusten laadintaa, eikä laitteen valmistus- tai asennuspiirustusten tekemistä, tai itse valmistuksen suunnittelua. Laitteen valmistettavuus otetaan huomioon muun suunnittelun ohessa. Työ ei myöskään sisällä kehitettävän laitteen tuotteistamisen kaupallisia vaiheita, vaan pelkästään yllä kuvatut tuotteistamisen tekniset työvaiheet. Laitteelle tehtävää lujuustarkastelua ei myöskään käsitellä tässä työssä tarkemmin. FI-merkkiä tuotteelle ei myöskään ole tarkoitus hankkia, sillä tuotantolaitosten tarkastaminen FI-merkkihyväksynnän saamiseksi rajoittaa tuotteen valmistuspaikkoja. FI-merkin tuoman laadun ja turvallisuuden takauksen lisäarvon ei katsota myöskään olevan merkittävää suodattimien pääasiallisissa kohdemaissa verrattuna CE-merkintään.

CE-merkinnän vaatimusten selvittämisessä otetaan huomioon vain tämän laitteen suunnittelussa tarvittavat standardit ja direktiivit. Toisiin lisälaitteisiin tässä työssä käytettyjä menetelmiä sovellettaessa on otettava erikseen huomioon kyseisiä laitteita koskevat standardit ja määräykset. Mikäli laitetta aiotaan myydä räjähdysvaarallisiin tiloihin, on lisäksi huomioitava sitä vastaava ATEX-direktiivi. ATEX-direktiiviä ei tässä työssä oteta huomioon, sillä ATEX-laitteet ovat erikoislaitteita, joilta vaadittavia selvityksiä ei pystytä sisällyttämään tämän työn laajuuteen.

## **2 TEKNISEN TUOTTEISTAMISEN VAIHEET**

CE-merkityn laitteen teknisen tuotteistamisen vaiheet voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: laitteen mekaniikan suunnitteluun, ja CE-merkintään edellyttävien vaatimusten täyttämiseen. Tässä kappaleessa on tarkastelu kyseisiä vaiheita pääpainon ollessa CE-merkinnän vaatimuksien täyttämisen selvittämisessä. Laitteen suunnitteluun käytetään järjestelmällisen koneensuunnittelun menetelmää, jota käsitellään kappaleessa 2.1. Kappaleessa 2.2 käsitellään laitetta koskevia turvallisuusmääräyksiä ja CE-merkintään vaadittavia dokumentteja, jotka tulee huomioida laitteen suunnittelussa. Riskien arviointi ja hallinta kuuluvat periaatteessa kappaleessa 2.2 käsiteltävän CE-merkinnän vaatimusten selvityksen vaiheisiin, mutta aiheen laajuuden vuoksi sitä käsitellään omana kappaleenaan kohdassa 2.3. Arvioinnin jälkeen laitteen turvallisuutta kehitetään CE-merkinnän vaatimalle tasolle.

### **2.1 Järjestelmällinen koneensuunnittelu**

Tuotekehitykselle on ominaista ongelman selvittämisen, ratkaisujen ideoinnin, ja ideoiden analyttisen arvioinnin ja valinnan toistuva kierre (Luttrupp, 2002, s. 146). Eri vaiheita vuorottelevan ja epälineaarisen tuotekehityksen hallitsemiseksi on kehitelty monia erilaisia menetelmiä, joista tunnetuin lienee Saksasta lähtöisin oleva järjestelmällisen koneensuunnittelun menetelmä. Sen avulla tuotekehitys voidaan jakaa vaiheisiin, joita pystytään noudattamaan tiettyyn rajaan asti. Käytännössä vaiheissa joudutaan usein kuitenkin palaamaan taaksepäin muokkaamaan aikaisempien vaiheiden tuloksia informaation lisääntyessä tuotetta suunniteltaessa (Norton, 2004, s. 8).

Järjestelmällisen koneensuunnittelun vaiheita ovat (Pahl & Beitz, 1990, s. 14–15; Norton, 2004, s. 8–14; Cross, 2008, s. 198):

- 1) Tarpeen tunnistaminen
- 2) Taustatutkimus
- 3) Tavoitteen asettelu
- 4) Vaatimusten määrittely
- 5) Toimintojen määrittely
- 6) Ideoiden tuottaminen
- 7) Ratkaisuvaihtoehtojen analysointi
- 8) Ratkaisuvaihtoehdon valinta
- 9) Valitun ratkaisun kehittäminen
- 10) Prototyypin valmistus ja testaus
- 11) Tuotanto

Tämän työ osalta varsinaista suunnittelua edeltävistä ongelman selvittelyvaiheista tarpeen tunnistaminen on tehty työn teettäjän osalta. Tarvetta ja kehittelyn tavoitteita on käsitelty johdantokappaleessa. Taustatutkimus puolestaan tehdään tutustumalla nykyiseen kankaanvaihtolaitteistoon, sekä voimassa oleviin patenteihin. Nykyiseen ratkaisuun tutustumalla saadaan selviteltyä tarkemmin nykytilanteen ongelmia, joita suunnittelulla pyritään poistamaan. Patenttiselvityksellä puolestaan pyritään varmistamaan, ettei laitteen myymisessä loukata kenenkään oikeuksia. Samalla varmistetaan, ettei aleta ratkaista ongelmaa, johon on jo olemassa ratkaisu. Järjestelmällisen koneensuunnittelun vaiheista kohtia 4–9 käsitellään seuraavissa kappaleissa. Prototyypin valmistusta ja testausta ei tässä työssä tarkastella.

### **2.1.1 Vaatimusten määrittely**

Laitteen toiminnan tavoitteiden määrittelyn ja taustatutkimuksen jälkeen määritellään laitteelta vaadittavat ominaisuudet. Pahlin, Beitzin, Feldhusenin ja Groten (2007) esittämään vaatimuslistaan merkitään laitteelle haluttavat ominaisuudet joko vaatimuksina tai toiveina. Vaatimukset ovat ominaisuuksia, jotka tuotteen on ehdottomasti täytettävä, kun taas toivomukset ovat ominaisuuksia, jotka pyritään toteuttamaan mahdollisuuksien mukaan. Vaadituille ominaisuuksille määritellään määrät ja laadut niin tarkasti kuin mahdollista, mieluiten lukuarvoina. Listaa päivitetään suunnittelun edetessä informaation tarkentuessa ja

mahdollisten uusien ominaisuusvaatimusten noustessa esiin. Näin pyritään varmistamaan, että kaikki laitteelta vaaditut ominaisuudet saadaan huomioitua suunnittelussa. (Pahl ym. 2007, s. 146–147.)

Tuotteelta vaadittujen ominaisuuksien selvittämisessä olennaista on asiakkaan tarpeiden huomiointi. Tässä työssä tarkasteltavan laitteen osalta on huomioitava erityisesti myös turvallisuusnäkökohdat. Tämän vuoksi turvallisuusvaatimuksiin ja näkökulmiin on syytä tutustua ennen vaatimuslistan laadintaa. Jotta vaaditut ominaisuudet saataisiin mahdollisimman tarkasti huomioitua, pyydetään vaatimuksiin kommentit suodattimen tuotepäälliköltä ja pääsuunnittelijalta.

Viimeistään vaatimuslistaa tehdessä alkaa tyypillisesti syntyä konkreettisia ideoita laitteen toimintaperiaatteesta. Jotta nämä ajatukset eivät rajoita suunnitteluvaiheessa syntyviä ideoita, on syytä yleistää ongelmaa vaatimuslistan tarkoista määritelmistä abstraktimpaan suuntaan. Tätä vaihetta kutsutaan abstrahoinniksi. Abstrahoinnin tavoitteena on johtaa optimaalisempaan kokonaisratkaisuun mahdollistamalla uudenlaisten ratkaisujen syntyminen perinteisten ohella. (Pahl ym. 2007, s. 161–162.) Abstrahointi etenee seuraavassa järjestyksessä (Pahl ym. 2007, s. 165):

- 1) Jätetään pois henkilökohtaiset mieltymykset.
- 2) Jätetään pois vaatimukset, jotka eivät ole tärkeitä toiminnallisuuden ja muiden oleellisten ehtojen kannalta.
- 3) Muutetaan määrälliset vaatimukset laadullisiksi ja muokataan ne käsittämään vain olennaisimmat asiat.
- 4) Muokataan jäljellä olevat vaatimukset yleisempään muotoon, mikäli se on tarkoituksen mukaista.
- 5) Muotoillaan ongelma ratkaisun kannalta neutraaliksi abstrahointilauseeksi.

### **2.1.2 Toimintojen määrittely**

Vaatimuslistassa määriteltyjen ominaisuuksien toteuttamiseksi määritetään seuraavaksi järjestelmän toiminnot. Vaatimusten määrittellessä mitä laitteen tulee tehdä, määrittelevät sen toiminnot miten kyseiset vaatimukset toteutetaan. Toiminnot toteutetaan osittain samanaikaisesti, ja ne ovat linkittyneenä toinen toisiinsa. Toimintojen ja niiden yhteyksien selventämiseksi Pahl ym. (2007) ovat esittäneet käytettäväksi toimintorakennetta.

Toimintorakenteen ylimmällä tasolla on abstrahoinnin lopputulosta vastaava tehtävän ydinolemusta kuvaava kokonaistoiminto. Kokonaistoiminto koostuu päätoiminnoista ja sivutoiminnoista, jotka puolestaan voidaan jakaa edelleen osatoimintoihin. Päätoiminnot tukevat välittömästi kokonaistoimintoa, sivutoimintojen tukiessa niitä vain välillisesti. Toimintorakenteen avulla rakenne voidaan jakaa erillään suunniteltaviin osakokoonpanoihin, joita voidaan käyttää myös modulaarisen rakenteen moduuleina. Toimintorakennetta käytetään hyödyksi myöhemmin myös ideointivaiheessa, ideoimalla jokaiselle osatoiminnolle ratkaisuvaihtoehdot erikseen. (Pahl ym. 2007, s. 31–33, 169–171.)

### **2.1.3 Ratkaisuvaihtoehtojen ideointi ja valinta**

Ideointivaiheessa kehitellään toimintorakenteessa määritellyille osatoiminnoille erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Tärkeintä on luoda ratkaisuvaihtoehtoja mahdollisimman paljon uudenlaisten periaatteiden mahdollistamiseksi (Norton, 2004, s. 11). Ideoiden toteuttamisen realistisuus arvioidaan vasta ratkaisuvaihtoehtoja valittaessa. Ideoiden tuottamisessa käytetään apuna eri osastoilla työskenteleviä suodattimen kanssa tekemisissä olevia henkilöitä.

Ideoiduista vaihtoehdoista valitaan parhaiten vaatimuslistassa määritellyt ominaisuudet toteuttavat ratkaisut jatkokehittelyä varten (Pahl ym. 2007, s. 107). Valituista osatoimintojen ratkaisuvaihtoehdoista on hyvä muodostaa useampi kuin yksi kokonaistoiminnon toteuttava ratkaisumuunnelma, joiden toimivuutta pyritään selvittämään tarkemmin lisätietoja hankkimalla ja alustavalla suunnittelutyöllä. Lopulta ratkaisumuunnelmista voidaan valita parhaalta vaikuttava vaihtoehto lopulliseen kehitystyöhön. (Pahl ym. 2007, s. 190–191.) Käytännössä tuotekehityksen rajallisten resurssien ja ajan vuoksi tyydytään ratkaisumuunnelmien kehittämiseen pelkästä automatisoidusta kankaanvaihtolaineesta yhdelle suodatinkoolle. Mikäli ratkaisu osoittautuu testeissä toimivaksi, voidaan siitä kehittää edelleen kiinteästi suodattimen osana oleva kankaanvaihtolaite.

Lopullisen ratkaisumuunnelman valintaan ja taustatyöhön tulee panostaa riittävästi, ettei muunnelmaa kehitettäessä ilmaannu odottamattomia ongelmia, ja että tekniset ratkaisut on sovellettavissa myös muihin kankaanvaihtolaitteen tyypeihin. Ratkaisumuunnelmien valinta suoritetaan vertailemalla ratkaisumuunnelmia keskenään pääasiassa vaatimuslistan asettamien kriteerien avulla. Ratkaisumuunnelmista otetaan kehitysvaiheeseen kaksi

toimintaperiaatteeltaan erilaista vaihtoehtoa, joita kehitetään siihen pisteeseen että parempi ratkaisumuunnelma voidaan varmuudella valita.

#### **2.1.4 Kehittely**

Kehittelyvaiheessa laitteesta on ehditty keräämään jo suhteellisen suuri määrä tietoa, mutta myös suuria muutoksia on edelleen mahdollista tehdä. Tästä johtuen kehittelyvaiheessa voidaan vaikuttaa suuresti laitteen lopullisiin kustannuksiin, materiaaleihin, ja muihin ominaisuuksiin. (Luttrupp, 2002, s. 147.) Kehittelyvaiheessa lopulliseksi kehityskohteeksi valitulle ratkaisumuunnelmalle kehitetään lopullinen rakenne, asennus- ja valmistuspiirustukset, osaluettelot, sekä muu prototyypin valmistukseen tarvittava dokumentaatio (Pahl ym. 2007, s. 227; Norton, 2004, s. 13). Tämän työn osalta kehittäminen rajoitetaan rakenteiden luomiseen ja mitoittamiseen siten, että niistä voidaan suoraan tehdä tarvittavat valmistus- ja asennuspiirustukset.

Kehittelyvaiheelle on ominaista, että työskentely on aikaisempia suunnitteluvaiheita iteratiivisempaa, uusien toimintojen, vaatimusten ja ideoiden noustessa esiin. Samaan aikaan kehittämisessä on pyrittävä etenemään kohti konkreettista lopputulosta (Pahl & Beitz, 1990, s. 177–178). Kehittämisessä voidaan noudattaa liitteessä I esiteltyjä vaiheita. Myös liitteessä esitellyt kehittämisvaiheet vievät suunnittelua abstraktimmasta ja laajemmasta suunnittelusta kohti tarkempaa konkreettista tulosta. Pahlin ym. (2007) esityksen mukaan kehittämisvaiheiden alussa selvitetään laitteen päämittoja, materiaaleja ja yleistä järjestelyä kokoonpanorakenteineen. Kokoonpanorakenne saadaan muodostettua usein helposti toimintorakenteen päätoimintojen toteuttajien avulla. Määritellyille osakokoonpanoille tehdään alustavat suunnitelmat muodon, mittojen ja materiaalien osalta, ja muodostetaan tarvittaessa vaihtoehtoiset muunnelmat tärkeimpien toimintojen toteuttimista. Kehittämisessä pyritään lähtemään liikkeelle mittoja ja muotoja määräävistä osakokoonpanoista, ja edetään kohti muista kokoonpanoista riippuvaisia päämittoihin vaikuttamattomia osakokoonpanoja. (Pahl ym. 2007, s. 228–230.)

Kun rakenteen päämitat ja -muodot on saatu suunniteltua alustavasti, voidaan siirtyä rakenteen tarkempaan suunnitteluun. Jälleen liikkeelle lähdetään tärkeimmistä päätoimintojen toteuttimista, huomioiden muiden sivu- ja osatoimintojen vaikutukset. Koko rakenteen yksityiskohtaisemman suunnittelun jälkeen rakenne on syytä tarkastaa mahdollisten heikkouksien ja kehitystä vaativien toimintojen toteuttimien havaitsemiseksi. Tämä tarkastus



voidaan tehdä jo ennen yksityiskohtaisempaa suunnitteluvaihetta, mikäli riittävä määrä tietoa tarkastusta varten on saatavilla. Kun rakenteen heikkoudet on saatu minimoitua, ja rakenteeseen ollaan tyytyväisiä, voidaan viimeistellä jäljellä olevat osakokoonpanot ja mitoittaa mitoittamatta olevat komponentit. (Pahl & Beitz, 1990, s. 179–180.)

Tämän laitteen osalta turvallisuusmääräyksien ja CE-merkinnän vaatimia turvallisuusselvityksiä ei päästä tekemään ennen kuin laitteen rakenne ja rajapinnat on saatu selvitettyä. Turvallisuusselvitys puolestaan vaikuttaa suurella todennäköisyydellä rakenteeseen, joten laitetta ei kannata suunnitella loppuun saakka ennen turvallisuusselvityksen tekoa. Siispä turvallisuusselvitys tehdään ennen lopullista rakenteen viimeistelyä, laitteen toimintaperiaatteen ja rakenteen rajapintojen ollessa päätettyjä.

## **2.2 Turvallisuusnäkökulmat ja -määräykset**

Tässä kappaleessa käsitellään koneensuunnittelussa ja muussa tuotekehityksessä huomioon otettavia turvallisuusnäkökulmia, ja Euroopan talousalueella (ETA) voimassa olevia koneturvallisuutta koskevia määräyksiä. Koska työn tavoitteena on selvittää, mitä toimenpiteitä laitteen tuominen markkinoille ETA:lla vaatii, on pääpaino laitetta koskevien EU-direktiivien asettamien vaatimusten selvittämisessä ja tulkinassa. Suomen laki on yhdenmukaistettu vastaamaan EU-direktiivien sisältöä, joten selvityksessä tukeudutaan pitkälti valtioneuvoston asetukseen koneiden turvallisuudesta (VNa 12.6.2008/400). Euroopan ja Suomen talousalueella voimassa olevia säännöksiä, sekä niiden osoittamia vastuita ja velvollisuuksia on käsitelty tarkemmin kappaleessa 2.2.1. Euroopan talousalueelle tuotavalta tuotteelta vaadittavan CE-merkinnän vaatimia työvaiheita ja dokumentteja on käsitelty puolestaan kappaleessa 2.2.2.

Turvallisuusnäkökulmat pyritään huomioimaan heti suunnittelun alusta lähtien, minkä tarkoituksena on välttää ylimääräistä suunnittelutyötä ja laitteen rakenteen ylimääräistä uudelleensuunnittelua. Tutustumalla riskien arvioinnin vaiheisiin ja tyypillisiin vaaratekijöihin, mahdollistetaan vaarojen tunnistaminen suunnitteluvaiheessa ilman erillistä riskianalyysiasiantuntijan konsultointiapua. Samalla tavoitellaan myös tuotekehitysvaiheen nopeuttamista uudelleensuunnittelun minimoinnin ja riskianalyysin nopeuttamisen avulla.

### 2.2.1 Euroopan talousalueella vallitsevat säännökset

Kuten aikaisemmin mainittiin, vastaa Suomen lainsäädäntö sisällöltään koneiden turvallisuuden osalta EU-direktiivejä. Euroopan talousalueeseen kuuluvat Euroopan Unionin jäsenmaiden lisäksi Islanti, Norja ja Liechtenstein. Lisäksi Sveitsi on mukana Euroopan standardisoimisjärjestöjen toiminnassa, ja sitä kautta koneturvallisuusvaatimukset ovat yhtenäisiä myös siellä. (Siirilä, 2008, s. 25.) Koneensuunnittelussa huomioitavia direktiivejä ovat niin sanotut konedirektiivi 2006/42/EY, EMC-direktiivi 2004/108/EY ja piensähködirektiivi 2006/95/EY. Lisäksi räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettuja laitteita koskee ATEX-direktiivi 94/9/EY, jota ei tässä työssä tarkastella tarkemmin.

Konedirektiivi asettaa tietyt terveys- ja turvallisuusvaatimukset, jotka markkinoille asetettavien laitteiden on täytettävä. Suomen laissa vastaavia vaatimuksia on käsitelty valtioneuvoston asetuksessa koneiden turvallisuudesta (VNa 12.6.2008/400), laissa eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta (L 26.11.2004/1016), työturvallisuuslaissa (L 23.8.2002/738), ja valtioneuvoston asetuksessa työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta (12.6.2008/403). Piensähködirektiivi käsittelee sähkön käytöstä aiheutuvia terveys- ja turvallisuusvaatimuksia alle 400V jännitteillä toimivien laitteiden osalta. EMC-direktiivi puolestaan käsittelee sähkömagneettisen yhteensopivuuden asettamia vaatimuksia. Näitä direktiivejä vastaavia vaatimuksia on käsitelty Suomen lainsäädännössä sähköturvallisuuslaissa (L 14.6.1996/410) ja valtioneuvoston asetuksessa sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta (VNa 27.12.2007/1466). Mekaniikkasuunnittelun kannalta eniten tärkeintä tietoa sisältää näistä valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta, jonka ensimmäinen liite sisältää kattavat ja suoranaiset ohjeet koneiden suunnittelua ja rakentamista koskevista olennaisista terveys- ja turvallisuusvaatimuksista. Suodattimia ja niiden lisälaitteita koskevia kohtia kyseisestä liitteestä on kerätty tämän työn liitteeseen II.

Direktiivejä tukee ja niiden noudattamista ohjaa standardijärjestelmä, jota pyritään yhtenäistämään maailmanlaajuisiksi. Eurooppalaiset EN-standardit on määritelty siten, että niitä noudattamalla täyttyvät myös direktiivien vaatimukset standardien aihealueen osalta (VNa 12.6.2008/400). Itse standardien noudattaminen ei ole pakollista, kunhan laitetta koskevien direktiivien vaatimukset toteutuvat. Käytännössä tämä kuitenkin vaatii direktiivien vaatimusten toteutumisen todistamista, mikä voi muodostua ongelmaksi, mikäli standardia ei

noudateta. Standardeja noudattaessa on kuitenkin syytä olla varuillaan, sillä niiden laatu vaihtelee, eikä etenäkään konekohtaisten standardien vaatima turvallisuustaso aina ole huippuluokkaa. (Siirilä, 2008, s. 26.) Lisäksi standardien sisältäessä päällekkäisiä teknisiä vaatimuksia, noudatetaan ensisijaisesti konekohtaista standardia (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 10). Sovellettaessa standardia, jota aikaisemmin ei ole käytetty, on siis pidettävä mielessä direktiivien vaatimukset turvallisuuden varmistamiseksi.

Standardit jaetaan kolmeen ryhmään. Ylimmällä tasolla olevat A-tyyppin standardit koskevat kaikkia koneita, B-tyyppien koskiessa tiettyä ilmiötä tai suojausteknistä laitetta, kuten melua tai suojuksia. C-tyypin standardit ovat edelleen spesifioitu koskemaan tiettyä konetta tai koneryhmää. (Siirilä, 2008, s. 31; SFS-EN ISO 12100:2010, s. 10.) Painesuodattimelle, tai vastaaville suodatinlaitteistoille ei ole määritelty omaa C-tyypin standardia, kuten ei myöskään kankaanvaihtolaitteelle. Tämän työn osalta huomioidaan ja sovelletaan siis vain tapausta koskevia A- ja B-tyypin standardeja.

### **Vastuut ja velvollisuudet**

Koneturvallisuusmääräysten toteutumisesta vastuu jakautuu suunnittelijalle, valmistajalle tai ETA:lle koneen markkinoille asettajalle, koneen käyttäjälle ja käyttäjän työnantajalle. Koneturvallisuudirektiivit koskevat myös käytettynä ETA:lle tuotuja koneita. Jokainen taho vastaa omalta osaltaan koneen turvallisuudesta, eikä yhden laiminlyönti vähennä toisen vastuuta tapaturman sattuessa. Tällä järjestelmällä pyritään estämään turvallisuuden kannalta puutteellisen koneen käyttöönotto ja vähentämään tapaturman vaaraa. (Siirilä, 2008, s. 37.)

Lähtökohtana koneturvallisuudessa on, että suunnittelijan on suunniteltava koneesta turvallinen asentaa, käyttää ja huoltaa. Suunnittelussa ja mitoituksessa on huomioitava myös ergonomiset näkökulmat, jotta työn kuormittavuus ei muodostu ongelmaksi. Vaarat on huomioitava ja sisällytettävä asennus- ja käyttöohjeisiin. Tämä on edellytyksenä myös CE-merkinnälle ja tuotteen markkinoille asettamiselle. (L 23.8.2002/738.) Sähköä käyttävien laitteiden osalta on myös varmistettava, että laitteesta ei aiheudu sähköisesti tai sähkömagneettisesti kohtuutonta häiriötä muihin laitteisiin. Vastaavasti koneen toiminta ei saa häiriintyä herkästi sähköisesti tai sähkömagneettisesti. (L 14.6.1996/410.) CE-merkinnän ja sen vaatiman vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatii valmistaja, tai koneen ETA:n markkinoille asettaja, tai näiden valtuutettu edustaja. Hänen vastuullaan on siis varmistaa, että

kone on valmistettu vaatimustenmukaisuusvakuutuksen, ja siten myös EU-direktiivien sääntöjen mukaiseksi. (VNa 12.6.2008/400.)

Asentajien vastuulla on noudattaa asennusohjeita, ja käyttää niissä määriteltyjä säännösten mukaisia työkaluja ja suojaimia oikein ohjeiden mukaisesti. Mikäli asentajat toimivat toisen yrityksen tiloissa, on heidän tiedotettava työstänsä aiheutuvista vaaroista vaara-alueella työskenteleville toisen yrityksen työntekijöille. Pääasiallinen vastuu työturvallisuudesta on kuitenkin aina työnantajalla, jonka tiloissa toimitaan. Mikäli työnantajalla ei ole riittävää asiantuntemusta asennus- tai huoltotoimintaan, on heidän velvollisuutensa käyttää ulkopuolisten asiantuntijoiden apua. Sähkölaitteiden korjaus- ja huoltotöissä työntekijöiden ja työnjohtajan pätevydessä on oltava erityisen tarkkoja. Jos asiakas hoitaa huoltotoimenpiteet itse, on heillä oltava selvitys ja arviointi työn vaaroista. Selvitys ja arviointi työn vaaroista vaaditaan CE-merkintää varten. Asiakkaan vastuulla on myös huolehtia, että koneita käytetään, hoidetaan, puhdistetaan ja huolletaan asianmukaisesti. Asiakkaan vastuulla on seurata laitteen turvallisuutta, ja etenkin muutoksia laitteeseen tehtäessä arvioida turvallisuus uudelleen. (L 23.8.2002/738; VNa 12.6.2008/403; L 14.6.1996/410; VNa 12.6.2008/400.)

Ennen koneen käyttöönottoa, on sille suoritettava käyttöönottotarkastus turvallisen toiminnan ja oikein suoritettun asennuksen varmistamiseksi. Käyttöönottotarkastuksen tekemisestä vastaa laitteen käyttöön ottava yritys. Käyttöönottotarkastus täytyy tehdä myös, jos koneen rakenteeseen tehdään merkittäviä muutoksia, kone asennetaan uuteen paikkaan, tai jos kone on ollut pitkään käyttämättömänä. Käyttöönottotarkastuksen suorittajan tulee olla tehtävään pätevä henkilö, joka on perehtynyt kyseisen laitteen rakenteeseen, käyttöön ja tarkastamiseen. Vaarallisen koneen tai työvälineen tarkastuksen saa suorittaa vain asiantuntijayhteisö tai riippumaton asiantuntija. Tarkastuksessa kiinnitetään huomiota erityisesti laitteen turvallisuuteen käytön kannalta. Tarkastuksessa tulee noudattaa tarkastamisesta annettuja ohjeita, huomioiden valmistajan antamat käyttöohjeet. (L 23.8.2002/738; VNa 12.6.2008/403; L 14.6.1996/410.)

Käyttöönottotarkastuksen lisäksi laitteelle tulee suorittaa määräaikaistarkastuksia säännöllisin väliajoin. Määräaikaistarkastuksien tarkoituksena on varmistaa, ettei koneen turvallisuus ole heikentynyt kulumisen, likaantumisen tai muun olosuhteen muutoksen seurauksena. Viranomainen voi erikseen määrätä sähkölaitteelle määräaikaistarkastuksen tai

varmennustarkastuksen, mutta normaalisti niiden aikatauluista ja tekemisestä vastaa laitetta käyttävä yritys. Määräaikaistarkastus on tehtävä myös onnettomuuksien, vakavien vaaratilanteiden, tai turvallisuutta heikentäville olosuhteille altistumisen jälkeen. Sähkölaitteiden määräaikaistarkastuksiin tarvitaan aina valtuutettu henkilö tai laitos. Määräaikaistarkastukset voidaan korvata kunnonvalvontajärjestelmällä. Tarkastuksista on dokumentoitava havaitut turvallisuuteen vaikuttavat viat ja puutteet, sekä niiden korjaamiseksi ja poistamiseksi tarvittavat toimenpiteet. Lisäksi tarkastajan on arvioitava, koska seuraava määräaikaistarkastus tarvitaan, ja mitä turvallisuustekijöitä siinä täytyy erityisesti huomioida. (L 23.8.2002/738; VNa 12.6.2008/403; L 14.6.1996/410.)

### **Seuraukset veloitteiden laiminlyönneistä**

Mikäli valmistaja tai koneen luovuttaja laiminlyö tahallaan tai huolimattomuuttaan veloitteensa, eikä laite ole määrättyjen vaatimusten mukainen, voidaan hänet tai hänen yrityksensä tuomita Suomen lain nojalla sakkoon laiteturvallisuusrikkomuksesta (L 26.11.2004/1016). Lisäksi valmistajan on pyrittävä huomioimaan laitteen koko elinkaaren aikaiset riskit (ks. liite II, kohta 1.1.2 a). Hänet voidaan tuomita siis myös esimerkiksi kuljetuksen aikana tapahtuneen vahingon seurauksena työturvallisuusrikkomuksesta sakkoihin, tai enintään vuoden vankeuteen. (23.8.2002/738; L 19.12.1889/39.) Mikäli turvallisuuden laiminlyönnistä seuraa vakavia seuraamuksia, voidaan yritys tai sen edustaja tuomita myös esimerkiksi kuolemantuottamuksesta rikoslain määrittämällä tavalla (L 26.11.2004/1016; L 19.12.1889/39; L 31.1.2003/61).

Sakkoja suuremmat taloudelliset tappiot liittyvät yleensä siihen, ettei konetta saa käyttää ja valmistaa, se joudutaan vetämään markkinoilta, tai joudutaan käymään läpi raskaita oikeuskäsittelyjä. Lisäksi muualla maailmalla rangaistukset ovat usein Suomea kovempia. Esimerkiksi Iso-Britanniassa käyttökiellot ja korjausmääräykset julkistetaan. (Siirilä, 2008, s. 34–35.) Tämä vaikuttaa yrityksen imagoon ja tätä kautta voi heikentää tulevaa tilauskantaa. Englannissa yritys voidaan myös tuomita jo pelkästään turvallisuusmääräysten rikkomisesta, kun Suomessa käytäntönä on rangaista vasta sitten, kun määräysten laiminlyönti on johtanut tapaturmaan (Siirilä, 2008, s. 35). Vaikka valmistajan turvallisuusmääräysten laiminlyönnit johtavat harvemmin suoraan tapaturmaan, on siis erityisen tärkeää huolehtia laitteen turvallisuudesta suunnitteluvaiheesta lähtien. Näin vältytään monelta vaivalta ja oikeuskäsittelyiltä maissa, joiden lainsäädäntöä ja rangaistuksia ei tarkemmin tunneta.

### 2.2.2 CE-merkintä

CE-merkintä on valmistajan osoitus siitä, että kone on rakennettu sitä koskevien EU-direktiivien määrittämien terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukaisesti. CE-merkintä osoittaa kuitenkin ainoastaan niiden säännösten mukaisuuden, joita valmistaja soveltaa. (VNa 12.6.2008/400.) Tämä ristiriita mahdollistaa sen, että CE-merkintä on kiinnitetty laitteeseen, joka ei täytä kaikkien EU-direktiivien vaatimuksia, ja on siten laitton. Siksi CE-merkintään ei kannata luottaa sokeasti. Valmistajan soveltamien direktiivien ja standardien tiedot löytyvät tarkemmin vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta. Siirilän (2008) mukaan siitä voidaan yleensä nähdä suoraan, onko joku laitetta koskevista direktiiveistä jätetty huomioimatta laitteen suunnittelussa ja valmistuksessa. Vaatimusten noudattamisen arviointi onnistuu käytännössä vain konetta ja sen toimintaa tarkastelemalla. (Siirilä, 2008, s. 38.)

CE-merkintä kiinnitetään koneeseen konekilven yhteyteen, konedirektiivissä 2006/42/EY määritellyllä tavalla. Kuten aikaisemmin mainittiin, ei suunniteltavalle laitteelle ole olemassa omaa konekohtaista standardia. Kankaanvaihtolaitteen suunnittelussa tulisi huomioida taulukkoon 1 kootut standardit ja direktiivit soveltuvin osin. Taulukon käyttöä sovellettaessa on huomioitava, että se ei välttämättä sisällä kaikkia tarvittavia standardeja. Suunnittelussa täytyykin aina varmistaa tapauskohtaisesti, mitä standardeja täytyy soveltaa.

*Taulukko 1. Laitteen suunnittelussa huomioitavat ja noudatettavat standardit ja direktiivit.*

Direktiivi	Standardi
Konedirektiivi 2006/42/EY	SFS-EN ISO 12100:2010
	SFS-EN ISO 13849 osat 1:2008 ja 2:2012
	SFS-EN 62061:2005
	SFS-EN 82079-1:2012
	SFS-EN 953:2009
	SFS-EN 1037:2008
	SFS-EN 1088:2008
	SFS-EN ISO 13850:2008
	SFS-EN ISO 13857:2008
	SFS-EN ISO 13855:2010
	SFS-EN 349:2008
	SFS-EN 614-1:2009
	SFS-EN ISO 13732-1:2008
	SFS-ISO 3864-2:2012
	SFS-EN ISO 7010:2012

	SFS-EN ISO 14122 osat 1-4:2010
	SFS-EN ISO 4413 ja/tai 4414
	SFS-EN 1760 -sarja
Piensähkődirektiivi 2006/95/EY	SFS-EN 60204-1:2006
	SFS-EN 61508 osat 0–2:2008
EMC-direktiivi 2004/108/EY	SFS-EN 61000-5-1:1996
	SFS-EN 61000-6-4
	SFS-EN 61000-6-2

Muita lisälaitteita suunnitellessa on huomioitava vielä mahdolliset muut sovellettavat standardit, kuten paineastiastandardit, aina tapauksen mukaan. Lisäksi komponentteja valittaessa tulisi varmistaa, että kyseiset komponentit on valmistettu niitä koskevien standardien ja määräysten mukaisesti.

#### **Laitteiden luokitteluvaihtoehdot**

CE-merkitty laite on aina toiminnallinen kokonaisuus, jota pidetään itsenäisenä koneena. Mikäli laite ei pysty toimimaan itsenäisesti, ajatellaan se ”osittain valmiiksi koneeksi”. Osittain valmis kone ei pysty täyttämään kaikilta osin sille EU-direktiiveissä määrättyjä turvallisuusvaatimuksia, joten sille ei voida antaa CE-merkintää. Osittain valmiin koneen tulee kuitenkin täyttää kaikki turvallisuusvaatimukset sitten, kun se on liitetty toimivaksi osaksi muuta konetta. (Siirilä, 2008, s. 39.) Osittain valmiilta koneelta vaaditaankin käytännössä tarkemmat selvitykset miten laite liitetään osaksi muuta konetta turvallisen toiminnan takaamiseksi (VNa 12.6.2008/400). Osana selvitystä täytyy myös tarkastella, miten liitettävä kone vaikuttaa muun koneen turvallisuuteen. Mikäli osittain valmiin koneen liittäminen aiheuttaa muuhun koneeseen muutoksia turvallisuudessa, on muutoksista tehtävä tarvittavat riskien arvioinnit ja pienentämistoimenpiteet (Siirilä, 2008, s. 39). Lisäksi koneelle on suoritettava käyttöönottotarkastus (L 23.8.2002/738).

Osittain valmiin koneen määritelmää käytetään yleensä tilanteissa, joissa konekokonaisuus koostuu useamman eri valmistajan laitteistoista. Konekokonaisuuksissa, joissa eri osalaitteistot ovat saman yrityksen valmistamia, voidaan käyttää kolmatta yksinkertaisempaa vaihtoehtoa. Siinä liitettävä laitteisto voidaan ajatella osaksi konekokonaisuutta, jolloin laitteistosta ei tarvitse tehdä erillisiä vaatimustenmukaisuuden todistavia dokumentteja. Sen sijaan laitteen aiheuttamat turvallisuusselvitykset ja ohjeet yhdistetään osaksi konekokonaisuuden dokumentaatiota. Tällöin laitteisto kuuluu konekokonaisuuden CE-

merkinnän piiriin. Haittapuolena tässä ratkaisussa on se, että laitetta ei voida myydä käytettäväksi minkään muun laitteen kanssa, kuin sen konekokonaisuuden, jonka kanssa se on suunniteltu käytettäväksi, sillä laite ei täytä tarvittavia vaatimuksia. (Berner, 2013.)

### **Vaatimustenmukaisuuden osoittaminen**

Kuten aikaisemmin mainittiin, on vaatimustenmukaisuusvakuutus laitteen valmistajan osoitus siitä, minkä direktiivien ja standardien vaatimusten mukaisesti laite on valmistettu. Lisäksi vaatimustenmukaisuusvakuutuksen tulee sisältää tiettyjä tietoja laitteesta, sen valmistajasta ja käytöstä. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen sisältövaatimukset riippuvat myös siitä, onko kyseessä valmis kone vai osittain valmis kone. Valmiilta koneilta vaadittavan vaatimustenmukaisuusvakuutuksen ja osittain valmiilta koneilta vaadittavan liittämismukaisuusvakuutuksen sisällöt on esitelty tarkemmin liitteessä III.

Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen lisäksi koneelta vaaditaan tekninen tiedosto ja asianmukaiset ohjeet, kuten käyttö-, asennus- ja huolto-ohjeet. Teknisen tiedoston sisällön tarkoituksena on osoittaa, että direktiivien vaatimukset täyttyvät myös muilta kuin valmistuksen osalta. Se on käsittelee valmistuksen lisäksi laitteen suunnittelua ja toimintaa siinä määrin, että sen perusteella voidaan arvioida, onko laite vaadittavien terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukainen. (VNa 12.6.2008/400.) Painesuodattimien ja niiden lisälaitteiden teknisten tiedostojen sisältövaatimukset on koottu liitteeseen IV. Liitteessä on huomioitu myös sähkölaitteiden tekniselle tiedostolle asettamat lisävaatimukset.

