LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Jyrki Montonen

TUOTESUUNNITTELU DIREKTIIVIPERUSTAISESTI

Työn tarkastajat	Professori Juha Varis
	Tkt Mika Lohtander
Työn ohjaaja	Tkt Mika Lohtander

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Jyrki Montonen

Tuotesuunnittelu direktiiviperusteisesti

Diplomityö

2016

78 sivua, 21 kuvaa, 8 taulukkoa ja 3 liitettä

Tarkastajat: Professori Juha Varis
TkT Mika Lohtander

Hakusanat: peltier, termoelektrinen, jäähdytin, tuotekehitys, DFMA, CE-merkintä, vaatimustenmukaisuus, direktiivi

Onnistuneen tuotekehitysprojektin läpivieminen vaatii huolellisen alkusuunnittelun ennen varsinaista tuotteen kehityksen aloitusta. Projektin läpiviemiseksi esitetään usein malleja joissa tuotekehitysprojektissa edetään yksi vaihe kerrallaan ja siirrytään seuraavaan vasta, kun edellinen on valmis. Tämän perinteisen mallin rinnalle on tullut DFMA-suunnittelu, jossa murretaan kommunikaatiomuuri suunnittelun ja valmistuksen väliltä ja useita vaiheita tehdään samanaikaisesta. Näin saadaan valmistus- ja kokoonpanoystävällisiä tuotteita, joilla tuotteesta saatava kate voidaan maksimoida samalla kun tuotteen laatua saadaan parannettua.

Teknisen kehityksen lisäksi on tuotekehitysprosessissa erottamattomana osana direktiivien asettamien vaatimusten huomioon ottaminen. Jo lähes kaikissa tuotteissa on oltava CE-merkintä. CE-merkinnällä tuotteen valmistaja ottaa täyden vastuun siitä, että tuote täyttää sitä koskevien direktiivien asettamat vaatimukset vaatimustenmukaisuudesta. Direktiivien asettamat vaatimukset on hyvä tiedostaa jo tuotteen suunnittelun alkuvaiheista lähtien, jotta nämä osataan ottaa heti huomioon ja jälkikäteen tehtäviltä muutoksilta vältytään.

Teknisten ratkaisujen lisäksi tuotteen dokumentoinnilla on suuri rooli vaatimustenmukaisuuden täyttämisessä. Tuotteesta tulee koota tekninen tiedosto, joka sisältää kaikki tarpeelliset dokumentit, joilla tuotteen vaatimustenmukaisuus voidaan todeta. Teknisen tiedoston vaatimukset on hyvä tiedostaa jo suunnittelun alusta lähtien, jotta tarvittavat dokumentit osataan kerätä projektin aikana tekniseen tiedostoon.

Tässä työssä kehitettiin peltier-jäähdytin, jollaiselle asiakkailta saadun palautteen perusteella oli markkinoilla tarve. Jäähdyttimen suunnittelussa käytettiin DFMA:n keinoja yksinkertaistamaan kokoonpanoa. Jäähdyttimelle tehtiin vaatimustenmukaisuustarkastelu, missä tarkasteltiin peltier-jäähdytintä koskevien direktiivien asettamia vaatimuksia ja mitä asioita näiden vaatimusten täyttämiseksi tuli huomioida.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Jyrki Montonen

Product design guided by directives

Master's thesis

2016

78 pages, 21 pictures, 8 tables and 3 appendices

Examiners: Professori Juha Varis
TkT Mika Lohtander

Keywords: peltier, thermoelectric, cooler, product development, DFMA, CE-marking, declaration of conformity, directive

Running a successful product development process requires carefully planning before starting the actual product development. Product development is usually presented as step-by-step process where each phase is fully completed before proceeding to the next phase. Design for manufacturing and assembly model known as DFMA suggests that these phases are executed simultaneously side by side. The aim is to break the communication barrier between the design and manufacturing departments so that the aspects of manufacturing and assembly can be take into account already from the very beginning of the product design process. This will generate products that are manufactured and assembled with ease which leads to products with higher quality and profit.

In addition to technical aspect of a product development also requirements of directives are mandatory to regard already from the very beginning of the design process. The CE-marking can be found almost in all products. By attaching the CE-mark on to a product manufacturer takes full responsibility that the product fulfills all the requirements concerning conformity. To avoid of changes made to an almost production ready product it's mandatory for designers to be aware of the safety requirements of directives.

Also the documentation of the product has a big role on fulfilling the conformity requirements. Technical file is a file that includes all the necessary documentations to proof the conformity of the product. Already from the very beginning of the design process requirements of the technical file should be recognized so that all the necessary documentation can be gathered throughout the product development process.

In this project a peltier-cooler was developed. During the design means of DFMA were used to keep the layout simple. Also a conformity examination was done to find out what kind of requirements were set by directives for a peltier-cooler and how these affects the design.

ALKUSANAT

Joskus tehdään niin kuin ohjataan. Joskus niin, että hyvä tulee.
Joskus tehdään kahdeksasta kuuteen. Joskus yölläkin on aikaa.
Joskus tehdään kuusi kuukautta. Joskus muutama töiden ohessa.
Joskus tehdään palkallisena. Joskus talkoohengessä.

Kiitos Äidille, Isälle, Veljelle, Mammalle, Papalle, Roosalle, Antille, Tapanille, Leeville, Mikalle, Simoille, Vesalle, Mikolle, Tatulle, Jarnolle, Saksan jareille, Food chainille, sekä Kultapossukerholle.

Lappeen Rannassa 20.3.2016
Jyrki Montonen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
ALKUSANAT
SISÄLLYSLUETTELO
SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1 JOHDANTO 7
1.1 Työn tavoite ja rajaus 7
1.2 Tutkimusongelma, -kysymykset ja -menetelmät 8
2 UUDEN TUOTTEEN SUUNNITTELU 10
2.1 Tuotekehitysprosessit tuotteen kehittämiseksi 10
2.1.1 Epävirallinen tuotekehitysprojekti 10
2.1.2 Virallinen tuotekehitysprojekti 11
2.1.3 Valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnitteluprosessi 13
2.2 Tuotekehitysprosessin alkukartoitus ja –suunnittelu 14
2.2.1 Käytettävän lämmönsiirtoteknologian valinta ja termoelektrinen ilmiö 15
2.2.2 Lämmönsiirtosiilien materiaalin valinta ja mitoitus 17
2.2.3 Puhaltimien valinta 21
2.2.4 Esimerkin prototyypin rungon suunnittelu ja valmistus 23
2.2.5 Case-esimerkin koteloinnin suunnittelu 26
2.3 Prototyypin testaus 29
2.3.1 Fyysinen prototyyppi ja kalorimetri 30
2.3.2 Testien suorittaminen 31
2.3.3 Testien tulokset 31
2.4 Sarjavalmistus 31

3 EU-VAATIMUSTENMUKAISUUS JA CE-MERKINTÄ 33

3.1 EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus 33

3.2 Peltier-jäähdytintä koskevat direktiivit ja yhdenmukaistetut standardit 35

3.3 Konedirektiivi 2006/42/EY 36

3.3.1 Riskin arviointi ja riskin pienentäminen 37

3.3.2 Peltier-jäähdyttimen riskin arviointi ja riskin pienentäminen 41

3.3.3 Peltier-jäähdyttimeen sovellettavat konedirektiivin kohdat 45

3.4 EMC-direktiivi 2014/30/EU 48

3.5 RoHS-direktiivi 2011/65/EU 50

3.5.1 Vaatimustenmukaisuuden osoittaminen 52

3.5.2 Peltier-jäähdyttimen RoHS-vaatimustenmukaisuus 54

3.6 Tekniset asiakirjat 55

3.6.1 Ohjeet 56

3.6.2 Peltier-jäähdyttimen käyttöohjeen erityisvaatimukset 58

3.7 CE-merkintä 59

3.8 Tuotekehitysprosessi perinteinen, sekä DFMA-suunnittelu yhdistettyinä 61

4 YHTEENVETO 63

5 JATKOKEHITYS 68

LÄHTEET 69

LIITTEET

LIITE I: Toiminnanharjoittajien velvollisuuksia.

LIITE II: Tuotteen CE-merkinnän kuusi vaihetta.

LIITE III: EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus.

1 JOHDANTO

Uuden tuotteen markkinoille tuominen on pitkä ja monivaiheinen prosessi mikä ei usein näy loppukäyttäjälle kuitenkaan millään tavalla. Tuotteen onnistuneesta suunnittelusta kertoo se, ettei tuotetta käytettäessä tule mietittyä minkälaisen kehitysprosessin tuote on käynyt läpi ja mitkä asiat ovat vaikuttaneet mihinkin päätökseen tuotteen designissa. Parhaimmillaan tuote on intuitiivinen käyttää, jolloin jo ensi kertaa tuotteeseen tutustuessa se tuntuu tutulta ja luontevalta käyttää eikä jokaista toimintoa tarvitse opetella ohjekirjasta erikseen.

Käytettävyyden lisäksi myös loppukäyttäjän ja ympäristön turvallisuuteen kiinnitetään tuotetta suunnitellessa suuri huomio. Olemme oppineet pitämään CE-merkintää tuotteen kyljessä oletusarvona, eikä sen varsinaiseen merkitykseen useimmiten kiinnitetä minkäänlaista huomiota. Merkintä edellyttää kuitenkin useiden direktiivien ja standardien noudattamista ja vaatii valmistajaa ottamaan useita turvallisuuteen vaikuttavia asioita huomioon koko tuotekehitysprosessin ajan.

Itse tuotteen suunnittelu on monivaiheinen iteroituva prosessi jossa fyysisistä malleista joudutaan usein palaamaan takaisin suunnittelupöydälle. Asiat mitkä toimivat näytöllä ja laskennallisesti, eivät aina kuitenkaan toimi prototyypeissä, joten prototyyppienkin valmistus on edelleen välttämätöntä, varsinkin kun ollaan kehittämässä täysin uutta tuotetta. Tässä vaiheessa on muutosten tekeminen vielä halpaa ja nopeaa verrattuna jo tuotannossa olevan tuotteen muokkaamiseen, joten prototyyppien testaukseen tulisi paneutua huolella, jotta kaikki lastentaudit saataisiin pois jo alkuvaiheessa.

1.1 Työn tavoite ja rajaus

Työssä käydään läpi, minkälaisen prosessin uusi tuote on käynyt läpi, ennen kuin se on päätynyt markkinoille asti. Työn luettuaan lukija ymmärtää, minkälaisen kehityspolun uusi tuote on käynyt läpi ja mitä kaikkea muuta tuotteen suunnittelussa tulee ottaa huomioon kuin vain tuotteen suunnittelun teknisesti mahdollisimman hyväksi. Työssä käydään termoelektristä-jäähdytintä esimerkkinä käyttäen läpi tuotteen kehityspolku suunnittelupöydältä prototyypiksi ja valmiiksi tuotteeksi dokumentteineen. Koska työ tehdään yritykselle, jätetään työssä mainitsematta tarkimmat yksityiskohdat laitteen

teknisistä ominaisuuksista. Tällaisia ovat muun muassa komponenttien tarkat mallit, toimittajat, hinnat, elektroniikan osavalinnat, käyttöliittymän kehitys, sekä tuotteen yksityiskohtainen layout.

1.2 Tutkimusongelma, -kysymykset ja -menetelmät

Teollisuudessa on useita jäähdytystä vaativia kohteita joissa tarvitaan suljettua kotelointia elektroniikalle pölyisen ympäristön vuoksi, mutta kompressorijäähdyttimiä ei voida käyttää ympäristön aiheuttamien haasteiden, kuten tärinän, korkean lämpötilan ja tilarajoitusten johdosta. Tällaisiin kohteisiin yksi ratkaisu on termoelektrinen-jäähdytin, mikä peltier-tekniikkaan perustuen siirtää kuumaa ilmaa kotelon ulkopuolelle sähkövirran avulla. Jäähdyttimen kuuman ja kylmän ilmavirran kierto voidaan toteuttaa toisistaan eristettyinä, jolloin kotelointi on mahdollista pitää täysin suljettuna.

Markkinoilta on saatu palautetta, että kohteisiin joissa ei voida käyttää puhallin-, tai kompressoriratkaisuja, tarvitaan vaihtoehtoinen jäähdytysmenetelmä. Jäähdyttimen tulisi olla haastavia olosuhteita kestävä, pystyttävä lämmittämään, muodostettava suljettu ilmakierto kotelon kanssa, sekä oltava kompaktin kokoinen ja helppo asentaa. Tämän työn tutkimusongelmana on siis kehittää jäähdytin, joka vastaa edellä mainittuihin tarpeisiin. Jo valmiiksi kuitenkin tiedettiin, että peltier-elementeillä voitaisiin toteuttaa jäähdytin, joka täyttää nämä vaatimukset, joten käytettävä teknologia oli valittuna jo heti työn alusta alkaen.

Tutkimuskysymyksiä työssä ovat:

- Mitä vaiheita on uuden tuotteen suunnittelussa?
- Mitä asioita tuotteen suunnittelussa tulee erityisesti ottaa huomioon?
- Mitä työkaluja voidaan käyttää tuotteen suunnittelun apuna?
- Mitä CE-merkintä tarkoittaa, pitää sisällään ja vaatii?

Koska peltier-teknologia yhdistettynä puhaltimiin on monen eri parametrin yhteistulos, missä laskennalla ei saada kuin suuntaa-antavia tuloksia, tehtiin työ käytäntöpainotteisesti. Komponentit mitoitettiin aluksi laskennalla, minkä jälkeen prototyypin 3D-mallia alettiin hahmottelemaan CAD-suunnitteluohjelmalla. Seuraavaksi laitteesta tehtiin prototyyppi yksinkertaisia menetelmiä käyttäen, jotta tehtyjen laskelmien ja ratkaisujen toimivuutta päästiin testaamaan käytännössä ja saatujen tulosten perusteella mallia kehitettiin edelleen.

Muilta osin, kuten CE-merkinnän osalta työ tehtiin kirjallisuuskatsauksena, missä standardien ja direktiivien tutkiminen ja näiden asettamien vaatimuksien selvittäminen vei suuren osan työhön käytetystä ajasta.

2 UUDEN TUOTTEEN SUUNNITTELU

Uuden tuotteen kehityksen tulisi olla etukäteen tarkoin suunniteltu prosessi joka jaetaan eri vaiheisiin. Suunnittelematonta tuotekehitysprosessia voikin verrata laskuvarjohyppyyn. Yrityksellä on käytössään perustekniikka eli lentokone, sekä pääoma eli laskuvarjo ja tuotekehitysprosessin läpi edetään vapaassa pudotuksessa olettaen, että laskeutuminen sujuu ongelmitta. Vastaavasti hyvin suunniteltu tuotekehitys on kuin vuorikiipeilyä, missä eteneminen tapahtuu harkitusti ja tasaisesti eri työkaluja apuna käyttäen. Tiimi tekee edetäkseen yhteistyötä ja ongelmatilanteista selvitään jäsenten ammattitaidon avulla. (Cagan & Craig, 2003, s. 34–35.)

Alusta alkaen järjestelmällisesti toteutettu tuotekehitysprosessi johtaa järjestäen menestyviin tuotteisiin, kun taas laskuvarjohyppynä toteutetun tuotekehitysprosessin menestyminen on usein sattumanvaraista (Cagan et al., 2003, s. 34–35). Tässä kappaleessa käydään läpi muutamia eri tapoja hallita ja viedä tuotekehitysprosessi läpi ja kerrotaan kuinka case-esimerkin tuotteen kehityksessä edettiin.

2.1 Tuotekehitysprosessit tuotteen kehittämiseksi

”Hyvin suunniteltu on puoliksi tehty”, ei välttämättä pidä paikkaansa tuotekehitysprosessissa, vaikkakin uuden tuotteen kehitys vaatii huolellisen projektin suunnittelun, mutta ”Huonosti suunniteltu on valmiiksi hävitty” pätee jo huomattavasti paremmin. Ilman minkäänlaista suunnitelmaa on menestyvän tuotteen syntyminen enemmän tuurista, kuin taidosta kiinni (Cagan et al., 2003, s. 34–35).

2.1.1 Epävirallinen tuotekehitysprojekti

Epävirallinen tuotekehitysprojekti on useimmiten pienten yritysten tapa toteuttaa uuden tuotteen kehitys. Siinä on jonkinlainen käsitys siitä, minkälainen tuote on tarkoitus kehittää ja suunnittelijat alkavat toteuttamaan tätä näkemystä oman ymmärryksensä pohjalta. Työssä edetään kiihkeästi, tavoitteena saada suunnittelu valmiiksi mahdollisimman pian. Koska suunnittelu on aloitettu heti, kun tuote on päätetty ottaa kehitykseen, ei aikaa ole ollut tehdä tarkkaa selvitystä asiakkaiden vaatimista ominaisuuksista. Kun markkinoilta saadaan tarkempaa tietoa laitteen vaatimuksista, joudutaan suunnitelmiin tekemään jatkuvasti

muutoksia. Muutoksien toteuttaminen voi vaatia uusien osien suunnittelua ja testaamista ja jo valmiin layoutin uudelleen suunnittelua. Suunnittelijat vastustavat näitä toimia, koska se vaatii lisää aikaa suunnittelulle mikä nostaa projektin kustannuksia. Myyjien mielestä taas muutokset ovat välttämättömiä, jotta tuotetta saadaan myytyä. Koska muutosvaatimukset tulevat vähitellen, näyttää jatkuvasti siltä, että tuote on kohta valmis. Tämä saa yritysjohdon jatkamaan projektia vaikka sen aikataulu ja budjetti ylittyvät moninkertaisesti. Jos tuotekehitysprosessin kesto ja kustannukset olisivat olleet tiedossa jo heti projektin alkuvaiheessa riittävän alkuselvityksen myötä, olisi projekti mahdollisesti hylätty heti alussa kannattamattomana. Tällä tavoin toteutettuun projektiin ei myöskään kuulu sen analysointi jälkikäteen, joten epäonnistumiseen johtaneita syitä ei analysoida sen tarkemmin, vaan seuraava projekti toteutetaan samalla tavalla, mikä vähitellen johtaa siihen, että yritys tuottaa vain heikkolaatuisia tuotteita. (Bower, 2003, s. 7–10.)

2.1.2 Virallinen tuotekehitysprojekti

Virallisessa tuotekehitysprojektissa koko prosessi jaetaan alussa osiin, joiden mukaan työssä edetään. Yksinkertaisimmillaan prosessi voidaan jakaa kahteen osaan: määrittely- ja suunnitteluvaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa listataan mitä ominaisuuksia tuotteella tulee olla ja vasta sitten siirrytään jälkimmäiseen vaiheeseen. Projektin onnistumisen kannalta on tärkeää, ettei aikataulua pyritä nopeuttamaan aloittamalla suunnitteluvaihe jo, kun määrittelyvaihe on edelleen kesken, sillä tämä johtaa samoihin ongelmiin kuin epävirallinen tuotekehitys. (Bower, 2003, s. 12–13.)

Kattavammin jaoteltuna prosessi voidaan jakaa esimerkiksi kuuteen eri vaiheeseen (Ulrich et al., 2000, s. 15–18):

0) **Suunnittelu**: Kutsutaan usein nolla-vaiheeksi, sillä tässä vaiheessa arvioidaan yrityksen strategia tuotteen suhteen, tekninen kehitys ja markkinatavoitteet ja vasta sitten päätetään itse tuotekehitysprosessin aloittamisesta. Suunnitteluvaiheen tuloksena saadaan tehtävänanto, liiketoiminnalliset tavoitteet, keskeiset oletukset ja rajoitteet tuotteen suhteen.
1) **Konseptointi:** Konseptoinnissa tunnistetaan markkinoiden tarpeet, kehitetään ja arvioidaan vaihtoehtoisia tuotekonsepteja ja yksi tai useampia vaihtoehtoja valitaan jatkokehitykseen. Konseptien kilpailukykyisyyttä

markkinoilla arvioidaan ja päätetään voidaanko projektia jatkaa taloudellisesta näkökulmasta.

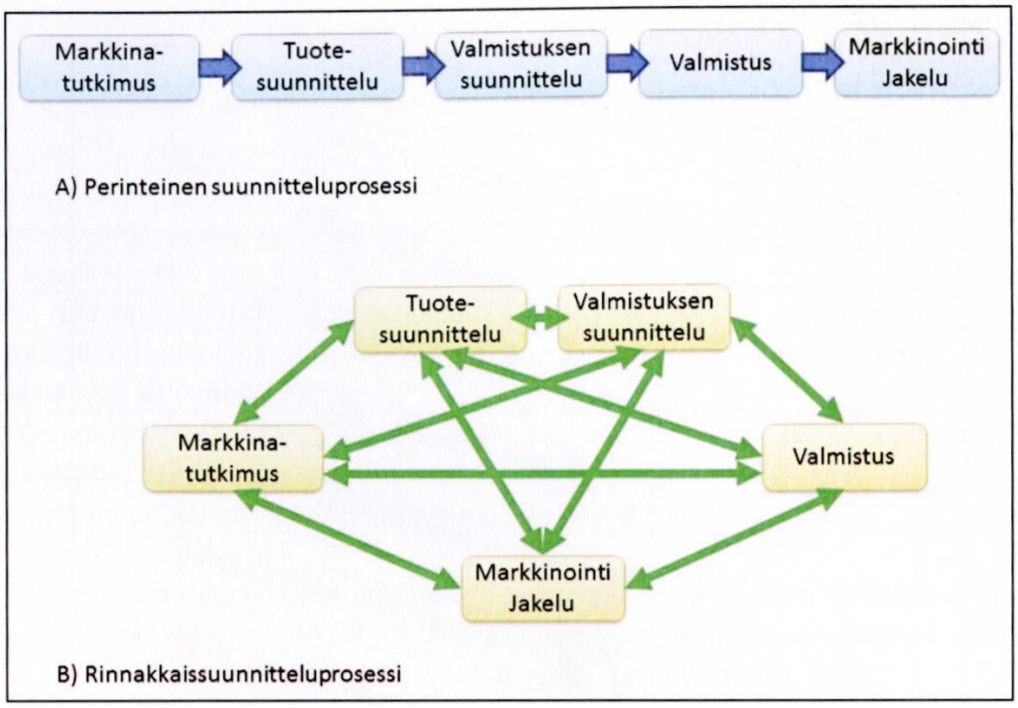
2) **Järjestelmätason suunnittelu:** Järjestelmätason suunnittelussa määritellään tuotteen arkkitehtuuri, sekä jaetaan tuote osajärjestelmiin ja osiin. Myös lopullinen kokoonpano määritellään tässä vaiheessa. Tuloksena tästä vaiheesta saadaan osien geometrinen asettelupiirustus, listaus osajärjestelmien toiminnallisuuksista, sekä osien kokoonpanokaavio.
3) **Yksityiskohtainen suunnittelu:** Yksityiskohtainen suunnittelu kattaa tuotteen tarkan geometrisen suunnittelun, materiaalivalinnat, valmistettavien osien valmistuksen suunnittelun, sekä osto-osien täydellisen listauksen. Tuloksena tästä vaiheesta saadaan dokumentaatio, joka sisältää valmistuspiirustukset jokaiselle osalle, sekä työkaluille jotka tarvitaan niiden valmistukseen, osto-osien tiedot, sekä suunnitelmat itse tuotteen valmistukselle ja kokoonpanolle.
4) **Testaus ja hienosäätö:** Testausta varten valmistetaan tuotteesta useita esituotantokappaleita, jotka testataan ja arvioidaan. Ensimmäinen sarja prototyyppejä voidaan valmistaa käyttäen vastaavia osia kuin lopullisessa tuotteessa on tarkoitus käyttää ja valmistusmenetelminä käytetään kevyempiä menetelmiä, kuin mitä itse sarjatuotannossa, jolloin tuotetta päästään testaamaan ilman tuotantolinjan muutoksia tai investointeja uusiin koneisiin. Tässä vaiheessa voidaan todeta toimiiko tuote suunnitellusti ja täyttääkö se asiakastarpeet. Seuraavassa prototyyppien sarjassa käytetään jo lopullisia osia, mutta tuotantomenetelmät eivät edelleenkään välttämättä vastaa lopullisia. Näitä versioita annetaan asiakkaille testikäyttöön, jolloin voidaan varmistua niiden suorituskyvystä ja luotettavuudesta. Pienet muutokset tuotteeseen ovat vielä tässä vaiheessa mahdollisia ilman suuria panostuksia.
5) **Tuotannon ylösajo:** Tuotannon ylösajo –vaiheessa tuotteet valmistetaan käyttäen aiottuja sarjatuotantomenetelmiä. Tässä vaiheessa tarkoituksena on kouluttaa työntekijät, sekä huomata ja ratkaista mahdolliset ongelmat tuotannossa. Valmiita tuotteita toimitetaan asiakkaille ja tarkistetaan vielä kerran mahdollisten virheiden varalta. Raja tuotannon ylösajon ja sarjatuotannon välillä on usein häilyvä ja tapahtuu asteittain. Jossain vaiheessa tuote julkistetaan, jolloin se tulee jakelijoille laajasti saataville

Kohtia 0 ja 1 voidaan kutsua syystä vaivalloiseksi alkutaipaleeksi, sillä näiden aikana ei saada tuotteen suhteen juurikaan näkyviä tuloksia aikaiseksi, mutta ne vaativat silti paljon työtä. Kuitenkin jo tässä vaiheessa ratkaistaan usein, tuleeko projekti onnistumaan ja tuotteesta menestys, vai ylittyykö projektin aikataulut ja budjetit ja mahdollinen tuotteen tuoma taloudellinen tuotto on syöty jo ennen sen markkinoille saattamista. (Bower, 2003, s. 7–11; Cagan et al., 2003, s. 166–170; Ulrich et al., 2000, s. 14–15.)

2.1.3 Valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnitteluprosessi

Valmistus- ja kokoonpanoystävällisessä suunnittelussa valmistus- ja kokoonpanoystävällisyys otetaan huomioon jo projektin alkuvaiheista lähtien. Tällaista suunnittelua kutsutaan DFMA:ksi (Design for Manufacturing and Assembly). DFMA:n perimmäisenä tavoitteena on murtaa kommunikaatiomuuri suunnittelu- ja valmistusosaston väliltä, jolloin tuotekehityksen ja tuotteen valmistuksen kustannuksia saadaan vähennettyä. Näin voidaan maksimoida yrityksen tuotteesta saama kate. Lisäksi myös tuotteen laatu paranee, kun valmistus on huomioitu suunnittelussa jo alusta alkaen. (Eskelinen & Karsikas, 2013, s. 7–9; Ulrich et al., 2000, s. 237–238.)

DFMA suunnittelu murtaa perinteisen, edelläkin esitellyn vaihe-vaiheelta–tuotekehitysprosessin järjestyksen. Nykyaikainen suunnitteluprosessi on iteratiivinen ja eri vaiheet etenevät rinnakkaisena suunnitteluna, jolloin jo alusta alkaen voidaan suunnittelussa ottaa huomioon myös kaupallinen ja valmistuksellinen näkökulma. Kuvassa 1 on havainnollistettu perinteisen ja rinnakkaissuunnitteluprosessin kulkua. (Eskelinen et al., 2013, s. 23–24; Ulrich et al., 2000, s. 238–239.)



Kuva 1. Ero perinteisen- ja rinnakkaissuunnitteluprosessien kulussa (Eskelinen et al., 2013, s. 24).

Uuden tuotteen kehittämiseksi on useita muitakin tapoja, kuin edellä esitetyt ja menetelmät saattavat vaihdella yrityksen sisälläkin riippuen siitä minkälaista tuotetta ollaan kehittämässä. Silti yhteistä on se, että menestyneen tuotteen luonti vaatii huolellisen alkuselvityksen ja suunnittelun ennen varsinaista tuotekehitystä. (Ulrich et al., 2000, s. 14–15.)

2.2 Tuotekehitysprosessin alkukartoitus ja –suunnittelu

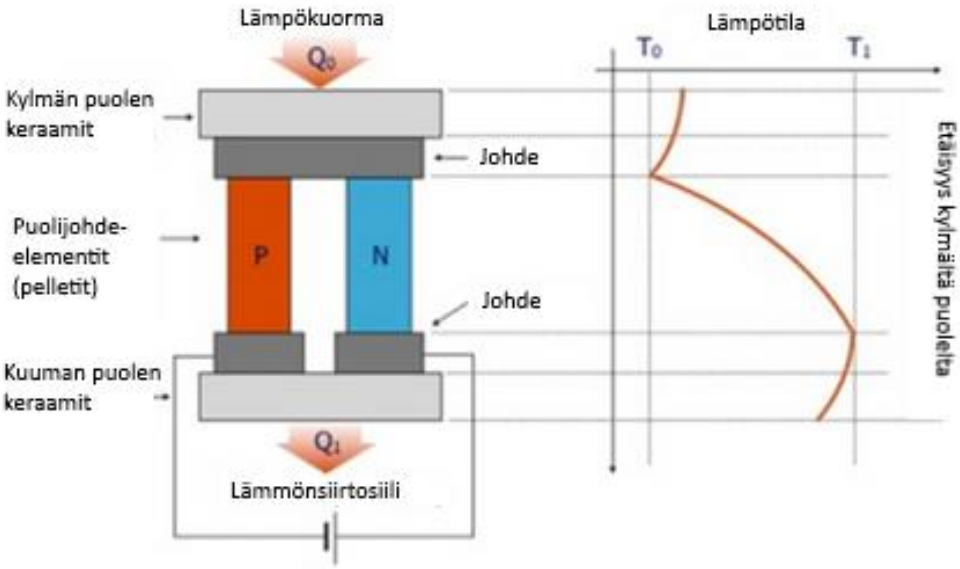
Projektin tavoitteena oli kehittää haastaviin olosuhteisiin soveltuva jäähdytin, jollaiselle oli asiakkailta saadun palautteen perusteella tarve. Laitteen tuli olla pienikokoinen, iskunkestävä, alle 10 kg painava, luotettava ja jäähdytysteholtaan noin 150 - 200 watin tehoinen. Vastaavia laitteita oli jo markkinoilla olemassa, mutta ne olivat joko liian suuria ja raskaita tai niiden jäähdytysteho oli liian alhainen, jolloin ne olivat liian tehottomia moniin kohteisiin ja niitä jouduttiin käyttämään useita rinnakkain. Markkinajohtajan ilmoittama hinta 100 watin jäähdytystehoon kykenevälle laitteelle verkkovirtasyötteisenä oli noin 1100 euroa, jolloin jäähdytetyn watin hinnaksi tulee 1,1 €. (Rittal – The System, 2015). Jotta uusi laite olisi hinnaltaan kilpailukykyinen, tulee jäähdytetyn watin hinta olla alempi kuin markkinajohtajalla.

Asiakastarpeet oli siis etukäteen osittain kartoitettu ja myös laitteen sallittu hinta tiedettiin. Näiden tietojen pohjalta voitiin lähteä tekemään ensimmäisiä teknisiä valintoja. Seuraavassa käydään muutaman pääkomponentin valintaa läpi.