Sähkölaitteille on olemassa myös omia vaatimuksia suojaukselle ja tuotannon tarkastukselle sähkömagneettisen yhteensopivuuden varmistamiseksi. Nämä erityisvaatimukset on esitelty liitteessä V. Sähkölaitteita koskee näiden vaatimusten lisäksi samat vaatimukset kuin muitakin koneita. Liitteissä III-V esitellyt tiedostot tulee säilyttää kymmenen vuotta laitteen viimeisestä valmistuspäivästä lähtien. Kaikkien näiden liitteiden sisällöille asetetaan myös tiettyjä kielimääräyksiä: Dokumentit on laadittava yhdellä tai useammalla kohdemaan yhteisön virallisella kielellä, käyttöohjetta lukuun ottamatta. Alkuperäinen käyttöohje tai sen käännös on laadittava luovutettavan alueen yhdellä tai useammalla virallisella kielellä. (VNa 12.6.2008/400; VNa 27.12.2007/1466.) Alkuperäisen käyttöohjeen kielen saa yritys siis vapaasti valita, mutta asiakkaasta riippuen siitä on tarvittaessa tehtävä käännös laitteen käyttöönottopaikan kaikille virallisille kielille.



Suodattimelle ei ole määritelty myöskään direktiiveissä erityisvaatimuksia riskien arvioinnin ja hallinnan suhteen. Sama pätee myös suodattimen lisälaitteisiin. (VNa 12.6.2008/400.) Siispä laitteiden riskien arvioinnissa voidaan yrityksen oman linjauksen mukaisesti valita käytettävät riskienhallinnan ja laadunvarmistuksen menetelmät. Vapaaehtoista vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyä ilmoitetun tarkastuslaitoksen arvion avulla ei tässä työssä tarkastella tarkemmin, sillä sen käyttäminen ei todennäköisesti ole riittävän hyödyllistä. Menetelmää käytetään yleensä lähinnä sähkölaitteiden tarkastukseen. Tässä laitteessa mahdollisesti käytettävät sähkölaitteet ovat valmiita kokonaisuuksia, joten niiden vaatimustenmukaisuudesta vastaa sähkölaitteiden valmistaja. Yrityksen vastuulle jää siis pelkästään laitteiden käytön soveltuvuus direktiivien vaatimuksiin.

### **2.3 Riskien arviointi ja hallinta**

Toimenpiteet riskien arvioinniksi ja hallitsemiseksi on käsitelty standardissa SFS-EN ISO 12100:2010. Koska standardia noudattamalla päästään CE-merkinnän vaatimalle turvallisuustasolle, ei tämän työn yhteydessä ole välttämätöntä tarkastella vaihtoehtoisia riskinarviointimenetelmiä (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 170). Lisäksi menetelmästä riippumatta riskianalyyssillä saatavien tulosten pitäisi olla samat. Pahlin ja Beitzin (1990) esittelemät koneensuunnittelussa yleisesti käytettävät turvallisuuden huomioinnin periaatteet noudattavat edellä mainitun standardin kanssa pääpiirteittäin samoja linjoja riskin pienentämisen menetelmien osalta. Riskin pienentämisen menetelmissä onkin huomioitu standardin lisäksi yleisesti koneensuunnittelussa käytetyt turvallisuusohjeet. Edellä mainitun standardin lisäksi on huomioitava sähkölaitteiden yleisiä turvallisuusvaatimuksia koskeva standardi SFS-EN 60204-1:2006 soveltuvien osin. Standardin SFS-EN ISO 12100:2010 ohjeiden käytöstä esimerkkejä on esitelty teknisessä raportissa SFS-ISO/TR 14121-2:2013.

Riskin arvioinnin ja pienentämisen etenemisaskeleita ovat (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 28):

- 1) koneen raja-arvojen määrittäminen
- 2) vaarojen ja niihin liittyvien vaaratilanteiden tunnistaminen
- 3) riskin suuruuden arviointi kunkin vaaran ja vaaratilanteen osalta
- 4) riskin merkitysten arviointi kunkin vaaran ja vaaratilanteen osalta
- 5) vaaran poistaminen tai riskin pienentäminen suojaustoimenpiteiden avulla.

Etenemisaskeleista kohdat 1–4 muodostavat riskien arvioinnin osuuden, ja kohta 5 riskin hallinnan osuuden. Riskin pienentämiseen ryhdytään, mikäli riskin arvioinnin tuloksena saatu turvallisuustaso ei ole siedettävissä rajoissa. Riskin pienentämisen seurauksena turvallisuustaso arvioidaan uudelleen, joten prosessi on iteratiivinen ja voi vaatia useampia kierroksia ennen kuin riski on saatu alennettua siedettävälle tasolle. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 28.) Tämän vuoksi riski on syytä huomioida jo suunnitteluvaiheessa niin hyvin kuin mahdollista riskinhallinnan helpottamiseksi. Lisäksi suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut riskin pienentämiseksi ovat yleensä tehokkaampia kuin ne, jotka koneen käyttäjä toimeenpanee (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 28).

Riskin pienentämisessä on tavoitteena alentaa riski matalimmalle mahdolliselle tasolle, huomioiden seuraavat ensisijaisuusjärjestyksessä esitellyt tekijät (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 28):

- 1) koneen turvallisuus sen koko elinkaaren aikana
- 2) koneen kyky suorittaa toimintonsa
- 3) koneen käytettävyys
- 4) koneen valmistus-, käyttö- ja purkukustannukset.

Suunniteltaessa ratkaisuja riskin alentamiseksi on huomioitava, että rakenteen on oltava nykyteknologian mukainen. Aiemmin hyväksyttävissä ollut turvallisuustekninen ratkaisu ei tekniikan kehityksen vuoksi välttämättä ole enää turvallisin vaihtoehto, jolloin sen käyttöä uudessa laitteessa ei sallita. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 28.) Kaavio riskin arvioinnin ja hallinnan etenemisestä on esitelty tarkemmin liitteessä VI. Kaaviossa viitataan työn kappaleisiin, joissa kutakin menetelmän vaihetta käsitellään. Riskin arvioinnin ja hallinnan vaiheista tuloksineen tulee dokumentoida liitteessä VII esitetyt asiat. Näitä dokumentteja tarvitaan koneen tekniseen tiedostoon, ja niiden tarkoituksena on osoittaa, että riski on pienennetty alimmalle mahdolliselle tasolle. Riskin arvioinnin ja pienentämisen asiakirjoja ei tarvitse toimittaa koneen mukana asiakkaalle, mutta niitä on hyvä käyttää hyödyksi käyttöä koskevien tietojen, kuten käyttöohjeiden, laadinnassa (SFS-ISO/TR 14121-2:2013, s. 48).

### **2.3.1 Riskianalyysi**

Riskianalyysi koostuu kolmesta tässä kappaleessa tarkemmin esitellystä vaiheesta: Koneen raja-arvojen määrittämisestä, vaarojen tunnistamisesta ja riskin suuruuden arvioinnista.

Riskianalyysin pohjalta arvioidaan riskin merkitys, jonka perusteella nähdään tarvitseeko riskitasoa pienentää. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 34.)

Riskin arviointia varten tarvitaan tietoja laitteen elinkaaren vaiheista, laitteen rakenteesta, tarvittavista energianlähteistä, koneen kanssa tekemisissä olevista henkilöistä, sekä koneen käyttökokemuksista. Mikäli kyseisestä tai samankaltaisesta koneesta on olemassa suunnitteludokumentaatiota, tapaturmatietoja, tai tietoja koneen aiheuttamista terveyshaitoista, kuten melusta tai värinästä, voidaan niitä käyttää hyväksi riskianalyysin tekemisessä. Myös erityyppisten koneiden tietoja voidaan käyttää hyväksi, mikäli aiheutunut vaaratilanne on vertailukelpoinen. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 34, 36.)

### **Koneen rajat ja vaarat**

Riskianalyysin ensimmäisessä vaiheessa määritellään koneen raja-arvot kaikissa sen elinkaaren vaiheissa vaarallisten tilanteiden arviointia varten. Raja-arvojen määrittämisen tarkoituksena on huomioida kaikki koneen toiminnan vaiheet, joissa kone on tekemisissä ihmisten, ympäristön tai muiden tuotteiden kanssa. Raja-arvot määrittämällä perehdytään koneen rakenteeseen ja ominaisuuksiin turvallisuuden kannalta, mitä käytetään hyväksi vaaratilanteiden selvittämisessä. Raja-arvoja määriteltäessä on muistettava huomioida koneen tarkoitetun käytön lisäksi kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Koneen raja-arvot luokitellaan taulukon 2 avulla. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 36, 38.)

*Taulukko 2. Koneen raja-arvojen luokittelu (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 36, 38).*

Käyttörajat	Koneen toimintatavat ja käyttäjien puuttuminen koneen toimintaan, häiriötilanteet mukaan lukien
	Koneen käyttömahdollisuudet, ja käyttäjien fyysiset ominaisuudet
	Koneen kanssa tekemisissä olevien henkilöiden oletettu koulutustaso, kokeneisuus ja kyvyt
	Muiden henkilöiden altistuminen koneeseen liittyville vaaroille: 1) henkilöt, jotka ovat tietoisia koneen erityisvaaroista (esim. viereisen koneen käyttäjät) 2) henkilöt, jotka ovat osittain tietoisia koneen erityisvaaroista (esim. hallinnollinen henkilöstö) 3) henkilöt, jotka ovat erittäin vähän tietoisia koneen erityisvaaroista (esim. vierailijat)
Tilarajat	Liikkeen laajuus
	Koneen kanssa vuorovaikutuksessa olevien vaatima tila

	Ihmisen vuorovaikutus (kuten käyttäjä-kone -rajapinta)
	Kone-tehonsyöttö -rajapinta
Aikarajat	Koneen ja/tai sen joidenkin osien ennakoitavissa oleva elinikä
	Suosittelavat huoltovälit
Muut raja-arvot	Käsiteltävän materiaalin/materiaalien ominaisuudet
	Vaadittava puhtaustaso
	Ympäristöön liittyvät raja-arvot (lämpötila, ilmankosteus jne.)
	Muut raja-arvot

Koneen raja-arvojen jälkeen määritetään koneen elinkaaren aikana esiintyvät vaaratilanteet. Arvioinnissa on huomioitava sekä jatkuvat, että odottamattomasti ilmaantuvat vaarat järjestelmällisesti, niin hyvin kuin mahdollista. Vaarojen tunnistamiseksi on ensin tunnistettava koneella suoritettavat toiminnot, huomioiden koneen rakenne osineen ja mekanismeineen, käsiteltävät materiaalit, sekä koneen käyttöympäristö. Vaarojen määrittämisessä on huomioitava ihmisen ja koneen vuorovaikutus, koneen mahdolliset toimintatilat ja käyttäjän tahallinen tai tarkoittamaton väärinkäyttö. Suunnittelijan huomioon otettavia seikkoja vaaratilanteiden tunnistamisen avuksi on listattu taulukkoon 3. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 38.)

*Taulukko 3. Vaaratilanteiden tunnistamisessa huomioonotettavia seikkoja (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 38, 40).*

Ihmisen ja koneen vuorovaikutus	Asetusten tekeminen
	Testaus
	Opettamalla ohjelmointi tai ohjelmointi
	Prosessin tai työkalun muuttaminen
	Käynnistäminen
	Kaikki koneen toiminnot ja toimintatavat
	Syöttäminen koneeseen
	Tuotteen poistaminen koneesta
	Koneen pysäyttäminen
	Koneen pysäyttäminen hätätilanteessa
	Toiminnan palautus jumiutumisen/tukkeuman jälkeen
	Uudelleenkäynnistäminen suunnittelemattoman pysähdyksen jälkeen
	Vian etsintä tai häiriön syyn selvitys
	Puhdistus ja ylläpito
	Ennakoiva kunnossapito
Korjaava kunnossapito	

Koneen mahdolliset toimintatilat	Normaali toiminta
	Häiriötilanne, jonka voi aiheuttaa muun muassa: <ol style="list-style-type: none"> <li>1) työstettävän materiaalin ominaisuuksien tai mittojen vaihtelu</li> <li>2) koneen osan tai toiminnon vikaantuminen</li> <li>3) ulkoiset häiriöt (esim. iskut, värähtely, smg-kentät)</li> <li>4) suunnitteluvirhe tai -puute (esim. ohjelmointivirhe)</li> <li>5) koneen tehonsyötön häiriö</li> <li>6) ympäröivät olosuhteet (esim. lika, ylikuumentuminen)</li> </ol>
Käyttäjän tahallinen tai tarkoittamaton väärinkäyttö	Käyttäjä menettää koneen hallinnan
	Refleksinomainen käyttäytyminen häiriötilanteen seurauksena
	Keskittymisen puutteesta tai huolimattomuudesta johtuva käyttäytyminen
	Tehtävän suorittaminen ”pienimmän vastuksen kautta”
	Pakottavasta tarpeesta pitää kone käynnissä kaikissa tilanteissa johtuva käyttäytyminen

Ihmisen ja koneen vuorovaikutukseen liittyvät vaaratilanteet muodostuvat käytännössä suoraan koneen käyttämisestä, huoltamisesta tai muusta koneen kanssa toimimisesta. Sen sijaan koneen häiriötilanteet ja väärinkäyttö ovat epäsuorasti normaaleihin toimintoihin liittyviä poikkeustilanteita, jotka on huomioitava niin hyvin kuin on kohtuuden rajoissa mahdollista. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 40.) Siirilän (2008, s. 89) mukaan juuri häiriö- ja väärinkäyttötilanteet ovat perinteisesti hankalimpia tapauksia arvioida suunnitteluvaiheessa, joten niihin on kiinnitettävä erityistä huomiota. Apua vaaratilanteiden tunnistamiseen saa taulukon 3 lisäksi standardin SFS-EN ISO 12100:2010 liitteestä B, jossa on listattuna kymmenittäin erilaisia vaaratilanteita mahdollisine seurauksineen, sekä teknisestä raportista SFS-ISO/TR 14121-2:2013, joka sisältää esimerkkejä vaarojen arvioinnista.

### **Riskin suuruuden arviointi**

Vaarojen tunnistamisen jälkeen arvioidaan vaaratilanteista aiheutuvien riskin suuruudet. Tämä tehdään määrittämällä riskin osatekijät, jotka kuvaavat vahingon vakavuutta ja sen esiintymisen todennäköisyyttä. Riskin suuruus muodostuu näiden kahden tekijän yhteisvaikutuksesta. Mikäli laitteesta aiheutuu päästöjä tai muita vastaavasti mitattavissa olevia muuttujia, on päästöjen mittaukseen käytettävä sitä varten standardisoituja menetelmiä. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 42.) Suodattimien lisälaitteiden tapauksessa päästönä voi olla lähinnä meluhaitta. Koska meluhaitatkin ovat varsin epätavallisia suodattimien lisälaitteissa, ei päästöjen osuutta riskin arvioinnissa käsitellä tässä työssä tarkemmin.

Vahingon vakavuudessa huomioidaan vahingon laajuus, eli voiko haittaa aiheutua yhdelle vai useammalle henkilölle, ja terveystahittojen vakavuus, eli voiko vaara aiheuttaa lievän vahingon, vaikean vahingon vai kuoleman (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 44). Vakavuuden arvioinnissa voidaan huomioida sekä todennäköisin vakavuuden taso, että epätodennäköinen mutta ennakoitavissa oleva pahin mahdollinen vakavuus. Yleensä keskitytään kuitenkin pahimpiin mahdollisiksi uskottaviin seurauksiin pahimpien ajateltavissa olevien seurausten sijaan. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 44; SFS-ISO/TR 14121-2:2013, s. 24.) Tarkempi vakavuuden määrittely on standardissa SFS-ISO/TR 14121-2:2013 jaettu taulukossa 4 esiteltyihin neljään luokkaan. Neliasteista taulukkoa vahingon vakavuuden määrittämiseen käytetään myös standardeissa ANSI B11 TR3:2000 ja SFS-EN 61508-5:2010. Lisäksi yrityksen käyttämässä riskinarviointiohjelmistossa käytetään vastaavaa luokitusta. Siispä vastaavaa luokitusta käytetään myös tässä työssä mahdollisen suodattimen riskianalyysiin yhdistämisen helpottamiseksi tulevaisuudessa.

*Taulukko 4. Vahingon vakavuuden luokittelu (SFS-ISO/TR 14121-2:2013, s. 24).*

Vahingon vakavuusluokka	Vahingon seuraus
Tuhoisa	Kuolema tai invaliditeetin aiheuttava vammautuminen tai sairaus (työhön paluu ei ole mahdollista)
Vaikea	Vakava toimintaa haittaava vammautuminen tai sairaus (työhön paluu on mahdollista jossain vaiheessa)
Kohtalainen	Huomattava vamma tai sairaus, joka vaatii muuta hoitoa kuin ensiavun (entiseen työhön palaaminen mahdollista)
Vähäinen	Ei vammaa tai vain ensiavun tarvitseva vamma (ei töistä poissaoloa tai vain lyhyt poissaolo)

Vahingon esiintymisen todennäköisyydessä on huomioitava henkilön altistuminen vaaratilanteille, vaarallisten tapahtumien esiintymisen useus ja henkilön mahdollisuudet välttää tai rajoittaa vahinkoa. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 44.) Tekijöitä vahingon esiintymisen todennäköisyyden huomioimisen helpottamiseksi on eritelty tarkemmin taulukossa 5.

Taulukko 5. Vahingon esiintymisen todennäköisyyden arvioinnissa huomioitavia tekijöitä (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 44, 46).

Henkilön altistuminen vaaroille	Vaaravyöhykkeelle pääsyn tarve (normaali käyttötilanne, häiriön korjaus, kunnossapito jne.)
	Pääsyn luonne (esim. materiaalien syöttö käsin)
	Vaaravyöhykkeelläoloaika
	Vaaravyöhykkeellä tarvittavien henkilöiden lukumäärä
	Vaaravyöhykkeelle pääsyn useus
Vaarallisten tapahtumien esiintyminen	Tilastolliset tiedot (esim. laitteen ja komponenttien luotettavuus)
	Tapaturmatiedot
	Tiedot terveystilasta
	Riskien vertailu
Mahdollisuudet välttää tai rajoittaa vahinkoa	Eritaustaiset henkilöt, jotka voivat altistua vaaroille (ammattilaiset ja ammattitaidottomat)
	Kuinka nopeasti vaaratilanne voi johtaa vahinkoon (äkillisesti, nopeasti, hitaasti)
	Tietoisuus riskin olemassaolosta (yleistietoihin ja koneen käyttöön perustuva tietoisuus, tiedostaminen suoraan havaitsemalla, varoitusmerkintöjen ja muiden varoituslaitteiden avulla)
	Inhimilliset kyvyt välttää vahinkoa (refleksit, notkeus, mahdollisuus pelastautumiseen)
	Käytännön kokemukset ja tietämys, tai niiden puute kyseisestä koneesta tai vastaavanlaisista koneista

Myöskään todennäköisyyden luokittelusta ei löydy suoria suosituksia standardeista, vaan kehoitetaan arvioimaan todennäköisyysasteikot tapaus- ja toimialakohtaisesti (SFS-EN 61508-5:2010, s. 50). ANSI B11 TR3:2000 määrittelee todennäköisyydelle 4 luokkaa ja SFS-EN 61508-5:2010 kuusi luokkaa. Nämä eivät kuitenkaan erittele mitenkään, kuinka todennäköisyydet muodostuvat. Yrityksen käyttämässä ohjelmistossa todennäköisyys muodostuu sen perusteella, onko henkilö vaara-alueella usein vai harvoin, onko vaara vältettävissä vai ei, ja onko vaarallisen tilanteen syntyminen todennäköisyys suuri, keskisuuri vai matala. Näin muodostuvat vaarallista tilannetta kohti kaksitoista kombinaatiota riskin suuruuden laskemiseen, sisältäen samalla arvion henkilön altistumisesta vaaroille, vaarallisten tapahtumien esiintymisestä ja mahdollisuudesta välttää tai rajoittaa vahinkoa. Vastaavaa määrittelyä riskin todennäköisyydelle käytetään tässäkin työssä.

Tarkempia numeerisia määrittelyjä sille, mitä tarkoittaa ”usein” ja mitä ”harvoin”, mikä on vaaran välttämisen todennäköisyys ja mitä ”suurella”, ”keskisuurella” ja ”matalalla” vaaratilanteen syntymisen todennäköisyydellä tarkoitetaan, ei ohjelmistosta löydy. Nämä tiedot ovat niitä kokemukseräiseen ja tilastoihin perustuvaa tietoa, jota kappaleessa 2.3.1 mainittiin tarvittavan riskin arviointiin. Ongelmana on, että suoranaisia tietoja esimerkiksi vaaratilanteiden synnystä ei yleensä ole saatavissa. Tapaturmat ja niin sanotut ”läheltä piti” -tilanteet tilastoidaan kyllä, mutta nämä tilastot eivät sisällä tietoa siitä, kuinka usein vaaratilanne syntyy, ja millä todennäköisyydellä se pystytään välttämään. Vaaratilanteen välttämisen todennäköisyyskin riippuu monesta tekijästä, kuten taulukossa 5 todettiin.

Onkin varsin tavallista, että riskin arviointi perustuu epätarkkoihin arviointeihin, joiden tiedot on hankittu koneen kanssa työskenteleviltä henkilöiltä, kuten asentajilta, huoltohenkilökunnalta, ja koneen käyttäjiltä. Tietyistä koneryhmistä tietoa on saatavilla enemmän kuin toisista, mikä pätee myös riskin arviointiin liittyvään numeeriseen dataan. Painesuodattimista, joilta puuttuu myös oma konekohtainen standardi, on vähän tietoa saatavilla riskianalyysin tekemistä varten. Siispä riskin suuruuden arvioinnissa joudutaan tyytymään sanallisiin, löyhästi määriteltyihin todennäköisystekijöihin. Riskin suuruuden määrittämiseksi käytetään tässä työssä taulukkoa 6. Taulukon avulla määritetään riskin suuruus arviointiasteikolla 0–10, missä 0 tarkoittaa matalinta mahdollista riskiä, ja 10 suurinta mahdollista riskiä.

*Taulukko 6. Riskien suuruuden arviointitaulukko.*

Vahingon vakavuus	Vaaralle altistuminen	Vaaran välttämisen	Vaaran esiintymisen todennäköisyys		
			matala	keskitaso	korkea
Ei vahinkoa/vaara poistettu			0	0	0
Vähäinen vahinko		mahdollista	0	0	1
		ei mahdollista	0	1	2
Kohtalainen vahinko	harvoin	mahdollista	1	2	3
		ei mahdollista	2	3	4
	usein	mahdollista	3	4	5
		ei mahdollista	4	5	6
Tuhoisa tai vaikea vahinko	harvoin	mahdollista	5	6	7
		ei mahdollista	6	7	8
	usein	mahdollista	7	8	9
		ei mahdollista	8	9	10



Riskin suuruuden arviointi taulukon avulla aloitetaan vaaran vakavuuden arvioinnista. Kohtalaisen ja vakavan vaaran tapauksessa seuraavaksi määritetään, kuinka usein vaaralle altistutaan. Mikäli mahdollinen vahinko on vähäinen, tai sen syntyminen on saatu estettyä, ei vaaralle altistumista tarvitse määrittää. Seuraavaksi määritetään, onko vaara mahdollista välttää, jonka jälkeen arvioidaan vielä, mikä on vaaran esiintymisen todennäköisyys siinä tilanteessa kun ihminen on altistunut vaaratilanteelle. Seuraamalla näitä vaiheita edeten taulukossa vasemmalta oikealle päädytään vaaralle arvioidun suuruuden numeroarvoon.

### **Riskin merkityksen arviointi**

Koska riskin osatekijöiden määrittämisessä on yleensä paljon epävarmuutta, ei riskin suuruuden lopullisesta numeroarvosta pystytä yleensä päättämään tarkkaan, kuinka suuri riski loppujen lopuksi on. Siksi riskin suuruuden numeroarvoon täytyy suhtautua varauksella, ja pitää sitä suuntaa-antavana arviona. Siispä ei ole järkevää tehdä suoraa linjausta, minkä riskin suuruuden numeroarvon ylittävät vaarat vaativat suojaustoimenpiteitä. Jonkinlaiset rajaukset voidaan toki tehdä vahingon sattumisen mahdollistavien tekijöiden perusteella. Nämä linjaukset on kuvattu riskien suuruuden arviointitaulukossa omilla värikoodeillaan.

Taulukon punaiselle alueelle sijoittuvia vaaratilanteita ei voida missään tapauksessa hyväksyä sellaisenaan, sillä mahdollinen vahinko on liian vakava, ihminen on vaara-alueella liian usein tai ei pysty välttämään vahinkoa, tai vahinko tapahtuu liian suurella todennäköisyydellä ihmisen ollessa vaaralle altistuneena. Kohtalaiselle vahingolle altistava vaaratilanne voidaan hyväksyä vain, jos ihminen altistuu vaaratilanteelle harvoin, hänen on mahdollista välttää vaaratilanne, eikä vaaran esiintyminen ole liian todennäköistä. Toisaalta vähäiselle vahingolle altistava vaaratilanne voidaan hyväksyä myös vaikka vaaran välttäminen ei olisi mahdollista, jos vaaran esiintyminen ei ole liian todennäköistä ja vaarasta varoitetaan asianmukaisella tavalla. Mikäli riskin suuruuden arvioinnissa päädytään punaiselle pohjalle, on riskin suuruutta pienennettävä kappaleessa 2.3.2 esitellyin keinoin. Oranssilla pohjalla olevia arvoja vastaavat vaaratilanteet täytyy arvioida tapauskohtaisesti, ja kappaleessa 2.3.2 esitellyjä asianmukaisia varoituskkeinoja käyttämällä vaara voidaan joissakin tapauksissa hyväksyä. Keltaisella pohjalla olevat vaaratilanteet voidaan hyväksyä, mutta niistä on varoitettava asianmukaisin varoituskkeinoin.

Riskin merkityksen arvioinnissa voidaan käyttää hyväksi samankaltaisiin koneisiin tai koneeseen liittyviä tietoja (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 50). Standardin SFS-EN ISO 12100:2010 mukaan vertailukohteenä olevan koneen olisi kuitenkin oltava saman konekohtaisen standardin mukainen, jotta tietoja voidaan soveltaa. Suodattimesta ei konekohtaista standardia ole, joten on tyydyttävä toisten koneiden vastaaviin toimintoihin vertailuun. Tämä on mahdollista mikäli direktiivin vaatimukset täyttyvät, vaikkei standardi sitä suosittelekaan. Vaatimuksena on kuitenkin, että vaarat, riskin osatekijät, koneiden tekniset ominaisuudet, ja käyttöolosuhteet ovat vertailukelpoisia (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 50).

### **2.3.2 Riskin pienentäminen**

Riskien pienentämiseksi on olemassa kolme vaihetta, joiden standardissa SFS-EN ISO 12100:2010 esiteltyä ensisijaisuusjärjestystä noudatetaan myös Suomen laissa ja koneensuunnittelun ohjeissa turvallisuusnäkökulmien huomioimiseksi (L 12.6.2008/400). Riskien pienentäminen voidaan toteuttaa luontaisesti turvallisilla suunnittelutoimenpiteillä, suojausteknisillä toimenpiteillä, tai käyttöä koskevilla tiedoilla. Tämä on myös se järjestys, missä suojaustoimenpiteitä pyritään noudattamaan. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 52; Pahl & Beitz, 1990, s.194.)

Riskiä pienentäessä tehdään usein laitteen rakenteeseen muutoksia esimerkiksi suojia tai turvalaitteita lisäämällä. Tällöin on varmistettava, etteivät riskin pienentämisestä aiheutuvat rakennemuutokset aiheuta uusia vaaratekijöitä. Uusien vaaratekijöiden ilmetessä täytyy ne lisätä riskianalyysiin. Tämä tekee riskienhallinnasta iteratiivisen prosessin. Seuraavissa kappaleissa käsiteltyjen suojaustoimenpiteiden jälkeen riskin voidaan katsoa olevan alennettu riittävän alhaiselle tasolle, kun kaikkia toimintaolosuhteita on käsitelty ja niiden aikaiset vaaratilanteet on pystytty alentamaan alimmalle käytännössä mahdolliselle tasolle. Tämä koskee myös suojaustoimenpiteiden aiheuttamia mahdollisia uusia vaaroja. Jäljelle jäävistä vaaroista tulee olla asianmukaiset varoitukset, ja suojaustoimenpiteillä ei saa olla negatiivisia vaikutuksia käyttäjän työskentelyolosuhteisiin tai koneen käytettävyyteen. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 50.)

Riskin pienentäminen tapahtuu pienentämällä toista tai molempia riskin suuruuteen vaikuttavista osatekijöistä. Käytännössä siis riskiä pienennettäessä pyritään alentamaan tapahtuman sattumisen todennäköisyyttä, tai lieventämään vaarasta mahdollisesti aiheutuvan

vahingon vakavuutta. Tehokkain tapa pienentää riskiä on poistaa koko riskin aiheuttama vaara jollakin suojaustoimenpiteellä. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 52.) Tällöin voidaan ajatella sekä riskin todennäköisyyden että vahingon vakavuuden pienentyvän olemattomaksi.

### **Luontaisesti turvalliset suunnittelutoimenpiteet riskin pienentämiseksi**

Luontaisesti turvalliset suunnittelutoimenpiteet ovat riskien pienentämisessä ensisijaisesti sovellettava menetelmä. Pahl ja Beitz (1990) kutsuvat luontaisesti turvallisia suunnittelutoimenpiteitä välittömäksi turvallisuustekniikaksi. Sen avulla voidaan saada muokattua koneen rakenneominaisuuksia tai altisuneen henkilön ja koneen vuorovaikutustapaa siten, että vaaran todennäköisyys tai mahdollisen vahingon vakavuus pienenee. Tällöin vaikutetaan siis koneen ominaisuuksiin ilman varsinaisia suojalaitteita. Luontaisesti turvalliset suunnittelutoimenpiteet ovat ainut tapa suojaustoimenpiteistä, joilla vaaran poistaminen kokonaan on mahdollista. Lisäksi tällä menetelmällä saavutetaan yleensä paras luotettavuus, sillä luontaisesti turvallisten suojaustoimenpiteiden on todettu olevan luotettavampia ja vaikeammin kierrettävissä kuin suojausteknisten laitteiden. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 52.)

Pahl ja Beitz (1990) jakaa luontaisesti turvalliset suunnittelutoimenpiteet edelleen varman kestämisen periaatteeseen, rajoitetun vahingon periaatteeseen ja varajärjestelmien periaatteeseen. Varman kestämisen periaate vaatii koko rakenteen mitoittamista kestäämään kaikki siihen mahdollisesti kohdistuvat kuormitukset. Rajoitetun vahingon periaatteella toimiva laite puolestaan pystyy ylläpitämään toimintaansa vähintään rajoitetusti siihen saakka, että laite saadaan pysäytettyä turvallisesti. Varajärjestelmää hyväksi käyttävässä laitteessa voidaan käyttää esimerkiksi rinnakkain kytkettyjä komponentteja, joista yhden pettäessä toinen pystyy jatkamaan laitteen toimintaa. Aktiivisessa varajärjestelmässä kaikki rinnakkain toimivat komponentit toimivat normaalitilanteessa, kun taas passiivinen varajärjestelmä kytketään päälle vasta varsinaisen järjestelmän vikaantuessa. (Pahl & Beitz, 1990, s. 196–197, 199–200.)

Käytännössä kaikki suunnitteluvaiheessa tehdyt ratkaisut ja laskelmat vaikuttavat riskin suuruuteen kestävyys, luotettavuuden ja koneen yleisen rakenteen kautta. Siksi olisi käytettävä mahdollisuuksien mukaan standardeihin perustuvia tai yleisesti hyväksi havaittuja suunnittelumenetelmiä koneen toimintaa suunniteltaessa riskin rajoittamiseksi (SFS-EN ISO

12100:2010, s. 56). Erityistä huomiota turvallisuuden huomioimiseksi suunnittelussa vaatii ihmisen toiminta koneen kanssa, mikä aikaisemmista kappaleista on ilmennytkin. Tätä varten on olemassa lukuisia standardeja henkisten ja fyysisten rasitusten, sekä erilaisten vaaratilanteiden rajoittamiseksi (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 58). Tätä on käsitelty myös liitteen II kohdassa 1.1.6. Lisäksi huomioitavia seikkoja aiheutuu yleensä laitteen käyttövoimasta riippuen sähköstä, pneumatiikasta tai hydraulikasta, joiden suunnittelua ohjataan myös omilla standardeillaan. Ohjausjärjestelmä on myös suuri yksittäinen kokonaisuus, johon liittyy omat riskinsä, ja on siksi suunniteltava huolellisesti. Ohjausjärjestelmää ei kuitenkaan suunnitella tässä työssä tarkemmin, joten myöskään sen riskien pienentämiseen ei perehdytä. Näkökulmia, joiden avulla laitteen riskejä voidaan pienentää suunnitteluratkaisuilla, on listattu tarkemmin liitteeseen VIII.

Suunnitteluratkaisujen lisäksi vaaratilanteiden aiheutumiseen vaikuttaa merkittävästi laitteen vikaantumistodennäköisyys ja vikasietoisuus. Yleisesti puhutaan myös laitteen luotettavuudesta, joka koostuu ohjausjärjestelmän luotettavuudesta ja koneen osien luotettavuudesta (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 70). Erityisen tärkeää on, että laitteen turvatoiminnot ovat luotettavia, ja niiden mahdolliset vikaantumistavat voidaan ennustaa. Ennustettavissa olevista vikaantumisista aiheutuvat vaaratilanteet tulee huomioida suunnittelussa ja pienentää niiden aiheuttama riski muiden riskien tavoin.

Riittävään turvatoimintojen luotettavuuteen voidaan päästä monin eri keinoin. Käyttämällä luotettavia komponentteja, joiden voidaan olettaa kestävän toimintakykyisinä laitteen elinkaaren ajan kaikissa mahdollisissa olosuhteissa, voidaan riskin tasoa pienentää. Sama voidaan toteuttaa myös käyttämällä tunnetulla tavalla vikaantuvia komponentteja, joiden mahdollisesta vikaantumisesta aiheutuva vaaratilanne voidaan torjua muilla keinoin, mikäli vikaantuminen ilmenee. Luotettavuutta voidaan kasvattaa myös käyttämällä rinnakkaisia komponentteja tai varajärjestelmiä. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 72.)

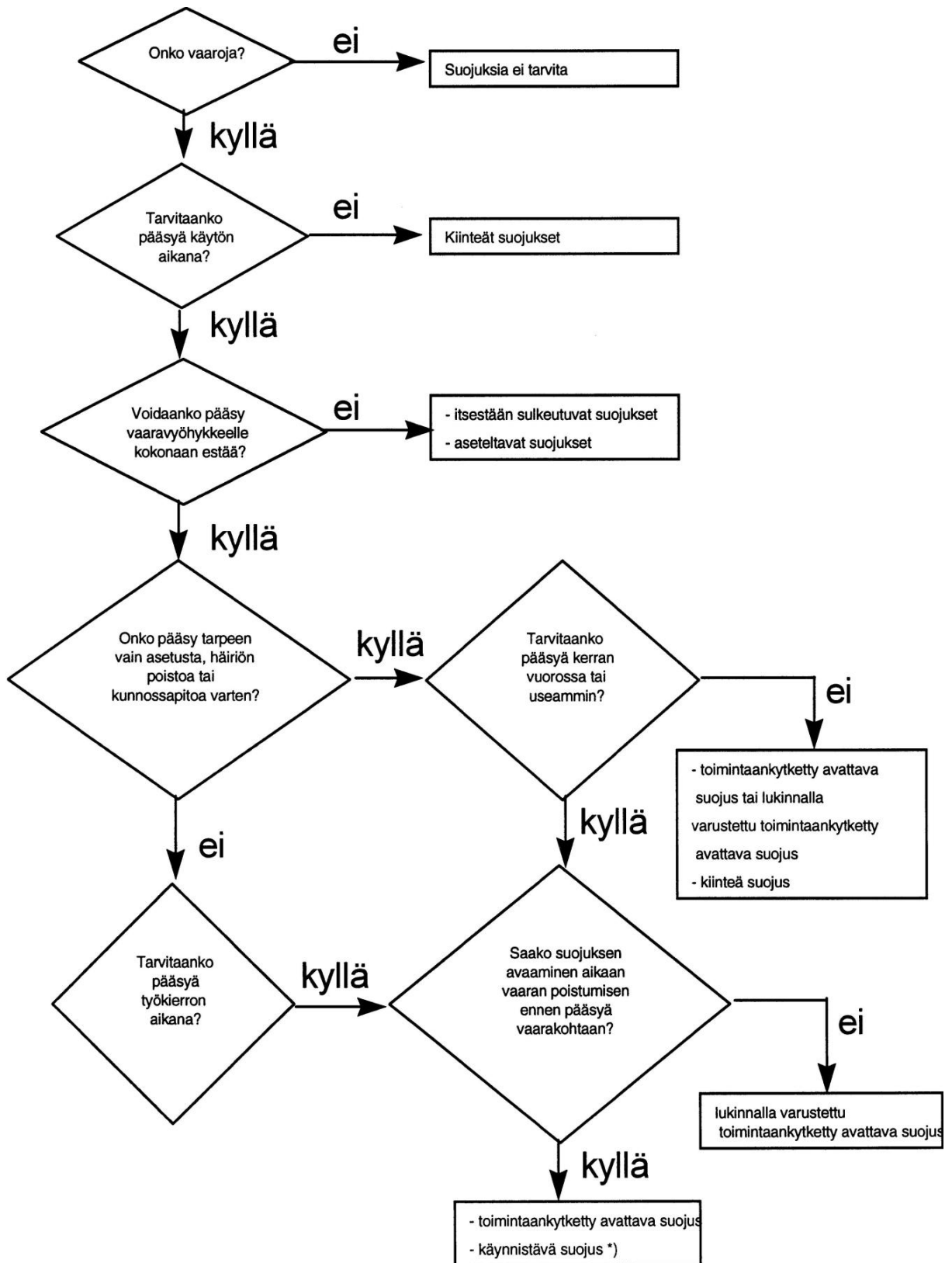
### **Suojaustekniset toimenpiteet riskin pienentämiseksi**

Kun vaaran poistaminen luontaisesti turvallisilla suunnittelutoimenpiteillä ei ole mahdollista, turvaudutaan niin sanottuihin suojausteknisiin toimenpiteisiin tai täydentäviin suojaustoimenpiteisiin (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 52). Pahl ja Beitz (1990) kutsuvat suojausteknisiä toimenpiteitä välilliseksi turvallisuustekniikaksi. Suojausteknisille

toimenpiteille on ominaista luotettava toiminta, pakonomainen vaikuttaminen ja kiertämisen mahdollisuuden estäminen. Luotettava toiminta vaatii välittömän turvallisuustekniikan soveltamista turvajärjestelmän rakenteessa. Pakonomainen vaikuttaminen vaatii sen, että suojavaikutus on voimassa ennen vaaratilanteen syntyä ja sen aikana. Suojalaitteiston tai toimenpiteiden poistamisen täytyy poistaa myös vaaralle altistava tilanne. Kiertämisen mahdollisuuden poistamisella tarkoitetaan sitä, että suojavaikutusta ei voida kiertää tai poistaa vahingossa tai tarkoituksella. (Pahl & Beitz, 1990, s. 202.)