2.2.1 Käytettävän lämmönsiirtoteknologian valinta ja termoelektrinen ilmiö

Käytettävän jäähdytysteknologian valinta oli suhteellisen suoraviivaista, koska kompressori- ja puhallinratkaisut olivat alusta asti poissuljettuja vaihtoehtoja haastavia olosuhteita koskevien asiakasvaatimusten vuoksi. Termoelektriseen ilmiöön perustuvat peltier-elementit tunnetaan pienikokoisina, sekä kestävinä ratkaisuina, joita voidaan soveltaa useisiin eri lämmönsiirtoa vaativiin kohteisiin, joten päätös näiden käytöstä tehtiin jo hyvin alkuvaiheessa (TEC Microsystems, 2015).

Termoelektrinen ilmiö löydettiin 1834, kun Jean Peltier havaitsi, että johdettaessa sähkövirta kahden keskenään virtapiirissä olevan erimateriaalisen puolijohdinkomponentin läpi, syntyy niiden välille lämpötilaero. Tämän vuoksi ilmiö tunnetaan yleisesti Peltier-ilmiönä ja sitä hyödynnetään muun muassa autojääkaapeissa, joissa peltier-elementin kummatkin pinnat ovat liitettyinä lämmönsiirtosiileihin joiden rivastojen läpi puhalletaan ilmaa lämmönsiirron tehostamiseksi. Kuvassa 2 on kuvattu peltier-elementin rakenne, missä kuuman ja kylmän puolen pinnat ovat keraamia ja niiden välissä puolijohdekomponentit. Sähkövirran kulkiessa puolijohdekomponenttien läpi, saa se lämmön siirtymään puolijohdekomponenttien välityksellä elementin toiselle puolelle, jolloin toinen keraameista kylmenee ja toinen vastaavasti kuumenee. Kylmä ja kuuma puoli riippuvat sähkövirran suunnasta, joten peltier-elementtiä voidaan käyttää myös lämmittämiseen kääntämällä virran suunta. (eHow, 2016; TEC Microsystems, 2015.)



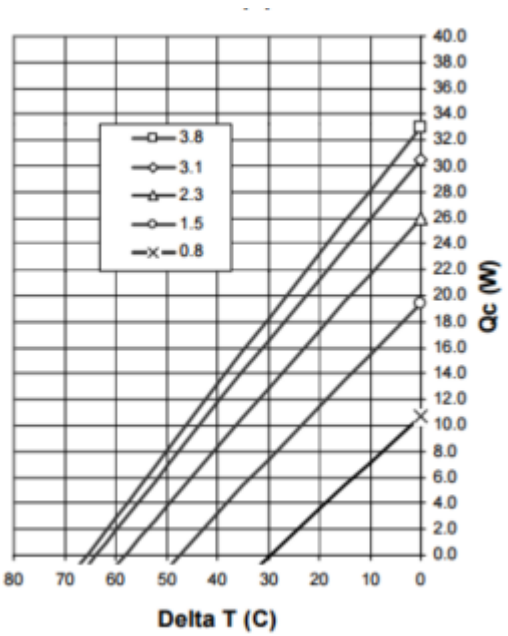
Kuva 2. Peltier-elementin toimintakaavio ja pintojen välinen lämpötilaero. Ylempi pinnoista on kylmä ja alempi kuuma pinta (mukaillen TEC Microsystems, 2015).

Peltier-elementtien suorituskykyyn vaikuttaa useita parametreja, joiden perusteella ne jaotellaan. Seuraavassa on listattuna näistä keskeisimmät:

- ΔT_{max}= Maksimi lämpötilaero kylmän ja kuuman puolen välillä kun lämpökuorma Q=0.
- Q_{max}= Maksimi lämmönsiirtoteho kun ΔT_{max}=0.
- I_{max}= Virran maksimiarvo ΔT_{max} arvossa.
- U_{max}= Maksimijännite virran maksimiarvossa ilman lämpökuormaa (Q = 0).

(TEC Microsystems, 2015.)

Jokainen näistä parametreista ovat toisistaan riippuvaisia ja tämän lisäksi myös ympäristön olosuhteet vaikuttavat huomattavasti peltier-elementtien suorituskykyyn. Kuvassa 3 on kuvattuna 32 watin peltier-elementin lämmönsiirtokyky Q_c eri virran arvoilla kylmän ja kuuman puolen lämpötilaeron funktiona. (TEC Microsystems, 2015; Melcor, 2015.)



Kuva 3. 32 watin peltier-elementin lämmönsiirtokyky Q_c eri virran arvoilla pintojen välisen lämpötilaeron ΔT suhteessa (Melcor, 2015).

Kuten kuvasta 3 huomataan, vaikuttaa pintojen välisen lämpötilaeron kasvu radikaalisti lämmönsiirtokykyyn, mikä vaikeuttaa peltier-elementtien todellisen tehon laskentaa. Elementin pinnat liitetään usein lämpöä tuottavaan ja lämpöä poistavaan kappaleeseen piitahnan tai vastaavan korkean lämmönjohtokyvyn omaavan aineen avulla. Ainetta tulisi levittää juuri oikea määrä ja pinnat puristaa tasaisesti toisiaan vasten, jotta kontakti koko pinnalta olisi optimaalinen. Tämän toteutuminen on usein vaikeaa varmistaa, pintojen epätasaisuuden ja peltier-elementtien paksuusvaihtelujen vuoksi, jolloin lämmönsiirtokertoimien arvioiminen on epävarmaa. (TE Technology, Inc, 2007, s. 10–12.)

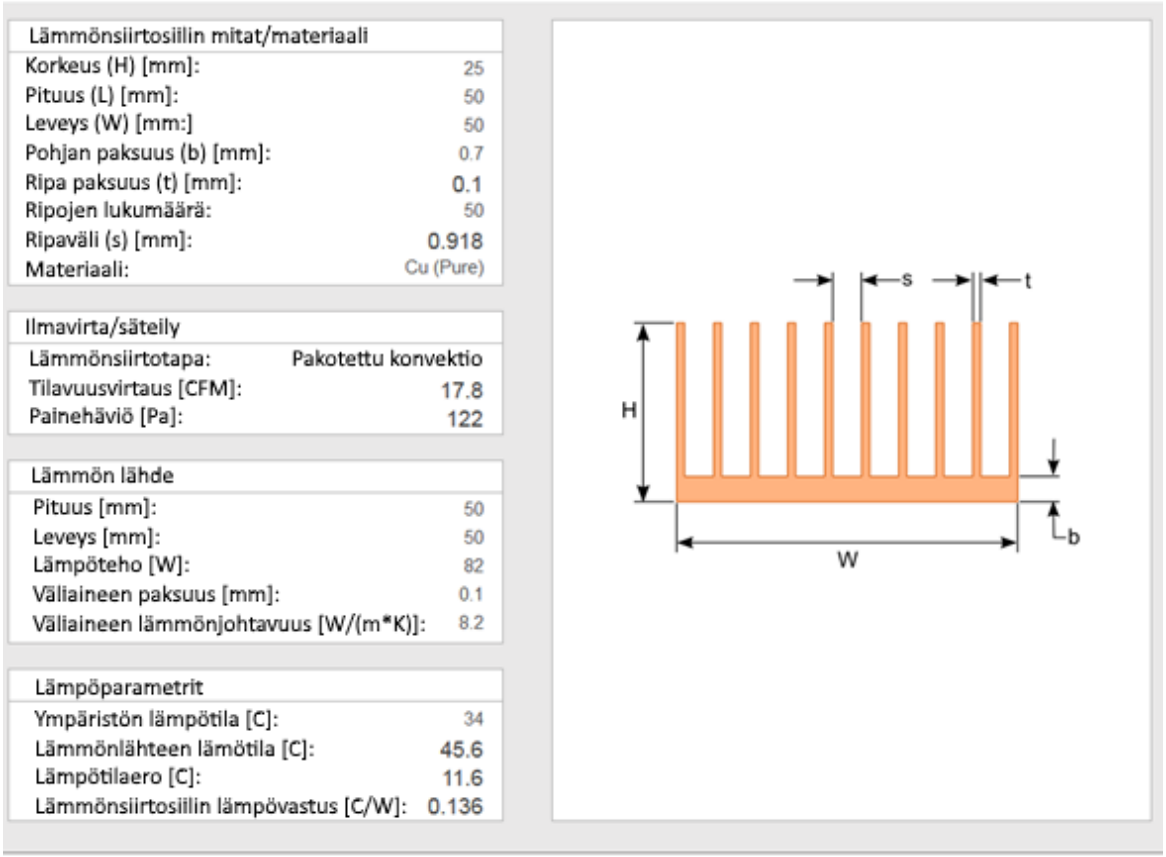
2.2.2 Lämmönsiirtosiilien materiaalin valinta ja mitoitus

Haluttaessa siirtää lämpö kotelon ilmasta ympäröivään ilmaan tarvitaan peltierien molemmille pinnoille lämmönsiirtosiilit. Yleisesti lämmönsiirtosiilejä on saatavilla kuparisina ja alumiinisina, joista kuparilla (401 $\frac{W}{mK}$) on huomattavasti suurempi lämmönsiirtokerroin, kuin alumiinilla (205 $\frac{W}{mK}$) (The Engineering ToolBox, 2015; The Heat Sink Guide, 2015). Koska jäähdyttimen tuli olla kompaktin kokoinen päätettiin tilan säästämiseksi käyttää kuparisia siilejä. Jäähdytyssiilin rivaston mitoittamiseen on internetistä saatavilla useita ilmaisia ohjelmistoja. Tässä työssä käytettiin

Heatsinkcalculator.com sivuston tarjoamaa laskuria, sen sisältämien useiden itse asetettavien parametrien vuoksi. Laskuri ei anna lämmönsiirtosiilin fyysisiä mittoja suoraan, vaan laskee mitoitetun lämmönsiirtosiilin lämmönsiirtovastuksen. Tämän tuloksen perusteella voidaan siilin koko ja ripamäärää lähteä optimoimaan, tavoitteena saada lämmönsiirtovastus mahdollisimman pieneksi. (Heatsink calculator, 2015.)

Ripojen lukumäärän, paksuuden ja korkeuden optimointi kokorajoituksen huomioiden suoritettiin iteroimalla arvoja laskurissa, jolloin vähitellen löydettiin parametrit joilla siilin lämmönsiirtovastus oli mahdollisimman pieni, tarkoittaen mahdollisimman hyvää lämmönsiirtokykyä. Laskurin antama ripojen lämmönsiirtokyky tarkistettiin myös vielä käsin laskemalla, jolloin voitiin varmistua laskurin paikkansapitävyydestä (Incropera & DeWitt, 2002, s. 126–148).

Kuvassa 4 on esitettynä laskurin antama tulos iteroinnin ensimmäisiltä kierroksilta, jolloin osa annetuista arvoista oli vielä alkuarvauksia, joita lähdettiin optimoimaan. Laskurin itse asetettavia parametreja olivat lämmönsiirtosiilin leveys, ripojen määrä ja paksuus, pohjalevyn paksuus, materiaali, konvektion tyypin valinta, puhaltimen arvot, lämmönlähteen koko ja hukkatehon määrä, sekä lämmönlähteen ja lämmönsiirtosiilin välisen lämmönsiirtoaineen paksuus ja lämpövastus. Koska kyseessä oli ohjelman ilmaisversio, oli siilin pituus ja korkeus ennalta asetetut eikä näitä päästy muuttamaan. Tämä ei kuitenkaan haitannut mitoituksen tekemistä, sillä kehitettävään peltier-jäähdyttimeen oli valittu käytettäväksi 50 x 50 mm kokoiset peltier-elementit ja ohjelman ennalta-asetettuna arvona pituutena oli 50 mm ja korkeutena 25 mm. Mitoitus voitiin siis tehdä suoraan yhdelle peltierille, ja tätä skaalaamalla koko jäähdyttimelle. (Heatsink calculator, 2015.)



Kuva 4. Mitoitusohjelman laskema lämmönsiirtosiilin lämpövastus annettujen alkuarvojen perusteella (mukaillen Heatsink calculator, 2015).

Kun siilien fyysiset mitat oli saatu selville, etsittiin sopiva valmistusmenetelmä jolla kyseiset siilit voitaisiin valmistaa. Ilmajäähdytteisiä lämmönsiirtosiilejä voidaan valmistaa usealla eri tavalla ja yleisimmät niistä ovat (Qpedio, 2010, s. 24–26; The Heat Sink Guide, 2015):

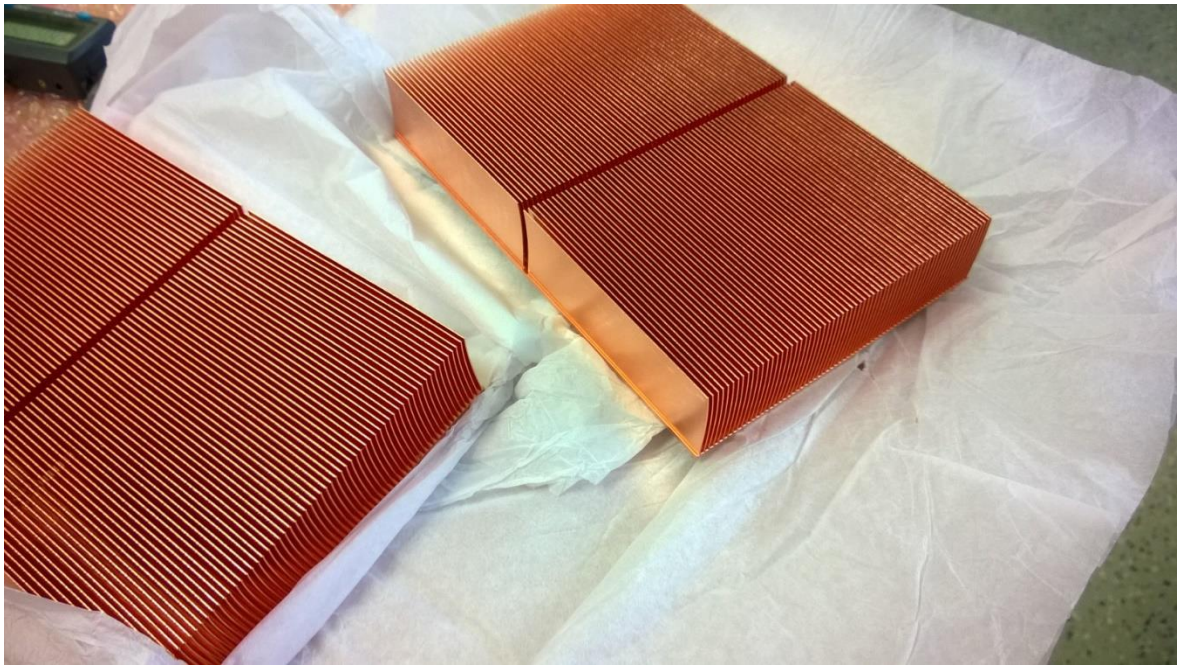
- **Ekstruusio, eli suulakepuristus:** Yleisin tapa valmistaa jäähdytyssiilejä, mutta voidaan käyttää vain alumiinille. Ekstruusiossa alumiinimassa puristetaan halutunlaiseksi muotoillun suulakkeen läpi suurella paineella, jolloin saadaan yhtenäistä profiilia tankona. Myöhemmin tanko suoristetaan venyttämällä sitä, mikä parantaa myös sen mekaanisia ominaisuuksia. Lopuksi tangosta leikataan halutun kokoisia siilejä, jotka voidaan vielä tarvittaessa koneistaa esimerkiksi vaaditun pohjan suoruuden saavuttamiseksi.
- **Meisto:** Meistossa aihiona käytetään ohutlevyä, joka puristetaan meistotyökalun välissä haluttuun muotoon. Menetelmällä voidaan valmistaa tuhansia pieniä

kappaleita yhdellä työkierrolla. Rajoittavana tekijänä menetelmässä on aihiolevyn 4 mm:n maksimipaksuus.

- **Muottivalu:** Muottivalua pidetään nopeimpana valutapana ja sitä voidaan käyttää niin kuparille, kuin alumiinillekin. Menetelmässä sula massa puristetaan valumuottiin paineella, jolloin saadaan mittatarkkoja kappaleita, mutta toisaalta valussa syntyvät kaasut saattavat huonontaa materiaalin laatua ja siten lämmönsiirtokykyä.
- **Liimaus:** Yksinkertaisimmillaan liimaamalla valmistettu lämmönsiirtosiili on valmistettu ohuista levyistä, jotka on liimattu kohtisuoraan paksumpaan pohjalevyyn. Pohjalevyyn koneistetaan usein urat, joihin evät asetetaan ja liimataan lämpöä johtavalla liimalla. Menetelmällä voidaan helposti valmistaa hybridi-siilejä, joissa evät ovat eri materiaalia kuin pohjalevy. Ylimääräinen rajapinta kuitenkin heikentää lämmönsiirtokykyä ja menetelmä on kallis.
- **Taitto:** Taittamalla valmistetuissa siileissä ohutta levyä on taiteltu kiemurtelevaksi ja tämä levy liitetään ”aallonpohjista” pohjalevyyn kiinni joko juottamalla tai liimaamalla. Myös tällä menetelmällä hybridi-rakenteet ovat mahdollisia, mutta ylimääräinen rajapinta heikentää lämmönsiirtokykyä. Muotoilemalla aallonpohjat tasaisiksi, saadaan kontaktipinta-alaa kuitenkin kasvatettua ja lämmönsiirron vastusta rajapinnassa pienennettyä.
- **Muottitaonta:** Muottitaonnassa (useimmiten kylmä) aihio taotaan muotoonsa yhdellä iskulla. Menetelmän ongelmana on materiaalin jumiutuminen muotin onkaloissa, jolloin tuloksena on satunnaisen mittaisia eviä. Taonnalla saavutetaan korkea lujuus, erinomainen pinnanlaatu, hyvä rakenteellinen jäykkyys, mittatarkkuus, sekä materiaalin tasalaatuisuus.
- **Kaavinta:** Kaavinnassa siilin evät ikään kuin vuollaan yhtenäisestä kappaleesta ja nostetaan pystyyn. Menetelmällä vältytään evien ja pohjalevyn väliseltä rajapinnalta, mikä parantaa siilin lämmönjohtavuutta. Menetelmällä voidaan valmistaa hyvin ohuita, vain 0,2 mm paksuisia eviä. Kaavinnalla valmistetun siilin jälkityöstö on ongelmallista aiheuttaen purseita ja työstöjäljen epätasaisuutta. Menetelmä on lisäksi kallis sarjatuotannossa.
- **Koneistus:** Siilejä voidaan valmistaa myös suoraan yhtenäisestä kappaleesta poistamalla materiaalia evien ympäriltä. Koneistamalla voidaan nopeasti valmistaa yksittäisiä kappaleita, mutta menetelmä on kallis ja usein muita menetelmiä

käytetään kaupallisessa valmistuksessa. Evät saattavat myös vaurioitua valmistuksen aikana ja vaativat jälkityöstöä. Myös materiaalihukka on menetelmässä suuri.

Edellä esitettyjen valmistusmenetelmien rajoitteita, kuten materiaali, evän paksuus ja korkeus, sekä minimivalmistusmäärä läpi käydessä, jäi järkevinä vaihtoehtoina jäljelle liimaus, taitto, kaavinta ja koneistus. Kyseisiä menetelmiä käyttäviä valmistajia etsiessä, päädyttiin lopulta käyttämään kaavintaa prototyypin siilien valmistukseen. Kaavinnalla voitiin valmistaa yksittäiskappaleita ilman suuria työkalukustannuksia, mutta myös pienimuotoisessa sarjatuotannossa, menetelmä olisi kustannuksiltaan järkevä. Kuvassa 5 on prototyyppiin hankittu kaavinnalla valmistettu jäähdytyssiili. Kuvasta nähdään, että kaavinnassa evät jäävät hieman kaareviksi. Evät jouduttiin tekemään kahdessa osassa, sillä jäähdytyssiilin pituus oli suurempi kuin valmistajan kaavintaterän leveys. Työstöjälki ja siilien mittatarkkuus olivat kuitenkin erinomaisella tasolla.



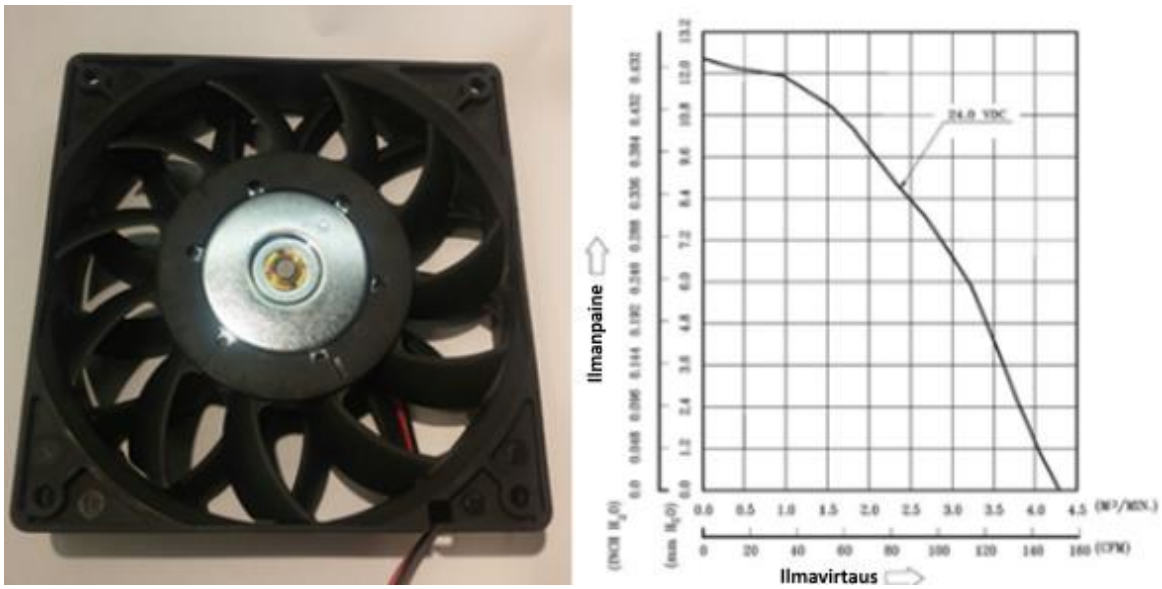
Kuva 5. Prototyyppiin kaavinnalla valmistetut kupariset lämmönsiirtosiilit.

2.2.3 Puhaltimien valinta

Lämmönsiirtosiilien lisäksi lämmönsiirron tehostamiseksi vaadittiin puhaltimet, sillä lämmönsiirto vapaalla konvektiolla on huomattavasti heikompaa kuin pakotetulla (Çengel, 1998, s. 412). Puhaltimien tärkeimpinä määräävinä tekijöinä oli niiden fyysinen koko,

tilavuusvirta, sekä paineentuottokyky. Tavoitteena oli löytää mahdollisimman tehokkaat puhaltimet, sillä riittävän ilmavirran määrästä ei ollut edes karkeaa arviota ryhmän heikon aerodynamiikan tuntemuksen vuoksi. Jos puhaltimista tulisi ylimitoitetut, voitaisiin niitä jännitettä säätämällä ajaa pienemmällä teholla ja näin selvittää todellinen ilmantarve.

Kuvassa 6 on puhaltimiksi valittu 120 mm aksiaalipuhallin, sekä sen suorituskykykäyrä, jonka arvoja käytettiin lämmönsiirtosiilin mitoitusohjelmassa. Puhaltimelle luvattiin noin 4,3 m^3/min tilavuusvirta, sekä 12,50 mmH_2O paineentuotto. Puhaltimien IP luokitus oli 55, eli ne olivat pölyltä, sekä vesisuihkulta suojatut, joten niitä voitiin käyttää myös haastavissa olosuhteissa (SFS 60529 + A1, 2000, s. 24).



Kuva 6. Prototyyppiin valittu 120 mm aksiaalipuhallin, sekä sen suorituskykykäyrä (Melcor, 2015).

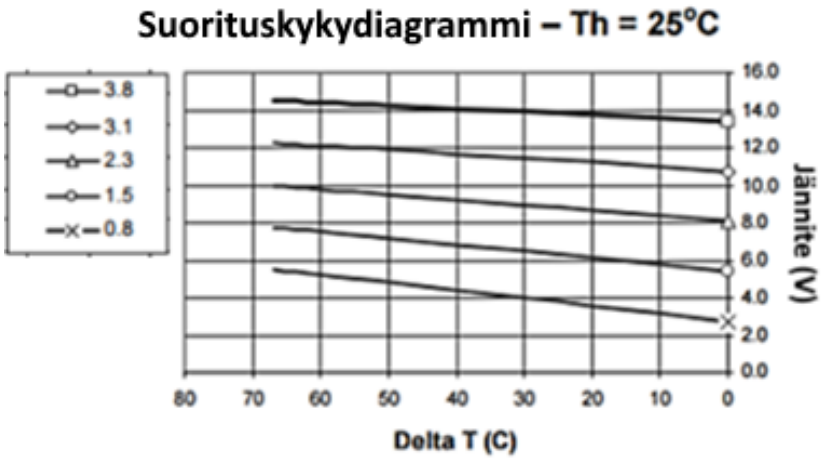
Lämpöä siirtäessään, tuottavat myös peltier-elementit lämpöä. Hukkalämmön määrä P on laskettavissa suoraan ohmin lailla seuraavasti (Taulukot.com, 2016):

$$P = U * I, \qquad [1]$$

Yhtälössä 1 P on (lämpö)teho [W], U on jännite [V] ja I on virta [A] (Taulukot.com, 2016).

Kuvassa 7 on kuvan 2 peltierin ΔT – lämmönsiirtokyky Q_c –käyrästöön liittyvä ΔT – U – käyrästö. Näiden taulukoiden avulla saadaan laskettua hukkalämmön määrä esimerkiksi

tilanteessa, jossa pintojen lämpötilaero ΔT on 10 astetta, I on 2,3 A, Q_c on 22 W ja U on 8,2 V. Hukkateho P on tällöin 2,3 A*8,2V = 18,9 W. Kuuman puolen kokonaislämmönsiirtokyvyn täytyy siis olla 22 W + 18,9 W = 41 W, jotta kylmälle puolelle saadaan 22 W:n jäähdytysteho. (TEC Microssystems, 2015; Melcor, 2015.)



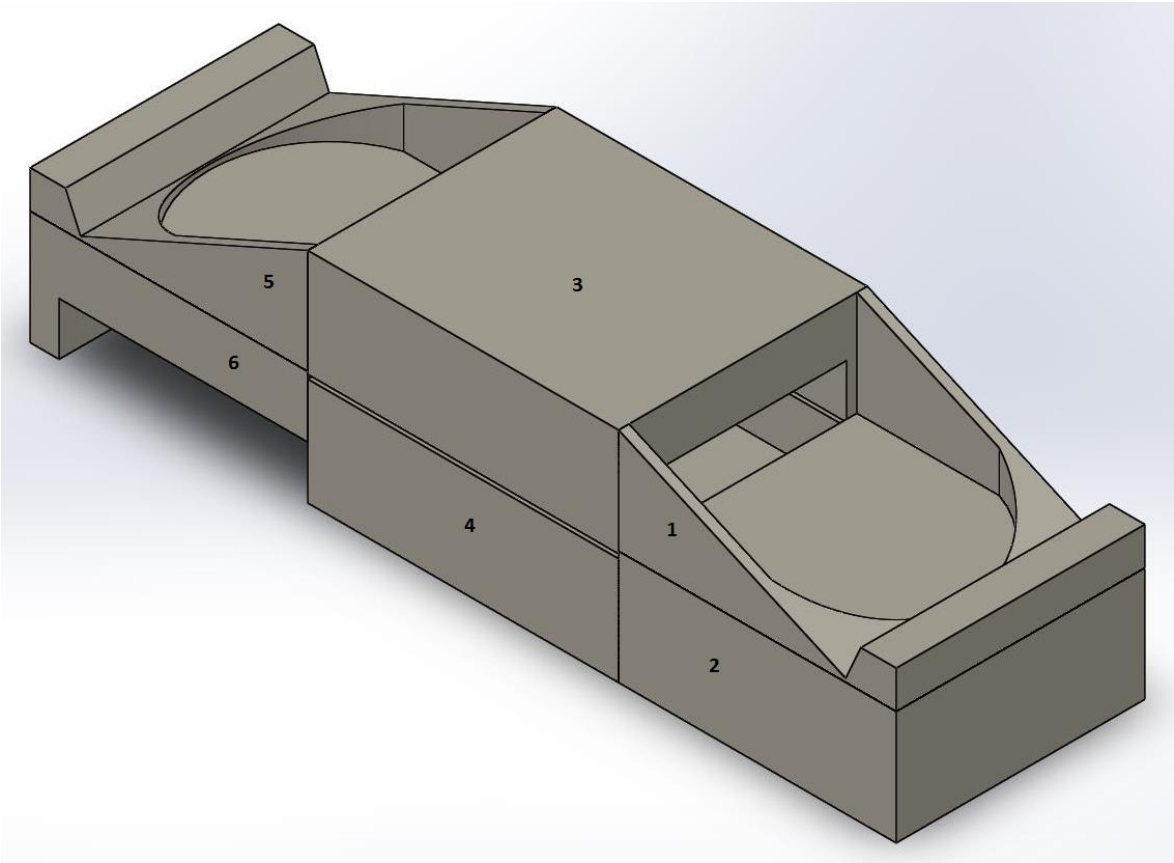
Kuva 7. Peltier-elementin ΔT -jännite -suorituskykydiagrammi (Melcor, 2015).

Kuumalla puolella on siis oltava huomattavasti tehokkaampi lämmönsiirtokyky, kuin kylmällä puolella. Tästä syystä kuumalla puolella päätettiin käyttää kahta puhallinta, yhtä ennen ja jälkeen siilin rivaston ja kylmällä puolella vain yhtä puhallinta rivaston jälkeen.

2.2.4 Esimerkin prototyypin rungon suunnittelu ja valmistus

Jäähdyttimen pääkomponenttien ollessa valittuina, alettiin tuotteen layoutia hahmottelemaan suunnitteluohjelmistolla. Komponentit mallinnettiin, jolloin eri vaihtoehtoja saatiin luotua nopeasti ja näiden vertailu oli helppoa. Pääkomponenttien löydettyä paikkansa, suunniteltiin näille kotelointi ja kiinnittimet. Koska laitteen tuli sietää tärinää ja olla kevyt, päätettiin pääkomponenteille valaa vaimentavasta materiaalista yhtenäinen runko koteloinnin sisään mikä muodostaisi myös ilmakanavat puhaltimien ilmavirroille. Alusta asti suunnittelussa oli ajatuksena suunnitella runko mahdollisimman vähistä osista. Kuvassa 8 on malli ensimmäisen prototyypin rungosta, mikä valmistettiin solumuovista valamisen suurten muottikustannusten vuoksi. Levymäinen solumuovi valittiin käytettäväksi materiaaliksi sillä sen tekniset ominaisuudet kuten matala 0,035 W/mK lämmönjohtavuus, yli 500 kPa:n taivutuslujuus, 300 kPa puristuslujuus, sekä käyttölämpötila-alue -150 - + 75 ^{O}C olivat

käyttötarkoitukseen riittäviä. Lisäksi solumuovi on helposti työstettävissä työstökoneilla ja käsin. (Finnfoam, 2015.)