Suojausteknisten toimenpiteiden tavoitteena on estää henkilöitä pääsemästä vaara-alueelle vaaraa aiheuttavan toiminnon ollessa käynnissä. Paras tapa suojata henkilöt tämän kaltaisilta tilanteilta on kiinteät suojukset, joita tulee käyttää aina kun se on mahdollista. Mikäli käyttäjän tulee päästä vaara-alueelle normaalin toiminnan aikana, eikä kiinteää suojusta voida käyttää, sovelletaan riskin pienentämiseksi vaihtoehtoisia suojaustoimenpiteitä. Näitä ovat muiden muassa erilaiset tunnistavat turvalaitteet ja toimintaan kytketyt suojukset. Joissakin tapauksissa voidaan käyttää myös kiinteiden ja vaihtoehtoisten suojalaitteiden yhdistelmiä. Näihin voidaan ajatella kuuluvan myös joissakin tapauksissa tarvittavat erilliset ohjauspaikat kuten ohjaamot ja turvakatokset. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 74.) Ne ovat kiinteitä rakenteita, joiden lisäksi koneeseen voidaan liittää henkilön tunnistavat turvalaitteet, jotka varmistavat ettei vaara-alueella ole ihmisiä laitteen käynnistyessä. Suunnittelussa on pyrittävä siihen, että suojalaitteet suojaavat myös koneen käyttöönottoon tai prosessin muutokseen liittyviä asetuksia tai ohjelmointia tekeviä henkilöitä, sekä kunnossapitoa tai vianetsintää suorittavia henkilöitä (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 78).

Valittaessa turvalaitteita on varmistettava, että ne täyttävät niitä koskevat tuotestandardit, tai ne on suunniteltava standardeissa SFS-EN ISO 13849-1 tai SFS-EN 62061 esitettyjen periaatteiden mukaisesti (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 88). Suojusten ja turvalaitteiden tyyppin valinnassa voidaan soveltaa kuvassa 3 esiteltyä kaaviota.



**Kuva 3.** Suojusten ja turvalaitteiden valintakaavio (SFS-EN 953:2009, s. 50).

Suojaustavan valintaa käsitellään myös liitteen II kappaleessa 1.3.8. Suojaustavaltaan muista poikkeavat tunnistavat turvalaitteet on käsitelty tarkemmin liitteessä IX, joka sisältää tietoa turvalaitteiden käyttömahdollisuuksista ja -rajoituksista, yleisistä vaatimuksista ja laitteita koskevista standardeista. Tunnistavien turvalaitteiden tunnistustoimintojen erilaisista tekniikoista johtuen niitä sovelletaan varsin eri kohteisiin (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 78). Kiinteiden ja avattavien turvalaitteiden suunnittelun ja rakenteen yleisiä periaatteita käsitellään tarkemmin standardissa SFS-EN 953:2009.

Liitteessä IX esiteltyjen erityisvaatimusten lisäksi suojuksia ja turvalaitteita koskevia vaatimuksia on käsitelty tarkemmin liitteen II kohdassa 1.4. Liitteestä puuttuu käynnistystoiminnon omaavia toimintaankytkettyjä turvalaitteita koskevat vaatimukset, mutta suodattimen rakenteessa niiden käyttö ei ole tarpeen. Muutenkin kyseisiä suojuksia tulee käyttää harkiten, sillä mikäli niitä käytetään laitteessa, voi minkä tahansa muun suojan kiertäminen aiheuttaa vaaratilanteen. Lisäksi suojausteknisiä toimenpiteitä voidaan joutua tekemään erilaisten päästöjen vähentämiseksi. Näistä suodattimen tapauksessa mahdollisia ovat melu ja värinä. Molemmille on olemassa omat suunnitteluperiaatteensa ja standardinsa, joita ei tässä yhteydessä tarkastella tarkemmin. Akustista suunnittelua melun torjumiseksi käsitellään tarkemmin muun muassa standardissa SFS-EN ISO 11688 ja värinän vaimennusta standardissa SFS-EN 1299.

Edellä käsiteltyjen suojusten ja turvalaitteiden, sekä luontaisesti turvallisten suunnittelutoimenpiteiden lisäksi on olemassa täydentäviä suojaustoimenpiteitä. Näitä voidaan tarvita muun muassa koneen ennakoitavissa olevasta väärinkäytöstä aiheutuvien vaaratilanteiden estämiseksi. Täydentäviin suojaustoimenpiteisiin kuuluvat hätäpysäytyslaitteet, loukkuun jääneen henkilön pelastamistoimenpiteet, sekä energian erottamis- ja purkamiskeinot. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 90, 92.)

Hätäpysäytyslaitteen avulla kone on oltava pysäytettävissä nopeasti uhkaavien tilanteiden torjumiseksi. Siksi hätäpysäytysohjaimen on oltava selvästi tunnistettavissa, näkyvissä ja helposti tavoitettavissa. Hätäpysäytyskäsky on myös aina kuitattava ennen kuin kone voidaan käynnistää uudelleen. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 90.) Tarkempia vaatimuksia hätäpysäytyslaitteille käsitellään standardeissa SFS-EN ISO 13850 ja SFS-EN 60204. Energianlähteestä erottamisen ja varastoituneen energian purkamisen tarkoituksena on

varmistaa, ettei kone tai jokin sen osista lähde liikkeelle ihmisen ollessa vaara-alueella esimerkiksi huoltotöissä (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 92). Tätä asiaa on käsitelty tarkemmin standardeissa SFS-EN 1037 ja SFS-EN 60204. Loukkuun jäämistä ei suodatinten tapauksessa ole tarpeellista tarkastella tarkemmin, koska loukkuun jäämisen mahdollistava tilanne vaatisi niin suurta turvallisuustekijöiden laiminlyöntiä tai rakenteellista vahinkoa, ettei sitä pidetä suodattimen rakenne huomioiden mahdollisena.

Täydentäviin suojaustoimenpiteisiin ajatellaan kuuluvan myös varautumisen painavan koneen ja sen painavien osien turvalliseen käsittelyyn erinäisin apuvälinein, sekä turvallisen pääsyn koneeseen ja kulkemisen koneessa huomioiminen (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 92). Jälkimmäistä tarkastellaan tarkemmin standardissa SFS-EN ISO 14122.

### **Käyttöä koskevat tiedot riskin pienentämiseksi**

Mikäli luontaisesti turvallisia suunnittelutoimenpiteitä ja suojausteknisiä toimenpiteitä käyttämällä vaaraa ei saada kokonaan poistettua, on siitä tiedotettava käyttäjälle asianmukaisin keinoin. Pahl ja Beitz (1990) käsittelevät aihetta opastavana turvallisuustekniikkana, vaikkakaan se ei sisällä mitään teknisiä ratkaisuja.

Käyttäjille annettavien tietojen ja varoitusten avulla ei koskaan saa korvata toteutettavissa olevia muita suojausteknisiä toimenpiteitä. Jäljelle jäävistä jäännösriskeistä on ilmoitettava seuraavat seikat (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 52):

- toimintamenettelyt liittyen koneen käyttöön, huomioiden konetta käyttävän ja muiden vaaralle altistuvien henkilöiden odotettavissa olevat kyvyt
- työmenetelmät liittyen koneen käyttöön, huomioiden menetelmien turvallisuus ja koulutusvaatimukset riittävän tarkasti kuvattuna
- varoitukset koneen koko elinkaaren jäännösriskeistä
- suositeltujen käytettävien henkilösuojainten kuvaus, mukaan lukien tiedot niiden tarpeesta ja niiden käyttöön tarvittavasta koulutuksesta

Vaikka käyttöä koskevat tiedot ovat viimeinen sovellettava riskin pienentämisen keino, on sen merkitys suuri etenkin ennakoitavissa olevien väärinkäyttötapojen ehkäisemisessä. Yleisesti voidaankin sanoa, että vaikka luontaisesti turvallisia suunnittelutoimenpiteitä ja



suojausteknisiä toimenpiteitä noudatetaan niin pitkälle kuin mahdollista, jää käyttöä koskevien tietojen käsiteltäväksi monia turvallisuusasioita.

Suodattimeen liittyvät laitteet on tarkoitettu ainoastaan ammattilaisten käyttöön, joten käyttöä koskevat tiedot voidaan suunnata suoraan ammattilaisille. Tarkemmat ohjeet käyttöohjeiden jäsentelystä ja esittämistavasta on koottu standardiin SFS-EN 82079-1:2012. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 94.) Liitteessä II aihetta käsitellään kohdassa 1.7.

Käyttöä koskevia tietoja voidaan esittää laitteen käyttäjälle tekstien, signaalien, symboleiden ja kaavioiden avulla. Ne voidaan sijoittaa koneeseen tai sen pakkaukseen, koneen mukana toimitettaviin asiakirjoihin, tai esimerkiksi koneen ulkopuolelle, riippuen riskistä ja siitä milloin käyttäjä tietoja tarvitsee. Tiedoista on selvittävä kaikki tarpeellinen koneen turvallisen käytön mahdollistamiseksi ja väärinkäytön välttämiseksi. Ennakoitavasta väärinkäytöstä aiheutuvista riskeistä on myös varoitettava käyttäjää. Myös käyttöä koskevien tietojen tulee kattaa kaikki laitteen elinkaaren vaiheet. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 94.)

Uhkaavasta vaarasta varoitettava signaali voi olla vilkkuvalo tai äänimerkki. Olennaista varoitussignaaleille on, että ne annetaan riittävän ajoissa ennen vaaratilannetta, ne ovat yksiselitteisiä ja selkeästi havaittavissa ja erotettavissa muista vastaavankaltaisista signaaleista. Varoitussignaaleja ei saa olla liikaa, eivätkä ne saa toistua liian usein, etteivät käyttäjien aistit ylikuormitu ja vaaratilanne jää huomioimatta. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 96.) Merkinantolaitteita käsittelee tarkemmin SFS-EN 61310 -standardisarja.

Muut tietoa antavat ja varoittavat tekstit, symbolit ja kaaviot on oltava helposti ymmärrettävissä, ja yhdistettävissä koneen osaan tai toimintoon, johon merkintä viittaa. Suositeltavaa on käyttää ymmärrettäviä symboleja ja kuvia varoitustekstien sijaan. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 98.) Merkintöjä ja merkintävärejä koskevia määräyksiä on käsitelty tarkemmin standardeissa SFS-ISO 3864 ja SFS-EN ISO 7010. Lisäksi sähkölaitteilla, sekä hydraulisilla ja pneumaattisilla laitteilla on omia erikoismerkkejään, joita käsitellään niitä koskevissa standardeissa.

Itse koneessa olevien merkintöjen on oltava pysyviä ja luettavissa koko koneen odotetun eliniän ajan (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 96). Koneeseen on kiinnitettävä tietyt merkinnät,

joita tarvitaan koneen tunnistamiseksi, vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi, ja käytön turvallisuuden takaamiseksi. Nämä merkinnät on koottu taulukkoon 7.

*Taulukko 7. Koneeseen kiinnitettävät merkinnät (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 96).*

Koneen tunnistetiedot	Valmistajan nimi ja osoite
	Sarja- ja tyyppimerkintä
	Mahdollinen sarjanumero
Vaatimustenmukaisuustiedot	CE-merkintä, ATEX-merkintä jne.
	Muut kirjoitetut merkinnät (valmistusvuosi, koneen nimike jne.)
Turvallisuuteen vaikuttavat käyttötiedot	Pyörivien osien suurimmat nopeudet
	Työkalujen suurin läpimitta
	Koneen/sen irrotettavien osien massat
	Suurin hyötykuorma
	Henkilösuojainten käyttötarve
	Suojusten asettelua koskevat tiedot
	Määräaikaistarkastusten tarkastustaaajuus

Koneen mukana toimitettavien muiden kirjallisten ohjeiden, etenkin käyttöohjeen, sisällön vaatimukset on listattu tarkemmin liitteeseen X. Liitteen vaatimusten lisäksi käyttöohjeissa olennaista on myös se, että teksti on helposti luettavissa ja ymmärrettävissä, ja turvallisuuteen liittyvät varoitukset ja ohjeistukset tulevat selkeästi esille. Tekstiä tulee havainnollistaa kuvilla ja taulukoilla silloin kun se on ymmärtämisen kannalta hyödyllistä, ja olennaisia osia ja turvallisuuteen liittyviä kohtia tulee korostaa värein ja symbolein tunnistamisen helpottamiseksi. Varsinkin laajemmissa käyttöohjeissa tulisi olla myös sisällysluettelo ja hakemisto. Käyttöohjeiden täytyy myös kestää kulutusta, sillä niiden on oltava käyttäjän saatavilla ja käytettävissä koko koneen eliniän ajan. (SFS-EN 12100:2010, s. 100, 102.)

### 3 TULOKSET

Tässä kappaleessa sovelletaan kappaleessa 2 käsiteltyjä teknisen tuotteistamisen vaiheita kankaanvaihtolaitteen suunnitteluun. Koska ei ole varmaa tietoa siitä tuleeko suunniteltava laite myyntiin, suunnitellaan alustavasti vain irrotettava automatisoitu kankaanvaihtoteline. Mikäli telineen toimintaperiaatteen arvioidaan olevan toimiva, voidaan sen pohjalta kehitellä myös laitteeseen kiinteästi liitettävä kankaanvaihtolaite. Suunnittelussa pääpaino on

turvallisuuden huomioinnissa ja sitä kautta riskien arvioinnissa ja pienentämisessä, joita käsitellään kappaleessa 3.2. Sitä ennen käsitellään laitteen kehittelyn vaiheita kappaleessa 3.1. Lopuksi valmiille telineelle tehdään alustava kustannusarvio, jota käsitellään kappaleessa 3.3.

Varsinainen mekaniikkasuunnittelu tehtiin SolidWorks® Premium 2012 x64 Edition SP4.0 -ohjelman avulla. Komponenttien mitoituslaskuihin käytettiin Mathcad 14.0 M020 -ohjelmaa. Tulokset on esitelty seuraavissa kappaleissa suunnittelun etenemisjärjestyksessä.

### **3.1 Esisuunnitteluvaihe**

Esisuunnitteluvaiheella tarkoitetaan tässä yhteydessä kappaleessa 2.1 listattuja työvaiheita tarpeen tunnistamisesta ratkaisuvaihtoehtojen valintaan asti. Tarpeen tunnistaminen on tapahtunut yrityksen organisaatiossa jo ennen tämän työn aloittamista, joten tämä työ aloitettiin taustatutkimusvaiheesta.

Ensimmäisenä vaiheena tehtiin patenttiselvitys, jotta ei alettaisi suunnittelemaan laitetta, jonka joku muu on jo keksinyt. Alustavan patenttitilanteen selvityksen perusteella kehiteltävän laitteen kaltaisia patenteja ei löytynyt. Patenteja etsittiin Internetin patenttietokantojen, USPTO:n (*United States Patent and Trademark Office*), WIPO:n (*World Intellectual Property Organization*) ja DPMA:n (*Deutsche Patent- und Markenamt*), avulla.

Toisena esisuunnittelun vaiheena linjattiin kankaanvaihtolaitteiden luokittelu EU-direktiivien vaatimustenmukaisuuden kannalta. Kankaanvaihtolaitteesta on tarkoitus suunnitella kaksi versiota: Yksi on koneen rakenteeseen kiinteästi liitettävä osakokoonpano. Toinen on automaattinen fyysisesti suodattimesta erillään toimiva kokonaisuus. Ensimmäisen version voidaan tulkita olevan aina osa suodattimen rakennetta, ja siten kuuluvan suodattimen CE-merkinnän piiriin. Koneeseen kiinteänä osana liitettävä laite on nyt vaihtoehtoisesti valittavissa oleva kokonaisuus, joka huomioidaan suodattimen riskianalyyysissä ja ohjeissa aina kun asiakas haluaa laitteen suodattimeensa.

Erillään myytävä automaattinen kankaanvaihtoteline sen sijaan on oma kokonaisuutensa, vaikka se toimiikin yhteydessä suodattimen kanssa. Laite liitetään tavalla tai toisella toimimaan suodattimen kangasta liikuttavan koneiston kanssa. Laitetta periaatteessa voitaisiin

käyttää myös muuhun tarkoitukseen. Käytännössä teline voitaisiinkin luokitella millä tahansa kappaleessa 2.2.3 esitellyistä luokitteluvaihtoehdoista. Koska laitetta ei ole tarkoitus myydä osaksi kilpailijoiden suodattimia tai muita laitteita, ei ole tarvetta luokitella telinettä omaksi koneekseen tai osittain valmiiksi koneeksi. Mikäli tähän halutaan myöhemmin tehdä muutos, onnistuu laitteen tuotteistaminen yleiseen käyttöön vaatimustenmukaisuuden osoittamista käsittelevän kappaleen 2.2.3 ohjeiden avulla.

Taustatutkimuksen jälkeen siirryttiin suoraan vaatimuslistan laadintaan. Tavoitteen asetteluvaihe päätettiin sivuuttaa, sillä tavoitetta pohdittiin jo johdannossa. Tavoite tiivistyy vielä abstrahointilauseessa, joka muodostetaan vaatimusten määrittelyn jälkeen. Näitä asioita, sekä muuta esisuunnitteluvaihetta on käsitelty tarkemmin omissa kappaleissaan 3.1.1–3.1.4.

### 3.1.1 Vaatimuslista ja abstrahointi

Ensimmäisenä varsinaisena suunnittelun vaiheena laitteelle laadittiin vaatimuslista, jossa määriteltiin laitteelta halutut ominaisuudet. Taulukossa 8 esitelty lista jäsenneltiin selkeyden vuoksi viiteen eri kategoriaan.

*Taulukko 8. Kankaanvaihtolaitteen vaatimuslista.*

T/V	Rakenne
V	Enimmäismitat [mm]: 1500 x 3000 x 2000 (Korkeus x Leveys x Syvyys)
T	Toivotut mitat [mm]: 1500 x 1900 x 1000 (Korkeus x Leveys x Syvyys)
V	Enimmäispaino 500 kg
V	Laitteen on kestettävä siihen kohdistuvat kuormitukset kaikkien elinkaaren vaiheiden normaaleissa käyttötilanteissa, sekä vähintään yleisissä häiriötilanteissa.
V	Liittämisen suodattimeen on onnistuttava ilman merkittäviä muutoksia suodattimen rakenteeseen.
V	Käyttövoiman on oltava vastaava kuin jonkin suodattimessa käytetyistä saatavuuden varmistamiseksi.
V	Kelausvoiman ja nopeuden on oltava hallittu kankaan pitämiseksi sopivalla kireydellä.
V	Laitteen rakenteessa on oltava kiinnityspisteet kuljetusta ja nostamista varten.
V	Laitteen rakenteen on oltava sellainen, että kankaan liittäminen onnistuu helposti.
V	Laitteeseen kuuluvat mahdolliset kankaanvaihtoon tarvittavat erikoistyökalut.
T	Laitteen rakenteesta on oltava kierrätettävissä yli 90 %.
	<b>Turvallisuus</b>
V	Ihmisen on oltava erotettuna laitteen mekaanisesta rakenteesta käytön aikana.
V	Laitteen on täytettävä sitä koskevat turvallisuusmääräykset (ohjeistusta suunnitteluun kappaleissa 2.2.1 ja 2.3.2)

V	Laitteen on täytettävä sitä koskevat ergonomiamääräykset (ohjeistusta suunnitteluun liitteen II kohdassa 1.1.6 ja liitteessä VIII)
V	Laitteen on tunnistettava tunnetut mahdolliset häiriöt ja vaaratekijät kankaan kelauksessa ja estettävä vahinkojen syntyminen kankaaseen tai suodattimen tai kelauslaitteen rakenteeseen. Tunnettuja häiriöitä ja vaaratekijöitä ovat: <ul style="list-style-type: none"> <li>- kankaan liiallinen löystyminen</li> <li>- kankaan liiallinen kiristyminen</li> <li>- rullien siirtyminen pois paikaltaan</li> <li>- kankaan ajautuminen sivuun telalta tai rullalta</li> <li>- kankaan reunan riekaleet ja muut kankaan viat</li> <li>- muut kelauksen ulkopuoliset häiriötekijät, kuten ihmiset</li> </ul>
	<b>Käyttö</b>
V	Vastaava ympäristöolosuhteiden kesto kuin suodattimen runkorakenteilla
V	Laitteen melutason on oltava muun suodattimen melutasoa matalampi (<70dB(A))
V	Kankaan liittämisen jälkeen kankaan vaihto tapahtuu nappia painamalla. Kone huolehtii kankaan linjassa ja kireällä pysymisen.
T	Kankaanvaihtotapahtumaan tarvitaan vain yksi henkilö.
T	Kankaan vaihto on täysin automaattinen kankaan liittämistä lukuun ottamatta.
	<b>Asennus ja huolto</b>
V	Laitteen liittämisen ja irrottamisen on oltava mahdollisimman helppoa ja nopeaa.
T	Liittämisen suodattimeen ja muun kiinnittämisen ei tule vaatia erikoistyökaluja.
T	Huoltamisen on onnistuttava sekä laitteen ollessa kiinnitettynä, että laitteen ollessa irti suodattimesta.
T	Laitteen tulee olla mahdollisimman huoltovapaa.
	<b>Valmistus</b>
T	Laitteen valmistuskustannukset ovat enintään 5000 €.
T	Laitteen on oltava valmistettavissa yrityksen kaikissa tuotantomaisissa.
T	Suunnittelussa on pyrittävä soveltamaan DFMA:n periaatteita, mm. suosittava <ul style="list-style-type: none"> <li>- muita kuin koneistettavia osia kustannusten ja toimitusajan minimoimiseksi</li> <li>- standardimateriaaleja ja -komponentteja</li> <li>- muita pieniä sarjoja ja yksittäistuotteita koskevia ohjeita</li> </ul>
T	Laitteen tulee vaatia mahdollisimman vähän testauksia ja tarkastuksia, ja niiden on oltava yksinkertaisia ja luotettavia.

Rakenteen äärimittojen vaatimukset saatiin suoraan laitteen nykyisen rakenteen ja sille vaaditun huoltoalueen avulla. Vaaditut enimmäismitat ovat sellaiset, että liitettäessä suodattimeen mahtuu teline huoltoalueen sisään, vaikka teline ei olisi aivan kiinni suodattimessa. Toivotut mitat puolestaan ovat sellaiset, että liitettäessä suodattimeen teline mahtuu koneen takaosassa olevien ja kuvassa 2 näkyvien ovien aukeamiseen vaaditulle alueelle. Toivotut mitat ovat siis sellaiset, että teline mahtuu paikalleen, vaikka vaaditut

huoltoalueen mittavaatimukset olisi laiminlyöty. Painovaatimus taas vastaa huoltokäyttöön tarkoitettua pienen nostolaitteen nostorajoja. Painovaatimuksen täyttävä teline on myös hätätapauksessa liikuteltavissa lattiaa pitkin rullaavan alustan päällä.

Turvallisuusvaatimuksissa luetelluista häiriötekijöistä olennaisin vaaran aiheuttaja on kankaan liiallinen löystyminen. Nykyisessä kankaankelauslaitteessa on havaittu ongelma, jossa löysälle päästessään kangas tarttuu kiinni itseensä ja pyörähtää kangasta vetävän telan alle. Tällöin kelattavan kankaan pyörimissuunta vaihtuu, mikä voi kelauslaitteen rakenteesta riippuen aiheuttaa erilaisia vaaratilanteita. Myös kankaan liiallinen kiristyminen voi aiheuttaa vahinkoa kelauslaitteeseen, kankaaseen, tai jopa suodattimen rakenteeseen. Kuten johdannossa todettiin, vaihtelee kankaan asema teloilla sivuttaissuunnassa. On hyvin yleistä, että kangas ajautuu kelausvaiheessa vetotelan päätyreunan yli. Tällöin kangas taittuu ja ajautuu voimakkaasti sivulle, jolloin se on vaarassa vahingoittua tai jäädä jumiin telan kiinnikkeisiin.

Käyttövaatimuksista huoltoon vaadittavan henkilömäärän rajaamista yhteen ei pidetty välttämättömänä. Laitteen toiminnan automatisoinnin katsottiin olevan riittävä silloin, kun laitetta voidaan edelleen ajaa käsiohjaimella, mutta kone pysähtyy havaitessaan häiriön, mikäli käyttäjä ei pysäytä konetta. Näin pystytään rajaamaan pois inhimillisen erehdyksen seurauksena syntyvät vaaratilanteet. Ideaalitulanteessa teline kuitenkin toimii täysin automaattisesti kankaan liittämisen jälkeen. Laitteen melutason on oltava suodattimen melutasoa matalampi, jonka lisäksi sen on oltava liitteen II kohdan 1.7.4.2 u alimman raja-arvon alapuolella. Myös laitteen asennukseen ja huoltoon on kiinnitettävä huomiota suunnitteluvaiheessa, ja valmistuksen on oltava mahdollisimman joustavaa ja edullista toiminnallisista vaatimuksista tinkimättä. Toivotuissa valmistuskustannuksissa on huomioitu ainoastaan telineen valmistuskustannukset. Tämän lisäksi kustannuksia aiheutuu myös suodattimen rakenteeseen ja ohjelmistoon tehtävistä muutoksista.

Vaatimuslistan avulla tehty abstrahointi oleellisten ongelmien tunnistamiseksi ja suunnittelutehtävän tavoitteen tiivistämiseksi on esitelty tarkemmin liitteessä XI. Abstrahoinnin tuloksena syntyi seuraava abstrahointilause:

”Kohtuuhintainen kankaan turvallisen vaihtamisen mahdollistava suodattimen kanssa yhteensopiva kevytrakenteinen laite, joka toimii automatisoidusti.”

### 3.1.2 Toiminnan kuvaus

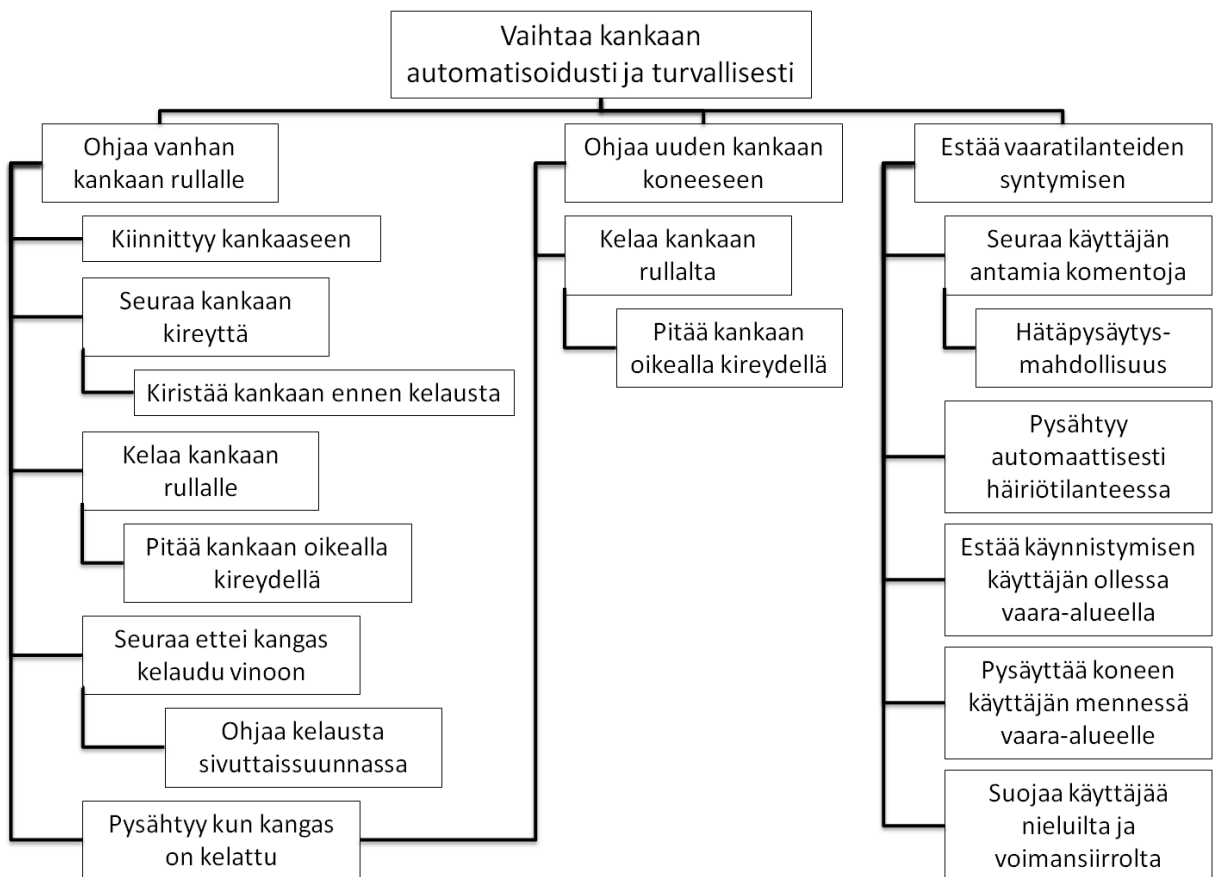
Laitteelta haluttujen ominaisuuksien määrittämisen jälkeen siirryttiin suunnittelemaan laitteen toimintaa. Laitteen toiminnan kuvauksessa ei pohdita muita kankaanvaihtotapahtuman vaiheita, kuin itse laitteen toiminnan aikaisia vaiheita. Telineen asennus, purku ja muut oheistyövaiheet otetaan huomioon suunnittelussa, mutta ne liittyvät epäsuorasti laitteen toimintaan.

Laitteen toiminnan voidaan erotella koostuvan kahdesta päätapahtumasta, joita ovat vanhan kankaan kelaus pois laitteesta ja uuden kankaan syöttäminen laitteeseen. Samanaikaisesti on varmistettava, että laite toimii turvallisesti kaikissa käyttö- ja häiriötilanteissa. Laitteen toiminnan ensimmäiseksi vaiheeksi katsotaan kankaan kiinnittyminen kelattaviin rulliin. Rullat puolestaan kiinnittyvät kankaanvaihtotelineeseen niille tarkoitetuille paikoille. Molempien kankaiden mahdollinen sivuttaissuuntainen siirtyminen on estettävä, ja tarvittaessa tunnistettava. Myös molempien kankaiden sopivalla kireydellä pysyminen on varmistettava, ja löystyminen tarvittaessa tunnistettava. Molempien kankaiden loppuun kelautumista on seurattava. Koneeseen syötettävää kangasta seuraava tunnistin varmistaa, ettei uusi kangas repeydy rullalta. Tämä on mahdollista, sillä kankaat venyvät käytössä, joten uusi kangas on yleensä vanhaa kangasta lyhyempi. Koneesta kelattavaa kangasta seuraava tunnistin varmistaa, ettei pois kelattavan rullan sisään kelaudu myös uuden ja vanhan kankaan välinen liitossauma.

Turvallisuuden kannalta olennaisinta on, ettei ihminen pääse kosketuksiin laitteen liikkuvien osien kanssa laitteen ollessa toiminnassa. Tämä tarkoittaa sitä, että laite ei saa olla käynnissä tai käynnistyä ihmisen ollessa vaara-alueella. Laitteen pitää myös pysähtyä ihmisen mennessä vaara-alueelle. Turvallisuuden varmistamiseksi nielut ja voimansiirtoelimet on suojattava suojuksin. Edellä mainittujen kankaan toimintaa seuraavien tunnistusratkaisujen on myös pysäytettävä laite, mikäli ne havaitsevat häiriön laitteen toiminnassa. Tästä poikkeuksena on pois kelattavan kankaan kireyden tunnistin. Mikäli pois kelattava kangas löystyy, on vain koneen kangasta ajavien hydraulimoottorien pysähdyttävä, ja kankaankelauslaitteen kiristettävä kangas. Kankaan kiristyessä uudelleen, on hydraulimoottorien jälleen

käynnistyttävä. Laitteen toimiessa normaalisti, on sen seurattava käyttäjän antamia komentoja.

Laitteen toimintaperiaate on esitettyä kaaviomuodossa toimintorakenteessa, joka on esitelty kuvassa 4. Toimintorakenteen avulla laitteen toimintaperiaate on jaettu osiin, joille voidaan ideoida erikseen ratkaisuvaihtoehtoja. Ylimmän tason kokonaistoiminto jakaantuu kolmeen päätoimintoon, jotka jakaantuvat edelleen osa- ja sivutoimintoihin.



**Kuva 4.** Kankaanvaihtolaitteen toimintorakenne.

Vaaratilanteiden estämisen tarkempi suunnittelu tässä vaiheessa on mahdotonta, sillä rakenteen vaaroista ei ole tarkkaa tietoa. Toimintorakenteeseen liittämisen kautta turvallisuusnäkökulma saadaan kuitenkin otettua huomioon heti esisuunnitteluvaiheesta lähtien. Nyt turvallisuusratkaisuja aletaan ideoida muun koneen suunnittelun lomassa, millä pyritään lyhentämään riskien pienentämisvaiheen kestoa ja nopeuttamaan siten tuotekehitystä.



Lisäksi suunnittelussa on huomioitava muita laitteen toiminnan kannalta olennaisia asioita, vaikkeivät ne toteutakaan varsinaisia päätoimintoja. Näitä ovat muun muassa valmistusystävällisyyden ja kunnossapidettävyyden mahdollistaminen, sekä kuormitusten kestäminen. Koska ne liittyvät laitteen normaalin toiminnan ulkopuolisiin toimintoihin, on niiden liittäminen toimintorakenteeseen hankalaa. Nämä ovat kuitenkin laitteen toiminnan kannalta olennaisia ominaisuuksia, minkä vuoksi ne on huomioitu suunnittelussa vaatimuslistan kautta.

### **3.1.3 Ratkaisuvaihtoehdot**

Ideoita eri toimintojen toteuttamiseksi kerättiin pitämällä aivoriihi, johon osallistui työntekijöitä yrityksen mekaniikka- ja automaatiosuunnitteluosastoilta, sekä tuotehallinto-, tuotanto- ja huoltopalveluosastoilta. Aivoriihessä toimintorakenteessa määritellyille osa- ja sivutoiminnoille ideoidut ratkaisuvaihtoehdot on koottu liitteeseen XII.

Aivoriihessä syntyneet ideat jaettiin yksittäisiä toimintoja vastaaviksi ratkaisuvaihtoehdoiksi. Koska uuden ja vanhan kankaan kelaamisen osatoiminnot voidaan toteuttaa kireyden säätöä lukuun ottamatta samoilla teknisillä ratkaisuilla, on nämä kaksi päätoimintoa yhdistetty liitteen taulukossa. Turvallisuuteen liittyvistä toiminnoista on jätetty ideoinnista pois käyttäjän komentojen seuraaminen ja automaattinen pysähtyminen. Käyttäjän komentojen seuraaminen on toiminto, joka ei vaadi erityistä ideointia, sillä laitteen ohjaaminen pyritään integroimaan suodattimen ohjaimen. Samassa ohjaimessa on myös hätäpysäytyskytkin. Automaattinen pysähtyminen puolestaan huomioidaan toimintaa seuraavan tekniikan avulla, jota käsitellään jo muissa toiminnoissa. Toimintaa seuraavan tekniikan antamien signaalien perusteella havaitut häiriöt voidaan tulkita pysäytyskäskyiksi.

Aivoriihessä ilmeni että uutta kangasta on jarrutettava, jotta se saadaan ajettua koneeseen suorana. Löysä kangas vaeltaa sivuttaissuunnassa, eikä suodattimen kankaanohjauslaite pysty suoristamaan löysällä olevaa kangasta. Nykyisessä ratkaisussa kyseisen kaltaista jarrua ei ole, mikä vaikeuttaa ja hidastaa kankaan vaihtoa. Myös kankaissa on vaihtelua: saumoja on useita erilaisia, ja kangasrullan hylsyjä kahta eri halkaisijaa. Kangasrullien vaihtelevasta halkaisijasta aiheutuvat ongelmat rajattiin työn ulkopuolelle, mutta saumat vaikuttavat kankaan liittämiseen rullalle, mikä otettiin huomioon ideoinnissa. Lisäksi aivoriihessä ilmeni tarve ylimääräiselle uuden kankaan ohjaimelle, joka estää uuden kankaan hankaamisen laitteen hoitotasoihin kangasta vaihdettaessa. Kyseinen ohjausratkaisu suunnitellaan työn

ohessa, mutta se ei vaikuta muuhun kelauslaitteen rakenteeseen. Liitteessä XII esitellyistä avorihissä laadituista ideoista koottiin toteuttamiskelpoisimmat ratkaisuvaihtoehdot taulukkoon 9.

Taulukko 9. Toteuttamiskelpoisimmat ideat kankaanvaihtolaitteen toiminnoista.