Kuva 8. Ensimmäisen prototyypin runko, osat numeroituina: 1 – puhaltimen teline, 2 - ilman ohjain, 3 – lämmönsiirtosiilit-peltierit –kokoonpanon kehys, 4 – lämmönsiirtosiilit-peltierit –kokoopanon kehys, 5 – puhaltimen teline, 6 – ilman ohjain.

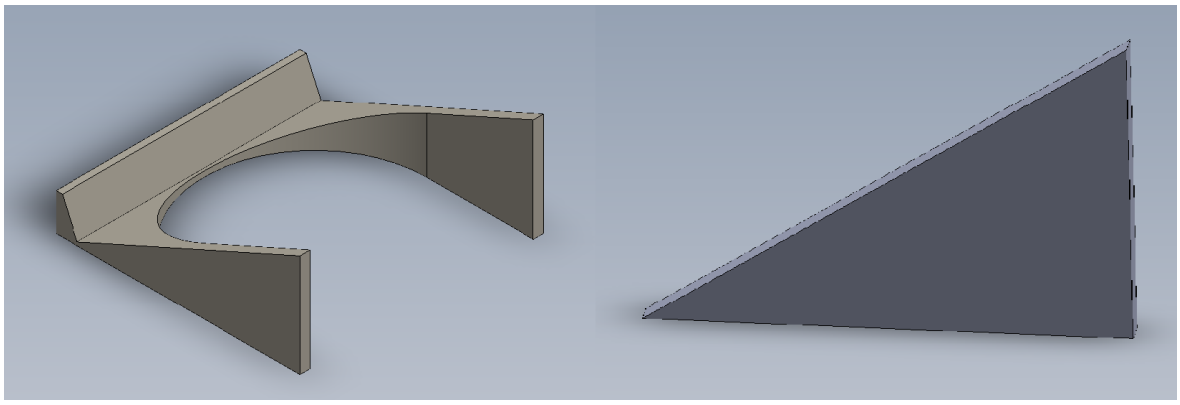
Kuvasta 8 nähdään, että runko koostuu kuudesta kappaleesta, missä on neljä erilaista osaa, joista identtisiä ovat 1 ja 5, sekä 3 ja 4. Osa 6 pystytään pienellä jälkityöstöllä muokkaamaan osasta 2. Suunnitteluun osaltaan vaikutti se, että tällaisenaan kokoonpano oli tehtävissä solumuovista yksinkertaisia työstömenetelmiä, kuten vannesahausta ja hiontaa apuna käyttäen. Eräs DFMA:n keinoista parantaa kokoonpantavuutta on osien lukumäärän vähentäminen (Eskelinen et al., 2013, s. 27–28). Tämä voitaisiin valettaessa toteuttaa yhdistämällä kappaleet 1 ja 2, kuten myös 3 ja 4. Tällöin kokoonpanoon valettavien erilaisten osien määrä putoaisi kahteen, kun osista 1 ja 2 yhdistettyä osaa voitaisiin käyttää myös osien 5 ja 6 tilalla pienellä jälkityöstöllä. Koko kokoonpanon osien lukumäärä putoaisi näin kuudesta kolmeen. Yhtenä kappaleena ei koko runkoa voida valmistaa, sillä peltier-elementit

jäähdytyssiileineen täytyy pystyä asettamaan osien 3 ja 4 väliin. Myös ruiskuvalun kannalta osien 3 ja 4 väliin jäävä muoto olisi ollut hankala valmistaa ja olisi vaatinut häviävien keernojen käyttöä (Lamminen, 2012, s. 37–38).

Fyysistä prototyyppiä valmistettaessa havaittiin, että puhaltimen telineen valmistus on haastavaa, sekä aikaa vievää. Koska nähtävissä oli, ettei valumuotteihin olisi varaa investoida heti laitteen sarjatuotannon alussa, oli puhaltimen telineen rakenne suunniteltava niin, että sen valmistus olisi yksinkertaisia työstömenetelmiä käyttäen jatkossa helppoa ja nopeaa myös käsin tehtävässä sarjatuotannossa. Puhaltimen teline otettiin tarkempaan tarkasteluun DFMA:n näkökulmasta. Tavoitteena oli minimoida tarvittavien valmistusmenetelmien- ja vaiheiden määrä, kuitenkin niin että osan funktionaalisuus säilyisi. Osalle löydettiin kaksi kriittistä toimintoa, jotka sen tuli täyttää:

1) Toimia puhaltimen asennusalustana.
2) Muodostaa ilmakanava yhdessä alapuolisen osan kanssa.

Huomattiin, että samat toiminnot voitiin toteuttaa käyttämällä yksinkertaista suorakulmaista kolmiota molemmilla reunoilla. Tällaista palaa voitaisiin valmistaa suuria määriä myös käsityönä. Miinuksena kokoonpanon osien lukumäärä nousi kahdeksaan, mutta erilaisten osien määrä pysyi edelleen kolmessa ja niiden valmistaminen nopeutui huomattavasti. Koska solumuovista valmistetut kappaleet kiinnitettiin toisiinsa liimaamalla, ei kokoonpano nopeuteen ratkaisulla ollut kuin pieni haitallinen vaikutus. Kuvassa 9 on puhaltimen teline ennen ja jälkeen DFMA-tarkastelun.

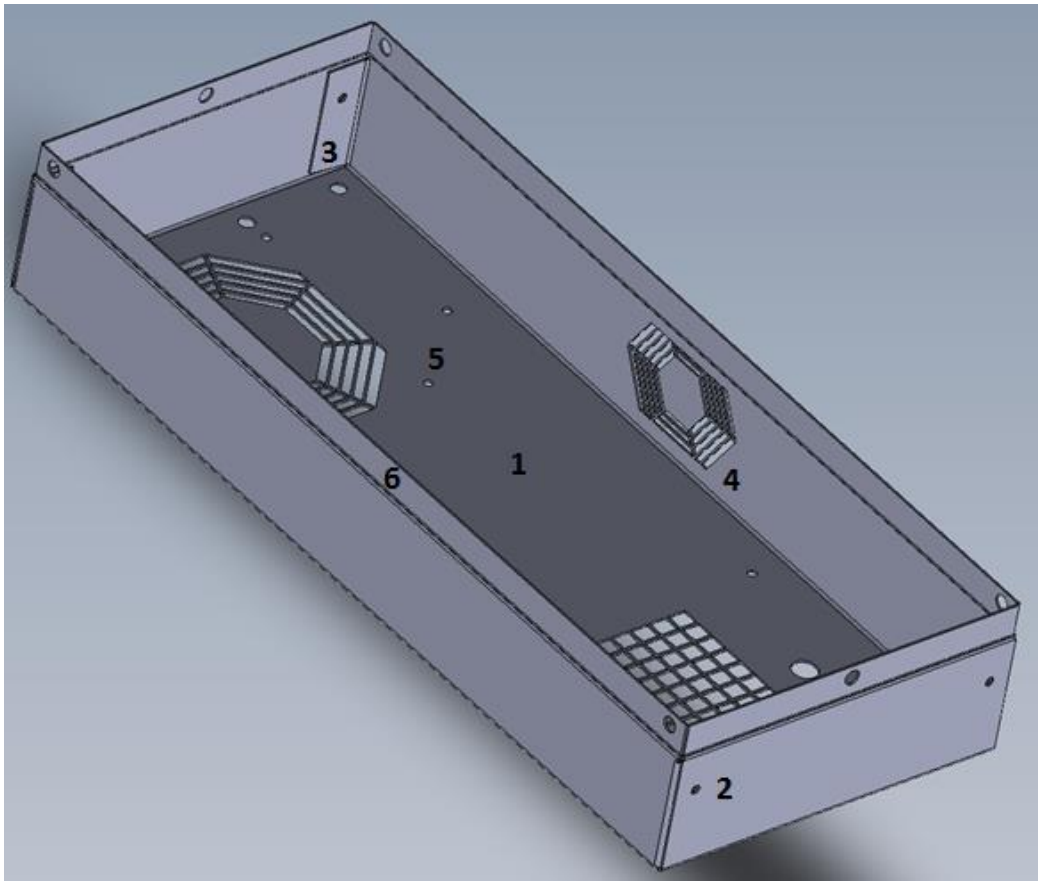


Kuva 9. Puhaltimen teline ennen (vasemmalla) ja jälkeen (oikealla) DFMA-tarkastelun.

2.2.5 Case-esimerkin koteloinnin suunnittelu

Kaikkien komponenttien oltuna sijoiteltuina ja runko mallinnettuna niiden ympärille, voitiin laitteelle suunnitella ulkokuoret, eli kotelointi. Koska laitteen tuli kestää iskuja, sekä haastavia olosuhteita, päätettiin kuoret valmistaa 1 mm vahvuisesta sinkkipinnoitetusta ohutlevyteräksestä (Suomen kuumasinkitsijät, 2007, s. 2).

Kotelo suunniteltiin DFMA:n sääntöjä parhaan mukaan noudattaen. Suunnittelun tuloksena kotelon valmistukseen ei tarvittu muita työvaiheita, kuin leikkaus, särmäys, sekä vetoniittien ja niittimuttereiden kiinnitys. Työstökoneiksi riittivät siis laserilla varustettu levytyökeskus, särmäyspuristin, sekä käsikäyttöiset vetoniitti- ja niittimutterityökalut. Laidan yläreunaan tehtävää sisennystä varten oli levytyökeskukseen hankittava erikoistyökalu. Kuvassa 10 on 3D-malli koteloinnin pohjaosasta ja kuvaan numeroituna kohdat, joissa valmistus- ja kokoonpanoystävällisyys ovat erityisesti vaikuttaneet ratkaisuihin.

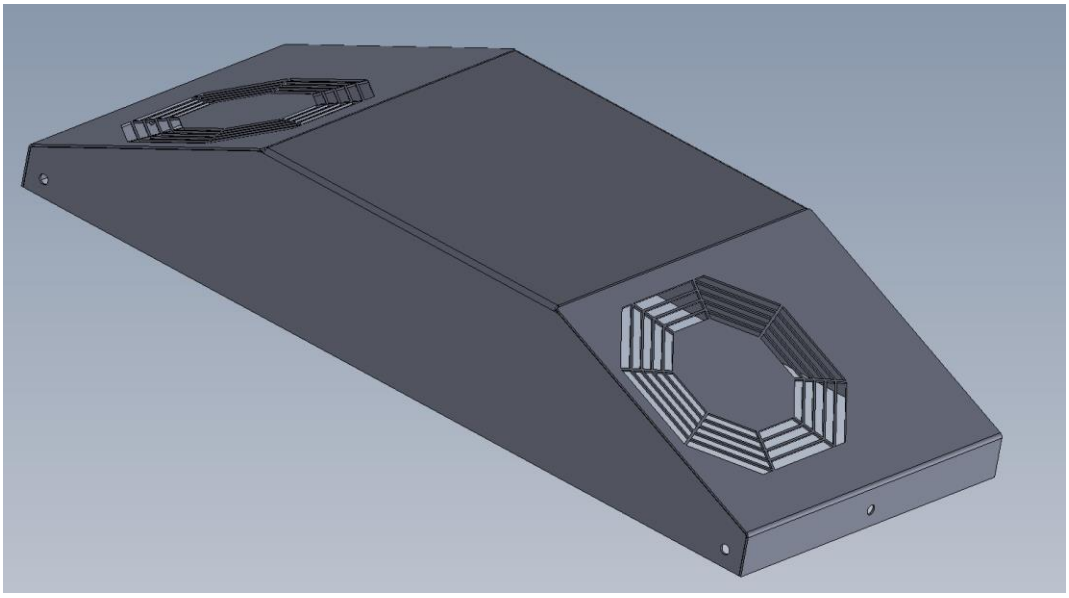


Kuva 10. Jäähdyttimen koteloinnin pohjaosa. Numeroituina kohdat joissa DFMA-näkökulma on erityisesti vaikuttanut suunnitteluun.

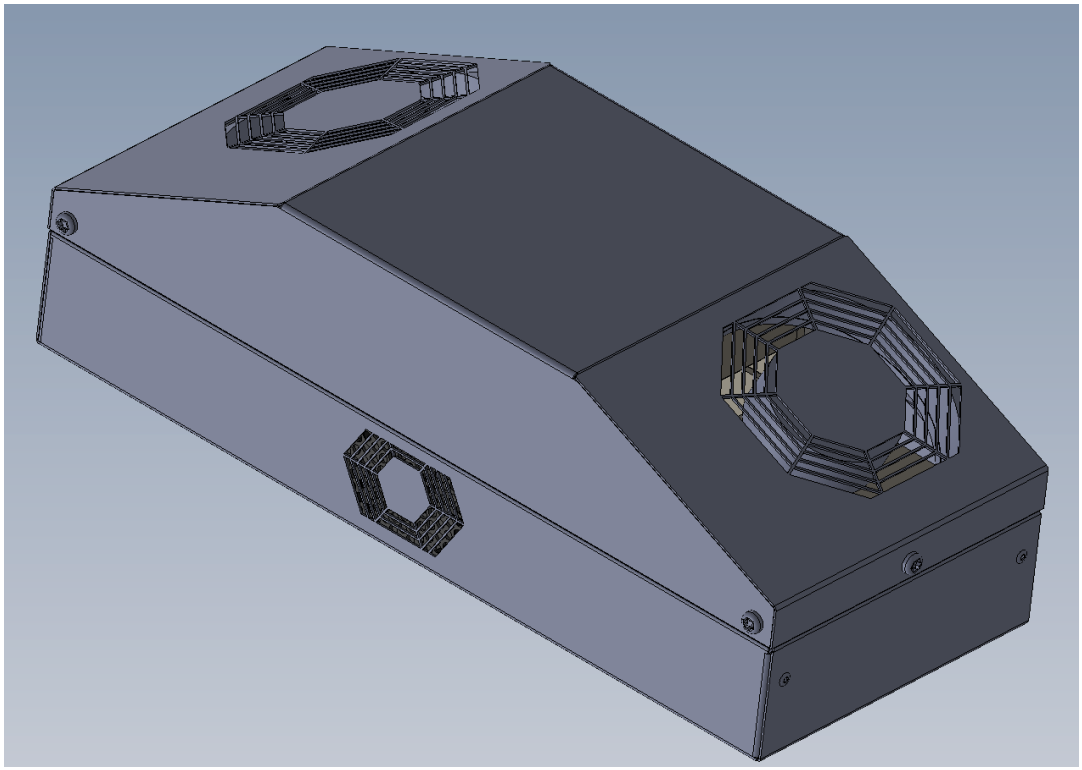
Seuraavassa on selitettynä kuvan 10 kohdat, joissa suunnitteluratkaisuja on tehty DFMA:n näkökulmasta (Matilainen et al., 2011, s. 245–247, 257–259; Eskelinen et al., 2013, s. 88):

1) Koko pohjaosa on tehty yhdestä osasta ja särmäyksen jälkeen kokoonpantavissa neljällä vetoniitillä. Vetoniitit kiinnittävät kyljen ja päädyn särmäykset yhteen, jolloin rakenteesta saadaan jäykkä.
2) Vetoniittien rei'istä ulommainen on tehty 0,2 mm sisempää reikää suuremmaksi, jolloin niitin asentaminen on helpompaa, sen kuitenkin toimiessa yhä tarkoituksenmukaisesti
3) Sisäpuolelle jäävän taivutuksen alareuna on leikattu viistoksi, jolloin se mahdollistaa ylitaivutuksen kotelon pitkää reunaa särmätessä
4) Ilmavirroille tehtyjen aukotusten paikat on määritetty niin, etteivät ne tule liian lähelle särmäystä, aiheuttaen muodonmuutoksia.
5) Osa komponenteista kiinnitetään suoraan kotelon pohjaan vetoniiteillä, jolloin niiden kohdistus tapahtuu samalla valmiiden reikien avulla. Vetoniittien koko on valittu niin, että samoja niittejä voidaan käyttää kotelon kulmissa, sekä komponenttien kiinnittämiseen.
6) Laidan yläreunaan on tehty 1 mm sisennys, jolloin kansi paikoittuu suoraan oikealle kohdalleen. Lisäksi kotelon kyljet saadaan tasaisiksi.

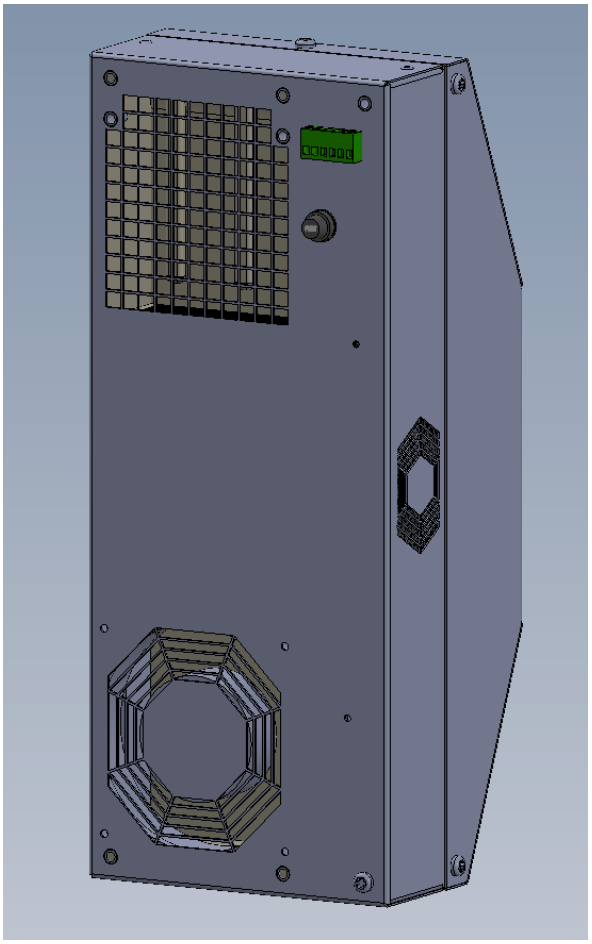
Koko tuote suunniteltiin niin, että kaikki kokoonpano tapahtuu koteloinnin pohjaosan sisään. Pohjan tapaan myös kansi suunniteltiin niin, että se voidaan valmistaa yhdestä kappaleesta leikkaamalla ja särmäämällä. Kansi itsessään ei vaatinut särmäyksen jälkeen minkäänlaista kokoonpanoa, vaan se kiinnitettiin kulmista ja päädyistä ruuveilla pohjakotelon niittimuttereihin, jolloin se sai myös rakenteellisen jäykkyytensä. Kuvassa 11 nähdään kansi itsessään ja kuvissa 12 ja 13 valmis jäähdyttimen prototyyppi.



Kuva 11. Jäähdyttimen koteloinnin kansi



Kuva 12. Prototyypin kokoonpano. Etupuoli.



Kuva 13. Prototyypin kokoonpano. Selkäpuoli.

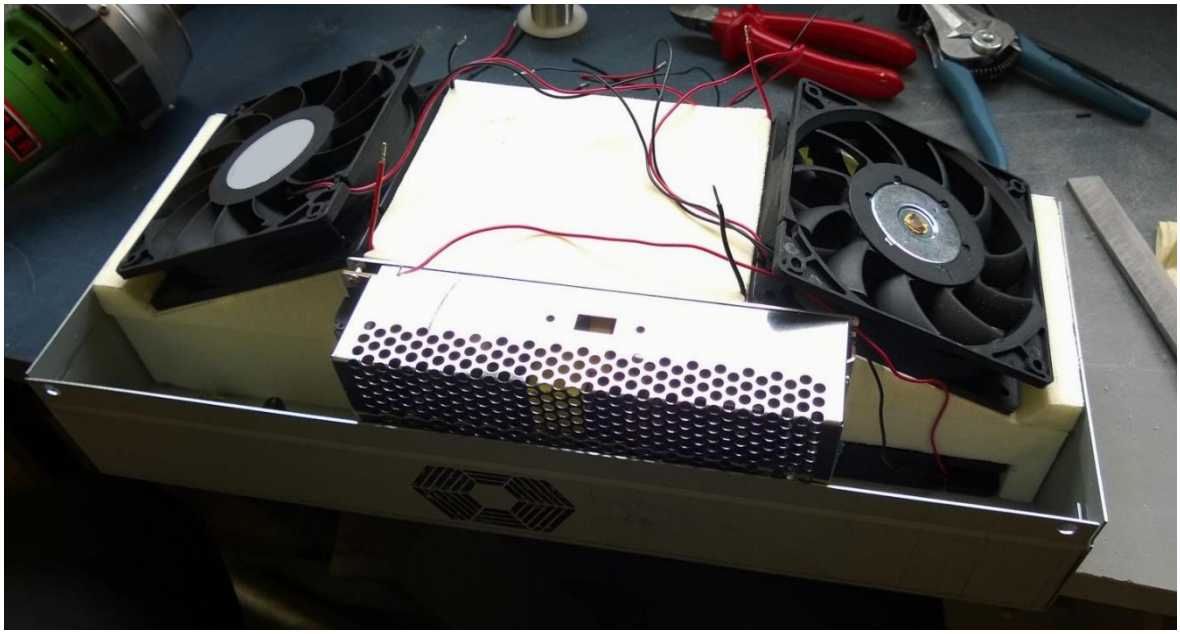
Jäähdytin asennetaan jäähdytettävän kotelon aukotettuun pintaan niin, että selkäpuolen ilma-aukoilla on esteetön virtaus kotelon sisään. Jäähdytin imee kotelosta kuumaa ilmaa yläosasta ja puhaltaa jäähdytetyn ilman kotelon alaosaan. Etupuolella, jäähdytettävän kotelon ulkopuolella ilmavirran suunta on vastakkainen, eli ilma imetään sisään alaosasta ja lämmennyt ilma puhalletaan ylöspäin.

2.3 Prototyypin testaus

Prototyypille suoritettiin kalorimetritestejä, joissa saatiin mitattua laitteen jäähdytyskyky, sekä hyötysuhde alustavasti ja muutosten tekeminen oli nopeaa. Ensimmäisten testien tulosten perusteella kehitettiin 3D-mallia edelleen esimerkiksi puhallinten kaltevuuden osalta, sekä hiottiin yksityiskohtia.

2.3.1 Fyysinen prototyyppi ja kalorimetri

Prototyyppi, jolla ratkaisujen toimivuutta testattiin, rakennettiin suunnittelusta poiketen niin, että siihen oli nopeaa tehdä muutoksia testien aikana. Tämä tarkoitti muun muassa väliaikaisten johdotusten käyttöä, puhaltimien ja peltierien jännitteensyöttöä suoraan virtalähteistä ilman erillistä ohjainelektroniikka. Komponentteja ei myöskään kiinnitetty pysyvästi lopullisille paikoilleen. Kuvassa 14 prototyyppi on kasattuna ilman kantta. Komponentit ovat omilla paikoillaan, muttei kiinteästi paikoilleen asennettuina.



Kuva 14. Prototyyppi kasattuna testejä varten.

Jäähdytyslaitteiden tehon testaamiseksi rakennettiin kalorimetri, jolla jäähdytyskykyä voitaisiin mitata. Kalorimetri tehtiin rakentamalla solumuovilevyistä 500 x 500 x 1200 mm:n kokoinen laatikko, joka vuorattiin sisäpuolelta foliolla. Kalorimetrin koko mitoitettiin vastaamaan koteloiden kokoa, jossa tällaista jäähdytintä tultaisiin käyttämään, jotta testitulokset olisivat todellisuutta vastaavat. Lämmönlähteenä kalorimetrissä käytettiin neljää eri tehoista halogeenilamppua, joiden lämpökuormaa voitiin säätää valohimmentimillä. Jäähdyttimen ottotehoa seurattiin jäähdyttimen verkkovirran syötön väliin kytkettävällä tehonkulutusmittarilla. Testeissä käytettiin kuutta lämpötila-anturia seuraamaan lämpötilanmuutoksia, sekä paine-anturia, jolla voitiin mitata paineen muutoksia lämmönsiirtosiilien ylitse.

2.3.2 Testien suorittaminen

Testatessa seurattiin jäähdyttimen ulko- ja sisäkierron ilmavirtojen tulo- ja lähtölämpötiloja, sekä kalorimetrin lämpötilaa molemmista päistä. Paine-anturilla mitattiin puhaltimien paineentuottoa ennen ja jälkeen lämmönsiirtosiilien. Kalorimetri kalibroitiin testaamalla siinä markkinoilla oleva peltier-jäähdytin, jonka jäähdytystehoksi oli ilmoitettu L35/35 -lämpötilassa 100 W, ottotehon ollessa 100 W (Rittal – The System, 2015). Tulos tarkoittaa, että jäähdytettävän kotelon lämpötila saadaan pidettyä ympäristön 35-asteen lämpötilassa, lämpökuorman ollessa 100 W. Koska tässä projektissa ei koetilan ympäristön lämpötilaa ollut mahdollista korottaa 35-asteeseen asti, kalibrointitestissä kalorimetrin lämpötilassa pyrittiin 21-asteeseen, mikä oli sama kuin ympäristön lämpötila. Tällä tavoin suoritetussa testissä saatiin jäähdyttimen tehoksi 70 W, ottotehon ollessa 100 W. Tällä testillä saatiin määritettyä kalorimetrin virhe ja tähän tulokseen voitiin verrata prototyypin testeistä saatuja tuloksia.

2.3.3 Testien tulokset

Kuten aiemmin kerrottu, on peltier-jäähdyttimen suorituskyky enemmän kuin yksittäisten tekijöiden summa ja niiden laskeminen vaikeaa. Tämän vuoksi ei tällä prototyypillä päästy niin suureen jäähdytyskykyyn kuin laskelmien mukaan oli oletettavaa. Jäähdyttimellä saavutettiin kuitenkin 75 watin jäähdytysteho L22/22-lämpötilassa 87 watin kokonaisottoteholla. Verrattaessa tätä verrokki-laitteeseen huomataan, että prototyypin hyötysuhde nousee kalorimetrin virhe huomioon ottaen yli yhden, mikä on termoelektriselle jäähdyttimelle erinomainen tulos.

2.4 Sarjavalmistus

Jäähdyttimen sarjatuotanto oli tarkoitus toteuttaa niin, että kaikki tarvittavat osat tilataan toimittajilta ja ainoastaan jäähdyttimen loppukokoonpano tehdään itse. Tällöin sarjatuotanto saadaan aloitettua huomattavasti halvemmalla, kun suurilta laite- ja tuotantotilainvestoinneilta vältytään. Suurimmat kustannukset aiheutuivat laitteen rungon valmistamiseen tarvittavista valumuoteista, joiden hinnaksi muodostui noin 10 000 euroa. Lisäksi koteloinnin pohjaosaan kantta varten tehtävä syvennys vaati levytyökeskukseen erikoistyökalun.

Kuten aiemmin mainittu, voitiin runko valmistaa itse sarjatuotannon alussa yksinkertaisia työstömenetelmiä käyttäen. Tämä tapa on selvästi hitaampi ja työläämpi kuin rungon valmistaminen valamalla, mutta suuret muottikustannukset ovat näin vältettävissä tuotannon alussa, kun myyntimääristä ei vielä ole varmuutta.

Laitteen kotelointi, runko, sekä lämmönsiirtosiilit olivat erikseen valmistettavia mittatilaustuotteita, mutta muuten laitteessa käytettiin standardituotteita. Standardituotteiden käytöllä saadaan osakustannuksia laskettua, sekä toimitusvarmuutta nostettua, kun samalle komponentille on useita toimittajia.

3 EU-VAATIMUSTENMUKAISUUS JA CE-MERKINTÄ

Kun tuotteen tekninen kehitys on siinä vaiheessa, että se on teknisesti valmis markkinoille, on tuotteen turvallisuus vielä arvioitava ja laadittava siitä dokumentit. Arvioinnin tuloksena tuotteelle laaditaan tekniset asiakirjat ja EU:n vaatimustenmukaisuusvakuutus ja näiden toimien jälkeen siihen voidaan kiinnittää CE-merkintä. Vastuu tuotteen arvioinnista on aina valmistajalla. Henkilö tai yritys, joka valmistaa, suunnitteluttaa, tai valmistuttaa laitteita ja markkinoi niitä omalla nimellään tai tuotemerkillään katsotaan valmistajaksi ja täten on valmistajan vastuussa. (Euroopan komissio & Yritys- ja teollisuustoiminnan pääosasto, 2011, s. 3–4.) Tapauksissa, joissa henkilö tai yritys maahantuo laitteita, jotka laitteen alkuperäinen valmistaja on arvioinut ja laatinut näille EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen, sekä laitteen pakkauksessa tai mukana toimitettavassa asiakirjassa on ilmoitettu valmistajan nimi ja osoite, ei valmistajan velvollisuuksia sovelleta maahantuovaan tahoon (Tukes, 2014, s. 5). Liitteessä I on esitetty valmistajan ja muiden toiminnanharjoittajien velvollisuudet tuotteen turvallisuuden ja dokumentaation osalta.

Tuotteen arviointi on sitä ensimmäistä kertaa tekevälle työläs ja sekava prosessi direktiivien ja standardien suuresta määrästä johtuen. Seuraavassa läpikäydään peltier-jäähdytintä esimerkkinä käyttäen, mitä direktiivejä ja standardeja on noudatettava ja mitä vaatimuksia tulee ottaa huomioon, jotta laite on vaatimustenmukainen ja siihen voidaan kiinnittää CE-merkintä. Tämän prosessin selkiyttämiseksi noudatetaan liitteen II mukaista kaaviota missä on jaoteltu koko CE-merkintäprosessi kuuteen eri vaiheeseen. (Euroopan komissio & Yritys- ja teollisuustoiminnan pääosasto, 2011, s. 3–4.)

3.1 EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus

EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus on valmistajan tai EU:n alueelle sijoittuneen valtuutetun edustajan vakuutus ja vastuunotto siitä, että kyseinen tuote on siinä sovellettavien vaatimusten mukainen. Vaatimustenmukaisuusvakuutuksen pohja on esitettynä liitteessä III. Vaikka valmistaja käyttäisi valtuutettua edustajaa CE-merkinnän kiinnittämiseen ja vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatimiseen, ei vastuu laitteen suunnittelusta ja valmistuksesta vaatimusten mukaisesti, eikä vastuu teknisten asiakirjojen laadinnasta kuitenkaan siirry valmistajalta edustajalle. Vaatimustenmukaisuusvakuutus on

laadittava niillä kielillä, jotka jäsenvaltiot, joiden markkinoille tuote saatetaan tai asetetaan saataville vaativat. Suomessa vakuutus on laadittava suomeksi, ruotsiksi tai muulla kielellä minkä markkinavalvontaviranomainen on hyväksynyt. (Tukes, 2014, s. 8; Tukes, 2015a; Euroopan komissio et al., 2011, s. 3–4.)