Päätoiminto	Osa-/sivutoiminto	1	2	3	
Ohjaa kangasta	Kiinnittyy kankaaseen	Rullassa liitossauma	Puristus ruuvattavalla levyllä		
	Seuraa kankaan kireyttä	Valokennot	Rullaraja kankaan yläpuolella	Kangasta ajetaan momentinrajoitinta vasten	
	Kiristää kankaan	Sähkömoottori + taajuusmuuttaja	Servomoottori		
	Pitää kankaan sopivalla kireydellä	vanha kangas	Mekaaninen välitys rullien ja koneen kelauksen välillä	Sähkömoottori + taajuusmuuttaja + momentinrajoitin	
		uusi kangas			Mekaaninen jarru
	Seuraa kangasta sivusuunnassa	Valokenno	Mekaaninen rajakytkin	Ei seurantaa, linjaus asennettaessa	
	Liikuttaa kangasta sivusuunnassa tai	Ei tarvita, linjaus asennettaessa			
	liikuttaa rullaa	Ei tarvita, linjaus asennettaessa	sivusuunnassa hydr./ pneum. sylinterillä tai lineaarimoottorilla	kallistamalla veivillä, hydr./ pneum. sylinterillä, tai lineaarimoottorilla	
Pysähtyy (tunnistaa) kun kangas on kelattu	Laskee sauman paikan suodattimen tunnistuksesta	Induktiivinen rajakytkin kelauslaitteessa	Laahaava sauman tunnistava rajakytkin		
Estää vaaratilanteiden syntymisen	Estää käynnistymisen käyttäjän ollessa vaara-alueella	Valoverho			
	Pysäyttää koneen käyttäjän mennessä vaara-alueelle	Valoverho	Käyttökytkimet telineen rakenteessa vaara-alueen ulkopuolella		
	Suojaa käyttäjää nieluilta ja voimansiirrolta	Kiinteät suojukset	Rakenteen turvallinen muotoilu	Ovet sivuilla ”turva-aitana”	

### 3.1.4 Jatkokehittelyyn valittu ratkaisumuunnelma

Kankaan kiinnittämiseksi rullaan päädyttiin käyttämään samanlaista saumaa kuin kankaan päiden yhdistämisessä. Vaikka saumoja on erilaisia, on uuden kankaan ja vanhan kankaan saumojen oltava samanlaisia joka tapauksessa, jotta kankaan vaihtaminen onnistuu. Siispä

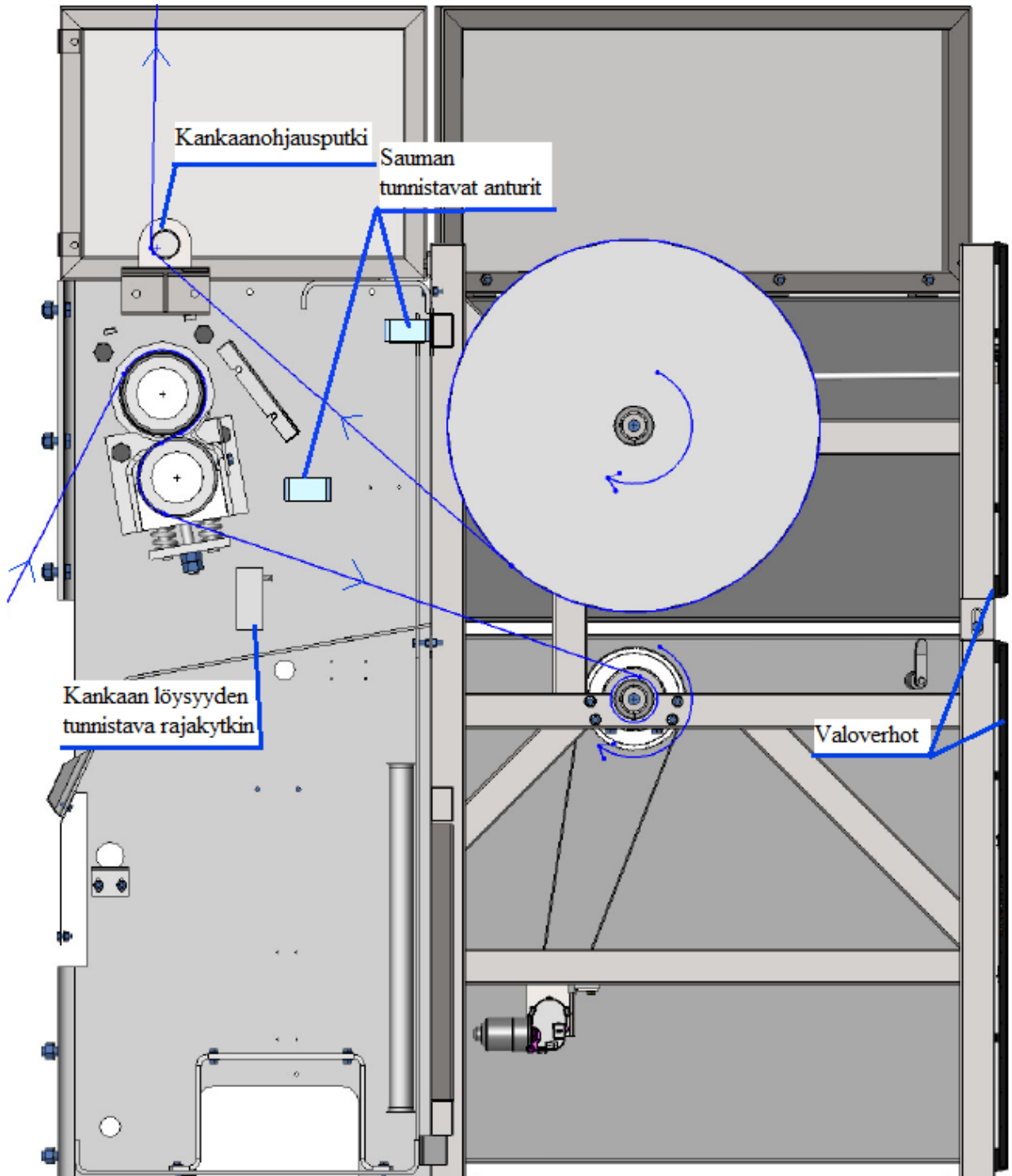
uuteen rullaan vastaavalla saumalla varustetun kankaanpätkän kiinnittämisen ei pitäisi aiheuttaa hankaluuksia. Kankaan kireyttä seuraamaan valittiin alustavasti kankaan yläpuolelle sijoitettava mekaaninen rajakytkin, jonka päässä on kankaan liikettä myötäilevä rulla. Tällä ratkaisulla kankaan löystyminen aiheuttaa välittömästi hydraulimoottorien pysähtymisen, jolloin löysän kankaan aiheuttaman vaaratilanteen muodostuminen ei ole mahdollista. Itse kankaan kelaukseen valittiin alustavasti taajuusmuuttajalla varustettu sähkömoottori, eli tahtimoottori. Pois kelattavan kankaan liiallinen kiristyminen estetään momentinrajoittimen avulla. Koneeseen syötettävän kankaan kireys puolestaan säädetään jarruttamalla uutta kangasta syöttävää akselia mekaanisella jarrulla. Tässä vaiheessa kankaan sivuttaista seuranta ei tehdä. Laitteen rakenne pyritään suunnittelemaan siten, että teline saadaan asennusvaiheessa paikoitettua niin tarkasti, että kankaat kelautuvat oikein sivuttaissuunnassa. Näin ollen myöskään kankaiden sivuttaissuuntaista säätöä ei tarvita. Mikäli uutta kangasta täytyy ohjata sivuttaissuunnassa, pystyy suodattimen kankaanohjauslaite tekemään sen. Tämä on mahdollista, koska teline pitää koneeseen syötettävän kankaan kireällä. Kankaiden kelauksen päättymistä seurataan induktiivisilla antureilla, jotka sijoitetaan kankaanvaihtotelineen rakenteeseen.

Teline pyritään suunnittelemaan sellaiseksi, että se mahtuu suodattimen kankaankelausyksikön olemassa olevien ovien väliin. Näin ovista saadaan muokattua suoja-aidat telineen sivuille. Telineen toinen pääty on suodatinta vasten, jolloin vain yksi telineen sivuista jää avoimeksi. Tähän päätyyn asennetaan valoverhot, jotka pysäyttävät sekä suodattimen kangasta kelaavat hydraulimoottorit, että kankaanvaihtotelineen sähkömoottorin, mikäli käyttäjä tai jokin esine joutuu vaara-alueelle. Valoverhon aiheuttaman pysäytyksen kuitaaminen tapahtuu käsiohjaimesta, ja on mahdollista vasta kun valoverhon havainnointialue on tyhjä. Käyttäjän ei ole mahdollista kuitata valoverhon antamaa pysäytyskäskyä valoverhon sisäpuolelta, sillä silloin käsiohjaimen kaapeli on valoverhon havainnointialueella.

### **3.2 Ratkaisumuunnelman kehittäminen**

Kankaanvaihtotelineen kehittäminen aloitettiin rakenteen ulkomittojen ja kelattavien rullien sijainnin määrittämisestä. Koska ensisijaisena tavoitteena oli saada teline mahtumaan suodattimessa olemassa olevien ovien väliin, olivat suurimmat sallitut äärimitat tiedossa tarkasti. Kankaan leveys aiheutti tärkeimmät rajoitteet telineen sisäpuolisille mitoille.

Kankaiden sijoittelu korkeussuunnassa määräytyi kangasrullien halkaisijoiden ja pyörimissuuntien, sekä kankaan liikeratojen perusteella kelauksen aikana. Kangasrullat asetettiin pyörimään samaan suuntaan, jotta välttyttäisiin nielun muodostumiselta rullien väliin. Kankaiden reittejä kelauksessa, sekä telineen sijoittumista ovien väliin on havainnollistettu kuvassa 5.



**Kuva 5.** Kankaiden kelaussuunnat ja kelaustelineen sijoittuminen.

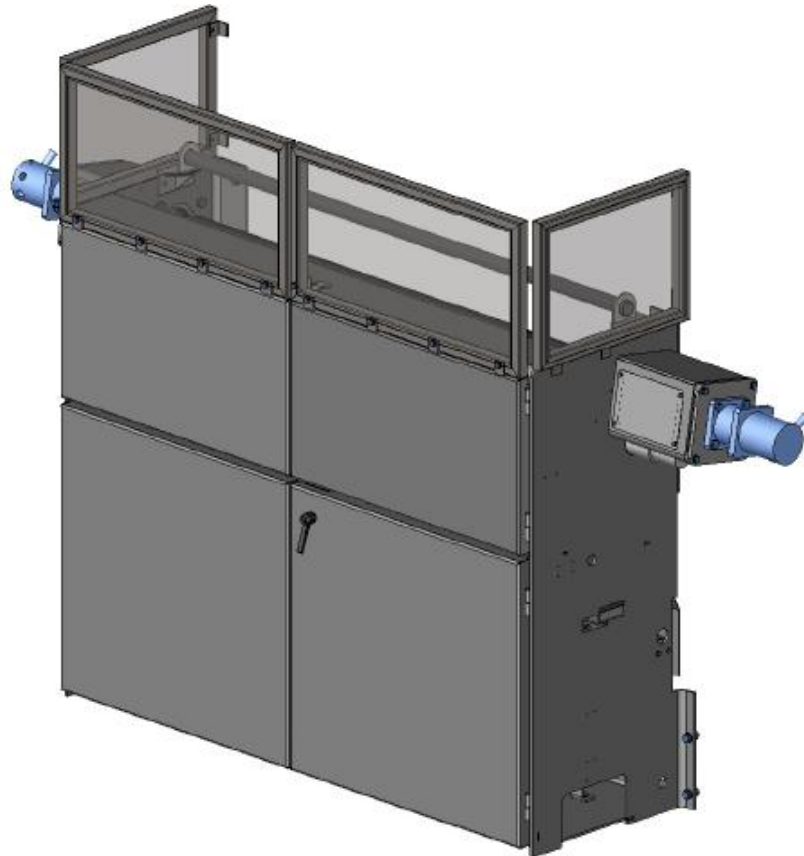
Kuvassa on havainnollistettu tilannetta ennen kankaanvaihdon alkua. Uusi kangasrulla asetetaan telineen yläosaan ja vanha rulla sen alapuolelle. Uusi kangas kiertää nyt suodattimen rakenteeseen lisätyn kankaanohjausputken takaa kankaan vaihdon ajan. Kankaan vaihdon jälkeen kangas päästetään kulkemaan normaalia reittiään irrottamalla ohjausputki ja kiinnittämällä se takaisin paikalleen kankaan toiselle puolelle.

Aivoriihen yhteydessä ilmenneen ongelman kangasrullien hylsyjen halkaisijoiden vaihtelussa todettiin kehittelyvaiheessa vaikuttavan merkittävästi telineen suunnitteluun. Siispä rullien kiinnittäminen telineeseen liitettäviin akseleihin päätettiin sisällyttää työhön. Koska rullien hylsyjä on vain kahta eri halkaisijaa, päädyttiin hylsy kiinnittämään akselille ruuviliitoksella kiristettävällä muovisella kartioholkillä. Kartioholkkeja tarvitaan nyt ulkohalkaisijaltaan kahta eri kokoa. Holkkikoko valitaan kangasta akselille kiinnitettäessä kangasrullan hylsyn halkaisijan perusteella.

Kankaan löystymistä seuraamaan vaihdettiin kankaan alapuolelle suodattimen kankaankelausyksikön runkoon kiinnitettävä rajakytkin, sillä yläpuoleisen rajakytkimen toteuttaminen on hankalaa. Tämä johtuu siitä, että kelauksen aikana rullien halkaisijat muuttuvat merkittävästi, jolloin rajakytkimen pitäisi liikkua kankaan liikeradan muuttuessa. Kuvan 5 ratkaisulla kankaan löystyminen havaitaan viiksirajakytkimellä. Huolimatta kankaan liikeradan muuttumisesta kelauksen aikana, tunnistaa rajakytkin kankaan löystymisen. Kelauksen päättymistä seurataan kankaan sauman tunnistavilla induktiivisilla antureilla, joiden tunnistusetaisyys on säädettävissä 0...60 mm välillä. Toinen antureista kiinnitetään telineen rakenteeseen ja toinen suodattimen kankaankelausyksikön runkoon.

Kangasrullien ja ohjausputken sijainnin perusteella pystyttiin arvioimaan laitteeseen syntyvien vaara-alueiden korkeudet. Vaara-alueiden korkeuksien avulla tehtiin muutokset suojaoviin, joiden väliin teline asennetaan käyttötilanteessa. Suojaovista tehtiin kankaanvaihtotapahtuman ajaksi telineen runkoon kiinnitettävät suoja-aidat, joiden korkeus määräytyi vaara-alueiden korkeuksien ja standardin SFS-EN ISO 13857:2008 mukaan. Myös standardi SFS-EN 953:2009 huomioitiin ovien suunnittelussa. Ovien muutosten lisäksi kankaanohjausputken kohdalle lisättiin suoja-aita. Näin estetään ohjausputkeen ja sen alapuolella olevien kangasta hydraulimoottorien avulla ajaviin teloihin pääsy laitteen toiminnan aikana. Ovien ja suoja-aitojen suojatessa käyttäjää muilta sivuilta, turvataan

avoimeksi jäävä sivu valoverhon avulla. Ovien kiinnittäminen telineen runkoon tehdään ruuviliitoksilla, sillä suoja-aitojen avaaminen ei saa turvallisuussyistä olla mahdollista ilman työkaluja. Samasta syystä ovet ovat kaksiosaiset. Alaovet voidaan normaalitilanteessa avata kahvasta, mutta yläovien avaamiseen tarvitaan työkaluja. Suodattimen normaalin toiminnan aikana kankaankuljetusyksikön ovet ovat kiinni kuvan 6 mukaisesti.



**Kuva 6.** Suodattimen kankaankelausyksikkö normaalitoiminnan aikana.

Koska ovet ja kankaan leveys rajoittivat telineen leveysuuntaista mitoitus, päädyttiin moottori sijoittamaan eri akselille pyöritettävään telaan nähden. Välitys moottorilta telalle päätettiin toteuttaa hammashihnakäytöllä. Hammashihnan valintaa puolsivat hiljainen käyntiääni, kohtuullinen hinta, helposti toteutettavissa olevat valmistustoleranssit, sekä hyvä komponenttien saatavuus. Kiilahihnakäyttöön verrattuna säästyään myös hihnan voimakkaalta kiristämiseltä, jolloin moottorin akselille aiheutuva säteittäiskuormitus pysyy alhaisena. Hihnakäyttöä ei koteloitu, sillä ovet ja valoverho riittävät suojaamaan käyttäjää.

Koska uutta rullaa ei tarvitse erikseen pyörittää vaan se purkautuu hydraulimoottorien vetämänä, päädyttiin se laakeroimaan liukulaakereiden avulla. Laakerit ovat käytännössä muovista koneistettuja uria, joihin rullaan kiinnitetyn akselin päät putoavat rullaa asetettaessa telineeseen. Uutta rullaa jarruttava mekaaninen jarru painaa akselin päitä uria vasten, ja jarruttaa siten pyörimistä pitäen samalla akselin urissa. Vanhaa rullaa sen sijaan pyöritetään sähkömoottorilla, joten rulla täytyy kytkeä mekaanisesti pyöritettävään hihnapyörään. Koska rullan kiinnittämisen ja irrottamisen on oltava helppoa ja nopeaa, päädyttiin kiinnittämisessä käyttämään kuvassa 7 esiteltyä ura-akselia. Hihnapyörässä ja pyöritettävässä telassa on uraholkit, jotka liitetään yhteen ura-akselilla rullan paikalleen asettamisen yhteydessä ennen ovien kiinnittämistä telineeseen ja kelauksen alkua. Kelauksen päätyttyä ovet avataan, ura-akseli vedetään ulos, kankaan sauma avataan ja rulla nostetaan pois telineestä. Kelattavan rullan toisessa päässä on vastaava liukulaakerointi kuin uudessa rullassa, mutta ilman jarrua.



**Kuva 7.** Ura-akseli ja -holkki (Mekanex, 2013).

### 3.2.1 Tärkeimpien komponenttien mitoitukset

Laitteen toiminnan kannalta olennaisimmat mitoituslaskelmat liittyivät kangasta pyörittävän moottorin ominaisuuksiin. Laskelmien lähtöarvoina pidettiin kankaan ajonopeutta huoltotilanteessa, kankaan kireyttä kelauksen aikana, sekä kangasrullan halkaisijaa. Koska kangasrullan halkaisija kasvaa kelauksen edetessä, täytyy moottorin vääntömomentin kasvaa ja pyörimisnopeuden hidastua vastaavassa suhteessa, mikäli kankaan kireys halutaan pitää vakiona. Kangasrullan halkaisijan kasvu vaihtelee suodatinkankaan paksuuden ja pituuden mukaan. Laskelmat on tehty moottorin kannalta haastavimman kangasvaihtoehdon mukaan, eli kankaan paksuuden ja pituuden ollessa suurimmillaan. Taulukkoon 10 on koottu moottorin mitoituksen lähtöarvoina käytettyjä tietoja, sekä niiden perusteella lasketut moottorilta vaadittavat ominaisuudet. Itse mitoituslaskut on esitelty tarkemmin liitteessä XIII.

*Taulukko 10. Moottorin mitoituslaskujen lähtöarvot ja niiden avulla saadut tulokset.*

Kankaan haluttu kireys	200 N
Kankaan huoltoajon suurin nopeus	0,3 m/s
Hylsyn halkaisija	70 mm
Täyden rullan suurin halkaisija (kankaan pituus 156 m ja paksuus 2 mm)	634 mm
Täyden rullan massa	100 kg
Liukulaakerin (Polyasetaalialia) ja akselin (AISI 304L) välinen kitkakerroin	0,15
Moottorin pyörimisnopeusalue	0,96...13,0 rpm
Moottorin vääntömomenttialue	8...80 Nm
Suurin moottorilta vaadittava teho	12 W

Laskuissa käytetty kangasrullan suurin halkaisija määritettiin SolidWorks -ohjelman spiraalitoiminnon avulla. Spiraalin pituus iteroitiin vastaamaan kankaan pituutta asettamalla halkaisijan kasvun kierrosta kohti vastaamaan kankaan paksuutta ja muuttamalla kierrosten lukumäärää. Suodattimissa käytettävistä kankaista paksuin on 1,5 mm paksua, mutta halkaisijan arvioinnissa käytettiin 2 mm paksuutta. Näin pyritään huomioimaan kankaan löysyys kelatessa. Vaikka kangasta pidetään kireällä kelaamisen aikana, voi pienistäkin kankaan vinouksista ja epätasaisesta venymisestä aiheutua kankaan toisen laidan löysyyttä. Mikäli kangas kiristyy vuorotellen eri laidoista, ei kangasrulla kelaudu tiukalle koko matkalta ja rullan halkaisijasta tulee teoreettista arvoa suurempi.

Koska edellisessä taulukossa esitellyt moottorilta vaadittavat pyörimisnopeudet ja teho ovat hyvin alhaisia, mitoitetaan hammashihnakäyttö siten, että pyörimisnopeudet saadaan yleisten moottorivalikoimien kattavalle kierrosalueelle. Hammashihnapyöräksi valittiin rakenteen asettamien rajoitusten puitteissa suurimman mahdollisen välityssuhteen muodostama hihnapyöräpari: Powergrip® HTD® 136-5M-15 ja HTD® 34-5M-15 hammashihnapyörät. Näiden avulla saatiin hammashihnakäytön välityssuhteeksi 4. Hihnakäytön avulla moottorilta vaadittaviksi ominaisuuksiksi saatiin taulukossa 11 esitettävät arvot. Hihnapyörien kiinnitystä ja rullaa kannattelevaa laakeria ei erikseen mitoitettu, sillä kyseisten komponenttien kuormitusarvot ovat reilusti pienemmät kuin niiden suurimmat sallitut. Koska suurempaan hihnapyörään ei ole saatavilla hihnan pyörältä tipahtamisen estävä reunus, lisätään ruuvikiinnityksellä asennettava reunus itse. Näin saadaan varmistettua hihnan paikallaan pysyminen kaikissa tilanteissa.



*Taulukko 11. Moottorilta vaadittavat ominaisuudet hihnäkäyttö huomioiden.*

Suuremman hihnäpyörän jakohalkaisija	216,46 mm
Pienemmän hihnäpyörän jakohalkaisija	54,11 mm
Hammashihnäkäytön välityssuhde	4
Moottorilta vaadittava pyörimisnopeusalue välityssuhde huomioiden	8,1...52,1 rpm
Moottorilta vaadittava vääntömomenttialue välityssuhde huomioiden	2...20 Nm

Taulukossa esiteltyjen arvojen perusteella moottoriksi valikoitui Bosch GmbH:n WSM3-**IK** 24 V jännitteellä toimiva tasavirtamoottori, jonka nimellisteho on 35W. Kyseistä jännitettä käytetään suodattimen instrumentoinnissa, ja myös 12,5 A:n maksimivirta on saatavilla. Moottorissa on itsessään alennusvaihe, jonka välityssuhde on 1:88. Suuren kokonaisvälityssuhteen ja kangasrullan häviävän pienen hitausmomentin vuoksi ei käynnistyksessä tapahtuvan kiihdytyksen aikaista momentin nousua huomioitu mitoituslaskuissa.

Kuten liitteessä XIII esitellystä moottorin ominaiskäyrästä nähdään, kasvaa moottorin tuottama vääntömomentti nopeuden hidastuessa. Näin ollen moottorin nopeuden tai vääntömomentin säätöä ei tarvita, vaan moottoria voidaan ajaa täydellä teholla koko kankaan vaihdon ajan. Säätöjärjestelmän poisjäämisen ansiosta säästöjä syntyy sekä halvan moottorin että säätöjärjestelmän suunnittelun pois jäämisen kautta. Kyseisellä moottorivalinnalla ilman kierrosnopeuden säätöä saadaan kankaan kireydeksi enimmillään kelauksen alkaessa n. 163 N ja vähimmillään kelauksen lopussa n. 92 N. Vähimmilläänkin kankaan kireys riittää kankaan kelaamiseksi tiiviiksi rullaksi, estäen kankaan löystymisestä aiheutuvan vaaratilanteen muodostumisen.

### **3.2.2 Kankaanvaihtolaitteen riskianalyysi**

Ennen varsinaista riskin merkityksen määrittämistä täytyy määritellä laitteen rajat ja vaarat, sekä vaaroista aiheutuvien riskien suuruudet. Riskianalyysin taustatietona käytetään olemassa olevia kankaanvaihtovälineitä, sekä niiden kanssa esiintyneitä ongelmia. Laitteen kanssa tekemisissä olevat henkilöt ovat samoja kuin vanhoissa laitteissa: asentajia, huoltopalveluhenkilöitä ja asiakkaiden vastaavia edustajia. Yhteistä käyttäjille on, että he ovat kaikki alan tuntevia ammattilaisia. Koska kankaan vaihto on huoltotoimenpide, on sen kanssa harvoin tekemisissä vierailijoita tai muita laitteen vaaroista tietämättömiä henkilöitä.

Laitteen elinkaaren vaiheisiin kuuluvat kuljetus-, asennus-, käyttö-, purkamis-, kunnossapito-, varastointi- ja romuttamisvaiheet. Laitteen yksinkertaisen rakenteen vuoksi kuljetukseen, varastointiin ja romuttamiseen ei liity yllättäviä vaaroja. Siksi näitä vaiheita käsitellään riskianalyyssissä lyhyesti. Laitteen kiinnittäminen kuljetusta varten, sekä nostaminen on mahdollistettu putkirungon avulla, joka tarjoaa monipuoliset kiinnitysmahdollisuudet. Laitteen painopiste sijaitsee lähellä sen keskipistettä kevyen voimansiirron ansiosta, joten suorassa nostaminen ei aiheuta ongelmia. Telineen massa ilman kangasrullia on vain noin 90 kg, minkä ansiosta myös käsin liikuttaminen on mahdollista. Ergonomiasäännösten vuoksi telineettä ei kuitenkaan saa siirtää ilman rullaavaa alustaa, jota suositellaan käytettäväksi, mikäli nosturin käyttö ei ole mahdollista.

Laitteen komponentit toimivat kaikki 24 voltin tasajännitteellä, joka on siis laitteen ainut energianlähde. Koska laitteen tasavirtalähde toimii alle 75 voltin jännitteellä, se ei kuulu piensähködirektiivin 2006/95/EY alueeseen. EMC-direktiivi sen sijaan koskee laitetta, sillä sähkömagneettinen häiriö ei suoranaisesti riipu laitteen jännitteestä. Laitteen sähkömagneettisesta säteilystä mahdollisesti häiriintyviä komponentteja ovat anturit, valoverhot ja moottori. Koska anturit ja valoverhot ovat CE-merkittyjä turvalaitteita, voidaan olettaa niiden täyttävän sähkömagneettista häiriötä koskevat turvallisuusvaatimukset. Lisäksi moottoriin pahimmassa tapauksessa aiheutuvat häiriöt eivät aiheuta vaaratilanteita. Moottorin sähkömagneettista häiriintymistä pidetään erittäin epätodennäköisenä, ja pahimmassakin tapauksessa aiheutuvat häiriöt voidaan mitä todennäköisimmin poistaa koteloidamalla moottori, mikä ei aiheuta muutoksia muuhun rakenteeseen. Siksi moottorin sähkömagneettisen häiriön sietotasoa ei tutkita tarkemmin, vaan tyydytään testaamaan asiaa prototyypivaiheessa. Siispä energianlähteen osalta laitteesta on huolehdittava ainoastaan asianmukainen energianlähteestä erottaminen siinä vaiheessa, kun laite ei vielä ole toimintavalmiina.

### **Kankaanvaihtolaitteen rajat ja vaarat**

Kankaanvaihtolaitteen rajat määriteltiin kappaleessa 2.3.1 esitellyn taulukon 2 avulla käyttäen vastaavaa luokittelua. Teknisessä raportissa SFS-ISO/TR 14121-2:2013 raja-arvojen määrittämiseen on sisällytetty myös kuvaus koneen mekaanisista ja fyysisistä ominaisuuksista, toiminnoista, suorituskyvystä ja käyttötavoista. Tässä työssä näitä aiheita on käsitelty jo toiminnan ja rakenteen kuvauksissa riittävässä määrin raja-arvojen määrittämiseksi riskien arviointia varten. Siksi tähän kappaleeseen on kerätty ainoastaan laitteen riskien

arvioinnin kannalta olennaisimmat raja-arvot. Laitteelle määritetyt rajat on esitelty taulukossa 12.

*Taulukko 12. Kankaanvaihtolaitteen rajat.*

Käyttö- rajat	Käytön aikana ihminen vaikuttaa koneeseen ohjaimen kautta. Ihminen ei pääse vaikuttamaan koneeseen muulla tavalla ilman että kone pysähtyy: Koneen yksi sivu on suojattu valoverhoilla, ja muut kiinteillä suojuksilla.
	Kone liitetään toimimaan suodattimen kanssa, joten sitä ei voida käyttää omana laitteenaan, ellei johdotuksiin tehdä muutoksia. Koneetta ei voida käynnistää, ellei suodattimesta ole huoltoajotoiminto valittuna.
	Koneen käyttäjät ovat laitteen toiminnan tuntevia ammattilaisia, tai heidän kouluttamia henkilöitä.
Tilarajat	Laitteen liikkeet tapahtuvat telineen rakenteen ulkomittojen sisällä lukuun ottamatta hammashihnakäyttöä. Hammashihnakäyttö on suojattuna sivusuojina toimivien ovien takana. Ovet kiinnitetään telineen runkoon pultiliitoksella kankaan vaihdon ajaksi.
	Koneen käyttäjien tarvitsema tila on vastaava kuin mikä vaaditaan varaamaan huoltotilaksi suodattimen takaosasta myös ilman kankaanvaihtolaitetta.
Aikarajat	Laitteen huoltoa tarvitsevat osat ovat hammashihna ja moottori. Käyttövoimat ovat kuitenkin niin pieniä, että hammashihnan vaihto on ajankohtaista lähinnä ympäristöolosuhteiden aiheuttaman vanhenemisen takia. Kovimmalle kuormitukselle rakenteen osista joutuu moottori, mutta sen elinikä selviää vain testaamalla. Lisäksi olosuhteet vaihtelevat asiakkaan tehdasympäristön mukaan.
	Varsinaista huoltoväliä on myös vaikea määrittellä, koska kone on huoltotyökalu, ja sitä voidaan käyttää vain kerran vuodessa tai jopa kerran vuorokaudessa. Laitteen kunto tulisi kuitenkin tarkistaa aina ennen käyttöä ja mielellään käytön jälkeen. Olennaisimpia tarkastuskohteita ovat hammashihnakäytön komponentit, laakeri ja moottori. Erityistä huomiota on kiinnitettävä moottorin mahdolliseen ylikuumentumiseen. Päivittäisessä käytössä riittää viikoittainen tarkastus ja käytön aikainen moottorin lämpötilan seuranta.
Muut rajat	Kunnon tarkastuksen yhteydessä on tarkastettava, ettei hammashihnakäyttöön, laakereihin tai uraholkkiin ole kerääntynyt likaa. Etenkin hammashihnakäyttö on pidettävä puhtaana öljystä ja abrasiivisista kiintoainepartikkeleista.

Seuraavaksi määriteltiin kankaanvaihtolaitteen vaarat käyttäen apuna koneelle määriteltyjen rajojen lisäksi kappaleessa 2.3.1 esiteltyä taulukkoa 3, teknistä raporttia SFS-ISO/TR 14121-2:2013, sekä standardin SFS-EN ISO 12100:2010 liitettä B. Viimeisimpänä mainittu liite muodostaa myös yrityksen käyttämän ohjelmiston vaaralistat. Koneen vaarojen määrittämisessä käytettiin teknisessä raportissa esiteltyä menetelmää vaarojen tunnistamiseksi lomakkeiden avulla. Edellä mainitussa teknisessä raportissa muistutetaan, että hyväksi

havaittuun tarkastuslistaankaan ei kannata luottaa sokeasti, vaan ajatella laitteen vaaroja tapauskohtaisesti (SFS-ISO/TR 14121-2:2013, s. 14). Siispä vaarojen tunnistamisessa ja listaamisessa pyrittiin olemaan erityisen huolellisia. Koneen vaarat sen elinkaaren aikana on esitelty liitteessä XIV. Liitteen taulukon pohja on muokattu teknisen raportin SFS-ISO/TR 14121-2:2013 liitteen A taulukoista.

Vaaralista tehtiin yhteistyössä laitteen suunnittelupäällikön kanssa. Koska koneturvallisuusratkaisut ovat olleet mukana tuotesuunnittelussa alusta lähtien, yhdistettiin vaaralistaan tieto siitä, onko käsitelty vaara poistettu suunnitteluratkaisuin, vai onko jäännösriskiä jäljellä. Näin säästyttiin ylimääräiseltä iterointikierrokselta riskianalyyssissä ja päästiin siirtymään suoraan mahdollisten vaaratekijöiden torjuntaan.

### **Kankaanvaihtolaitteen riskien suuruus ja merkitys**

Liitteessä XIV esitellyn vaaratekijöiden arvioinnin perusteella laitteen rakenteeseen jäi kuusi turvallisuusriskiä. Näistä kolme olivat lähinnä rakenteellisia vahinkoja aiheuttavia riskejä, joiden lisäksi todettiin laitteen tarvitsevan erillisen lukittavan päävirtakytkimen energianlähteestä erottamiseksi huolto- ja asennustöiden ajaksi. Näiden ongelmien aiheuttamien riskien suuruutta ja merkitystä ei tarkastella tässä kappaleessa tarkemmin. Kyseiset riskit täytyy poistaa laitteen toiminnan varmistamiseksi. Riskit poistetaan yksinkertaisin suunnittelutoimenpitein, jotka on esitelty tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Riskin suuruuden arviointi tarvitaan jäännösriskeille, joista voi mahdollisesti aiheutua henkilövahinkoja. Näitä riskejä aiheuttavat vaarat olivat koskettaminen kuumentuneeseen moottoriin ja joutuminen kosketuksiin kangasrulliin, niiden väliseen nieluun, tai hammashihnakäyttöön. Riskien mahdollisten seurausten vakavuudet arvioitiin käyttämällä kappaleessa 2.3.1 esiteltyä taulukkoa 4, jonka jälkeen riskien suuruudet arvioitiin käyttämällä samassa kappaleessa esiteltyä taulukkoa 6.

Hammashihnakäytön riskien vahingon pahin uskottavissa oleva seuraus luokiteltiin vakavuudeltaan kohtalaiseksi. Vahinkojen vakavuutta rajoittaa pieni moottori, jonka vääntömomentti ei riitä vakavien vammojen tuottamiseen. Vaikka hammashihnan nieluihin tai liikkuviin osiin joutuu tai takertuu jotain, ei moottorin teho riitä kankaan kelauksen lisäksi

suuren ylimääräisen voiman tuottamiseen hammashihnakäytön osalta. Siispä esimerkiksi luun murtumat ovat epätodennäköisiä.

Laitteen sivusuojina toimivat ovet on mahdollista jättää kiinnittämättä telineen runkoon. Tämä on myös tyypillinen esimerkki työn tekemisestä helpoimman ja nopeimman tien kautta. Siispä laitetta käytettäessä voidaan ajatella käyttäjän jättävän ovet auki, ja altistuvan vaaralle usein. Vaikka vaaran välttäminen on käyttäjälle mahdollista, voidaan vaaran esiintymisen todennäköisyyden arvioida olevan keskitasoa. Tällöin ovien auki ollessa hammashihnakäytön ja rullien riskin suuruudeksi saadaan taulukkoa 6 mukailleen numeroarvo 4. Kuumentuneeseen moottoriin koskeminen on vastaavalla tavalla mahdollista, mutta moottorin sijainti hammashihnakäytön takana ja lähempänä lattiaa suojaa käyttäjää hieman paremmin. Siispä vaaran esiintymisen todennäköisyys arvioidaan matalaksi, ja kuumentuneen moottorin aiheuttaman riskin numeroarvoksi saadaan 3. Riskien suuruuksien numeroarvoista voidaan suoraan päätellä, että toimenpiteitä riskien pienentämiseksi tarvitaan.

### **Toimenpiteet riskin pienentämiseksi**

Koska kuumentuneeseen moottoriin itsensä vahingoittaminen on mahdollista myös laitetta irrotettaessa, vaatii moottori suojuksen, joka suojaa käyttäjää myös käytön päätyttyä. Siispä moottorin ympärille suunnitellaan suojus, jonka avulla vaaraa saadaan pienennettyä. Koska suojuksen kuumentuminen on myös todennäköistä, ei vaaraa kuitenkaan saada kokonaan poistettua. Suojuksen avulla lämpötilaa saadaan kuitenkin laskettua siten, että vahingon vakavuus laskee vähäiseksi. Vaaran välttäminen on edelleen mahdollista, mutta esiintymisen todennäköisyys korkea. Näin riskin suuruuden numeroarvoksi saadaan 1. Jäännösriski on nyt siedettävällä tasolla, mutta koska suojan kuumentuminen on erittäin todennäköistä, täytyy käyttäjää varoittaa siitä käyttöä koskevissa ohjeissa.

Hammashihnakäytön ja rullien suojaus onnistuu ovien kiinni olemisen havaitsevilla rajakytkimillä, jotka eivät salli koneen käynnistymistä ovien auki ollessa. Koska hammashihnakäyttö tulisi pitää puhtaana, ja telineen käyttöympäristölle tyypillistä on likaisuus ja pölyisyys, kannattaa hammashihnakäyttö kuitenkin jo toiminnallisista syistä suojata kiinteillä mekaanisilla suojuksilla. Samalla saadaan poistettua hammashihnakäytöstä aiheutuvat riskit. Liikkuvan kankaan terävät reunat ja karhea pinta voivat edelleen aiheuttaa vähäisiä vahinkoja, joiden esiintymisen todennäköisyys on korkea, mutta välttäminen

mahdollista. Siispä pelkästä kankaan liikkumisesta aiheutuvat riskit ovat siedettävällä tasolla, kun niistä varoitetaan käyttöä koskevissa ohjeissa.