Vakuutuksen on Tukesin verkkosivuilta löytyvän ohjeen mukaan pidettävä sisällään vähintään seuraavat tiedot (Tukes, 2015a.):

- ”Valmistajan nimi ja osoite.
- Tarvittaessa EU:n alueelle sijoittuneen valtuutetun edustajan nimi ja osoite.
- Lause, jossa kerrotaan EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen olevan annettu valmistajan yksinomaisella vastuulla.
- Laitteen kuvaus ja tunnistetiedot.
- Viittaus kaikkiin sovellettuihin direktiiveihin.
- Viittaus niihin asiaankuuluviin yhdenmukaistettuihin standardeihin, joita on käytetty, tai viittaus eritelmiin, joiden perusteella EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus on annettu.
- Tarvittaessa ilmoitetun laitoksen nimi ja numero, sekä sertifikaatin numero.
- Vakuutuksen antamispäivämäärä.
- Sen henkilön tunnistetiedot ja allekirjoitus, jolla on valtuudet edustaa valmistajaa tai tämän valtuutettua edustajaa.
- Jos laitteeseen sovelletaan pienjännitedirektiiviä, niin CE-merkinnän kiinnittämisvuoden kaksi viimeistä numeroa. ”

Tuotteen vaatimustenmukaisuuden arviointiprosessi aloitetaan liitteen II mukaisesti tunnistamalla direktiivit ja yhdenmukaistetut standardit, jotka tuotetta koskevat. Tämän jälkeen tulee tunnistaa tuotekohtaiset vaatimukset ja määritellä tarvitseeko vaatimusten täyttämiseksi laite testauttaa hyväksytyssä ulkopuolisessa laitoksessa. Valmistajan on lisäksi itse testattava tuote ja tarkistettava, että se vastaa EU:n lainsäädäntöä, sekä yleensä tehtävä myös riskinarviointi. Testausten ja tarkistusten jälkeen laaditaan tuotteelle tekniset asiakirjat, joiden avulla voidaan todeta onko tuote vaatimustenmukainen. Tämän jälkeen tuotteeseen kiinnitetään CE-merkintä ja laaditaan EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus, minkä jälkeen tuote on valmiina markkinoille. Noudattamalla yhdenmukaistettuja standardeja tuotteen arviointiprosessissa ja kun laite vastaa täysin näitä standardeja, voidaan

laitteen katsoa täyttävän sitä koskevat olennaiset vaatimukset ja näin vaatimustenmukaisuusolettaman mukaan todeta sen olevan vaatimustenmukainen. Vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa myös muilla tavoin, mutta käytännössä tällainen toimintatapa on kuitenkin vaikeampi kuin standardien seuraaminen. (Tukes, 2014, s. 6–7, 10.)

3.2 Peltier-jäähdytintä koskevat direktiivit ja yhdenmukaistetut standardit

Case-esimerkin laitetta koskevia direktiivejä ovat pienjännitedirektiivi (LVD) 2014/35/EU, joka koskee sähkölaitteita jotka toimivat joko nimellisjännitealueella 50 – 1000 V vaihtovirralla tai 75 – 1500 V tasajännitteellä (2006/95/EY, s. 96/360). Kyseinen direktiivi korvaa nykyisen käytössä olevan 2006/95/EY pienjännitedirektiivin 20.4.2016 alkaen, mutta koska nykyisten laitteiden tulee täyttää myös uuden direktiivin vaatimukset sen ollessa voimassa, on valmiiseen tuotteeseen tehtävien muutosten välttämiseksi järkevää noudattaa tulevaa direktiiviä jo nyt (Tukes, 2015b).

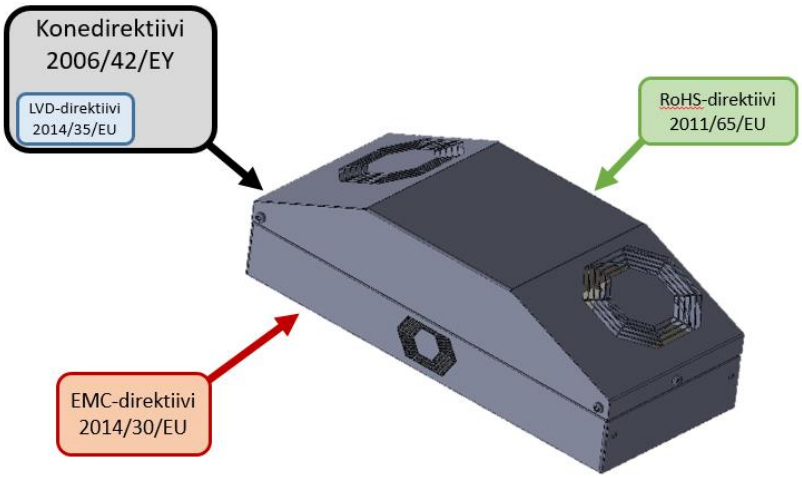
Lisäksi laitteessa tulee soveltaa konedirektiiviä 2006/42/EY, sillä direktiivissä (2006/42/EY, s. 157/27) koneella tarkoitetaan ”toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmää, jossa on tai joka on tarkoitettu varustettavaksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä ja jossa ainakin yksi osa tai komponentti on liikkuva ja joka on kokoonpantu erityistä toimintoa varten”. Puhaltimet tekevät laitteesta siis koneen ja näin konedirektiivin alaisen. Myös sähkömagneettisesta yhteensopivuudesta määräävää (EMC) direktiiviä on laitteessa noudatettava, sillä laite sisältää elektronisia komponentteja, jotka direktiivin (2014/30/EU, s. 96/84–96/85) mukaan ”todennäköisesti aiheuttavat sähkömagneettisia häiriöitä tai joiden toimintaan sellainen häiriö todennäköisesti vaikuttaa”.

Uuden konedirektiivin myötä pienjännite- ja konedirektiivi ovat toisensa poissulkevia direktiivejä siten, että vain toista direktiiveistä sovelletaan tuotetta markkinoille tuotaessa. Tällöin myös vaatimustenmukaisuusvakuutuksessa viitataan vain käytettyyn direktiiviin, ei molempiin. Tässä tapauksessa konedirektiivien määritelmien mukaan jäähdyttimeen sovelletaan vain konedirektiiviä. Konedirektiivin liite I sisältää kuitenkin vaatimukset sähköturvallisuudelle, jotka ovat identtisiä pienjännitedirektiivin kanssa, joten käytännössä

laitteen suunnittelussa on otettava samat asiat huomioon kuin pienjännitedirektiiviä noudatettaessakin. (Tukes, 2014; Fraser et al., 2010, s. 55, 206–207.)

Useista sähkö- ja elektroniikkalaitteista voi jo löytää RoHS-merkinnän (Restriction of Hazardous Substances) joka tarkoittaa, että tuote on vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta määräävään direktiivin 2011/65/EU mukainen. Direktiivin alaisuuteen on vähitellen tulossa yhä enemmän myös teollisuudessa käytettäviä laitteita ja siirtymäajat viimeisimmille laitteille ovat tällä hetkellä käynnissä. Vaikkakin tässä työssä tarkasteltava tuote siirtyy RoHS-direktiivin alaisuuteen vasta 22.7.2019, otettiin tämä direktiivi silti mukaan laitteen vaatimustenmukaisuuden tarkasteluun. Käytännössä direktiivin noudattaminen onnistuu lähinnä huolehtimalla, että osatoimittajilta hankittavat osat ovat direktiivin mukaisia. Direktiivin noudattaminen kannattaa myös liiketoiminnan uskottavuuden kannalta, sillä se kertoo loppukäyttäjälle, että yritys ottaa ympäristöasiat huomioon toiminnassaan. (Tukes, 2014, s. 16; Tukes, 2015c; 768/2008/EY, s. 218/98.)

Kuvassa 15 on esitettynä peltier-jäähdytintä koskevat direktiivit ja näiden suhteellinen koko toisiinsa nähden. Pienjännitedirektiivi on konedirektiivin sisässä, sillä kuten edellä mainittu sisältää konedirektiivin liite I pienjännitedirektiivin asettamat vaatimukset.



Kuva 15. Peltier-jäähdytintä koskevat direktiivit.

3.3 Konedirektiivi 2006/42/EY

Nykyinen konedirektiivi 2006/42/EY on annettu 2006 ja valmistajien on täytynyt noudattaa sitä 2009 alkaen (2006/42/EY, s. 157/24, 157/34). Sen perimmäisenä tavoitteena on, etteivät

direktiivin alaisuuteen kuuluvat laitteet aiheuta vaaraa ihmisille, eläimille, saati ympäristölle, sekä taata tuotteiden vapaa liikkuvuus jäsenvaltioissa (2006/42/EY, s. 157/29). Konedirektiivin mukaan valmistajan tehtävänä on

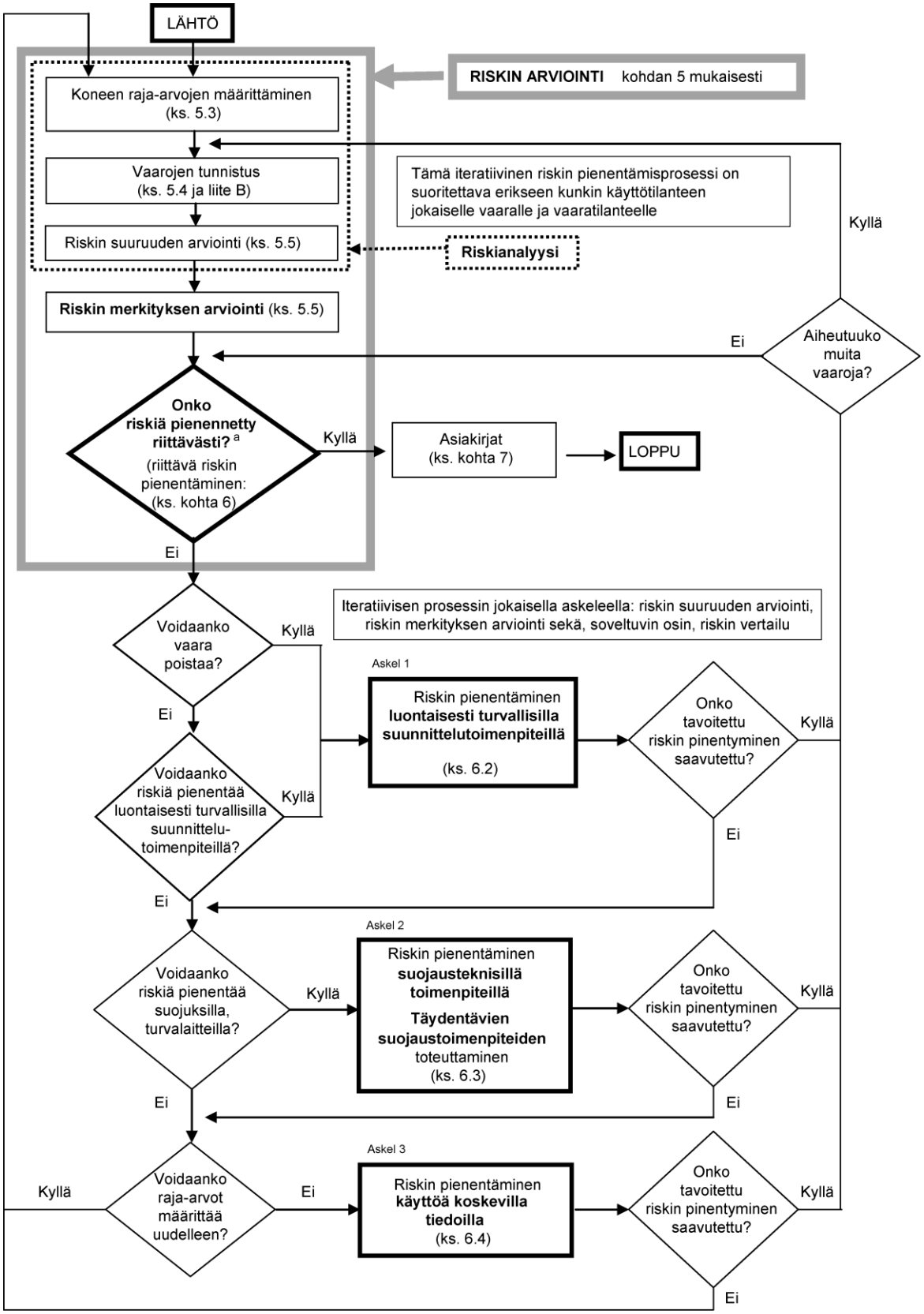
- koneen riskien arviointi
- koneen turvallisuusvaatimusten selvittäminen
- suunnitella ja rakentaa kone niin, että olennaiset turvallisuusvaatimukset toteutuvat
- koneen merkitseminen vaatimusten mukaisesti ja käyttöohjeen laatiminen
- teknisen tiedoston laatiminen
- vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatiminen
- CE-merkinnän kiinnittäminen koneeseen

(2006/42/EY, s. 157/29; Työsuojeluhallinto, 2006, s. 4).

Vaatimustenmukaisuuden toteamiseksi ei määrätä mitään yksittäistä toimintatapaa, jolla vaatimustenmukaisuus tulee todeta. Käytännössä kuitenkin prosessi kannattaa suorittaa, silloin kun mahdollista yhdenmukaistettuja standardeja noudattamalla, sillä tällöin laitteelle voidaan antaa vaatimustenmukaisuusolettama. Muussa tapauksessa on valmistajan sovellettava joko EY-tyyppitarkastusmenettelyä, sekä koneen valmistuksen sisäistä tarkastusta tai täydellistä laadunvarmistusmenettelyä. (2006/42/EY, s. 157/31.) Yhdenmukaistetulla standardilla tarkoitetaan standardointielimen, eli Euroopan standardointikomitean (CEN), Euroopan sähkötekniikan standardointikomitean (CENELEC) tai Euroopan telealan standardointilaitoksen (ETSI) vahvistamaa ja komission hyväksymää teknistä eritelmää 2006/42/EY, s. 157/28). Niissä esitetään tekniset vaatimukset, joiden avulla olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset voidaan toteuttaa (Fraser et al., 2010, s. 143).

3.3.1 Riskin arviointi ja riskin pienentäminen

Kuten edellä on mainittu, aloitetaan vaatimustenmukaisuuden toteaminen riskin arvioinnilla. Apuna tässä voidaan käyttää kuvan 16 mukaista kaaviota, joka opastaa myös kuinka riskien pienentämiseksi tulee toimia. Kuvasta nähdään, että riskien pienentäminen on iteratiivinen prosessi ja riskit tulee arvioida uudelleen jokaisen vaiheen jälkeen. (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 28–30.)



Kuva 16. Riskin arvioinnin vaiheet ja riskin pienentämisen iteratiivinen kolmen askeleen menetelmä. Viittaukset tarkoittavat standardin SFS-EN ISO 12100 kappaleita ja liitteitä. (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 30.)

Kuvan 16 mukaisesti, koneen riskinarvioinnissa tehtävänä on

- määritellä raja-arvot tarkoitetulle käytölle, sekä ennakoitavissa olevalle väärinkäytölle
- tunnistaa mahdolliset koneen aiheuttamat vaarat ja niistä seuraavat vaaratilanteet
- arvioida riskin suuruus huomioiden mahdollinen vamma tai terveyshaitta ottaen huomioon niiden todennäköisyys ja vakavuus
- arvioida onko riskin merkitys niin suuri, että sitä on pienennettävä tämän direktiivin mukaisesti
- soveltaa vaarojen poistamiseksi tai riskien pienentämiseksi seuraavia suojaustoimenpiteitä järjestyksessään:
    - poistaa tai pienentää riskejä koneen turvallisella suunnittelulla ja rakenteella mahdollisimman paljon
    - niiden riskien osalta joita ei voida poistaa, toteuttaa tarvittavat suojaustoimenpiteet
    - jos suojausta ei saada riittäväksi, tiedottaa koneen käyttäjälle näistä jäännösriskeistä, ja määritellä tarvittavat henkilönsuojaimet, sekä ilmoittaa onko koneen käyttöön oltava erikoiskoulutus.

(2006/42/EY, s. 157/35, 157/36.)