Kankaanvaihtotapahtuman puolivälissä kangasrullat ovat lähimmillään toisiaan, jolloin rullien väliin jää vähimmillään arvioiden mukaan noin 2 cm tilaa. Vaikka kangasrullat pyörivät samaan suuntaan, eikä varsinaista sieppaavaa nielua synny, on rullien väliin kuitenkin mahdollista jättää sormensa. Tämä on mahdollista etenkin, jos käyttäjä alkaa oikaisemaan sivuun ajautunutta kangasta käsin telineen sivupuolelta kankaan liikkeessä, eikä päästä kankaasta irti riittävän ajoissa. Tällöin käyttäjän käsi voi ajautua rullien väliseen nieluun, mistä voi seurata hiertymävamma, tai pahimmillaan käden vääntyminen. Koska ihmisen ranne on suhteellisen heikko ja monimutkainen nivel, on vaikea arvioida kuinka kovaa vääntämistä se kestää. Toisaalta ylempää kangasrullaa pyörittää suodattimen hydraulimoottorit, joten vaikka sähkömoottori pysähtyisi ennen käyttäjän ranteen vääntymistä, jatkaa hydraulimoottorit uuden kankaan pyörittämistä. Hydraulimoottorien teho riittää varmuudella ihmisen ranteen murtamiseen, joten vaarasta voidaan ajatella aiheutuvan pahimmillaan kohtalaisen vahingon. Koska vaaran esiintymisen todennäköisyys on korkea, ei pelkkä hammashihnakäytön suojaus riitä laitteen riskien saattamiseksi turvalliselle tasolle. Siispä edellä mainitut rajakytkimet sivusuojien kiinni olemista havainnoimaan tarvitaan. Rajakytkimien avulla kangasrullien välisen nielun vaara saadaan poistettua ja laitteen turvallisuusriskit saadaan saatettua siedettävälle tasolle.

Riskien siedettävä taso vaatii, että käyttäjiä kielletään tekemästä rakenteellisia muutoksia laitteeseen, ja käyttämästä laitetta muuhun kuin sille tarkoitettuun käyttöön. Vaikka riskianalyyssissä on otettu huomioon tietyt väärinkäyttömahdollisuudet, ei esimerkiksi rajakytkimien poistamista tai muulla tavalla kiertämistä voida huomioida. Turvallisuustekijöiden kiertäminen lasketaan rakennemuutoksiksi, jotka eivät kuulu kohtuudella ennakoitavissa olevan väärinkäytön rajoihin.

Henkilövahinkojen lisäksi riskianalyyssissä havaittiin rakenteessa vaaratekijöitä, jotka voivat aiheuttaa rakenteellisia vahinkoja laitteeseen. Yksi rakenteellisia vahinkoja mahdollisesti aiheuttavista riskeistä on kelattavan rullan akselin vapaan pään nouseminen laakeroidusta urastaan, joka voi aiheuttaa muun muassa rullan toisen pään laakeripesän vahingoittumisen.

Tätä varten vapaaseen päähän suunnitellaan akselin urasta nousemisen estävä suljettava salpa, jonka avulla riski saadaan poistettua.

Toinen rakenteellisia vahinkoja mahdollisesti aiheuttavista riskeistä on sauman tunnistimen rikkoontuminen, tai muu sauman tunnistuksen epäonnistuminen. Rullan kiinnitettävä kankaan pätkä, johon suodattimeen asennettava uusi kangas on kiinnitetty, on kiinnitettävä rullan hylsyyn riittävän kevyesti, esimerkiksi liimaamalla. Tällöin mikäli sauman tunnistus epäonnistuu, repeää kankaan pätkä irti rullan hylsystä, eikä itse laitteen rakenteelle aiheudu vahinkoja. Vanhaa kangasta havainnoivan saumantunnistimen epäonnistuessa sauman tunnistuksessa ei varsinaisesti aiheudu riskejä. Pahimmassa tapauksessa mikäli käyttäjä ei huomaa että sauman tunnistus ei toimi, kelautuu sauma rullalle kunnes uuden kankaan tunnistin reagoi saumaansa. Mikäli molemmat saumantunnistimet epäonnistuvat sauman tunnistuksessa, ajaa kone uutta kangasta suodattimeen kunnes se pysäytetään. Jos kelaamista jatketaan edelleen, vanha kangas kelautuu ulos kokonaan, jonka lisäksi rullalle kelataan uutta kangasta kunnes kelauslaitteen moottorin teho ei riitä rullan pyörittämiseen. Tällöin kelattava kangas löystyy ja löysyyden tunnistava rajakytkin pysäyttää hydraulimoottorit. Normaalitylanteessa koneen käyttäjä näkee helposti sauman kelautumisen rullalle ja pysäyttää laitteen.

Kolmas mahdollinen rakenteellisia vahinkoja aiheuttava vaara toteutuu, mikäli kankaan löysyyden tunnistus ei toimi. Tällöin kangas pääsee kelautumaan suodattimen vetotelan ympärille, mikä aiheuttaa kankaanvaihtotelineessä kankaan kelaussuunnan vaihtumisen. Tästä voi olla seurauksena kelausmoottorin rikkoontuminen, ja pahimmassa tapauksessa myös muita rakenteellisia vahinkoja. Rajakytkimen vikaantuminen on kuitenkin epätodennäköistä, ja käyttämällä rajakytkimiä kankaan molemmissa laidoissa, saadaan riskin todennäköisyys pidettyä siedettäviin rajoihin. Kahta rajakytkintä käyttämällä voidaan asettaa kaikki moottorit pysähtymään silloin, kun kytkimet antavat eri arvot, ja pelkät hydraulimoottorit pysähtymään molempien kytkinten aktivoituessa samaan aikaan. Eriävät signaalit kertovat joko toisen rajakytkimen vikaantumisesta, tai siitä että kangas on ajautunut liian sivulle, ja sen lisäksi löystynyt. Sivulle ajautuneen kankaan vuoksi kelauslaite on joka tapauksessa pysäytettävä kankaan oikaisemisen ajaksi.

### 3.3 Kustannusarvio

Laitteen alustavasti suunnitellun rakenteen pohjalta tehtiin kustannusarvio laitteen valmistuskustannuksista. Valmistuskustannusten laskennassa on käytetty oletuksena, että laite valmistetaan Suomessa. Kustannusarvio on tehty yksittäiselle tuotteelle, ja käytetyt hinnat eivät sisällä arvonlisäveroa. Käytännössä tehty kustannusarvio koskee siis itse valmistettavaa prototyyppiä, ja mahdollinen tuotantomalli saadaan todennäköisesti valmistettua edullisemmin. Laitteen suurimmat kustannukset syntyvät valoverhoista ja telineen hitsattavasta rungosta. Muita kustannuksia muodostavat suuruusjärjestyksessä moottori ja muut sähköosat, kokoonpano, akselit ja muut koneistettavat metalli- ja muoviosat, kelattavan rullan laakeroinnin osat, kiinnitystarvikkeet ja hammashihnakäytön osat.

Hintojen arvioinnissa on sovellettu insinööritoimisto Etteplan Design Center Oy:n ostajien käyttämiä tietoja teräksen hinnoista, sekä hitsattujen ja koneistettujen rakenteiden keskimääräisistä kilohinnoista, jotka vastaavat myös diplomityön teettäjäyrityksen omia teräksen hintaseurannan nykyarvoja. Laskennoissa käytettyjen hintojen arvot on kerätty taulukkoon 13.

*Taulukko 13. Kustannusarviossa käytetyt terästen kilohinnat, sekä työkustannusten hinnat (Huuskonen, 2013).*

Rakenneteräs (S235)	0,7 €/kg
Ruostumaton teräs (AISI 304L)	2,6 €/kg
Hitsattu ja koneistettu putkirakenne (S235)	14 €/kg
Hitsattu ja koneistettu putkirakenne (AISI304L)	20 €/kg
Kokoonpanon tuntihinta	32 €/h

Laskennoissa sovellettuja hitsattujen ja koneistettujen rakenteiden keskimääräisiä kilohintoja käytetään yleisesti kyseisen kaltaisten rakenteiden valmistuskustannusten arvioinnissa. Taulukossa mainittu ruostumattomasta teräksestä hitsaamalla ja koneistamalla valmistettujen putkirakenteiden keskimääräinen kilohinta on arvioitu terästen perusmateriaalin hintojen ja rakenneteräksen valmistuksen kilohinnan perusteella. Ruostumattomat koneistetut ja hitsatut osat eivät muodosta merkittävää osaa rakenteen kustannuksista, joten karkeakaan arvio keskimääräisestä kilohinnasta ei vaikuta kokonaiskustannusarvioon merkittävästi. Rakenneteräksestä valmistetun hitsatun ja koneistetun putkirakenteen kilohintaan on sisällytetty maalaus kustannukset. Eri koneistettavien alikokoonpanojen ja osien hinnat



arviointitietoineen on koottu taulukkoon 14. Samaan taulukkoon on koottu myös muiden rakenteen komponenttien kustannusarviot.

*Taulukko 14. Kankaanvaihtotelineen kustannusarviointitiedot (Huuskonen, 2013; Etra, 2013; SKF, 2012; SKS (SKS Group), 2013; Rantanen, 2013; Mäkelä, 2013; Ferrometal, 2009).*

<b>Komponentti</b>	<b>Hinnan arviointitiedot</b>	<b>Hinta</b>
Valoverhot tarvikkeineen	Tarjous: Sick	3740 €
Telineen runko	73 kg, 14 €/kg	1022 €
Sähkömoottori	Tarjous: Diagno Finland Oy	40 €
Rajakytkimet & induktiiviset anturit (yht. 6 kpl)	Kokemusperäinen hinta-arvio	300 €
Sähkökaapelit liittimiseen ja kaapelikoreineen	Kokemusperäinen hinta-arvio	250 €
Rullien akselit	6 kg, 20 €/kg	120 €
Liukulaakerit ja jarrupalat	6 kpl, POM	100 €
Rullien muoviholkit	4 kpl, PP	80 €
Ylärullan jarrujen osat	1,2 kg, 14 €/kg	16,8 €
Pidätinrenkaat ja ura-akseli	1 kg, 20 €/kg	20 €
Moottorin ja hammashihnakäytön suojukset	1,5 kg, 14 €/kg	21 €
Laakeripesä	1 kg, 20 €/kg	20 €
Laakeri	SKF-laakerihinnasto	52,22 €
Kiinnitystarvikkeet	Ferrometal-ruuvihinnasto	61€
Hammashihnakäytön osat	Tarjous: SKS-mekaniikka	52,10 €
Kokoonpano	15 h, 32 €/h	480 €
<b>Koko rakenne yhteensä</b>		<b>6375,12 €</b>

Kiinnitystarvikkeiden hinnat on laskettu käyttämällä tukkujen kappalehintoja. Kokoonpanopaikassa oletetaan siis olevan hyllytavarana kyseisiä kiinnitystarvikkeita, jolloin suuria tukkueriä ei tarvitse erikseen ostaa telineen valmistusta varten. Koneistettavien muoviosien hinnat on arvioitu Internetistä saatavien koneenrakennusmuovien hintatietojen avulla. Tarvittavat levyjen ja tankojen koot ovat huomattavasti pienempiä kuin yleiset toimitusaihioiden koot, mutta toisaalta yritys saa muoviosien aihiot todennäköisesti edullisemmin sopimustoimittajaltaan. Muoviosien hinta koostuu joka tapauksessa pääosin koneistuskustannuksista. Vaikka käytettävien muovien koneistettavuusominaisuudet ovat hyvät, on koneistaminen kallista suhteessa materiaaleihin.

## 4 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä kappaleessa on käsitelty tulosten luotettavuutta, virhelähteiden ja niiden merkitysten kautta. Tarkasteltavat tulokset on jaettu neljään kappaleeseen. Kankaanvaihtolaitteen suunnitteluvaiheita käsitellään kappaleessa 4.1. Kappaleessa 4.2 käsitellään lopullisen rakenteen toimivuutta ja kustannusarviota. Kappaleessa 4.3 käsitellään riskianalyysin tuloksia ja luotettavuutta, ja kappaleessa 4.4 käsitellään EU-direktiivien täyttymistä ja laitteen luokittelun onnistuneisuutta ja sen vaikutuksia tuotteistamiseen.

### 4.1 Laitteen suunnittelun tarkastelu

Suunnitellun laitteen onnistuneisuutta voidaan arvioida vertaamalla sitä suunnitteluvaiheen alussa laadittuun vaatimuslistaan. Tämän laitteen osalta voidaan yleisesti todeta, että suunniteltu laite vaikuttaa ennen prototyypin testausta hyvältä. Laitteelle asetetut vaatimukset toteutuvat pääosin hyvin, jonka lisäksi myös suurin osa toivomuksista on saatu toteutettua. Mahdollisen tuotteistuksen kannalta on tärkeää myös, että valoverhoja lukuun ottamatta laitteen valmistuskustannukset on saatu pidettyä riittävän matalalla tasolla, mikä parantaa laitteen myymisen mahdollisuuksia.

Kankaanvaihtolaitteen suunnittelussa edettiin pääosin järjestelmällisen koneensuunnittelun ohjeistuksen mukaan. Poikkeuksena tyypillisesti tehtävä ratkaisumuunnelmien pistearviointi jätettiin pois. Pistearviointimenetelmää käytetään yleensä parhaan mahdollisen ratkaisun löytämiseksi, ja vaihtoehtoisten ratkaisujen objektiivisen analysoinnin varmistamiseksi. Tässä työssä käsiteltävä laite nähtiin kuitenkin toimintaperiaatteeltaan sen verran yksinkertaiseksi, että tarkkaan vaihtoehtojen punnitsemiseen ei nähty tarvetta lähteä. Myöskään objektiivisuutta ei nähty välttämättömänä: Yrityksen käytössä olevat ratkaisut tarjoavat paremmat toimittajavaihtoehdot ja toimitusajat, sekä edullisemmat toimitushinnat. Tuttuja tekniikoita käyttämällä vältetään myös yllättäviltä hankaluuksilta, joita ei ole osattu huomioida suunnitteluvaiheessa. Uusien ratkaisujen aiheuttamien mahdollisten ylimääräisten testien ja kustannusten vuoksi valittiin siis parhaalta vaikuttavat ratkaisut kehiteltäviksi ilman pistearviointia. Lisäksi pistearviointimenetelmäkään antamat tulokset eivät varsinkaan varhaisessa suunnitteluvaiheessa ole täysin luotettavia (Norton, 2004, s. 13).

Suunnitteluvaiheista myös abstrahoinnin tarpeellisuus tämän työn osalta jäi kyseenalaiseksi. Suunnittelun taustatiedot ja tavoitteet olivat selvillä kohtuullisen tarkasti ennen suunnittelun aloittamista, sillä nykyisen kankaanvaihtotyökalun heikkoudet ja kehityskohteet olivat tiedossa. Niinpä abstrahoinnin tuloksena syntynyt abstrahointilause ei antanut merkittävää lisäarvoa laitteen suunnitteluun.

Vaikka suunniteltu kankaanvaihtolaite on toimintaperiaatteeltaan ja rakenteeltaan melko yksinkertainen, tuli suunnittelun aikana vastaan useita haasteita. Näitä aiheuttivat muun muassa tilan ahtaus, rullien halkaisijoiden muutokset ja turvallisuusvaatimukset. Hihnakäytön komponentit ja rullien kiinnittäminen akselille täytyi toteuttaa mahdollisimman pienessä tilassa. Siksi valmiiden komponenttien löytäminen oli hieman työlästä, ja muun muassa laakeripesä täytyi suunnitella itse. Jotta vanha rulla saadaan poistettua telineestä, täytyi telineen putkirunkoon tehdä poistamista helpottava aukko. Aukko hankaloitti myös valoverhojen ja kaapelointien suunnittelua. Rullien halkaisijoiden muutokset puolestaan vaikuttivat kankaiden liikeratoihin merkittävästi, ja asettivat haastavat vaatimukset kelausmoottorille. Ottaen huomioon pienen vääntömomentin ja tehontarpeen, vaadittiin moottorilta kohtuullisen laajat nopeusalueet huolimatta siitä minkälaista välitystä rullan ja moottorin välillä käytetään. Moottorivaihtoehtoja ei ollut useita, mutta valitulla ratkaisulla saadaan toteutettua ominaisuuksien lisäksi tiukat kustannusvaatimukset.

## **4.2 Laitteen rakenteen ja kustannusarvion tarkastelu**

Lopputuloksen toimivuuden arviointi ilman prototyyppiä on vaikeaa. Pääosin laitteen toimintaperiaatteen yksinkertaisuuden vuoksi suuria riskejä laitteen toimimattomuudesta ei ole. Laitetta on kuitenkin testattava ennen tuotteistamista toimivuuden lisäksi riskianalyysin oikeellisuuden varmistamiseksi. Itse mekaaninen toimivuus olisi arvioitavissa myös koneen simuloinnin avulla, mutta ottaen huomioon laitteen yksinkertaisuuden ja hintaluokan, on toimivan prototyypin tekeminen simulointia nopeampaa ja halvempaa.

Suurimmat epävarmuuskohdat laitteen toiminnassa ovat moottorin kestäminen hitaita pyörimisnopeuksia lämpenemättä, sekä kankaan sivuttaisesta vaeltamisesta mahdollisesti aiheutuvat ongelmat. Moottoria käytetään nimellisarvoonsa nähden suhteellisen hitaasti, jonka seurauksena sen tarvitsema virta on suhteellisen lähellä maksimiarvoaan suuren osan käyttöajastaan. Tämä voi aiheuttaa ongelmia moottorin lämpenemisen ja kestoiän kanssa.

Toisaalta moottoria käytetään yleensä harvoin, ja tiheämmässäkin käytössä sillä on aikaa jäähtyä kankaan vaihtojen välissä. Kankaan sivuttaissuuntainen vaeltaminen voi aiheuttaa ongelmia kankaanvaihdon yhteydessä, sillä telineen nykyisellä rakenteella kankaan suoristaminen on hankalaa. Koska laitteen sivuja suojaavat ovet estävät kankaaseen koskemisen, ja ovat kiinni telineessä pulttiliitoksin, on pulttiliitos avattava aina kun kankaan sivuttaista sijainti täytyy korjata. Ovien avaamisen tarvetta täytyykin tutkia prototyypin käyttötesteissä. Mikäli kankaan asentoa joudutaan korjaamaan usein, voidaan ovien kiinnitys muuttaa pikakiinnitykseksi. Tämä on mahdollista kun ovien kiinni olemista seurataan rajakytkimillä.

Kankaan sivuttaissuunnassa vaeltaminen aiheutuu tällä hetkellä yleensä kankaan asennusvaiheessa, kun kangasta joudutaan pitämään löysällä, jottei se repeydy huoltotasojen teräviin kulmiin. Telineen ja kankaanohjausputken avulla kangas saadaan pidettyä kireällä, jolloin kankaan sivuttaissuuntaisen vaeltamisen pitäisi vähentyä merkittävästi. Kankaan sivuttaista siirtymistä voi aiheuttaa myös uuden rullan epätasainen jarrutus. Mikäli jarrut on kiristetty epätasaisesti, voi kangas pyrkiä ajautumaan toiseen laitaan.

Uuden rullan jarruttamisella on vaikutusta myös kankaanohjaustankoon. Koska jarrutusvoima pysyy vakiona kelauksen ajan, vaikka kangasrullan halkaisija pienenee kohti loppua, kiristyy kangas vastaavasti loppua kohden. Siispä kankaanohjaustanko joutuu suuremman rasituksen kohteeksi kelauksen lopussa. Samalla tanko hankaa yhä voimakkaammin kankaaseen. Vaikka tankona käytetään sileäpintaista ruostumatonta teräsputkea, voi sen pinta ajan myötä karheutua ja aiheuttaa kankaan kulumista. Tämä on kuitenkin varsin epätodennäköistä, ja kulunut putki voidaan tarvittaessa vaihtaa. Kankaanohjausputken taipuminen ja sen mahdolliset seuraukset ilmenevät testivaiheessa, samalla kun selvitetään ruuvikiristyksellä säädettävien jarrujen sopiva kiristysmomentti.

Myös laitteen herkkyys sähkömagneettisille häiriöille, ja etenkin sen aiheuttamat sähkömagneettiset häiriöt, jää määritettäväksi testivaiheessa. Suodattimen ympäristössä ei tavallisesti ole herkästi häiriintyviä sähkölaitteita, ja suurimpana häiriöitä aiheuttavista tekijöistä on laitteen moottori. Moottori kuitenkin koteloidaan mahdollisen kuumenemisen takia, joten häiriöiden aiheutuminen on erittäin epätodennäköistä. Moottoria kuitenkin käytetään laajalla ja epätavallisella kierrosalueella, joten häiriöiden syntymistä on vaikea

arvioida. Häiriöiden selvittämistä vaaditaan myös EMC-direktiivissä, joten asia on testattava standardoiduilla testimenetelmillä.

Mikäli laite tuoteistetaan, täytyy kustannusarviota tarkentaa. Valmistuskustannukset yrityksen eri tehtailla vaihtelevat merkittävästi tuotantomaaan mukaan. Kuten kustannusarviossa todettiin, ovat laitteen todelliset valmistuskustannukset varsinaisessa tuotannossa todennäköisesti tämän työn arviota pienemmät. Kustannusarvion suurimpia virhelähteitä ovat muoviosien, sekä anturien ja kaapeloinnin kustannukset. Niiden arvioissa on käytetty jonkin verran epävarmaa ja epätarkkaa kokemusperusteista tietoa, jonka lisäksi tilausmäärät vaikuttavat voimakkaasti kyseisten komponenttien kustannuksiin. Myös laitteen kokoonpanoon tarvittava aika perustuu kokemusperäiseen arvioon. Kustannusarviota voidaankin pitää vain suuntaa antavana, joskin todennäköisesti arviointi ei eroa todellisista kustannuksista merkittävästi. Laitteen yksinkertaisuuteen nähden merkittävin yksittäinen kustannus on valoverhot, joiden korvaamista muulla teknisellä ratkaisulla pitäisi harkita. Valoverhojen hinnan vuoksi laite ei nykyisellä rakenteellaan todennäköisesti täyttäisi tuotteistamiselle asetettavia vaatimuksia. Toisaalta valoverhot eivät ole pakollisia prototyypin toimivuuden testaamisen kannalta, joten prototyypivaiheessa korvaavaa ratkaisua ei tarvitse kehittää. Ilman valoverhoja prototyypin omakustannehinnaksi jää 2635,12 €.

### **4.3 Riskianalyysin tarkastelu**

Riskianalyysin tekeminen oli helppoa laitteen yksinkertaisuuden vuoksi, ja siksi että laitteen toimintaperiaate ja rakenne oli tullut läpikotaisin tutuksi laitetta suunniteltaessa. Usein riskianalyysistä vastaa ulkopuolinen henkilö, jonka täytyy ensin tutustua laitteen toimintaan ja ominaisuuksiin. Tässä työssä laitteen ollessa tuttu ei laitteen rajojen määrittämisestä ollut merkittävää hyötyä vaarojen määrittämisessä. Rajoja voidaan kuitenkin käyttää käyttöä koskevien ohjeiden, sekä asennus- ja huolto-ohjeiden laadinnassa. Laitteen riskianalyysin tekemistä helpotti myös se, että turvallisuusasiat olivat tärkeä osa heti laitteen suunnittelun alkuvaiheesta lähtien. Sivusuojoina toimivat turva-aidat määräsivät paljon rakenteen äärimittoja, mikä toisaalta hankaloitti suunnittelua, mutta myös sulki pois useita vaaroja. Suurin osa vaaratekijöistä saatiinkin huomioitua jo ennen riskianalyysin tekoa, eikä riskin pienentämävaiheessa vaadittu suuria muutoksia laitteen rakenteeseen.

Riskianalyysin luotettavuutta on vaikea arvioida ennen prototyypin testaamista. Riskianalyysi on luonteeltaan päivitettävä dokumentti, joten sen ei voida olettaakaan olevan valmis ensimmäisen suunnitellun mallin jälkeen laadittuna. Prototyyppeä testatessa on pyrittävä huomioimaan laitteesta mahdollisesti ilmenevät vaarat, joita ei vielä ole osattu huomioida. Lisäksi vaarojen määrittämisessä tulisi konsultoida huoltopalveluhenkilöitä ja asentajia, joilla on käyttökokemuksia kankaanvaihtolaitteista ja itse kankaanvaihtopahtumasta. Heillä on myös käytännön tietoa siitä, miten laitetta voidaan mahdollisesti käyttää väärin, ja miten työtä saatetaan yrittää suorittaa pienimmän vaivan kautta.

Riskianalyysissä todettiin vaarojen vakavuuden olevan pahimmillaankin vain kohtalaisia. Koska standardeissa vaarojen vakavuuksien ja todennäköisyyksien määrittely on vähintäänkin epätarkkaa, on riskien todellista vakavuutta suhteessa EU-direktiivien vaatimaan tasoon vaikea määrittää. Vaarallisuuden tason ja tiettyjen suojien tarpeellisuuden määrittämiseksi voisikin olla tarpeellista konsultoida virallista tarkastajaa. Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, liittyy kankaanvaihtotelineen osalta suurin kysymys siihen, voitaisiinko kokonaisratkaisun kannalta kalliista valoverhoista päästä eroon käyttämällä vaihtoehtoisia tekniikkaa. Sivusuojien ansiosta ainoat vaaratekijät liittyvät liikkuviin kankaisiin ja niiden väliseen nieluun. Mikäli prototyyppi todetaan toimivaksi, kannattaisikin selvittää, voitaisiinko valoverho korvata esimerkiksi tuntomatolla tai valopuomeilla kustannusten alentamiseksi. Vaarojen virallisesta tasosta riippuen voidaan kyseenalaistaa myös sivusuojien tarpeellisuus hammashihnakäytön ollessa koteloituna. Koska EU-direktiivin peruseriaatteena on se, että riski pienennetään pienimmälle mahdolliselle tasolle, on suojien tarpeellisuus kuitenkin todennäköistä.

Edellä mainitun turvallisuuden peruseriaatteen voidaan todeta toteutuvan suunnitellun laitteen osalta tässä vaiheessa varsin hyvin. Laitteen turvallisuuteen vaikuttaa kuitenkin merkittävästi myös käyttöä koskevat ohjeet, joita ei vielä ole tehty. Prototyyppeä huolellisesti testaamalla, ja käyttöohjeet sekä riskianalyysin päivitys perusteellisesti suorittamalla, voidaan kuitenkin laitteesta saada varmuudella turvallinen kokonaisuus.

#### **4.4 EU-direktiivien täytyminen**

Koska laitteelle on tehty riskianalyysi valmiiksi, saadaan se helposti liitettyä osaksi suodattimen riskianalyysiä. Näin saadaan varmistettua laitteen täyttävän EU-direktiivien

vaatimukset. Kuten aikaisemmin mainittiin, täytyy EMC-direktiivin asettamien vaatimusten toteutuminen varmistaa vielä testausvaiheessa. Tuotantomalliin tehdään todennäköisesti muutoksia vielä valoverhot korvaamalla. Muutoksia tehdessä onkin varmistettava, ettei uusia vaaroja synny, ja että korvaava tekniikka pystyy tarjoamaan vastaavan suojan vaaratilanteita vastaan.

Kuten laitteen EU-direktiivin mukaisia luokitteluvaihtoehtoja pohdittaessa todettiin, olisi laitteen luokittelu muullakin tavalla kuin suodattimen vaihtoehtoiseksi moduuliksi mahdollista. Laitteen hintaluokka huomioiden voidaan todeta, että parhaassakin tapauksessa laitteen myyntimäärä jäisi yleismallisena kelauslaitteena todennäköisesti niin alhaiselle tasolle, ettei laitteelle omaa CE-merkkiä kannata hankkia. Vaikka kyseisen kaltaisia laitteita voidaan käyttää monessa eri sovelluksessa, vaihtelevat kokoluokat, nopeudet ja voimat niin suuresti, että käytettävät laitteet ovat useimmiten yksittäistuotteita. Erilliseksi tuotteeksi muokkaaminen vaatisi lisäksi CE-merkintään liittyviä testejä ja dokumentointia.

Vaikka laite on riskianalyysien ja testausten jälkeen todettu turvalliseksi, voi olla että se ei täytä kaikkia sitä koskevia standardeja. Näin ollen se ei periaatteessa täytä EU-direktiivien asettamia vaatimuksia. Standardeja on kuitenkin niin paljon, että useammankin suunnittelijan on mahdotonta hallita niitä täydellisesti. Siksi tässäkin työssä on käytetty standardeja ongelmalähtöisesti: Aina kun on törmätty turvallisuuteen liittyvään ongelmaan, on etsitty asiasta ohjeistava voimassa oleva standardi, jota on noudatettu ongelman ratkaisussa. Joissakin tapauksissa on kuitenkin mahdollista, että samaa asiaa on käsitelty eri standardeissa. Näitä tapauksia varten on määritelty ensisijainen noudattamisjärjestys, joka mainittiin kohdassa 2.2.1. Standardien paljoudesta johtuen on kuitenkin hyvin mahdollista, että ensisijainen standardi jää huomioimatta, jolloin laite ei ole EU-direktiivien vaatimusten mukainen. Kuten työssä mainittiin, voidaan direktiivien vaatimukset täyttää myös ilman standardien noudattamista. Käytännössä noudattamalla EU-direktiivien perusperiaatetta riskin pienentämisestä alhaisimmalle mahdolliselle tasolle, voidaankin yleensä olettaa laitteen turvallisuuden olevan riittävällä tasolla.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä suunniteltiin painesuodattimen huoltotyökaluna käytettävä automatisoitu kankaanvaihtolaite, käyttäen järjestelmällisen koneensuunnittelun menetelmää. Kankaanvaihtolaitteesta suunniteltiin irrotettava teline, joka asennetaan paikalleen aina ennen kankaan vaihtamista. Mikäli kangasta vaihdetaan usein, on teline mahdollista jättää myös kiinni suodattimeen normaalin suodatustoiminnan ajaksi. Suunnittelun aikana kiinnitettiin erityistä huomiota EU-direktiivien asettamiin turvallisuusvaatimuksiin. Suunnittelun lopuksi laitteelle tehtiin riskianalyysi käyttäen standardin SFS-EN ISO 12100:2010 mukaista menetelmää. Riskianalyysin avulla varmistettiin, että suunniteltu laite täyttää Euroopan talousalueella voimassa olevat koneturvallisuusmääräykset.

Suunnittelun ohessa selvitettiin myös millä tavalla laite kannattaa luokitella, jotta turvallisuusmääräykset saadaan täytettyä, ja niiden täytyminen dokumentoitua. Laite päädyttiin luokittelemaan vapaasti valittavissa olevaksi suodattimen modulaariseksi osaksi. Laitteen ollessa osa suodattimen rakennetta, sisällytetään se suodattimen CE-merkintään vaadittaviin dokumentteihin. Tällä ratkaisulla minimoidaan vaatimusten täyttämiseen vaadittavien dokumenttien määrä, vaikuttamatta itse laitteen turvallisuuteen.

Työn tuloksena saatiin kankaanvaihtolaite, joka täyttää sille asetetut vaatimukset pääosin hyvin. Suurin kehityskohde on valoverhojen korvaaminen vaihtoehtoisella turvallisuustekniikalla niiden suurten kustannusten vuoksi. Laitteen toiminnan ja turvallisuuden varmistamiseksi on vielä valmistettava prototyyppi käyttötестejä varten. Vaikka laitteen turvallisuus vaikuttaa suunnittelun jälkeen olevan vähintäänkin riittävällä tasolla, on riskianalyysi päivitettävä dokumentti, ja jokin vaaratekijä on voinut jäädä suunnitteluvaiheessa huomioimatta. Prototyyppi voidaan kuitenkin valmistaa edullisesti, sillä valoverhot eivät ole pakollisia teknisen toimivuuden testaamisessa.

### **Turvallisuustekijöiden huomiointi**

Laitteiden suunnittelu ja riskianalyysi tehdään usein erikseen, ja riskianalyysi nähdään joskus suunnittelijoiden ja tuotantohenkilöstön näkökulmasta vain pakollisena vaiheena turvallisuusmääräysten täyttämiseksi. Vaikka riskianalyysi on pakollinen CE-merkittävillä



tuotteille, otetaan se siitä huolimatta harvoin huomioon suunnittelun alkuvaiheista lähtien. Suunnitteluvaiheessa turvallisuuden ja sallittujen riskien rajojen huomioimisen avulla voidaan nopeuttaa tuotekehitysprosessia merkittävästi verrattuna tilanteeseen, jossa riskianalyysin tekevät oma työryhmänsä suunnittelun jälkeen. Prosessit yhdistämällä voidaan välttää ylimääräisiä iterointikierroksia tuotekehityksessä, kun vaaroja saadaan poistettua ennen riskianalyysiä. Voidaankin sanoa, että mitä aikaisemmin kehitysvaiheessa liian suuren riskin aiheuttavat vaarat saadaan tunnistettua, sitä nopeammin tuotteistamisprosessi saadaan vietyä läpi.

Kuten edellä todettiin, on suodatinlaitteistoja koskevien standardien noudattaminen hankalaa. Tämä johtuu osittain siitä, että suodattimille ei ole olemassa omaa konekohtaista standardia, jota noudattamalla laitteen turvallisuus voidaan pitkälti varmistaa. Toisaalta konekohtaisen standardin puuttumisen etuna on se, että laitteen turvallisuusasiat on huomioitava entistä tarkemmin, eikä voida tukeutua yhteen standardiin. Konekohtaisen standardin vaarana onkin se, että luotetaan liikaa yhteen standardiin. Kuten työssä todettiin, on myös standardeissa virheitä ja etenkin konekohtaiset standardit sallivat joskus vaarallisen laitteen vaatimustenmukaisuuden hyväksynnän.

Standardien paljouden muodostaman ongelman helpottamiseksi yritys on ottanut käyttöön riskinhallintaohjelmiston, jonka avulla eri standardien huomioiminen on helpompaa. Tällä hetkellä ohjelmisto on käytettävissä kuitenkin vain riskianalyysijä tekevillä henkilöillä, eikä suunnittelijoilla. Tulevaisuudessa kun vanhat riskianalyysit on saatu siirrettyä kyseiseen ohjelmistoon, kannattaisi se ottaa käyttöön laajemmalti. Antamalla riskianalyysiohjelmisto suunnittelijoiden käyttöön, voi suunnittelija tarvittaessa tarkastaa laitteen turvallisuuden suunnitteluvaiheessa heti mahdollisen vaaran havaitessaan. Riskianalyysiohjelmiston avulla hän pystyy arvioimaan, onko vaaran aiheuttamaa riskiä mahdollista pienentää siedettävälle tasolle, vai onko ongelmaan kehitettävä toinen tekninen ratkaisu.

Suunnittelijat eivät voi kuitenkaan tehdä yksin koko riskianalyysiä jo pelkästään työkuormituksen takia. Lisäksi riskianalyysin teossa tulisi aina käyttää sitä varten muodostettua monipuolista eri osastojen työntekijöistä muodostuvaa työryhmää, jotta mahdolliset vaaratilanteet saataisiin mahdollisimman hyvin huomioitua. Riskianalyysin tekoa edesauttaakin jouheva yhteistyö eri osastojen työntekijöiden välillä suunnitteluprosessin

aikana. Tätä suunnittelufilosofiaa kutsutaan rinnakkaissuunnitteluksi (*Concurrent Engineering*), jota sovelletaankin yrityksessä etenkin toimitusprojektien suunnittelussa, valmistuksessa ja liiketoiminnallisissa prosesseissa. Sen avulla on mahdollista nopeuttaa myös tuotekehitysprosessia, joten sen soveltamista myös riskianalyysin tekoon kannattaisi harkita.

Käytännössä riskianalyysin rinnakkaissuunnittelu voidaan tehdä sisällyttämällä riskianalyysiin perehtynyt henkilö suunnitteluryhmään. Toinen vaihtoehto on kouluttaa suunnittelijoita riskianalyysin tekemiseen, tai vähintäänkin vaarojen ja niiden vakavuuksien tunnistamiseen. Ongelmallista molemmissa vaihtoehdoissa on, että vaikka turvallisuutta pidetään tärkeänä, voi suunnittelijoiden ja riskianalyysin tekijöiden suhtautuminen toistensa työhön aiheuttaa hankaluuksia. Tässäkin suhteellisen pienessä ja yksinkertaisessa laitteessa aiheuttivat turvallisuusratkaisut merkittäviä rajoitteita suunnittelulle. Suuremmissa suunnitteluprojekteissa konflikteilta ja kompromisseilta on siis lähes mahdotonta välttyä. Todennäköisesti helpompi ja tehokkaampi vaihtoehto näistä kahdesta on kouluttaa suunnittelijoita vaarojen tunnistamiseen. Riskianalyysin tehokas ja jouheva yhdistäminen tuotesuunnitteluun käytännössä vaatisi tarkempaa tutkimista.

Tuotetta suunniteltaessa ja riskianalyysiä tehdessä on muistettava, että suunnittelu tähtää käyttäjän kannalta turvalliseen laitteeseen. Usein turvallisuuden tärkeys tiedostetaankin hyvin suunnitteluvaiheessa. Turvallisuuden tärkeyttä vähätelläänkin useammin asentajien ja huoltohenkilökunnan toimesta, vaikka juuri he ovat niitä käyttäjiä, jotka vaaralle altistuvat. Ei ole tavatonta, että käyttöohjeet jätetään lukematta, turvalaitteita kierretään ja koneita käytetään tietoisesti väärin työn tekemisen helpottamiseksi. Yleisesti voidaankin sanoa, että turvallisuusasioissa voitaisiin kouluttaa kaikkia koneiden kanssa sen minkä tahansa elinkaaren aikana toimivia, tai niitä suunnittelevia, henkilöitä paremmin. Omasta kokemuksestani voin sanoa esimerkkinä, että omiin koneensuunnittelun opintoihini ei liittynyt yhtään kurssikokonaisuutta, mikä käsittelisi turvallisuuden suunnittelua.

### **Kankaanvaihtolaitteen kehitysehdotukset**

Kankaanvaihtolaitteen tuotteistamisen kannalta seuraavina luonnollisina vaiheina ovat valmistus- ja kokoonpanopiirustusten teko ja prototyypin valmistuksen suunnittelu, sekä koneen sähköistyksen suunnittelu logiikoineen, piirustuksineen ja rakenteineen. Laitteelle

täytyy laatia myös varaosaluettelo. Prototyypivaiheessa on selvitettävä kappaleessa 4.1 käsitellyt epävarmuudet laitteen rakenteessa. Ensimmäisiä rakennemuutoksia, joiden mahdollisuuksia kannattaisi tutkia, on aikaisemmin mainitut kalliit valoverhot, sekä kelattavan kankaan sauman tunnistimen siirtäminen kiinnitettäväksi kelauslaitteen runkoon. Prototyypin testauksen yhteydessä saadaan testattua myös laitteen käytettävyyden kankaiden liitossaumojen tekemisen ja purkamisen kannalta. Käytettävyyden ja ergonomian kannalta voi olla hyödyllistä suunnitella sauman liittämistä ja purkamista varten siirrettävä työtaso. Työtaso voi olla esimerkiksi erillinen lattialla seisova pöytä, tai telineeseen kiinnitettävä taso.

Valoverhojen jälkeen laitteen suurimman kustannuksen muodostaa telineen runko, josta voi tulla myös laitteen kallein osa mikäli valoverhot saadaan korvattua halvemmalla tekniikalla. Siispä myös runkorakennetta voitaisiin tarkastella tarkemmin. Lujuus- ja valmistusystävällisyystarkastelujen avulla voitaisiin rungon kustannuksia alentaa. Säästöjä voitaisiin saada käyttämällä vähemmän tai halvempia materiaaleja, tai esimerkiksi poistamalla hitsiliitoksia käyttämällä taivutettavaa putkea. Kun laitteen rakenne on saatu riittävässä määrin optimoitua, voidaan laitteelle laatia asennus-, huolto- ja käyttöohjeet.

Kuten kappaleessa 4.3 mainittiin, ei riskianalyysi ole valmis suunnittelun jälkeen, vaan se vaatii päivitystä prototyypin testauksien jälkeen, ja edelleen aina uusien vaaratilanteiden ilmaantuessa. Jo ennen prototyypin valmistusta riskianalyysiä voidaan päivittää muun muassa huoltopalvelu- ja tuotantohenkilöstön avustuksella.

Myös laitteen luokittelun vaikutusta sen myyntimahdollisuuksiin voitaisiin tarkastella. Vaikka kappaleessa 4.4 todettiin, että itsenäiseksi laitteeksi luokittelu ei välttämättä kannata laitteiden yksilöllisyyden takia, ei patenttiselvityksessä kilpailevia ratkaisuja löytynyt. Myöskään vastaavia kaupallisia laitteita ei taustatutkimusvaiheessa löytynyt. Siispä markkinatilannetta voitaisiin tutkia tarkemmin mahdollisen markkinaraon ja myyntikapasiteetin selvittämiseksi.

## LÄHTEET

2004/108/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 15.12.2004 sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä ja direktiivin 89/336/ETY kumoamisesta. EYVL N:o L 390, 31.12.2004.

2006/42/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 17.5.2006 koneista ja direktiivin 65/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu). EYVL N:o L 157, 9.6.2006.

2006/95/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 12.12.2006 tietyllä jännitealueella toimivia sähkölaitteita koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä (kodifioitu toisinto). EYVL N:o L 374, 27.12.2006.

Berner, Kai. 2013. Painesuodattimien lisälaitteiden vaatimustenmukaisuus [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottajat: Tommi Tarvonen, Lauri Pentikäinen (cc). Lähetetty 8.2.2013 klo 9.03 (GMT +0200).

Cross, N. 2008. Engineering Design Methods - Strategies for Product Design. Fourth Edition. Chichester: John Wiley & Sons. 214 s.

Etra. 2013. Koneenrakennusmuovit. [Etra Oy:n www-sivuilla] [Viitattu 12.4.2013] Saatavissa: <http://tuotteet.etra.fi/fi/g2228980/koneenrakennusmuovit>

Ferrometal. 2009. Fasteners for professionals - Suomen ruuvihinnasto. Painos 07/2009. Nurmijärvi: Ferrometal Oy – Suomi.

Huskonen, Timo. 2013. Materiaalihinnat [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Lauri Pentikäinen. Lähetetty 12.4.2013 klo 12.42 (GMT +0200).

L 19.12.1889/39. Rikoslaki.

L 14.6.1996/410. Sähköturvallisuuslaki.

L 23.8.2002/738. Työturvallisuuslaki.

L 31.1.2003/61. Laki rikoslain muuttamisesta.

L 26.11.2004/1016. Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta.

Luttropp, C. 2002. Ecodesign with Focus on Product Structures. 7. luku teoksessa: Hundal, M. S. (toim.) Mechanical Life Cycle Handbook – Good Environmental Design and Manufacturing. New York: Marcel Dekker. s. 145–176.

Mekanex. Hammaspyörät ja hammastangot. [Mekanex Maskin AB:n www-sivuilla] [Viitattu 5.4.2013] Saatavissa: [http://www.mekanex.se/produkter/trans/fi-splinesaxlar\\_muffar.shtml](http://www.mekanex.se/produkter/trans/fi-splinesaxlar_muffar.shtml)

Mäkelä, J. 2013. VL: Finland Outotec (Filters) DC\_Motors F 006 B20 412 0-500 Cloth winding device [yksityinen sähköpostiviesti] Vastaanottaja: Lauri Pentikäinen. Lähetetty: 18.4.2013 klo 9.35 (GMT +0200)

Norton, R. 2004. Design of Machinery - An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. Third Edition. New York: McGraw-Hill. 858 s.

Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Suom. Uolevi Konttinen. Helsinki: Suomen Metall-, Kone- ja Sähköteknisen Teollisuuden Keskusliitto, MET. 608 s.

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K. H. 2007. Engineering Design - A systematic Approach. Translated from German and edited by Ken Wallace & Lucienne Blessing. Third Edition. London: Springer. 617 s.

Rantanen, P. 2013. Re: Fw: Tarjouspyyntö valoverhoista. [yksityinen sähköpostiviesti] Vastaanottaja: Lauri Pentikäinen. Lähetetty: 16.4.2013 klo 15.37 (GMT +0200).

SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 172 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN ISO 13857:2008. Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 45 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN 60204-1:2006. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 215 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN 61508-5:2010. Sähköisten/elektronisten/ohjelmoitavien elektronisten turvallisuuteen liittyvien järjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Osa 5: Esimerkkejä menetelmistä turvallisuuden eheyden tasojen määrittämiseksi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 85 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN 82079-1:2012. Käyttöohjeiden laatiminen. Jäsentäminen, sisältö ja esittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet ja yksityiskohtaiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 107 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-EN 953:2009. Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 63 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

SFS-ISO/TR 14121-2:2013. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 80 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

Siirilä, T. 2008. Koneturvallisuus – EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. 2. uudistettu painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy. 462 s.

SKF. 2012. Laakerihinnasto. [Oy SKF Ab:n www-sivuilla]. Päivitetty 10.7.2012. [Viitattu 12.4.2013]. Saatavissa: <http://www.skf.com/files/902763.pdf>

SKS (SKS Group). 2013. Tarjous 2755529. [yksityinen sähköpostiviesti] Vastaanottaja: Lauri Pentikäinen. Lähetetty: 15.4.2013 klo 15.26 (GMT +0200).

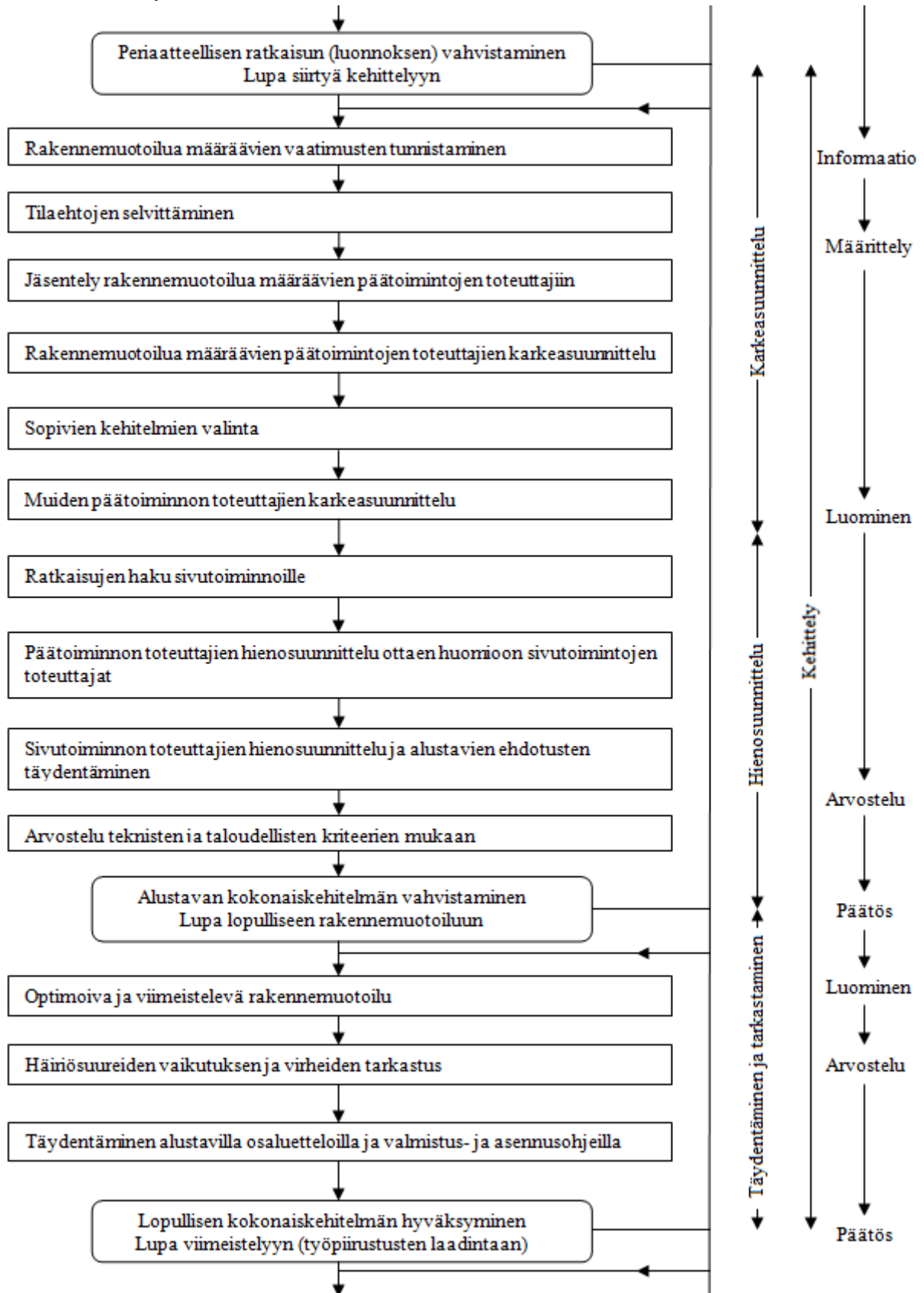
Tamminen, J. 2000. Aurinkokuningas – Menesty omassa joukkueessasi. Kolmas painos. Hämeenlinna: Kariston kirjapaino Oy. 215 s.

VNa 27.12.2007/1466. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta

VNa 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta.

VNa 12.6.2008/403. Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta.

Liite I. Kehittelyn vaiheet (Pahl & Beitz, 1990, s. 177–178).



Lähde: Pahl, G. & Beitz, W. 1990. Koneensuunnitteluoppi. Suom. Uolevi Konttinen. Helsinki: Suomen Metall-, Kone- ja Sähköteknisen Teollisuuden Keskusliitto, MET. 608 s.



Liite II. Koneen suunnittelua ja rakentamista koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset (VNa 12.6.2008/400).

## **YLEISET PERIAATTEET**

1. Koneen valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on varmistettava, että tehdään riskin arviointi, jotta koneeseen sovellettavat terveys- ja turvallisuusvaatimukset voidaan määrittää. Kone on sen jälkeen suunniteltava ja rakennettava ottaen huomioon riskin arvioinnin tulokset. Riskin arviointi ja riskin pienentäminen on iteratiivinen prosessi, jonka aikana valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on:

- määritettävä koneen raja-arvot, joihin sisältyvät tarkoitettu käyttö sekä kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö;
- tunnistettava koneen mahdollisesti aiheuttamat vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet;
- arvioitava riskin suuruus ottaen huomioon mahdollisen vamman tai terveyshaitan vakavuus ja todennäköisyys;
- arvioitava riskin merkitys sen määrittämiseksi, onko riskiä tämän direktiivin tavoitteen mukaisesti pienennettävä; ja
- poistettava vaarat tai pienennettävä näihin vaaroihin liittyviä riskejä soveltamalla suojaustoimenpiteitä 1.1.2. kohdan b alakohdassa määrättyssä ensisijaisuusjärjestyksessä.

2. Olennaisissa terveys- ja turvallisuusvaatimuksissa asetettuja velvoitteita sovelletaan ainoastaan, jos vastaava vaara on olemassa kyseisessä koneessa, kun sitä käytetään valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan ennakoimissa olosuhteissa, tai ennakoitavissa olevissa epätavallisissa tilanteissa. Joka tapauksessa sovelletaan kuitenkin 1.1.2. kohdassa esitettyjä turvallistamisen periaatteita sekä 1.7.3. ja 1.7.4. kohdassa tarkoitettuja, koneen merkintöjä ja ohjeita koskevia velvoitteita.

3. Tässä liitteessä säädetyt olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset ovat pakottavia. Ottaen huomioon tekniikan tason voi kuitenkin olla mahdollista, ettei niissä asetettuja tavoitteita voida saavuttaa. Tällöin kone on suunniteltava ja rakennettava vastaamaan mahdollisimman pitkälle näitä tavoitteita.

(jatkuu)

## 1.1 Yleistä

### 1.1.2. Turvallistamisen periaatteet

a) Kone on suunniteltava ja rakennettava niin, että se soveltuu tarkoitukseensa ja sitä voidaan käyttää, säätää ja huoltaa henkilöitä vaarantamatta silloin, kun nämä toimet tehdään tarkoitettulla tavalla. Käyttöön soveltumisessa on myös otettava huomioon koneen kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Toteutettavien turvallistamistoimenpiteiden tarkoituksena on oltava riskin poistaminen koneen koko ennakoitavana käyttöaikana, mukaan lukien kuljetus-, kokoonpano-, purkamis-, käytöstäpoisto- ja romuttamisvaihe.

b) Valitessaan tarkoituksenmukaisimpia ratkaisuja valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on noudatettava seuraavia periaatteita seuraavassa järjestyksessä:

- poistettava tai pienennettävä riskejä mahdollisimman paljon (itse koneen turvallisella suunnittelulla ja rakenteella);
- toteutettava tarvittavat suojaustoimenpiteet niiden riskien osalta, joita ei voida poistaa
- tiedotettava koneen käyttäjälle jäännösriskeistä, jotka johtuvat toteutettujen suojaustoimenpiteiden mahdollisista vajavaisuuksista, ilmoitettava onko jokin erikoiskoulutus tarpeen, ja määriteltävä henkilönsuojainten tarve.

c) Koneita suunniteltaessa ja rakennettaessa sekä sen käyttöohjeita laadittaessa valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on otettava huomioon sen tarkoitettun käytön lisäksi myös kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö. Käyttöohjeissa on koneen käyttäjän huomio tarvittaessa kiinnitettävä sellaisiin käyttötapoihin, joiden on todettu olevan käytännössä mahdollisia ja joilla konetta ei saisi käyttää.

d) Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että henkilönsuojaimien välttämättömästä tai ennakoitavissa olevasta käytöstä johtuvat käyttäjää rajoittavat tekijät otetaan huomioon.

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

### 1.1.3. Materiaalit ja tuotteet

Koneen rakennemateriaalit tai sen käytössä käytettävät tai syntyvät tuotteet eivät saa vaarantaa henkilöiden terveyttä ja turvallisuutta. Erityisesti kone, jossa käytetään nesteitä tai kaasuja, on suunniteltava ja rakennettava siten, että ehkäistään täyttämisestä, käytöstä, talteenotosta tai tyhjentämisestä johtuvat riskit.

#### 1.1.4. Valaistus

Jos valaistuksen puute voi aiheuttaa riskin, vaikka normaali yleisvalaistus on käytössä, kone on varustettava toimintoihin sopivalla, koneeseen kuuluvalla valaistuksella. Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei haitallisia varjoja, häikäisyä, tai valaistuksesta ja liikkuvista osista aiheutuvaa stroboskooppi-ilmiötä esiinny. Sisäiset säännöllistä tarkastamista ja säätöä edellyttävät osat sekä huoltoalueet on varustettava asianmukaisella valaistuksella.

#### 1.1.5. Koneen suunnittelu sen käsittelyn helpottamiseksi

Koneen tai sen jokaisen komponentin on oltava turvallisesti käsiteltävissä ja kuljetettavissa, sekä oltava pakattu tai suunniteltu siten, että se voidaan varastoida turvallisesti ja ilman vahinkoa. Koneen tai sen osien kuljetuksen aikana äkilliset liikkeet tai vakavuuden puutteesta johtuvat vaarat eivät saa olla mahdollisia, jos konetta tai sen osia käsitellään käyttöohjeiden mukaan. Jos konetta tai jotakin sen komponenttia on tarkoitus liikuttaa käsin, sen on oltava joko helposti liikuteltavissa tai varustettu turvallista tarttumista tai liikuttamista ajatellen. Myös kevyiden, mahdollisesti vaarallisten työkalujen tai koneen osien käsittelemiseksi on toteutettava erityisjärjestelyjä. Jos koneen tai sen eri komponenttien paino, koko tai muoto estää niiden liikuttamisen käsin, kone tai sen jokainen komponentti on:

- varustettava kiinnityskorvakkeilla nostolaitteeseen kiinnittämistä varten;
- suunniteltava niin, että siihen voi kiinnittää edellä tarkoitettut kiinnityskorvakkeet; tai
- muotoiltava siten, että tavanomainen nostolaite voidaan helposti kiinnittää siihen.

#### 1.1.6. Ergonomia

Tarkoitetuissa käyttöolosuhteissa on koneen käyttäjään kohdistuva epämukavuus, väsymys sekä fyysinen ja psyykinen kuormitus minimoitava ottamalla huomioon muun muassa seuraavat ergonomiset periaatteet:

- on huomioitava säädettävyyys käyttäjän fyysisten mittojen, voiman ja kestävyys-suhteen;
- käyttäjän kehon osilla on oltava riittävästi tilaa liikkua;
- on vältettävä koneen määräämää työtahtia;
- on vältettävä pitkäaikaista keskittymistä vaativaa valvontaa; ja
- ihminen-kone-rajapinta on mukautettava koneen käyttäjien ominaisuuksiin.

### 1.1.7. Käyttöpaikat

Jos konetta on tarkoitus käyttää vaarallisessa ympäristössä, tai jos kone itsessään saa aikaan vaarallisen ympäristön, on varmistettava, että käyttäjällä on hyvät työskentelyolosuhteet. Käyttäjän on myös oltava suojattu ennakoitavissa olevilta vaaroilta.

## 1.2 Ohjausjärjestelmät

### 1.2.1. Ohjausjärjestelmien turvallisuus ja toimintavarmuus

Ohjausjärjestelmät on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että ne estävät vaaratilanteiden syntymisen. Ennen kaikkea ne on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, että:

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

Erityistä huomiota on kiinnitettävä seuraaviin seikkoihin:

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

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

### 1.2.2. Ohjauslaitteet

Ohjauslaitteet on:

- voitava nähdä ja tunnistaa selvästi käyttäen tarvittaessa kuvatunnuksia;
- sijoitettava siten, että niitä voi käyttää turvallisesti ja yksiselitteisesti, ilman epäröintiä;

- suunniteltava sellaisiksi, että niiden liike vastaa niiden vaikutusta;
- sijoitettava vaaravyöhykkeiden ulkopuolelle, lukuun ottamatta tarvittaessa tiettyjä ohjauslaitteita, kuten hätäpysäytintä tai kannettavaa ohjelmointilaitetta;
- sijoitettava siten, että niiden käyttö ei aiheuta lisäriskejä;
- suunniteltava tai suojattava siten, että toivottu vaikutus, jos siihen liittyy vaara, voidaan saavuttaa ainoastaan toteuttamalla tarkoituksellinen toiminto; ja
- valmistettava kestämään ennakoitavissa olevat voimat. Erityistä huomiota on kiinnitettävä hätäpysäytyslaitteisiin, joihin saattaa kohdistua huomattavia voimia.

Jos ohjauslaite on suunniteltu ja rakennettu suorittamaan useita eri toimintoja eli jos sen toiminta ei ole täysin yksikäsitteistä, suoritettava toiminto on osoitettava selkeästi ja se on tarvittaessa varmistettava. Ohjauslaitteet on järjestettävä niin, että niiden sijoittelu, liike ja käyttövastus sopivat yhteen suoritettavan toiminnan kanssa ergonomisten periaatteiden mukaisesti. Koneessa on oltava sen turvallisen käytön edellyttämät osoitinlaitteet, jotka käyttäjän on kyettävä lukemaan ohjauspaikalta. Käyttäjän on kyettävä jokaiselta ohjauspaikalta käsin varmistumaan, ettei vaaravyöhykkeillä ole ketään, tai ohjausjärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että käynnistyminen estyy, jos joku on vaaravyöhykkeellä.

Jos kumpikaan näistä vaihtoehtoista ei ole mahdollinen, on ennen koneen käynnistymistä annettava varoitus ääni- tai valomerkillä. Altistuneilla henkilöillä on oltava riittävästi aikaa poistua vaaravyöhykkeeltä tai estää koneen käynnistyminen. Tarvittaessa on huolehdittava siitä, että konetta voidaan ohjata vain ohjauspaikoilta, jotka sijaitsevat yhdellä tai useammalla ennalta määrätyllä alueella tai paikassa. Jos ohjauspaikkoja on enemmän kuin yksi, ohjausjärjestelmä on suunniteltava sellaiseksi, että yhden ohjauspaikan käyttäminen estää muiden käytön, pysäytys- ja hätäpysäytyslaitteita lukuun ottamatta. Jos koneessa on kaksi tai useampia käyttöpaikkoja, jokainen paikka on varustettava kaikilla vaadituilla ohjauslaitteilla ilman, että käyttäjät voivat häiritä toisiaan tai saattaa toisiaan vaaratilanteeseen.

### 1.2.3. Käynnistäminen

Koneen käynnistäminen saa olla mahdollista vain siten, että vaikutetaan tarkoituksellisesti asianomaiseen ohjauslaitteeseen. Sama vaatimus koskee uudelleenkäynnistämistä

pysähdyksen jälkeen, oli sen syy mikä tahansa, ja toimintaolosuhteiden huomattavaa muuttamista. Uudelleenkäynnistäminen tai toimintaolosuhteiden muuttaminen voi kuitenkin tapahtua käyttämällä tarkoituksellisesti muuta laitetta kuin tähän tarkoitukseen tarkoitettua ohjauslaitetta, jos tämä ei aiheuta vaaratilannetta. Automaattisessa toimintatilassa olevan koneen käynnistäminen, uudelleenkäynnistäminen pysäytyksen jälkeen tai sen toimintaolosuhteiden muuttaminen voi olla mahdollista ilman toimintaan puuttumista, edellyttäen että tämä ei aiheuta vaaratilannetta. Jos koneessa on useita käynnistysohjaimia ja käyttäjät saattavat näin ollen saattaa toisensa vaaratilanteeseen, on tällaisten riskien poissulkemiseksi asennettava lisälaitteita. Jos käynnistäminen tai pysäyttäminen on turvallisuuden vuoksi tehtävä tietyssä järjestyksessä, näiden toimintojen tekeminen oikeassa järjestyksessä on varmistettava erityisten laitteiden avulla.

#### 1.2.4. Pysäyttäminen

Koneessa on oltava ohjauslaite, jolla se voidaan turvallisesti pysäyttää kokonaan. Jokainen työasema on varustettava ohjauslaitteella, jolla pysäytetään olemassa olevista vaaroista riippuen joko kaikki tai vain osa koneen toiminnoista siten, että kone saatetaan turvalliseen tilaan. Koneen pysäytyslaitteen toiminnan on oltava ensisijainen käynnistyslaitteiden toimintaan nähden. Kun kone tai sen vaaralliset toiminnot ovat pysähtyneet, energiansyötön asianomaisiin toimilaitteisiin on katkettava. Jos toiminnallisista syistä tarvitaan pysäytyslaitetta, joka ei katkaise energiansyöttöä toimilaitteisiin, pysäytystilaa on valvottava ja ylläpidettävä.

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

- koneissa, joissa hätäpysäytyslaite ei vähentäisi riskiä joko siksi, että se ei lyhentäisi pysäytysaikaa, tai siksi, että se ei mahdollistaisi niitä erityistoimenpiteitä, joita riskin hallitsemiseksi tarvitaan; tai
- käsin kannateltavissa tai ohjattavissa koneissa.

Hätäpysäytyslaitteen on:

- oltava varustettu selvästi tunnistettavilla ja näkyvillä ohjaimilla, jotka ovat nopeasti käytettävissä;

- pysäytettävä vaarallinen prosessi mahdollisimman nopeasti aiheuttamatta muita riskejä; ja
- tarvittaessa käynnistettävä tiettyjä suojausliikkeitä tai sallittava niiden käynnistäminen.

Hätäpysäytyslaitteelle annetun pysäytyskäskyn lakatessa on käskyn jäätävä voimaan hätäpysäytyslaitteen lukkiutumisen avulla, kunnes tämä lukitus vapautetaan erityisellä toimenpiteellä. Hätäpysäytyslaitteen lukkiutuminen ei saa olla mahdollista ilman, että aiheutuu pysäytyskäsky. Hätäpysäytyslaitteen vapauttaminen pysäytysasennon lukituksesta saa olla mahdollista vain tarkoituksellisella toimenpiteellä. Vapautuminen ei saa käynnistää konetta uudelleen vaan ainoastaan tehdä uudelleenkäynnistäminen mahdolliseksi. Hätäpysäytystoiminnon on oltava koko ajan saatavilla ja toimintakunnossa toimintatavasta riippumatta. Hätäpysäytyslaitteiden on oltava muita suojausteknisiä toimenpiteitä täydentävä keino eikä niiden korvaaja.

Jos useampi kone tai koneiden tietyt osat on suunniteltu toimimaan yhdessä, ne on suunniteltava ja rakennettava siten, että pysäytyslaitteet pysäyttävät kyseessä olevan koneen lisäksi myös kaikki siihen yhteydessä olevat laitteet, jos niiden toiminnan jatkuminen voi aiheuttaa vaaraa.

#### 1.2.5. Ohjaus- tai toimintatapojen valinta

Valitun ohjaus- tai toimintatavan on oltava ensisijainen kaikkiin muihin ohjaus- tai toimintatapoihin nähden, hätäpysäytystä lukuun ottamatta. Jos kone on suunniteltu ja rakennettu niin, että sitä on mahdollista käyttää erilaisilla ohjaus- tai toimintatavoilla, jotka edellyttävät erilaisia suojaustoimenpiteitä tai työmenetelmiä, siinä on oltava toimintatavan valitsin, joka voidaan lukita kuhunkin asentoon. Valitsimen kunkin asennon on oltava selvästi tunnistettavissa ja vastattava ainoastaan yhtä ohjaus- tai toimintatapaa. Valitsin voidaan korvata muilla valintamenetelmillä, joiden avulla koneen tietyt toiminnot rajoitetaan tiettyihin käyttäjäryhmiin. Jos tiettyjä toimintoja varten suojusta on siirrettävä tai se on poistettava tai turvalaite on poistettava käytöstä, ohjaus- tai toimintatavan valitsimen on samanaikaisesti:

- poistettava kaikki muut ohjaus- tai toimintatavat käytöstä;
- sallittava vaarallisten toimintojen toteuttaminen vain ohjauslaitteilla, joihin on jatkuvasti vaikutettava;

- sallittava vaarallisten toimintojen toteuttaminen vain pienennetyn riskin olosuhteissa samalla, kun estetään toisiinsa liittyvien toimintajaksojen aiheuttamat vaarat; ja
- estettävä vaaralliset toiminnot, joita tarkoituksellinen tai tahaton vaikuttaminen koneen antureihin aiheuttaa.

Jos näitä neljää ehtoa ei voida täyttää samanaikaisesti, on ohjaus- tai toimintatavan valitsimen aktivoitava muita suojaustoimenpiteitä, jotka on suunniteltu ja rakennettu turvallisen toimintaan puuttumisvyöhykkeen varmistamiseksi. Lisäksi käyttäjän on voitava asettelupaikalta käsin ohjata niiden osien toimintaa, joiden parissa hän työskentelee.

#### 1.2.6. Tehonsyötön häiriöt

Koneen tehonsyötön keskeytyminen, palauttaminen keskeytyksen jälkeen tai sen millainen tahansa vaihtelu ei saa johtaa vaaratilanteisiin. Erityistä huomiota on kiinnitettävä seuraavaan:

- kone ei saa käynnistyä odottamattomasti;
- koneen ominaisarvot eivät saa muuttua hallitsemattomasti, jos tällainen muutos saattaa aiheuttaa vaaratilanteita;
- koneen pysähtymistä ei saa estää, jos pysäytyskäsky on jo annettu;
- koneen liikkuva osa tai koneen kiinni pitämä kappale ei saa pudota tai sinkoutua;
- minkään liikkuvan osan automaattinen tai käsikäyttöinen pysäyttäminen ei saa estyä;
- turvalaitteiden on pysyttävä täysin toimintakykyisinä tai annettava pysäytyskäsky.

### 1.3 Suojaaminen mekaanisilta vaaroilta

#### 1.3.1. Vakavuuden menettämisen riski

Koneen sekä sen osien ja liitoskappaleiden on oltava riittävän vakaita, jotta estetään niiden kaatuminen, putoaminen tai hallitsemattomat liikkeet kuljetuksen, kokoonpanemisen ja purkamisen sekä muiden koneeseen liittyvien toimien aikana. Jollei koneen muoto tai sille suunniteltu asennustapa anna sille riittävää vakavuutta, koneessa on oltava tarkoituksenmukaiset kiinnitysrakenteet, ja ne on osoitettava ohjeissa.

#### 1.3.2. Rikkoutumisriski toiminnan aikana

Koneen eri osien ja niiden välisten liitosten on kestettävä niihin käytössä kohdistuvat rasitukset. Käytettävien materiaalien on sovellettava valmistajan tai tämän valtuutetun



edustajan ennakoiman työskentely-ympäristön luonteeseen erityisesti niiden väsymisen, vanhenemisen, korroosion ja kulumisen osalta. Ohjeissa on ilmoitettava turvallisuuden kannalta tarpeelliset tarkastus- ja kunnossapitotoimenpiteet määräaikoineen. Niissä on tarvittaessa yksilöitävä kuluvat osat ja määriteltävä niiden vaihtamisperusteet. Jos murtumisen tai hajoamisen riski on edelleen olemassa toteutetuista toimenpiteistä huolimatta, kyseiset osat on asennettava, sijoitettava tai suojattava siten, että sirpaleiden sinkoutuminen koneesta estyy ja vaaralliset tilanteet vältetään. Nesteitä ja kaasuja sisältävien, erityisesti korkeapaineisten putkien ja letkujen on kestettävä ennakoidut sisäiset ja ulkoiset rasitukset ja oltava lujasti kiinnitetyt tai suojatut sen varmistamiseksi, ettei murtumasta aiheudu riskiä.

#### 1.3.4. Pinnoista, reunoista tai kulmista aiheutuvat riskit

Niin pitkälle kuin käyttötarkoitus sen sallii, koneen kosketeltavissa olevissa osissa ei saa olla teräviä reunoja, teräviä kulmia eikä karkeita pintoja, joista saattaa aiheutua vammoja.

#### 1.3.5. Yhteen liitettyihin koneisiin liittyvät riskit

Jos yhteen liitetyt koneet on tarkoitettu suorittamaan useita erilaisia toimintoja, joiden kunkin välillä työkappale irrotetaan käsin, ne on suunniteltava ja rakennettava siten, että jokaista toiminnallista osaa voidaan käyttää erikseen muiden toiminnallisten osien aiheuttamatta altistuneille henkilöille riskiä. Tämän toteuttamiseksi suojaamattomat toiminnalliset osat on voitava käynnistää ja pysäyttää erikseen.

#### 1.3.6. Käyttöolosuhteiden muutoksista aiheutuvat riskit

Jos kone on tarkoitettu käytettäväksi erilaisissa käyttöolosuhteissa, se on suunniteltava ja rakennettava siten, että näiden olosuhteiden vaatimat valinnat ja asetukset voidaan tehdä turvallisesti ja luotettavasti.

#### 1.3.7. Liikkuvista osista aiheutuvat riskit

Koneen liikkuvat osat on suunniteltava ja rakennettava niin, että kosketuksesta aiheutuvat ja onnettomuuksiin mahdollisesti johtavat riskit estetään. Jos riskejä ei saada poistetuksi, kone on varustettava suojuksilla tai turvalaitteilla. Kaikki tarvittavat toimenpiteet on toteutettava, jotta työstämisessä mukana olevat liikkuvat osat eivät juutu. Jos juuttuminen on varotoimenpiteistä huolimatta todennäköistä, on tarvittaessa asianmukaisten erityisten

turvalaitteiden ja työkalujen avulla huolehdittava siitä, että laite saadaan turvallisesti vapautetuksi. Näistä erityisistä turvalaitteista ja niiden käyttötavasta on ilmoitettava ohjeissa ja mahdollisuuksien mukaan koneessa olevassa kilvessä.

#### 1.3.8. Suojaustavan valinta liikkuvista osista aiheutuvan riskin torjumiseksi

Koneen liikkuvista osista aiheutuvien riskien torjuntaan suunnitellut suojukset ja turvalaitteet on valittava riskin tyyppin perusteella, käyttäen seuraavia ohjeita.

##### 1.3.8.1. Voimansiirron liikkuvat osat

Suojusten, jotka on tarkoitettu henkilöiden suojaamiseen voimansiirron liikkuvien osien aiheuttamilta vaaroilta, on oltava joko tarkoitettuja kiinteitä suojuksia tai toimintaankytkettyjä avattavia suojuksia. Jos näihin osiin pääsyn ennakoidaan olevan usein toistuvaa, olisi käytettävä toimintaankytkettyjä avattavia suojuksia.

##### 1.3.8.2. Prosessiin liittyvät liikkuvat osat

Suojusten tai turvalaitteiden, jotka on tarkoitettu henkilöiden suojaamiseen prosessiin liittyvien liikkuvien osien aiheuttamilta vaaroilta, on oltava:

- joko 1.4.2.1. kohdassa tarkoitettuja kiinteitä suojuksia;
- 1.4.2.2. kohdassa tarkoitettuja toimintaankytkettyjä avattavia suojuksia;
- 1.4.3. kohdassa tarkoitettuja turvalaitteita; tai
- yllä mainittujen yhdistelmä.

Jos tiettyjä prosessiin suoraan liittyviä liikkuvia osia ei voida kokonaan sijoittaa toiminnan aikana ulottumattomiin toimintojen tekemisen vaatiessa käyttäjän toimenpiteitä, ne on varustettava:

- kiinteillä suojuksilla tai toimintaankytketyillä avattavilla suojuksilla, jotka estävät pääsyn niille liikkuvien osien alueille, joita ei käytetä työssä; ja
- 1.4.2.3. kohdassa tarkoitetuilla aseteltavilla suojuksilla, jotka rajoittavat pääsyn niille liikkuvien osien alueille, joihin pääsy on välttämätöntä.

### 1.3.9. Hallitsemattomien liikkeiden aiheuttamat riskit

Koneen ollessa pysäytetty, sen mistä tahansa muusta kuin ohjauslaitteiden käytöstä aiheutuva liike on estettävä tai sen on oltava sellainen, ettei se aiheuta vaaraa.

## 1.4 Suojuksilta ja turvalaitteilta vaadittavat ominaisuudet

### 1.4.1. Yleiset vaatimukset

Suojusten ja turvalaitteiden on:

- oltava rakenteeltaan kestäviä;
- pysyttävä lujasti paikallaan;
- oltava sellaisia, ettei niistä aiheudu lisävaaraa;
- oltava sellaisia, ettei niitä ole helppo ohittaa tai tehdä toimimattomiksi;
- sijaittava riittävällä etäisyydellä vaaravyöhykkeestä;
- estettävä mahdollisimman vähän työprosessin tarkkailua; ja
- sallittava työkalujen asettamisen tai vaihtamisen sekä kunnossapidon edellyttämät toimet rajoittamalla pääsy vain kohtaan, jossa tämä työ on tehtävä. Jos mahdollista tämä on tehtävä ilman että suojuksia poistetaan, tai että turvalaite kytetään pois käytöstä.

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

### 1.4.2. Suojuksia koskevat erityisvaatimukset

#### 1.4.2.1. Kiinteät suojukset

Kiinteiden suojusten kiinnitysjärjestelmän avaaminen tai irrottaminen saa olla mahdollista vain työkaluilla. Kiinnitysjärjestelmien on pysyttävä kiinnitettynä suojuksiin tai koneeseen, kun suojukset irrotetaan. Suojusten on mahdollisuuksien mukaan oltava sellaisia, etteivät ne pysy paikallaan ilman kiinnittimiään.

#### 1.4.2.2. Toimintaankytketyt avattavat suojukset

Toimintaankytkettyjen avattavien suojusten on mahdollisuuksien mukaan jäätävä kiinni koneeseen, kun ne ovat auki. Niiden on oltava suunniteltu ja rakennettu siten, että niitä voidaan säätää ainoastaan tarkoituksella. Toimintaankytketyissä avattavissa suojuksissa on oltava toimintaankytkentälaitte, joka estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen,

kunnes suojus on kiinni, ja antaa pysäytyskäskyn, kun suojus ei enää ole kiinni. Jos käyttäjä voi ulottua vaaravyöhykkeelle, ennen kuin riski on poistunut, on avattavissa suojuksissa toimintaankytkentälaitteen lisäksi oltava suojuksen lukituslaite. Lukituslaitteen täytyy estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistyminen, kunnes suojus on kiinni ja lukittu, ja pitää suojus kiinni ja lukittuna, kunnes koneen vaarallisista toiminnoista aiheutuva tapaturmariski on poistunut. Toimintaankytketyt avattavat suojuukset on suunniteltava siten, että yhdenkin niiden komponentin puuttuminen tai vikaantuminen estää koneen vaarallisten toimintojen käynnistymisen tai pysäyttää ne.

#### 1.4.2.3. Pääsyä rajoittavat aseteltavat suojuukset

Aseteltavien suojusten, jotka rajoittavat pääsyn vain niihin liikkuvien osien kohtiin, joita ehdottomasti tarvitaan työskenneltäessä, on oltava käsin tai automaattisesti aseteltavissa tehtävän työn tyyppin mukaan. Asettelen tulee onnistua helposti ilman työkaluja.

#### 1.4.3. Turvalaitteita koskevat erityisvaatimukset

Turvalaitteet on suunniteltava ja liitettävä ohjausjärjestelmään siten, että:

- liikkuvat osat eivät voi käynnistyä, kun ne ovat käyttäjän ulottuvilla;
- henkilöt eivät voi ulottua liikkuviin osiin, kun osat liikkuvat; ja
- turvalaitteen yhdenkin komponentin puuttumisen tai vikaantumisen on estettävä käynnistyminen, tai pysäytettävä liikkuvat osat.
- Turvalaitteiden on oltava säädettävissä vain tarkoituksellisella toimenpiteellä.

### 1.5 Muista vaaroista aiheutuvat riskit

#### 1.5.1. Sähkönsyöttö

Kone, jossa on sähkönsyöttö, on suunniteltava, rakennettava ja varustettava siten, että kaikki sähköstä johtuvat vaarat estetään tai voidaan estää. Koneeseen on sovellettava direktiivissä 2006/95/EY tai sitä vastaavassa kansallisessa säädöksessä asetettuja turvallisuusvaatimuksia. Velvoitteisiin, jotka koskevat koneen vaatimustenmukaisuuden arviointia sekä saattamista markkinoille tai käyttöönottoa sähköstä johtuvien vaarojen osalta, sovelletaan kuitenkin ainoastaan tätä asetusta.

#### 1.5.2. Staattinen sähkö

Kone on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että mahdollisesti vaaraa aiheuttavien sähköstaattisten varausten syntyminen estetään tai rajoitetaan, tai koneessa on oltava laitteet varausten purkamiseksi.

#### 1.5.3. Muun kuin sähköenergian syöttö

Kone, jonka tehonlähteenä on muu kuin sähköenergia, on suunniteltava, rakennettava ja varustettava siten, että kaikki mahdolliset näihin energialähteisiin liittyvät riskit vältetään.

#### 1.5.4. Asennusvirheet

Jos tiettyjä osia asennettaessa, liitettäessä tai vaihdettaessa voi virheellisestä asennuksesta aiheutua riskejä, virheet on tehtävä mahdottomiksi jo osien tai liittimien suunnittelu- ja rakennusvaiheessa. Jos tämä ei ole mahdollista, tieto riskistä on merkittävä itse osiin tai liittimiin, taikka niiden kotelointeihin. Edellä tarkoitettu tieto on merkittävä liikkuviin osiin tai niiden kotelointeihin, jos osien liikesuunta on tiedettävä riskin välttämiseksi. Tarvittaessa ohjeissa on annettava lisätietoja näistä riskeistä.

#### 1.5.5. Ääriämpötilat

Korkeassa tai erittäin alhaisessa lämpötilassa olevien koneen osien tai materiaalien koskettamisesta tai läheisyydestä aiheutuvan minkä tahansa tapaturmariskin välttämiseksi on toteutettava tarvittavat toimenpiteet. Kuumien tai erittäin kylmien materiaalin sinkoutumisriskin estämiseksi tai siltä suojaamiseksi on toteutettava tarvittavat toimenpiteet.

#### 1.5.6. Tulipalo

Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että vältetään palo- ja ylikuumenemisriskit, joita itse kone tai siinä tuotetut tai käytetyt kaasut, nesteet, pöly, höyryt tai muut aineet aiheuttavat.

#### 1.5.7. Räjähdyks

Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että vältetään kaikki räjähdysriskit, joita itse kone tai siinä tuotetut tai käytetyt kaasut, nesteet, pöly, höyryt tai muut aineet aiheuttavat. Koneen on oltava voimassa olevien yhteisön erityisdirektiivien tai niitä vastaavien kansallisten säädösten mukainen sellaisten räjähdysriskien osalta, jotka aiheutuvat sen käytöstä räjähdysvaarallisessa ilmaseoksessa.

#### 1.5.8. Melu

Kone on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että ilmassa etenevästä melupäästöstä johtuvat riskit on vähennetty alimmalle mahdolliselle tasolle ottaen huomioon tekniikan kehitys ja käytössä olevat keinot vähentää melua erityisesti melulähteeseen kohdistuvien toimenpitein. Melupäästön taso voidaan arvioida käyttäen samankaltaisten koneiden vertailevia päästötietoja.

#### 1.5.9. Tärinä

Kone on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että koneen aiheuttamasta tärinästä johtuvat riskit on vähennetty alimmalle mahdolliselle tasolle, ottaen huomioon tekniikan kehitys ja käytössä olevat keinot vähentää tärinää erityisesti tärinän lähteeseen kohdistuvien toimenpitein. Tärinäpäästön taso voidaan arvioida käyttäen samankaltaisten koneiden vertailevia tietoja.

#### 1.5.10. Säteily

Koneen säteilypäästöt on poistettava tai pienennettävä sellaisille tasoille, että niillä ei ole haitallisia vaikutuksia henkilöihin. Mahdollinen riski on torjuttava tarvittavien suojaustoimenpitein. Toiminnalliset ionisoimattomat säteilypäästöt säädön, käytön ja puhdistuksen aikana on rajoitettava sellaisille tasoille, ettei niillä ole haitallisia vaikutuksia henkilöihin. Kone on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, ettei ulkoinen säteily häiritse sen toimintaa.

#### 1.5.13. Vaaraa aiheuttavien materiaalien ja aineiden päästöistä aiheutuvat riskit

Kone on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että voidaan välttää sen tuottamien vaaraa aiheuttavien materiaalien ja aineiden aiheuttamat hengitykseen, nielemiseen, iho-, silmä- ja limakalvoskosketukseen ja ihon läpitukenkumiseen liittyvät riskit. Jos vaaraa ei voida poistaa, kone on varustettava siten, että vaaraa aiheuttavat materiaalit ja aineet voidaan kerätä talteen, poistaa, huuhtoa pois, suodattaa tai käsitellä muulla yhtä tehokkaalla menetelmällä. Jos prosessi ei ole täysin suljettu koneen normaalin toiminnan aikana, keruu- tai poistolaitteiden on sijaittava niin, että saavutetaan paras mahdollinen vaikutus.

#### 1.5.14. Koneeseen loukkuunjäämisen riski

Kone on suunniteltava, rakennettava tai varustettava siten, että henkilö ei voi jäädä loukkuun sen sisälle, tai jos tämä ei ole mahdollista, siten, että henkilö voi kutsua apua.

#### 1.5.15. Liukastumis-, kompastumis- ja putoamisriski

Koneen osat, joiden päällä voidaan liikkua tai seisoa, on suunniteltava ja rakennettava sellaisiksi, ettei niillä ollessa voi liukastua, kompastua tai kaatua tai ettei niiltä voi pudota. Nämä osat on tarvittaessa varustettava käyttäjän ulottuvilla olevalla rakenteella, josta saa otteen ja johon tarttumalla käyttäjä säilyttää vakaan asennon.

### 1.6 Kunnossapito

#### 1.6.1. Koneen kunnossapito

Säätö- ja kunnossapitokohtien on sijaittava vaaravyöhykkeiden ulkopuolella. Säätö-, kunnossapito-, korjaus-, puhdistus- ja huoltotoimenpiteet on voitava tehdä koneen ollessa pysähtynyt. Jollei yhtä tai useampaa mainituista edellytyksistä voida täyttää, on varmistettava, että kyseiset toimet voidaan tehdä turvallisesti (ks. 1.2.5. kohta).

Automaattisissa koneissa ja tarvittaessa muissa koneissa on oltava liitäntämahdollisuus vianetsintälaitetta varten. Automaattisten koneiden usein vaihdettavat komponentit on voitava irrottaa ja vaihtaa helposti ja turvallisesti. Komponenttien on oltava ulottuvilla siten, että nämä tehtävät voidaan tarpeellisia teknisiä välineitä käyttäen tehdä määritettyjen toimintaohjeiden mukaisesti. Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että turvallinen pääsy on mahdollista kaikille sellaisille alueille, joilla käyttäjän puuttuminen toimintaan on välttämätöntä koneen käytön, säädön ja kunnossapidon aikana.

#### 1.6.3. Erottaminen energialähteistä

Koneessa on oltava laitteet, joilla se voidaan erottaa kaikista energialähteistä. Näiden erotuslaitteiden on oltava selvästi tunnistettavissa. Ne on voitava lukita, jos energialähteeseen uudelleen kytkeminen voi aiheuttaa vaaran henkilöille. Erotuslaitteet on voitava lukita myös silloin, kun käyttäjä ei voi mistään sellaisesta paikasta, johon hänellä on pääsy, tarkistaa, että energiansyöttö on edelleen katkaistuna.

Jos kone voidaan liittää pistokkeella virtalähteeseen, pistokkeen irrottaminen riittää edellyttäen, että käyttäjä voi mistä tahansa paikasta, johon hänellä on pääsy, tarkistaa, että pistoke pysyy irrotettuna. Energiansyötön katkaisun jälkeen on voitava normaalilla tavalla purkaa koneen piireihin jäänyt tai varastoitunut energia ilman, että henkilöille aiheutuu riski. Poiketen edellisten kohtien vaatimuksista sellaiset piirit, joiden tarkoituksena on esimerkiksi osien kiinnipito, tiedon säilyttäminen tai sisäosien valaiseminen, saavat jäädä kytketyiksi energialähteisiinsä. Tällöin on käyttäjän turvallisuus varmistettava erityistoimenpitein.

#### 1.6.4. Käyttäjän puuttuminen koneen toimintaan

Kone on suunniteltava, rakennettava ja varustettava siten, että käyttäjän puuttumista sen toimintaan rajoitetaan. Jos käyttäjän puuttumista koneen toimintaan ei voi välttää, sen tulee voida tapahtua helposti ja turvallisesti.

#### 1.6.5. Sisäosien puhdistus

Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että sen vaarallisia aineita tai valmisteita sisältäneet sisäosat voidaan puhdistaa ja tarvittaessa tukokset purkaa koneen ulkopuolelta. Jos on mahdotonta välttää menemistä koneen sisälle, kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että se voidaan puhdistaa turvallisesti.

### 1.7 Tiedot

#### 1.7.1. Koneeseen kiinnitetyt tiedot ja varoitukset

Koneeseen kiinnitetyt tiedot ja varoitukset olisi mieluiten esitettävä helposti ymmärrettävinä symboleina tai kuvatunnuksina. Kirjalliset tai suulliset tiedot ja varoitukset on ilmaistava yhdellä tai useammalla siinä jäsenvaltiossa käytössä olevalla yhteisön virallisella kielellä, jossa kone saatetaan markkinoille tai otetaan käyttöön; lisäksi ne voidaan ilmaista muilla käyttäjien ymmärtämällä yhteisön virallisilla kielillä.

Koneen hallintaan tarvittavat tiedot on esitettävä yksiselitteisessä ja helposti ymmärrettävässä muodossa. Tietoja ei saa olla niin paljon, että ne kuormittavat käyttäjää kohtuuttomasti. Näyttöjen tai muiden käyttäjän ja koneen välissä olevien vuorovaikutteisten tiedonvälitystapojen on oltava ymmärrettäviä ja helppokäyttöisiä.



Jos vika valvomattoman koneen toiminnassa saattaa vaarantaa henkilöiden terveyden ja turvallisuuden, kone on varustettava siten, että se antaa asianmukaisen ääni- tai valomerkin varoituksena. Koneen varoituslaitteiden on oltava selkeitä ja helposti havaittavia, ja koneen käyttäjän on voitava milloin tahansa tarkistaa niiden toiminta. Turvaväreistä ja -merkeistä annettujen yhteisön erityisdirektiivien vaatimuksia on noudatettava.

#### 1.7.2. Varoittaminen jäännösriskeistä

Kone on varustettava tarpeellisilla varoituksilla ja varoituslaitteilla, jos toteutetuista luontaisesti turvallisista suunnittelu- ja suojausteknisistä toimenpiteistä ja täydentävistä suojaustoimenpiteistä huolimatta jäljelle jää riskejä.

#### 1.7.3. Koneen merkinnät

Koneeseen on merkittävä näkyvästi, selvästi ja pysyvästi seuraavat vähimmäistiedot:

- valmistajan toiminimi ja täydellinen osoite ja valtuutetun edustajan tiedot;
- koneen nimi;
- CE-merkintä;
- sarja- tai tyyppimerkintä;
- mahdollinen sarjanumero; ja
- rakennusvuosi eli vuosi jona valmistusprosessi on saatu päätökseen.

CE-merkintää kiinnitettäessä on kiellettyä varustaa konetta aikaisemmalla tai myöhäisemmällä päiväyksellä. Räjähdyksivaarallisessa ilmaseoksessa käytettäväksi suunnitellussa ja rakennetussa koneessa on lisäksi oltava merkintä tästä. Koneessa on oltava myös kaikki sen tyyppiä ja turvallista käyttöä koskevat olennaiset tiedot. Näihin tietoihin sovelletaan 1.7.1. kohdassa vahvistettuja vaatimuksia. Jos koneen osaa täytyy käsitellä käytön aikana nostolaitteella, sen massa on merkittävä helposti luettavalla, pysyvällä ja yksiselitteisellä tavalla.

#### 1.7.4. Ohjeet

Jokaisen koneen mukana on oltava ohjeet yhdellä tai useammalla siinä jäsenvaltiossa käytössä olevalla yhteisön virallisella kielellä, jossa kone saatetaan markkinoille tai otetaan käyttöön. Koneen mukana olevien ohjeiden on oltava "alkuperäiset" tai "alkuperäisten ohjeiden

käännös". Jos kyseessä on käännös, on sen mukana toimitettava alkuperäiset ohjeet. Tästä poikkeaa kunnossapito-ohjeet, jotka on tarkoitettu valmistajan tai valmistajan valtuutetun edustajan nimeämien asiantuntijoiden käyttöön. Nämä voidaan toimittaa myös yhdellä ainoalla yhteisön kielellä, jota kyseiset asiantuntijat ymmärtävät. Ohjeet on laadittava seuraavien yleisten periaatteiden mukaisesti:

- a) Ohjeet on laadittava yhdellä tai useammalla yhteisön virallisella kielellä. Valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan tarkistamassa yhdessä tai useammassa käännöksessä on oltava maininta "alkuperäiset ohjeet".
- b) Jos "alkuperäisiä ohjeita" ei ole saatavana sen maan yhdellä tai useammalla virallisella kielellä, jossa konetta on määrä käyttää, valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan tai koneen kyseiselle kielialueelle tuovan henkilön on tehtävä ohjeista käännös kyseisille kielille. Käännöksessä on oltava maininta "alkuperäisten ohjeiden käännös".
- c) Ohjeissa on otettava huomioon paitsi koneen tarkoitettu käyttö, myös sen kohtuudella ennakoitavissa oleva väärinkäyttö.
- d) Siinä tapauksessa, kun kone on tarkoitettu muiden kuin ammattihenkilöiden käyttöön, käyttöohjeet on sanamuodoltaan ja ulkoasultaan laadittava ottaen huomioon se yleinen koulutustaso ja harkintakyky, mitä kohtuudella voidaan sellaisilta käyttäjiltä edellyttää.

#### 1.7.4.2. Ohjeiden sisältö

Jokaisessa ohjekirjassa on tarvittaessa oltava vähintään seuraavat tiedot:

- a) valmistajan ja tämän valtuutetun edustajan toiminimi ja täydellinen osoite;
- b) koneen nimi siinä muodossa kuin se on itse koneeseen merkittynä lukuun ottamatta sarjanumeroa (katso kohta 1.7.3.);
- c) EY-vaatimustenmukaisuusvakuutus tai asiakirja, jossa esitetään itse EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa olevat tiedot ja josta käyvät ilmi koneen ominaisuudet, mutta jossa ei välttämättä ole sarjanumeroa ja allekirjoitusta;
- d) koneen yleinen kuvaus;
- e) piirustukset, kaaviot, kuvaukset ja selitykset, jotka ovat koneen käytön, huollon ja korjauksen sekä sen oikean toiminnan tarkistamisen kannalta tarpeelliset;
- f) kuvaus yhdestä tai useammasta työskentelypaikasta, jota koneen käyttäjät voivat käyttää;
- g) koneen tarkoitettun käytön kuvaus;
- h) varoitukset koneen mahdollisiksi havaituista kielletyistä käyttötavoista;

- i) koneen kokoonpano-, asennus- ja kytkentäohjeet, sisältäen piirustukset, kaaviot ja kiinnitys-  
välineitä koskevat tiedot sekä kuvaus rungosta tai rakenteesta, jolle kone on tarkoitus asentaa;
- j) asennusta ja kokoonpanoa koskevat ohjeet, joiden tarkoituksena on melun tai värinän  
vaimentaminen;
- k) koneen käyttöönottoa, käyttöä ja tarvittaessa käyttäjien kouluttamista koskevat ohjeet;
- l) tietoja sellaisista jäännösriskeistä, joita on jäänyt jäljelle toteutetuista luontaisesti  
turvallisista suunnittelutoimenpiteistä, suojausteknisistä toimenpiteistä ja täydentävistä  
suojaustoimenpiteistä huolimatta;
- m) ohjeita suojaustoimenpiteistä, jotka käyttäjän on toteutettava, mukaan luettuina tarvittaessa  
ohjeet henkilösuojaimista;
- n) koneeseen kiinnitettävissä olevien työkalujen olennaiset ominaisuudet;
- o) olosuhteet, joissa kone täyttää vakavuutta koskevan vaatimuksen sen käytön, kuljetuksen,  
kokoonpanon ja purkamisen aikana, sekä ollessaan poissa käytöstä sille tehtävien testien  
aikana tai ennakoitavissa olevan rikkoontumisen yhteydessä;
- p) koneen kuljetuksen sekä sen käsittely- ja varastointitoimenpiteiden turvallisuuden  
varmistamista koskevat ohjeet, joissa ilmoitetaan koneen ja sen eri osien massat, jos niitä on  
säännöllisesti kuljetettava erikseen;
- q) menettelytavat, joita on noudatettava onnettomuus- tai rikkoutumistilanteessa; jos koneen  
tukkeutuminen on todennäköistä, menettelytapa, jolla laitteet voidaan turvallisesti vapauttaa;
- r) niiden säätö- ja kunnossapitotoimenpiteiden erittely, jotka käyttäjän olisi tehtävä, sekä  
sellaiset ennaltaehkäisevän kunnossapidon toimenpiteet, jotka olisi otettava huomioon;
- s) säätöjen ja kunnossapidon turvallisen toteuttamisen ohjeet, sekä tiedot tällaisten  
toimenpiteiden aikana tarvittavista suojaustoimenpiteistä;
- t) sellaisten varaosien erittelyt, joita on käytettävä, kun niillä on merkitystä käyttäjien  
terveyden ja turvallisuuden kannalta;
- u) seuraavat tiedot ilmassa etenevistä melupäästöistä:
- A-painotettu päästöäänepainetaso työskentelypaikoilla, jos se ylittää 70 dB(A). Jos  
tämä taso ei ylitä 70 dB(A), siitä on ilmoitettava,
  - C-painotettu äänenpaineen huippuarvo työskentelypaikoilla, jos se ylittää 63 Pa (130  
dB vertailuarvo 20 µPa),

- koneen synnyttämä A-painotettu äänitehotaso, jos A-painotettu päästöäänepainetaso työskentelypaikoilla ylittää tason 80 dB(A).

Edellä mainitut arvot ovat joko kyseisen koneen todellisuudessa mitattuja arvoja, tai ne määritetään mittauksista, jotka on tehty teknisesti vertailukelpoiselle koneelle, joka riittävästi edustaa valmistettavaa konetta. Erittäin suuren koneen kyseessä ollessa A-painotetun äänitehotason asemesta voidaan ilmoittaa A-painotetut päästöäänepainetasot nimetyissä paikoissa koneen ympärillä. Jos yhdenmukaistettuja standardeja ei sovelleta, äänitasot on mitattava käyttäen koneelle sopivinta mittausmenetelmää. Melupäästöarvoja ilmoitettaessa on näihin arvoihin liittyvä epävarmuus aina yksilöitävä. Mittausten toimintaolosuhteet ja mittauksessa käytetyt menetelmät on kuvattava. Jollei yhtä tai useampaa työskentelypaikkaa ole määritelty tai ei voida määritellä, A-painotetut äänenpainetasot on mitattava yhden metrin etäisyydeltä koneesta ja 1,60 metrin korkeudelta lattiasta tai kulkutasosta. Suurimman äänenpaineen paikka ja lukuarvo on ilmoitettava. Jos yhteisön erityisdirektiiveissä säädetään muita äänenpainetasojen tai äänitehotasojen mittausta koskevia vaatimuksia, on sovellettava kyseisiä direktiivejä tämän kohdan säännösten sijaan;

v) tiedot jotka koskevat koneen käyttäjään ja altistuviin henkilöihin kohdistuvaa säteilyä, jos kone todennäköisesti aiheuttaa ionisoimatonta säteilyä, joka voi vahingoittaa henkilöitä. Erityisesti on huomioitava säteilyn vaikutukset henkilöihin, joilla on aktiivinen tai ei-aktiivinen implantoitava lääkinnällinen laite.

Lähde: VNa 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta.

Liite III. Koneilta vaadittavien vaatimustenmukaisuusvakuutusten ja osittain valmiilta koneilta vaadittavien liittämismukaisuusvakuutusten sisällöt. (VNa 12.6.2008/400; VNa 27.12.2007/1466).

#### A. Koneiden vaatimustenmukaisuusvakuutus

EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen on sisällettävä seuraavat tiedot:

- 1) Valmistajan toiminimi ja täydellinen osoite sekä tarvittaessa tämän valtuutettu edustaja.
- 2) Sen henkilön nimi ja osoite, joka on valtuutettu kokoamaan teknisen tiedoston. Henkilön on oltava osa valmistajan yhteisöä.
- 3) Koneen kuvaus ja tunniste, mukaan lukien koneen yleisnimike, toiminta, malli, tyyppi, sarjanumero ja kaupallinen nimi.
- 4) Vakuutus siitä, että kone täyttää kaikkien sitä koskevien direktiivien asiaankuuluvat säännökset. Näiden viitetietojen on oltava samat kuin Euroopan unionin virallisessa lehdessä julkaistut tiedot. Konetta koskee aina koneturvallisuusasetus (2006/42/EY), jonka lisäksi sähkölaitteita koskevat sähkömagneettista yhteensopivuutta käsittelevä direktiivi (2004/108/EY) ja piensähködirektiivi (2006/95/EY). Joitakin suodattimia ja niiden lisälaitteita koskevat myös ATEX-direktiivi (94/9/EY) ja painelaitedirektiivi (97/23/EY).
- 5) Viittaukset koneen suunnittelussa ja valmistuksessa käytettyihin standardeihin. Ensisijaisesti tulisi käyttää yhdenmukaistettuja EN-standardeja, sitten vasta muita yhdenmukaistettuja, kuten ISO-standardeja, ja viimeisenä vaihtoehtona maakohtaisia, kuten SFS-standardeja.
- 6) Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen antamisen aika ja paikka.
- 7) Sen henkilön nimi ja allekirjoitus, joka on valtuutettu laatimaan tämä vakuutus valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan puolesta.

(jatkuu)

### Liite III. (jatkoa)

#### B. Osittain valmiiden koneiden liittämismakuutus

Osittain valmiin koneen on sisällettävä seuraavat tiedot:

- 1) Valmistajan toiminimi ja täydellinen osoite sekä tarvittaessa tämän valtuutettu edustaja.
- 2) Sen henkilön nimi ja osoite, joka on valtuutettu kokoamaan teknisen tiedoston. Henkilön on oltava osa valmistajan yhteisöä.
- 3) Koneen kuvaus ja tunniste, mukaan lukien koneen yleisnimike, toiminta, malli, tyyppi, sarjanumero ja kaupallinen nimi.
- 4) Selvitys niistä tätä konetta koskevista direktiiveistä, joiden vaatimukset toteutetaan, ja niistä joita ei pystytä täyttämään. Näiden viitetietojen on oltava samat kuin Euroopan unionin virallisessa lehdessä julkaistut tiedot. Vakuutus siitä, että asiaankuuluvat tekniset asiakirjat on laadittu liitteessä IV käsiteltyjen ohjeiden mukaisesti.
- 5) Sitoumus toimittaa tätä osittain valmista konetta koskevia asiaankuuluvia tietoja kansallisten viranomaisten perustellusti niitä pyytäessä. Sitoumukseen on sisällyttävä siirtoa koskevat yksityiskohtaiset säännöt eikä se saa rajoittaa osittain valmiin koneen valmistajan teollis- ja tekijänoikeuksia.
- 6) Toteamus siitä, että osittain valmista konetta ei saa ottaa käyttöön ennen kuin lopullisen koneen, johon se on määrä liittää, on tarvittaessa ilmoitettu olevan tämän asetuksen tai sitä vastaavan direktiivin säännösten mukainen;
- 7) Liittämismakuutuksen antamisen aika ja paikka
- 8) Sen henkilön nimi ja allekirjoitus, joka on valtuutettu laatimaan tämä vakuutus valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan puolesta.

Lähteet: VNa 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta; VNa 27.12.2007/1466. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta.

Liite IV. Painesuodattimien ja niiden lisälaitteiden teknisten tiedostojen sisältövaatimukset (VNa 12.6.2008/400; VNa 27.12.2007/1466).

Teknisen tiedoston tulee sisältää seuraavat tiedot:

- 1) Koneen yleiskuvaus ja -piirustus, sekä ohjauspiirien piirustukset, sekä muut tarvittavat kuvaukset ja selitykset koneen toiminnan ymmärtämiseksi.
- 2) Tarpeen mukaan koneen tai muiden siihen liitettyjen tuotteiden EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksista.
- 3) Yksityiskohtaiset piirustukset laskelmineen, testaustuloksineen, todistuksineen ja muine tietoineen, joita tarvitaan tarkastettaessa, onko kone olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukainen.
- 4) Osittain valmiin koneen osalta vaaditaan lisäksi asianmukaiset kokoonpano-ohjeet osittain valmiin koneen liittämiseksi osaksi sitä konetta, mihin se on tarkoitus liittää.
- 5) Riskien arviointia koskevat asiakirjat, joita on käsitelty tarkemmin liitteessä VII.

Valmistajan on tehtävä valmiille tai osittain valmiille koneelle ja sen osille kohdassa 3 mainitut tutkimukset ja testit mikäli ne ovat tarpeellisia laitteen turvallisuuden selvittämiseksi. Teknisen tiedoston on oltava jäsenvaltioiden toimivaltaisten viranomaisten käytettävissä vähintään kymmenen vuoden ajan koneen tai sarjatuotannossa viimeisen tuotetun kappaleen valmistusajankohdasta. Tekninen tiedosto tulee esittää viranomaiselle tämän sitä pyytäessä, mutta tiedostoa ei tarvitse säilyttää yhteisön alueella, eikä sen tarvitse olla jatkuvasti käytettävissä aineellisessa muodossa. EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa, tai osittain valmiiden koneiden tapauksissa liittämistä vakuutuksessa, nimetyn henkilön on kuitenkin voitava koota tekninen tiedosto ja antaa se käyttöön määräajassa. Määräaika määritellään tapauskohtaisesti, ja sen pituus riippuu laitteen ja asiakirjan sisällön monimutkaisuudesta. Mikäli teknistä tiedostoa ei pystytä esittämään viranomaiselle määräajassa, vaarantuu laitteen vaatimustenmukaisuus, mistä voi seurata kappaleessa 2.2.2.2 käsitelty rangaistus.

Lähteet: VNa 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta; VNa 27.12.2007/1466. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta.

Liite V. Sähkölaitteistojen sähkömagneettisen yhteensopivuuden erityisvaatimukset (VNa 27.12.2007/1466).

1) Suojausvaatimukset

Laite on suunniteltava ja valmistettava ajankohtaista tekniikkaa hyödyntäen siten, että:

- a) laitteen aiheuttama sähkömagneettinen häiriö ei haittaa radio- ja telelaitteiden, tai muiden laitteiden toimintaa
- b) laitteen sähkömagneettisen häiriön sietokyky on sellainen, ettei laitteen toiminta häiriinny kohtuuttomasti normaalissa käytössä.

2) Kiinteitä asennuksia koskevat erityisvaatimukset

Kiinteässä asennuksessa on noudatettava hyviä teknisiä käytäntöjä komponenttien aiottua käyttötarkoitusta koskevat tiedot huomioiden siten, että kohdassa 1 esitetyt suojausvaatimukset täyttyvät. Käytetyt hyvät tekniset käytännöt on dokumentoitava ja asiakirjat säilytettävä. Asiakirjojen on oltava sähköturvallisuusviranomaisen saatavilla tarkastusta varten niin kauan kuin asennus on käytössä.

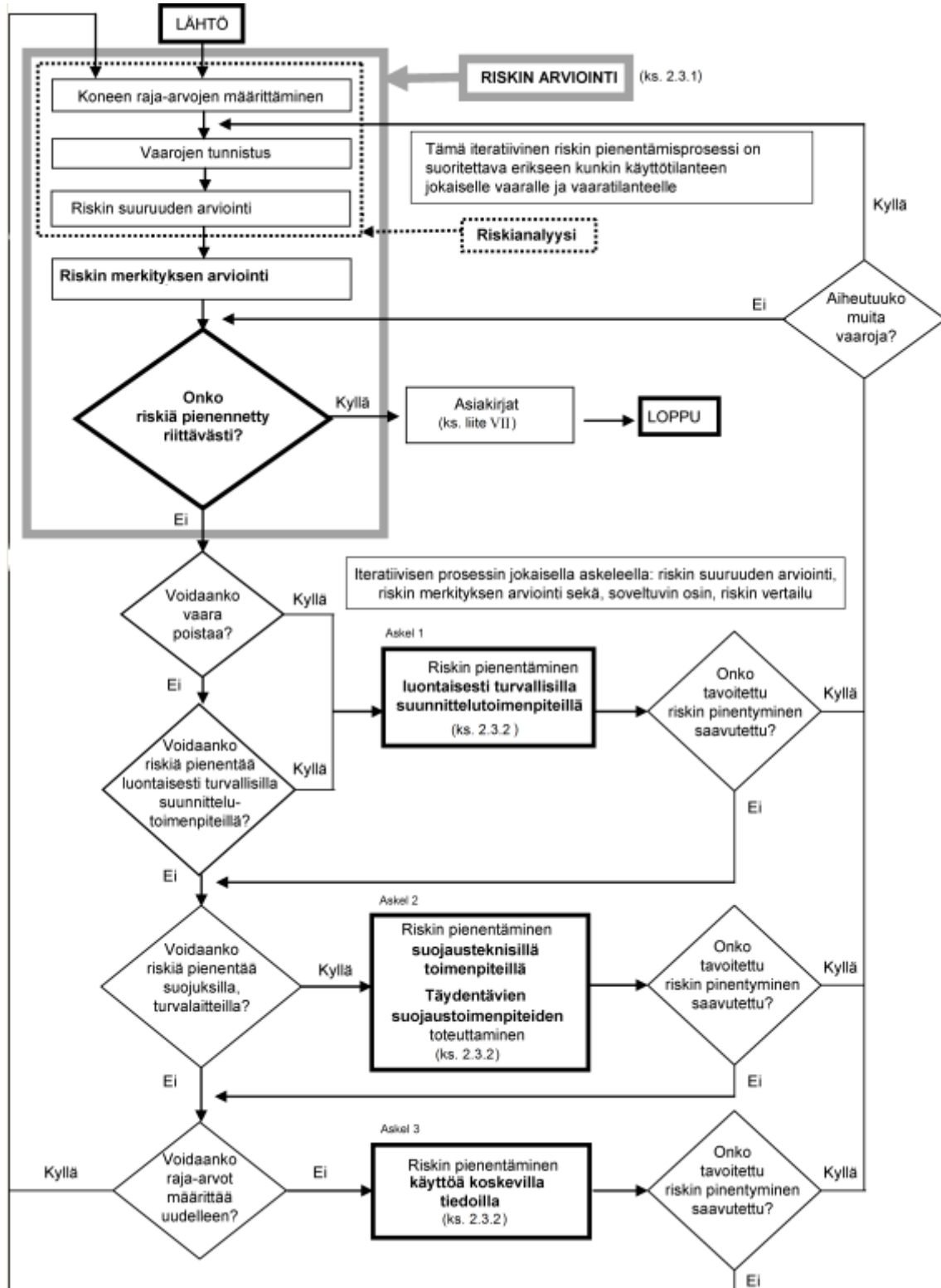
3) Tuotannon sisäistä tarkastusta koskevat vaatimukset

- a) Valmistajan on arvioitava laitteen sähkömagneettinen yhteensopivuus ja varmistettava, että edellisten kohtien vaatimukset toteutuvat, tarvittaessa asiaankuuluvia standardeja noudattaen.
- b) Yhteensopivuuden arvioinnissa on huomioitava kaikki tavanomaiset toimintaolosuhteet, mukaan lukien kaikki erilaiset kokoonpanot ja käyttötarkoitukset.
- c) EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen ja teknisten asiakirjojen säilytysvelvollisuus kuuluu sille, joka saattaa laitteen Euroopan yhteisön markkinoille, jos laitteen valmistaja tai tämän edustaja ei ole sijoittautunut yhteisöön.

Lähde: VNa 27.12.2007/1466. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteiden ja -laitteistojen sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta.



Liite VI. Riskien arvioinnin ja hallinnan eteneminen (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 30).



Lähde: SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 172 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

Liite VII. Riskien arvioinnin ja pienentämisen dokumentointi (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 102; VNa 12.6.2008/400).

Riskin arviointia ja pienentämistä koskevissa dokumenteissa on esitettävä noudatetut menetelmät ja niillä saavutetut tulokset. Asiakirjoista tulee selvittää

- 1) tiedot koneesta, jolle arviointi on tehty:
  - a) koneen raja-arvot ja tarkoitettu käyttö
  - b) luettelo konetta koskevista olennaisista terveys- ja turvallisuusvaatimuksista, ja sovelletuista standardeista, jotka kattavat ne. Jos standardeja ei ole sovellettu, tai niitä on sovellettu vain osittain, on selvitettävä tarkasti, mitkä terveys- ja turvallisuusvaatimukset täyttyvät.
  - c) Testausselosteet ja koetulokset, mukaan lukien kuvaus sähkömagneettisen yhteensopivuuden arvioinnista ja suunniteluun liittyvistä laskelmista.
  - d) koneen vaatimustenmukaisuusvakuutus tai osittain valmiin koneen liittämismvakuutus kokoonpano-ohjeineen
  - e) jäljennös koneen ohjeista
- 2) tiedot kaikista tehdyistä merkityksellisistä olettamuksista (kuormat, lujuudet, varmuuskertoimet jne.)
- 3) tiedot riskianalyyssissä huomioon otetuista vaaroista
- 4) riskianalyyssissä käytetyt taustatiedot
  - a) aineisto lähteineen (tapaturmatiedot, kokemusperäiset tiedot jne.)
  - b) aineistoon liittyvät epävarmuustekijät ja niiden vaikutus riskianalyyssin tuloksiin
- 5) tiedot riskin pienentämistavoitteista, jotka on saavutettava suojaustoimenpiteiden avulla (arviointi riskin suuruudesta ja merkityksestä, sekä pienentämisen tarpeen arviointi)
- 6) tiedot toteutetuista riskin pienentämistoimenpiteistä, sisältäen viittaukset käytettyjä suojaustoimenpiteitä koskeviin standardeihin
- 7) tiedot jäljelle jääneistä jäännösriskeistä ja
- 8) riskin arvioinnin lopputulos.

Lisäksi tulisi säilyttää kaikki riskin arvioinnin kuluessa täytetyt lomakkeet.

Lähteet: SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 172 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä; VNa 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta.

Liite VIII. Huomioitavia näkökulmia laitteen riskien pienentämiseksi suunnitteluratkaisuun (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 54-62).

Geometriset näkökulmat	Koneen ulkomuodon suunnittelu siten, että ohjauspaikalta on näköyhteys vaara-alueille katvealueita pienentämällä, tarvittaessa peilien avulla
	Komponenttien muodon ja suhteellisen sijainnin huomiointi puristumis- ja leikkausvaarojen välttämiseksi etäisyyksiä kasvattamalla tai pienentämällä
	Terävien reunojen ja kulmien, sekä ulkonevien osien ja takertumisen mahdollistavien aukkojen välttäminen
	Koneen ulkomuoto mahdollistaa kunnollisen työasennon ja helpon ulottumisen hallintaelimiin
Fyysiset näkökulmat	Käyttövoiman rajoittaminen niin pieneksi, ettei mekaanista vaaraa aiheudu
	Liikkuvien osien massan tai nopeuden rajoittaminen
	Päästöjen rajoittaminen päästölähteisiin vaikuttamalla (melu, värinä, jne.)
	Mekaanisen pakkotoimisuuden soveltaminen turvallisuuden parantamiseksi (Esim. virtapiirin kytkeytymisen liittäminen mekanismiin)
Yleinen tekninen tietämys suunnittelussa	Mekaanisten rasitusten huomioiminen <ul style="list-style-type: none"> <li>• rajoittamalla rasitusta laskenta-, valmistus- ja kiinnitysmenetelmin (esim. ruuvi- ja hitsiliitokset jne.)</li> <li>• rajoittamalla rasitusta ylikuormitus estämällä (esim. murtokalvot, paineenrajoitusventtiilit, jne.)</li> <li>• estämällä väsymistä muuttuvien rasitusten alaisissa osissa</li> <li>• pyörivät osat tasapainottamalla staattisesti ja dynaamisesti</li> </ul>
	Materiaalit ja niiden ominaisuuksien huomioiminen, kuten <ul style="list-style-type: none"> <li>• korroosion, vanhenemisen ja kulumisenkestävyys</li> <li>• kovuus, muovattavuus, hauraus</li> <li>• tasalaatuisuus</li> <li>• myrkyllisyys, syttyvyys, jne.</li> </ul>
	Kriittisten osien ja alueiden huomiointi varmuuskertoimin
Sopivan teknologian valinta	Räjähdyksivaarallisiin tiloihin tarkoitettu laite, joissa käytetään <ul style="list-style-type: none"> <li>• kokonaan pneumaattisia tai hydraulisia toimilaitteita ohjauksineen</li> <li>• luontaisesti turvallisia sähkölaitteita (ks. SFS-EN 60079-11:2012)</li> </ul>
	Muiden vaarallisten aineiden käsittelyssä käytettäviä laitteita (Esim. leimahdusherkkiä liuottimia käsittelevät matalla käyttölämpötilalla toimivat laitteet)
	Käyttövoiman tai toimintaperiaatteen valinta, kuten <ul style="list-style-type: none"> <li>• sähkölaitteet pneumaattisten sijasta melutason alentamiseksi</li> <li>• vesileikkaus mekaanisen leikkauksen sijasta tms.</li> </ul>

(jatkuu)

Liite VIII. (jatkoa)

Vakaudesta huolehtiminen (ks. myös liite II kohta 1.3.1)	Perustuksen geometria ja tukipinnan ominaisuudet (Esim. pinnanlaatu, kaltevuus, jne.)
	Panon jakautuminen kuorma mukaan lukien
	Koneen, sen osien ja sen pidättelemien osien liikkeistä johtuvat dynaamiset voimat ja painopisteen heilahtelut
	Tärinä
	Ulkoiset voimat kuten tuulenpaine ja lihasvoimat
	Edellä mainitut kohdat huomioitava kaikissa koneen elinkaaren vaiheissa
Kunnossa-pidettävyydestä huolehtiminen (ks. myös liite II kohta 1.6)	Luoksepäästävyys ihmisen mitat ja ympäristö huomioiden, mukaan lukien työvaatetus ja käytettävät työkalut
	Erikoistyökalujen ja -laitteiden lukumäärän rajoittaminen
	Käsittelyn helppous ottaen huomioon ihmisen kyvyt (ja muut ergonomiset näkökulmat)
Ergonomiasta huolehtiminen (ks. myös liite II kohta 1.1.6 ja 1.1.4, sekä SFS-EN 13861)	Ihmisen kehojen mittojen, voimien, asentojen, sekä liikkeiden laajuuden ja taajuuden huomioiminen (ks. SFS-EN 614)
	Käyttäjä-kone-rajapinnan osat ja laitteet on suunniteltava helppoiksi käyttää. (ks. SFS-EN 894)
	Hallintaelimet on valittava, sijoitettava ja tehtävä tunnistettaviksi siten, että <ul style="list-style-type: none"> <li>• ne näkyvät selvästi, ovat tunnistettavissa ja yksiselitteisesti ymmärrettävissä ja asianmukaisesti merkityt</li> <li>• niitä voidaan käyttää turvallisesti ja epäröimättä (Esim. ohjainten vakiodun sijoittelun ja käyttöperiaatteen avulla)</li> <li>• painikkeiden ja vipujen sijainti ja liikkeet vastaavat niiden vaikutuksia</li> <li>• niiden käyttäminen ei aiheuta lisäriskiä</li> <li>• henkilösuojainten (kuten käsineet ja jalkineet) käytöstä aiheutuvat rajoitukset on huomioitu ohjaimen suunnittelussa</li> </ul>
	Mittarit, numerotaulut ja näytöt on sijoitettava siten, että <ul style="list-style-type: none"> <li>• ne sopivat yhteen ihmisen havaintokyvyn kanssa</li> <li>• esitettävä informaatio voidaan havaita, tunnistaa ja tulkita vaivatta (tieto esitetään riittävän pitkään, selkeästi ja ymmärrettävästi)</li> <li>• informaatio on saatavilla laitteen ohjauspaikalta</li> </ul>
	Kuormittavien asentojen ja liikkeiden välttämisen mahdollistaminen (Esim. henkilökohtaisin säätömahdollisuuksin)
	Melun, tärinän ja lämmön aiheuttamien haittojen ja ääriolosuhteille altistumisen tarpeen minimointi
	Käyttäjän työrytmin sitomista automatiikan työtahtiin on vältettävä
	Kunnollisen valaistuksen järjestäminen (SFS-EN 1837, SFS-EN 12464) <ul style="list-style-type: none"> <li>• normaalin toiminnan lisäksi säätö-, asetus- ja kunnossapitotöihin</li> <li>• säätömahdollisuuksineen tarpeen mukaan</li> <li>• välkkymisen, häikäisyn ja stroboskooppi-ilmion ehkäisten</li> </ul>

(jatkuu)

Liite VIII. (jatkoa)

Käyttövoimasta johtuvien vaarojen huomioiminen	Sähkö: sähkövirtapiirien erottaminen, sähköiskuilta suojaaminen (SFS-EN 60204-1, konekohtaiset standardit)
	<p>Pneumaattiset ja hydrauliset laitteet on suunniteltava niin, että</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• piirien suurinta mitoituspainetta ei voida ylittää</li><li>• paineen heilahtelusta tai kohoamisesta, tai alipaineen häviämisestä ei aiheudu vaaraa</li><li>• vuodot tai komponenttiviivat eivät aiheuta vaarallista nestesuihkua tai äkillistä vaarallista liikettä (paineilmaletkun ”piiskailmiötä”)</li><li>• paisunta- tai ilmasäiliöt, tai muut vastaavat käytettävät säiliöt ovat niitä koskevien standardien mukaisia</li><li>• Kaikki laitteiston osat suojataan haitallisilta ulkoisilta vaikutuksilta, etenkin letkut ja putket</li><li>• Erotettaessa tehonsyötöstä varaajissa ja vastaavissa säiliöissä olevan paineen tulee purkaantua automaattisesti. Mikäli tämä ei ole mahdollista, on säiliöiden erottamiseksi, sekä paineen purkamiseksi ja mittaamiseksi paikallisesti oltava välineet.</li><li>• Kaikki paineenalaiseksi energianlähteestä erottamisen jälkeen jäävät osat on varustettava paineenpurkulaitteilla ja varoitusmerkinnöillä, jotka osoittavat paineen purkamisen kyseisistä osista on välttämätöntä ennen säätöjen tai kunnossapitotöiden aloitusta.</li></ul> <p>Tarkemmat turvallisuusvaatimukset</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• pneumatiikan osalta SFS-EN ISO 4414</li><li>• hydrauliiikan osalta SFS-EN ISO 4413</li></ul>

Lähde: SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 172 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

Liite IX. Tunnistavien turvalaitteiden käyttöä ohjeistavia tietoja. (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 78-82).

Tunnistavien turvalaitteiden tyypit ja niitä koskevat standardit	Tuntomatot ja -lattiat (SFS-EN 1760-1:2009)
	Tuntoreunat ja -listat (SFS-EN 1760-2:2009)
	Tuntopuskurit, -levyt, -köydet ja vastaavat (SFS-EN 1760-3:2009)
	Koskettamatta tunnistavat turvalaitteet ja käynnistävät eli toimintaankytketyt turvalaitteet (SFS-EN 61496-1, IEC/TS 62046)
Käyttökohteet	Lähestymispysähtyminen
	Läsnäolon tunnistaminen
	Näiden yhdistelmät
	Toiminnon uudelleenkäynnistäminen (tietyin erityisehdoin)
Käytön estävät, tai käyttöä rajoittavat tekijät	Koneesta on mahdollista singota osia tai materiaalia
	Päästöiltä suojaamisen tarve (melu, säteily, pöly, jne.)
	Koneen epäsäännöllinen tai liian pitkä pysähtymisaika
	Koneen ei ole mahdollista pysähtyä kesken toiminnon
Käyttöön sovellettaessa huomioitavia tekijöitä	Havaitsemisvyöhykkeen koko, ominaisuudet ja sijoittaminen (ks. SFS-EN ISO 13855:2010)
	Laitteen reagoiminen vikatilanteisiin
	Mahdollisuudet ohittaa turvalaite
	Havaitsemiskyky ja sen vaihtelevuus olosuhteiden ja ajan mukaan (Esim. herkkyys ympäristön muutoksille kuten häiritseville valoille)
Toiminnallisia vaatimuksia	Henkilön tai kehon osan tunnistamisesta annetaan käsky välittömästi
	Henkilön tai kehonosan poistuessa havaitsemisalueelta ei käynnistä vaarallista toimintoa automaattisesti (poikkeus: käynnistävät turvalaitteet)
	Uudelleenkäynnistäminen vaatii käyttäjän vaikuttamisesta vaara-alueen ulkopuolella sijaitsevaan ohjaimeen
	Käyttäjällä on näköyhteys ohjauspaikalta vaara-alueelle
	Turvalaitteen tunnistavan toiminnon ollessa pois käytöstä kone voidaan käynnistää ainoastaan tarkoituksellisen passivoinnin aikana (passivoinnin ohjeistus ks. SFS-EN ISO 13849-1:2008)
	Havaitsemisalueen muoto ja sijainti estävät henkilön tai kehon osan menemisen vaara-alueelle ilman, että se havaitaan (tarvittaessa muiden suojusten avulla)

(jatkuu)

Liite IX. (jatkoa)

Käynnistävien eli toimintaan-kytkettyjen turvalaitteiden erityis-vaatimukset	On käytettävä ainoastaan SFS-EN 61496:n mukaisia aktiivisia valosähköisiä turvalaitteita
	Kyseisten laitteiden on täytettävä edellä mainitun standardisarjan vaatimukset lähestymispysäytyksestä ja läsnäolotunnistuksesta
	Koneen toimintajakson aika on lyhyt
	Uudelleenkäynnistämiseen tarvittava havaitsemisalueen tyhjennys ei saa kestää pidempään kuin yhden toimintajakson ajan
	Aktiivisen valosähköisen turvalaitteen havaitsemisalueelle meneminen on mahdollista ainoastaan toimintaan kytketty suojus avaamalla
	Jos järjestelmässä käytetään useampaa toimintaan kytkettyä turvalaitetta, vain yksi niistä voi olla toiminnon käynnistävä
	Toimintaan kytketyn turvalaitteen ja sen ohjausjärjestelmän turvallisuuden on oltava paremmalla tasolla kuin muiden tunnistavien turvalaitteiden automaattisen käynnistystoiminnon aiheuttaman suuremman riskin vuoksi

Lähde: SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 172 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

Liite X. Koneen mukana toimitettavien kirjallisten ohjeiden sisältövaatimukset (SFS-EN ISO 12100:2010, s. 98, 100).

Kuljetusta, käsittelyä ja varastointia koskevat tiedot	Koneen varastointiolosuhteet
	Mittasuhteet, massa (t), painopisteen/-pisteiden sijainti
	Käsittelymerkinnät (Esim. piirroksat, joissa esitetään nostokohdat)
Asennusta ja käyttöönottoa koskevat tiedot	Kiinnittämistä, sekä melun- ja värinänvaimennusta koskevat vaatimukset
	Kokoonpano- ja asennusolosuhteet
	Käytön ja kunnossapidon tilantarve
	Sallitut ympäristöolosuhteet (Esim. lämpötila, kosteus, värinä, sähkömagneettinen säteily)
	Ohjeet koneen liittämiseksi tehonsyöttöön (suojautuminen ylikuormitukselta)
	Ohjeet jätteen hävittämisestä
	Suosituksat tarvittavista suojaustoimenpiteistä (Käyttäjän vastuulla asennustilanteessa olevat suojalaitteet ja -toimenpiteet)
Koneetta koskevat tiedot	Koneen ja sen varusteiden, sekä suojusten ja turvalaitteiden yksityiskohtainen kuvaus
	Koneen tarkoitetut käyttösovellukset, sekä mahdolliset kielletyt käyttötavat
	Kaaviokuvat koneen, ja sen turvatoimintojen toiminnasta
	Tiedot koneen aiheuttamista päästöistä ja niiden mittausmenetelmistä (Säteily-, kaasun- ja höyrypäästöt, melun, värinän ja pölyn muodostuminen)
	Sähkölaitteita koskevat tekniset asiakirjat (SFS-EN 60204:n mukaisesti)
	Vaatimustenmukaisuuden osoittavat asiakirjat (ks. kappale 2.2.1.4 ja liitteet III-V)
Koneen käyttöä koskevat tiedot	Koneen käytön kuvaukset
	Hallintaelinten ja ohjaimien kuvaukset
	Asetusten ja säätöjen kuvaukset
	Pysäytystapojen ja menetelmien kuvaukset, hätäpysytys mukaan lukien
	Jäännösriskien kuvaukset
	Riskeille altistavien käyttötapojen ja varusteiden kuvaukset, sekä vaaroilta suojautumiseen tarvittavien suojaustoimenpiteiden kuvaukset
	Väärinkäyttöä ja kiellettyjä käyttösovelluksia koskevat kuvaukset
	Ohjeet vikojen tunnistamiseksi, paikantamiseksi, korjaamiseksi ja uudelleenkäynnistämiseksi
Tarvittavien henkilösuojainten ja niiden käyttökoulutusten kuvaukset	

(jatkuu)



Kunnossapitoa koskevat tiedot	Turvatoimintojen tarkastusten kuvaus ja suositus tarkastusvälistä
	Varaosalista vähintään terveyteen ja turvallisuuteen vaikuttavista varaosista
	Ohjeet ja määritelmät erityistaitoa vaativista kunnossapitotoimenpiteistä
	Ohjeet ja määritelmät kunnossapitotoimenpiteistä, jotka eivät vaadi erityisosaamista (myös koneen käyttäjän suoritettavissa)
	Kunnossapitotoiminnan mahdollistavat piirustukset ja kaaviot
Hätätilanteita koskevat tiedot	Onnettomuus- ja rikkoonumistilanteissa noudatettavat menettelytavat
	Käytettävien palosammutuslaitteiden tyypit
	Varoitukset mahdollisista vaarallisten aineiden päästöistä ja niihin liittyvät mahdolliset torjunta- ja suojautumisohjeet
Muut tiedot	Ohjeet koneen käytöstä poistamiseksi (purkaminen, kierrättäminen, hävitys)

Lähde: SFS-EN ISO 12100:2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 172 s. Vahvistettu ja julkaistu englanninkielisenä.

Liite XI. Abstrahointi oleellisten ongelmien tunnistamiseksi.

1. Vaihe (Jätetään pois henkilökohtaiset mieltymykset.)

- Enimmäismitat: 1500 x 3200 x 2000
- Enimmäispaino 500 kg
- Liittämisen suodattimeen on onnistuttava ilman merkittäviä muutoksia suodattimen rakenteeseen.
- Kelausvoiman ja nopeuden on oltava hallittu kankaan pitämiseksi sopivalla kireydellä.
- Laitteen rakenteessa on oltava kiinnityspisteet kuljetukselle ja nostamiselle.
- Laitteen rakenteen on oltava sellainen, että kankaan liittäminen onnistuu helposti.
- Laitteeseen kuuluvat mahdolliset kankaanvaihtoon tarvittavat erikoistyökalut.
- Ihmisen on oltava erotettuna laitteen mekaanisesta rakenteesta käytön aikana.
- Laitteen on täytettävä sitä koskevat turvallisuusmääräykset.
- Laitteen on täytettävä sitä koskevat ergonomiamääräykset.
- Laitteen on tunnistettava häiriöt ja vaaratekijät kankaan kelauksessa ja estettävä vahinkojen syntyminen kankaaseen tai suodattimen tai kelauslaitteen rakenteeseen.
- Vastaava ympäristöolosuhteiden kesto kuin suodattimen runkorakenteilla
- Kankaan liittämisen lisäksi kankaan vaihto tapahtuu nappia painamalla. Kone huolehtii kankaan linjassa ja kireällä pysymisen.
- Laitteen liittämisen ja irrottamisen on oltava mahdollisimman helppoa ja nopeaa.
- Valmistuskustannukset enintään 5000€

2. Vaihe (Jätetään pois vaatimukset, jotka eivät ole tärkeitä toiminnallisuuden ja muiden oleellisten ehtojen kannalta.)

- Enimmäismitat: 1500 x 3200 x 2000
- Enimmäispaino 500 kg
- Liittämisen suodattimeen on onnistuttava ilman merkittäviä muutoksia suodattimen rakenteeseen.
- Kelausvoiman ja nopeuden on oltava hallittu kankaan pitämiseksi sopivalla kireydellä.
- Ihmisen on oltava erotettuna laitteen mekaanisesta rakenteesta käytön aikana.
- Laitteen on täytettävä sitä koskevat turvallisuusmääräykset.
- Laitteen on täytettävä sitä koskevat ergonomiamääräykset.

(jatkuu)

#### Liite XI. (jatkoa)

- Laitteen on tunnistettava häiriöt ja vaaratekijät kankaan kelauksessa ja estettävä vahinkojen syntyminen kankaaseen tai suodattimen tai kelauslaitteen rakenteeseen.
- Vastaava ympäristöolosuhteiden kesto kuin suodattimen runkorakenteilla
- Kankaan liittämisen lisäksi kankaan vaihto tapahtuu nappia painamalla. Kone huolehtii kankaan linjassa ja kireällä pysymisen.
- Valmistuskustannukset enintään 5000€

#### 3. Vaihe (Muutetaan määrälliset vaatimukset laadullisiksi ja muokataan ne käsittämään vain olennaisimmat asiat.)

- Mitoiltaan sellainen, että mahtuu laitteen huoltoon varten varattuun tilaan.
- Enimmäispaino sellainen, että siirtely onnistuu ilman nosturia.
- Liittämisen suodattimeen on onnistuttava ilman merkittäviä muutoksia suodattimen rakenteeseen.
- Ihmisen on oltava erotettuna laitteen mekaanisesta rakenteesta käytön aikana.
- Laitteen on täytettävä sitä koskevat turvallisuusmääräykset.
- Laitteen on toiminnan aikana tunnistettava häiriöt ja estettävä vahinkojen syntyminen.
- Vastaava ympäristöolosuhteiden kesto kuin suodattimen runkorakenteilla
- Valmistuskustannukset eivät saa nousta kohtuuttomiksi.

#### 4. Vaihe (Muokataan jäljellä olevat vaatimukset yleisempään muotoon, mikäli se on tarkoituksen mukaista.)

- Rakenteeltaan suodattimen kanssa yhteensopiva ja kevytrakenteinen
- Automatisoitu
- Turvallinen
- Kohtuuhintainen

#### 5. Vaihe (Muotoillaan ongelma ratkaisun kannalta neutraaliksi abstrahointilauseeksi.)

”Kohtuuhintainen kankaan turvallisen vaihtamisen mahdollistava suodattimen kanssa yhteensopiva kevytrakenteinen laite, joka toimii automatisoidusti.”

Liite XII. Eri toiminnoille ideoidut ratkaisuvaihtoehdot.

Päätoiminto	Osa-/sivutoiminto	1	2	3	4	5	6	7	
Ohjaa kangasta	Kiinnittyy kankaaseen	Rullassa liitos-sauma(sauma/rulla)	Rullassa useampi sauma	Teipillä	Puristus ruuvattavalla levyllä	”Mankeliratkaisu”			
	Seuraa kankaan kireyttä	Valokennot	Rajakytkimet viiksillä	Rullaraja kankaan yläpuolella	Kangasta ajetaan momentinrajoitinta vasten	Etäisyyden tunnistava anturi (ultraääni)	Kone-näkö	Voima-anturi	
	Kiristää kankaan	Sähkömoottori + taajuusmuuttaja	Hydr./Pneum. moottori	Servomoottori					
	Pitää kankaan sopivalla kireydellä	vanha kangas	Mekaaninen välitys rullien ja koneen kelauksen välillä	Sähkömoottori + taajuusmuuttaja + momentinrajoitin	Hydr./Pneum. moottori				
		uusi kangas				Puristustela	Mekaaninen jarru	Jarru-moottori	
	Seuraa kangasta sivusuunnassa	Valokenno	Mekaaninen rajakytkin	Potentiometri + seurantarulla	Ei seurantaa, linjaus asennettaessa	Ultraäänianturi			
	Liikuttaa kangasta sivusuunnassa tai	Pneum. sylinterit + tarraimet kankaan molemmin puolin			Ei tarvita, linjaus asennettaessa				
	liikuttaa rullaa	sivusuunnassa hydr./ pneum. sylinterillä tai lineaarimoottorilla	kallistamalla veivillä, hydr./ pneum. sylinterillä, tai lineaarimoottorilla	Liikuttaa kokotelinettä sivusuunnassa	Ei tarvita, linjaus asennettaessa				
Pysähtyy (tunnistaa) kun kangas on kelattu	Laskee sauman paikan suodattimen tunnistuksesta	Induktiivinen rajakytkin kelauslaitteessa	Momenttiraja pysäyttää	Laahaava sauman tunnistava rajakytkin	Magneettikytkin				

(jatkuu)

Liite XII. (jatkoa)

Päätoiminto	Osa-/sivutoiminto	1	2	3	4
Estää vaaratilanteiden syntymisen	Estää käynnistymisen käyttäjän ollessa vaara-alueella	Valoverho	Aita + portti rajakytkimellä	Tuntomatto	
	Pysäyttää koneen käyttäjän mennessä vaara-alueelle	Valoverho	Aita + portti rajakytkimellä	Tuntomatto	Käyttökytkimet telineen rakenteessa vaara-alueen ulkopuolella
	Suojaa käyttäjää nieluilta ja voimansiirrolta	Kiinteät suojukset	Toimintaan-kytketyt suojukset	Rakenteen turvallinen muotoilu (esim. kangas kiertää ulkokautta siten, että nielut yms. peittyvät)	Ovet sivuilla ”turva-aitana”

Liite XIII. Kelauslaitteen moottorin ja hammashihnavälityksen mitoituslaskut.

### Kelaukseen tarvittavat vääntömomentit

	Puolitäydessä rullassa on kangasta 78m. Kankaan suurin kokonaispituus on 156m. Kangasrullan paksuudet on laskettu 2 mm kankaalla ilman ilmarakoja. Paksuin käytettävä kangas on 1,5mm.		
Kankaan haluttu kireys: $F_k := 200 \text{ N}$			
Tyhjän rullan halkaisija: $D_h := 0.07 \text{ m}$	Hylsyn vääntömomentti:	$T_h := F_k \cdot \frac{D_h}{2}$	$T_h = 7$
Täyden rullan halkaisija: $D_t := 0.634 \text{ m}$	Täyden rullan vääntömomentti:	$T_t := F_k \cdot \frac{D_t}{2}$	$T_t = 63.4$
Puolitäyden rullan halkaisija: $D_p := 0.45 \text{ m}$	Puolitäyden rullan vääntömomentti:	$T_p := F_k \cdot \frac{D_p}{2}$	$T_p = 45$

Kelattavaan rullaan vaikuttaa myös rullan ja liukulaakerin välinen kitkamomentti. Täyden rullan paino on noin sata kiloa, ja teräksisen akselin ja polyasetaalista valmistetun liukulaakerin välinen kitkakerroin 0,1 - 0,15 (Keresztes ym. 2009). Toisen päään kuulalaakerin kitka on häviävän pieni.

$$\mu := 0.15 \quad m_{\text{r}} := \frac{100}{2} \text{ kg} \quad \text{Akselin halkaisija laakerin kohdalla: } D_a := \frac{48.3}{2 \cdot 1000} \quad D_a = 0.024$$

$$\text{Kitkavoima: } F_{\mu} := \mu \cdot m \cdot g \quad F_{\mu} = 73.55 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Kitkamomentti: } T_{\mu} := F_{\mu} \cdot \frac{D_a}{2} \quad T_{\mu} = 0.888 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ottaen huomioon hammashihnakäytön hyötysuhteen (n.95%) ja muut häviöt, arvioidaan moottorin tarvitsemaksi vääntömomentiksi enintään 80Nm ja vähintään 8Nm. Puolitäyden rullan vääntömomentiksi arvioidaan 50Nm.

$$T_{\text{min}} := 8 \quad T_{\text{max}} := 80 \quad T_{\text{puoli}} := 50$$

### Kelaukseen tarvittava nopeus

$$\text{Kankaan nopeus huoltoajossa: } V_{k\text{max}} := 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{k\text{min}} := 0.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Suurin moottorilta vaadittava kierrosnopeus tarvitaan kelaus alussa suurimmalla kankaanajonopeudella. Hitaimmillaan pyörittys on suurella halkaisijalla ja pienellä nopeudella.

$$\begin{aligned} \omega_{\text{max}} &:= \frac{V_{k\text{max}}}{\pi \cdot D_h} & \omega_{\text{max}} &= 1.364 \frac{\text{rad}}{\text{s}} & n_{\text{max}} &:= \omega_{\text{max}} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} & n_{\text{max}} &= 13.027 \text{ rpm} \\ \omega_{\text{min}} &:= \frac{V_{k\text{min}}}{\pi \cdot D_t} & \omega_{\text{min}} &= 0.1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} & n_{\text{min}} &:= \omega_{\text{min}} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} & n_{\text{min}} &= 0.959 \text{ rpm} \\ \omega_{t\text{max}} &:= \frac{V_{k\text{max}}}{\pi \cdot D_t} & \omega_{t\text{max}} &= 0.151 \frac{\text{rad}}{\text{s}} & n_{t\text{max}} &:= \omega_{t\text{max}} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} & n_{t\text{max}} &= 1.438 \text{ rpm} & \text{Täyden rullan} \\ & & & & & & & & \text{suurin nopeus.} \\ \omega_p &:= \frac{V_{k\text{max}}}{\pi \cdot D_p} & \omega_p &= 0.212 \frac{\text{rad}}{\text{s}} & n_p &:= \omega_p \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi} & n_p &= 2.026 \text{ rpm} & \text{Puolitäyden} \\ & & & & & & & & \text{rullan nopeus.} \end{aligned}$$

### Kelaukseen tarvittava teho

$$\begin{aligned} P_{\text{hyls}} &:= T_{\text{min}} \cdot \omega_{\text{max}} & P_{\text{hyls}} &= 10.913 \text{ W} \\ P_{\text{puoli}} &:= T_{\text{puoli}} \cdot \omega_p & P_{\text{puoli}} &= 10.61 \text{ W} \\ P_{\text{täysi}} &:= T_{\text{max}} \cdot \omega_{t\text{max}} & P_{\text{täysi}} &= 12.05 \text{ W} \end{aligned}$$

Kelausmoottorilta vaadittava teho ja kierrosnopeudet ovat siis hyvin alhaisia. Kierrosnopeuksia saadaan nostettua mitoittamalla hammashihnakäytön välityssuhde mahdollisimman suureksi.

(jatkuu)

Liite XIII. (jatkoa)

Hammashihnakäytön välityssuhde

Rakenteen asettamien rajoitteiden puitteissa hammashihnakäytön rullaa pyörittäväksi hammashihnapyöräksi valittiin suurin mahdollinen, HTD 136-5M-15 hammashihnapyörä. Sen pariin valittiin HTD 34-5M-15 hammashihnapyörä.

Isomman hihnapyörän jakohalkaisija:  $D_{pi} := 216.45$

Pienemmän hihnapyörän jakohalkaisija:  $D_{pp} := 54.11$       Välityssuhde:  $i := \frac{D_{pi}}{D_{pp}} \quad i = 4$

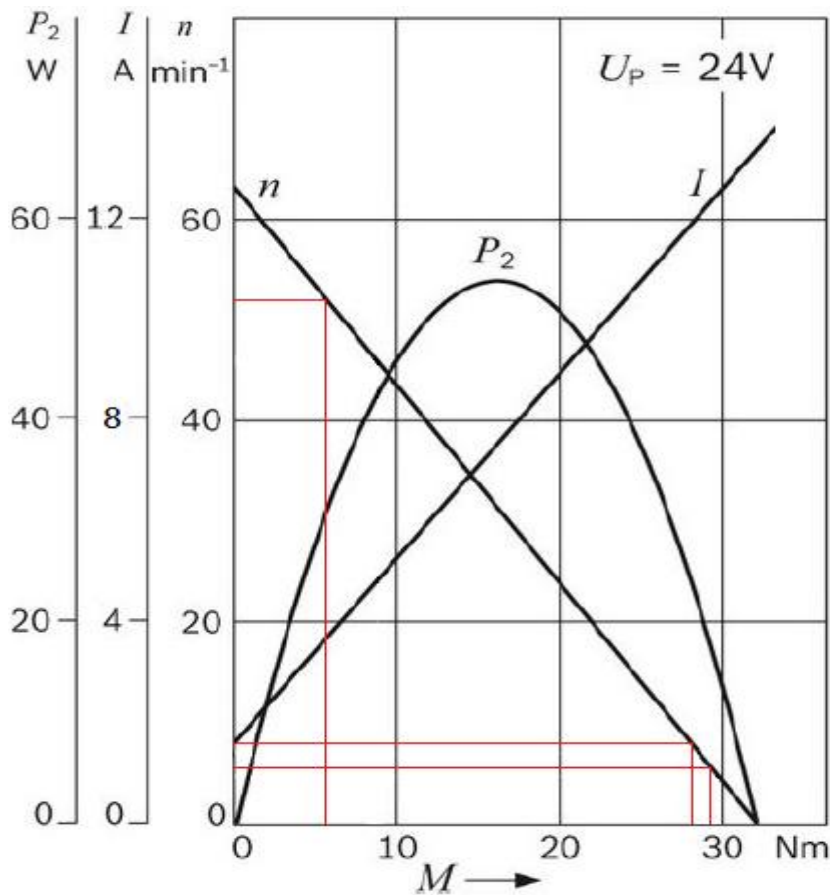
Hihnakäytön avulla moottorilta tarvittavat vääntömomentit ja pyörimisnopeudet saavat arvot:

$$n_{maxi} := n_{max} \cdot i \quad n_{maxi} = 52.11 \text{ rpm} \quad T_{mini} := \frac{T_{min}}{i} \quad T_{mini} = 2 \text{ Nm}$$

$$n_{tmaxi} := n_{tmax} \cdot i \quad n_{tmaxi} = 5.754 \text{ rpm} \quad T_{tmaxi} := \frac{T_{tmax}}{i} \quad T_{tmaxi} = 19.999 \text{ Nm}$$

$$n_{pi} := n_p \cdot i \quad n_{pi} = 8.106 \text{ rpm} \quad T_{pi} := \frac{T_p}{i} \quad T_{pi} = 11.249 \text{ Nm}$$

Moottoriksi valitaan Bosch GmbH:n WSM3-1K 24V tasavirtavaihdemoottori, jonka nimellisteho on 35W ja maksimivirta 12,5 A. Oheisesta ominaiskäyrästä nähdään, että moottorin tuottama vääntömomentti suurimmalla tarvittavalla kierrosnopeudella on 5,7 Nm ja pienimmällä tarvittavalla kierrosnopeudella 29,3 Nm. Kelauksen puolivälissä vääntömomentti on 28,2 Nm.



(jatkuu)

### Liite XIII. (jatkoa)

Kankaan kireydeksi tarkastelluilla kohdilla saadaan:

$$F_{kh} := \frac{5.7 \cdot 2}{D_h} \quad F_{kh} = 162.857 \text{ N}$$

$$F_{kp} := \frac{28.2 \cdot 2}{D_p} \quad F_{kp} = 125.333 \text{ N}$$

$$F_{kt} := \frac{29.3 \cdot 2}{D_t} \quad F_{kt} = 92.429 \text{ N}$$

Kankaan kireys pysyy kohtuullisissa rajoissa kelauksen aikana, koska moottorin antama momentti kasvaa nopeuden pienentyessä. Siispä moottorin nopeuden tai vääntömomentin säätöä ei tarvita, vaan moottoria käytetään kankaanvaihdon ajan täydellä teholla.

Lähde: Keresztes, R. Zsidai, L. Kalácska, G. De Baets, P. 2009. Friction of polymer/steel gear pairs. In: Scientific Bulletin Series C. Volume XIII, Part 1. Baia Mare: North University of Baia Mare, 1.10.2009. s. 63-72. ISSN 1224-3264



Liite XIV. Koneen vaarat sen elinkaaren aikana.

Viite- nro	Vaaravyöhyke	Tehtävä/ Käyttötoiminta	Vaara	Mahdollinen seuraus	Onko vaara poistettu? Miten?
<b>Kuljetus ja varastointi</b>					
1	Teline ja kuljetuksen apuvälineet ja käyttöympäristö	Nostaminen, kuormaus ja siirtäminen	Liikuteltavan kappaleen putoaminen tai heilahtaminen	Puristuminen, isku, hankautuminen, putoaminen	Kyllä, yleisiä työturvallisuusohjeita noudattamalla
2	Teline ja kuljetuksen apuvälineet ja käyttöympäristö	Nostaminen, kuormaus ja siirtäminen	Epäergonomiset asennot kappaleen liikuttelussa	Epämukavuus, tuki- ja liikuntaelinvaihat	Kyllä, ergonomiohjeita noudattamalla
<b>Asennus- ja purkamisen</b>					
3	Telineen ja suodattimen mekaaninen rajapinta	Telineen kiinnittäminen suodattimeen	Telineen heilahtaminen	Puristuminen, isku, hankautuminen	Kyllä, yleisiä työturvallisuusohjeita noudattamalla
4	Telineen ja suodattimen sähköinen rajapinta	Telineen sähköjen kytkeminen suodattimeen	Oikosulku tai valokaari liittimien välillä	Sähköisku, palovamma, vaikutukset lääkinnällisiin implantteihin	Kyllä, jännite on pois kytkettynä asennusvaiheessa
5	Moottori	Telineen irrotus suodattimesta	Kosketus käytön aikana kuumentuneeseen moottoriin	Palovamma, tulipalo, epämukavuus	Ei
6	Rullien ja telineen väli	Rullien asennus telineeseen	Epäergonomiset asennot, rullan putoaminen tai heilahtaminen	Tuki- ja liikuntaelinvaihat, puristuminen, isku, hankautuminen	Kyllä, yleisiä työturvallisuusohjeita noudattamalla
7	Kankaiden liitossauma	Sauman tekeminen ja purkamisen	Sauman liitoslangan pistäminen	Kehoon tunkeutuminen, pistetyksi tuleminen	Kyllä, yleisiä työturvallisuusohjeita noudattamalla
8	Vastaavat kuin normaalissa käyttötilanteessa, riippuen asennusvaiheesta	Telineen asennus tai purkamisen	Koneen käynnistyminen asennus- tai purkutilanteessa	Vastaavat seuraukset kuin normaalin käyttötilanteen yhteydessä	Kyllä, jännite on pois kytkettynä asennusvaiheessa
<b>Käyttö ja kunnossapito</b>					
9	Hammashihnakäyttö, kangasrullien välinen nielu	Laitteen käyttö ovien ollessa auki	Joutuminen kosketuksiin hihnakäyttöön tai rullien nieluun	Nieluun joutuminen, hankautuminen, takertuminen	Ei (ovien kiinnitys telineeseen laiminlyötävissä)

(jatkuu)

Liite XIV. (jatkoa)

Viite- nro	Vaaravyöhyke	Tehtävä/ Käyttötoiminta	Vaara	Mahdollinen seuraus	Onko vaara poistettu? Miten?
<b>Käyttö ja kunnossapito</b>					
10	Hammashihnakäyttö, kangasrullien välinen nielu	Normaali käyttötilanne	Ks. kohta 9	Nieluun joutuminen, hankautuminen, takertuminen	Kyllä, valoverhot suojaavat avoimelta sivuilta lähestyessä
11	Moottori	Normaali käyttötilanne	Ylikuormittuminen ja - kuumeneminen	Ks. kohdat 4 ja 5	Ei (ovien kiinnitys telineeseen laiminlyötävissä)
12	Kelattava kangasrulla	Normaali käyttötilanne	Kangasrullan vapaa pää- nousee pois urastaan	Rakenteelliset vahingot, moottorin ylikuormittuminen, hammashihnan irtoaminen	Ei
13	Telineen välitön lähialue	Normaali käyttötilanne	Sauman tunnistimet eivät toimi	Kankaan kelauksen jatkuminen liian pitkälle, vauriot kankaaseen ja telineen rakenteeseen	Ei
14	Suodattimen kankaankelausyksikkö	Normaali käyttötilanne	Kankaan löysyyden tunnistus ei toimi	Kankaan kelaussuunnan vaihtuminen, rakenteelliset vahingot, kuten moottorin rikkoontuminen	Ei
15	Kankaan vetotela suodattimessa	Normaali käyttötilanne	Nielu vetotelan ja puristustelan välissä	Puristuminen, nieluun joutuminen	Kyllä, kitasuojus ja kankaanvaihtolaitteen suojukset
16	Kangas ja sen reunat	Normaali käyttötilanne	Kankaan ja sen reunojen hankaaminen, reunan viiltäminen	Viiltyminen, hankautuminen	Kyllä, suojuksin ja valoverhoin
17	Normaalin käytön aikaisten vaaratilan- teiden mukaiset alueet	Huoltotilanne	Koneen käynnistyminen huoltotilanteessa	Vastaavat seuraukset kuin normaalin käyttötilanteen yhteydessä	Kyllä, jännite on pois kytkettynä huoltotilanteessa
<b>Romutus</b>					
18	Telineen osat	Telineen purkaminen	Purkamisesta ja pilkkomisesta aiheutuvat vaarat	Viiltyminen, hankautuminen, palovamma, isku, kehoon tunkeutuminen tai pistetyksi tuleminen, tulipalo	Kyllä, yleisiä työturvallisuusohjeita noudattamalla