Koneen raja-arvojen määrittämisessä huomioidaan koneen koko elinkaaren kaikki vaiheet. Koneelle määritetään raja-arvot muun muassa käytölle, tilalle, sekä ajalle huomioiden koneeseen tai koneyhdistelmään liittyvät ihmiset, ympäristö ja tuotteet. (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 36.)

Raja-arvojen määrittämisen jälkeen on tärkeää tunnistaa jatkuvasti esiintyvät, sekä odottamattomasti ilmaantuvat vaarat. Vaarojen tunnistaminen on myöskin syytä toteuttaa tuotteen koko elinkaaren ajalle aina kuljetuksesta ja asennuksesta käytöstä poistoon ja romuttamiseen asti. Vaarojen tunnistamiseksi on koneella suoritettavien käyttötoimintojen, sekä tehtävien, joita koneen kanssa tai läheisyydessä olevien henkilöiden on tarkoitus suorittaa, oltava tiedostettuina. Vaarojen tunnistaminen antaa pohjan toimenpiteille, joilla riskejä poistetaan tai pienennetään. (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 36.)

Vaarojen tunnistamisen jälkeen arvioidaan ne yksi kerrallaan riskin suuruuden määrittämiseksi. Riskin suuruus määräytyy vahingon vakavuuden ja esiintymistodennäköisyyden funktiona. Vahingon vakavuutta voidaan arvioida erilaisilla osatekijöillä, kuten vammojen ja terveyshaittojen suuruudella, sekä vahingon laajuudella. Vastaavasti esiintymistodennäköisyyden eri osatekijöitä ovat muun muassa henkilöiden altistuminen vaaroille, vaarallisten tapahtumien esiintyminen, sekä mahdollisuudet välttää tai rajoittaa vahinkoa. Koska riskit ja niiden suuruus riippuvat useista tekijöistä, on arvioinnissa syytä ottaa huomioon myös ketkä vaaralle altistuvat, minkälaista altistuminen on ja mikä on sen kesto sekä taajuus, mikä on altistumisen ja sen vaikutusten suhde, miten inhimilliset tekijät vaikuttavat riskiin. Lisäksi tulee huomioida ovatko tehdyt suojaustoimenpiteet sopivia ja mikä on valmius niiden ylläpitoon, mikä on mahdollisuus suojaustoimenpiteiden toimimattomaksi tekemiseen tai kiertämiseen, sekä miten saatavissa olevat käyttöä koskevat tiedot vaikuttavat vaaraan. (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 44–50.)

Riskien arvioinnin avuksi on kehitetty erilaisia työkaluja, joista suurin osa perustuu joko matriisiin, graafiin, numeeriseen pisteytykseen tai näiden yhdistelmään. Työkalut helpottavat riskien suuruuden arvioinnissa, mutta tulosten ehdottoman tarkkuuden sijaan tärkeämpää on, että riskinarviointi suoritetaan kurinalaisesti ja että eri osatekijät otetaan arvioinnissa kokonaisuudessaan huomioon. (SFS-ISO/TR 14121-2, 2010, s. 22.)

Riskianalyysin, eli koneen raja-arvojen määrittämisen, vaarojen tunnistamisen, sekä riskien suuruuden arvioinnin jälkeen suoritetaan riskin merkityksen arviointi. Tässä vaiheessa arvioidaan, tarvitaanko toimenpiteitä kunkin riskin pienentämiseksi. Riskin pienentämiseksi voidaan käyttää kuvan 16 kolmen askeleen menetelmää, jossa toimenpiteet riskin pienentämiseksi on suoritettava järjestyksessä. Nämä askeleet ovat:

1) Riskin pienentäminen luontaisesti turvallisilla suunnittelutoimenpiteillä.
2) Riskin pienentäminen suojausteknisillä toimenpiteillä ja/tai täydentävillä suojaustoimenpiteillä.
3) Riskin pienentäminen käyttöä koskevilla tiedoilla.

(SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 31, 50, 52.)

Jokaisen toteutetun toimenpiteen jälkeen tulee riskiä tarkastella uudestaan ja todeta onko tavoitettu riskin pienentyminen saavutettu. Riskiä on saatu pienennettyä, jos tarkasteltavasta

vaarasta aiheutuvan vahingon vakavuus tai kyseisen vahingon esiintymistodennäköisyys on saatu poistettua tai vähennettyä. Uusia suojaustoimenpiteitä sovellettaessa on myös tarkistettava, syntyykö suunniteltujen toimenpiteiden johdosta uusia vaaroja tai suurenevatko muut riskit. Mikäli vaaroja syntyy lisää, on ne myöskin lisättävä tunnistettujen vaarojen joukkoon ja niihin on sovellettava mainittuja suojaustoimenpiteitä. (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 50, 52.)

3.3.2 Peltier-jäähdyttimen riskin arviointi ja riskin pienentäminen

Seuraavassa on taulukoituna case-esimerkille tehdyt edellä läpikäydyt toimenpiteet. Koska konedirektiivin alaisuuteen kuuluu hyvin suuria koneita, sisältävät arvioinnit monia sellaisia kohtia, joita ei peltier-jäähdyttimen kohdalla tarvitse ottaa huomioon, sillä riskejä on huomattavasti vähemmän ja ne ovat myös pienempiä. Standardien kohdat toimivat kuitenkin hyvänä apuna asioiden ottamiseen huomioon monelta kantilta. (2006/42/EY, s. 157/26–157/27). Taulukossa 1 on tehtynä raja-arvojen määritys peltier-jäähdyttimelle.

Taulukko 1. Case-esimerkin koneen raja-arvojen määritys (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 36–38).

Koneen raja-arvojen määritys	
Koneen erilaiset toimintatavat	Konetta voidaan käyttää suljetun kotelon jäähdytykseen ja lämmitykseen
Koneen käyttö	Konetta käytetään teollisissa sovellutuksissa tai stand-alone-koteloinneissa. Konetta voivat käyttää kaikki täysivaltaiset henkilöt jotka ovat perehtyneet käyttöohjeeseen riittävällä huolellisuudella
Muiden henkilöiden altistuminen koneeseen liittyville vaaroille	Koneesta voi aiheutua ulkopuolisille henkilöille vaaraa konetta koskettaessa, jos koneessa on sähkönsyötöllinen vika tai puhaltimien sormisuojat ovat poistettu
Tilarajat	Kone vaatii ympärilleen riittävän esteettömän tilan ilmankierron takaamiseksi niin kotelon sisä- kuin ulkopuolellakin

Taulukko 1 jatkuu. Case-esimerkin koneen raja-arvojen määritys (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 36–38).

Koneen raja-arvojen määritys	
Aikarajat	Kone on suunniteltu kestämään vähintään 50 000 käyttötuntia. Koneen vikaantuneet komponentit eivät ole käyttäjän vaihdettavissa. Koneen ilmansuodatin tulee puhdistaa pölystä säännöllisin väliajoin riippuen ympäristön likaisuudesta
Ympäristön olosuhderajat	Kone on suunniteltu toimivaksi -30 – 55 -asteen ympäristön lämpötilassa. Konetta voidaan käyttää suojaamattomana niin ulkotiloissa, kuin myös sisätiloissa.

Taulukossa 2 on esitettynä riskianalyysin toinen vaihe, eli vaarojen tunnistus. Kuten taulukosta huomataan, liittyvät peltier-jäähdyttimen vaarat pääasiassa asennustilanteeseen. Laitteen ollessa käytössä suurimmat riskit ovat jännitteisten johtojen vaurioituminen, joka voi aiheuttaa laitteeseen tai siihen kontaktissa olevaan kaappiin koskevalle sähköiskun.

Taulukko 2. Peltier-jäähdyttimen vaaratekijöiden tunnistaminen (SFS-ISO/TR 14121-2, 2010, s. 76; 2006/42/EY, *s. 157/35).*

Viite-nro	**Vaara-vyöhyke**	**Tehtävä/käyttö-toiminta**	**Vaara**	**Onnettomuus-skenaario Vaaratilanne**	**Vaarallinen tapahtuma**
1	Jäähdytettävä vyöhyke	Asennusreikien teko kaappiin	Viiltovaara	Koskettaminen teräviin reunoihin	Terävät reunat viiltävät haavan
2	Jäähdytettävä vyöhyke	Laitteen kiinnitys jäähdytettävän kotelon kylkeen	Mekaaninen vaara	Laite putoaa kiinnitystilanteessa asentajan jalan päälle	Putoava laite aiheuttaa vamman
3	Jäähdytettä-vän kotelon sisäpuoli	Virransyöttö-kaapelin kytkeminen	Sähköiskun vaara	Kaapeli kytketään verkkoon ennen laitteeseen kytkemistä	Sähköisku jännitteisestä kaapelista

Taulukko 2 jatkuu. Peltier-jäähdyttimen vaaratekijöiden tunnistaminen (SFS-ISO/TR 14121-2, 2010, s. 76; 2006/42/EY*, s. 157/35).*

Viite-nro	**Vaara-vyöhyke**	**Tehtävä/käyttö-toiminta**	**Vaara**	**Onnettomuus-skenaario Vaaratilanne**	**Vaarallinen tapahtuma**
4	Koneen välitön läheisyys	Koneen käynnistäminen	Sormi-vamman vaara	Kone käynnistetään ilman puhaltimilta suojaavaa kantta	Sormet jäävät pyörivien puhaltimien lapojen väliin
5	Jäähdytettävän kotelon välitön läheisyys	Koneen huolto	Sähköiskun vaara	Koneen jännitteinen johdin on vioittunut ja kotelointi on tullut jännitteelliseksi	Koneen koskettaminen aiheuttaa sähköiskun
6	Jäähdytettävän kotelon välitön läheisyys	Koneen huolto	Sähköiskun vaara	Törmäys jäähdyttimeen paljastaa jännitteellisiä osia	Koneen koskettaminen aiheuttaa sähköiskun

Riskianalyysin kolmannessa vaiheessa arvioitiin kunkin riskin suuruus. Tähän valittiin käytettäväksi riskimatriisi. Taulukossa 3 on esitettynä riskin eri osatekijöiden luokat ja niiden lyhenteet sekä asteikko arviointia varten.

Taulukko 3. Riskien osatekijöiden tunnukset (SFS-ISO/TR 14121-2, 2010, s. 28).

S	**Vakavuus**	**F**	**Altistuminen**	**O**	**Esiintymistodennäköisyys**	**A**	**Välttämisen mahdollisuus**
S1	Lievä	F1	Harvoin	O1	Hyvin pieni	A1	Mahdollinen
S2	Vakava	F2	Toistuvasti	O2	Keskimääräinen	A2	Mahdoton
				O3	Suuri		

Vaaran riskikertoimen laskemiseksi käytettiin riskimatriisia joka on esitettynä taulukossa 4. Matriisirakenteesta voidaan helposti määrittää riskikerroin vaaralle, kun jokainen osatekijä on ensin arvioitu taulukon 3 avulla.

Taulukko 4. Riskimatriisi riskikertoimen laskemiseksi (SFS-ISO/TR 14121-2, 2010, s. 30).

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="6">Riskikertoimen laskeminen</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2">O1</td><td colspan="2">O2</td><td colspan="2">O3</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>A1</td><td>A2</td><td>A1</td><td>A2</td><td>A1</td><td>A2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">S1</td><td>F1</td><td colspan="4" rowspan="2">1</td><td colspan="2" rowspan="2">2</td></tr>
<tr><td>F2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">S2</td><td>F1</td><td colspan="3">2</td><td colspan="2">3</td><td>4</td></tr>
<tr><td>F2</td><td>3</td><td colspan="2">4</td><td colspan="2">5</td><td>6</td></tr>
</table>

Taulukossa 5 on jokainen taulukossa 2 listattu vaara arvioituna yksitellen eri osatekijöiden osalta. Arvioinnin perusteena käytettiin vakavinta vahinkoa, joka voi todellisuudessa tapahtua. Täten esimerkiksi sähköisku on luokiteltu vakavuudeltaan luokkaan S2-vakava, vaikka usein tällaisesta sähköiskusta selviää säikähdyksellä. Arviointi on tehty sellaisen henkilön näkökulmasta, joka asentaa ja huoltaa kyseisiä laitteita päivittäin, joten hän altistuu päivittäin esimerkiksi riskille siitä, että laite putoaa asennusvaiheessa jalan päälle. (SFS-ISO/TR 14121-2, 2010, s. 24.)

Taulukko 5. Riskin suuruuden ja merkityksen arviointi riskiluokan määrittämiseksi. Arviointi on tehty laitteita päivittäin asentavan ja huoltavan henkilön näkökulmasta (SFS-ISO/TR 14121-2, 2010, s. 70).

Toiminto		**Riskin suuruuden ja merkityksen arviointi, sekä riskiluokan laskeminen**				
Nro.	**Tehtävä**	**Vaka-vuus**	**Taa-juus**	**Esiintymisto-dennäköisyys**	**Välttämisen mahdollisuus**	**Riski-luokka**
1	Asennusreikien teko kaappiin	S1	F2	O2	A1	1
2	Laitteen kiinnitys jäähdytettävän kotelon kylkeen	S2	F2	O2	A1	4
3	Virransyöttökaa-pelin kytkeminen	S2	F2	O2	A1	4
4	Koneen käynnistäminen	S1	F2	O2	A1	1
5	Koneen huolto	S2	F2	O1	A1	3
6	Koneen huolto	S2	F2	O1	A1	3

Taulukosta 5 huomataan, että suurimmat riskit ovat laitteen putoaminen asennusvaiheessa jalan päälle, sekä sähköiskuvaara virransyöttökaapelin vaurioitumisen tai laitteeseen törmäyksen vuoksi. Lisäksi koneen huollon yhteydessä saatava sähköisku sisäisen vian vuoksi, aiheuttaa 3. luokan riskin.

Valmistajan velvollisuutena on poistaa tai pienentää havaittuja riskejä mahdollisimman paljon ensisijaisesti turvallisella suunnittelulla ja rakenteella, sen jälkeen suojaustoimenpiteillä ja viimeiseksi tiedottamalla koneen jäännösriskeistä (2006/42/EY, s. 157/36). Taulukossa 6 on esitetty jokaisen riskin poistamiseksi tai pienentämiseksi tehdyt toimenpiteet. Kuten taulukosta huomataan, ovat vaadittavat toimenpiteet varsin pieniä, mutta jo näillä toimenpiteillä saadaan koneen turvallisuustasoa nostettua huomattavasti. Muutosten jälkeen koneen riskianalyysi tulee tehdä uudestaan, jotta mahdolliset muutoksien myötä syntyneet riskit havaitaan ja näihin pystytään soveltamaan samaa riskien poistamisen tai pienentämisen prosessia (SFS-EN ISO 12100, 2010, s. 50).

Taulukko 6. Toimenpiteet havaittujen riskien poistamiseksi tai pienentämiseksi.

Nro.	**Vaara**	**Riski-luokka**	**Tehdyt toimenpiteet riskin poistamiseksi tai pienentämiseksi**
1	Viiltovaara	1	Ohjeistetaan asentaja käyttämään viiltosuojahanskoja asennuksen aikana
2	Mekaaninen vaara	4	Koneen kiinnitysreikään asennuksen ajaksi väliaikainen kierretangon pätkä, jonka avulla laite voidaan asentaa alustavasti paikoilleen yhdeltä puolelta. Ohjeistetaan asentajaa käyttämään turvakenkiä
3	Sähköiskun vaara	4	Käytetään syöttöjohdossa sellaista liitintä, ettei johdosta ole mahdollista saada sähköiskua vaikka toinen pää olisi kytketty verkkoon
4	Sormivamman vaara	1	Lisätään kanteen rajakytkin, joka edellyttää kannen kiinnittämistä ennen kuin koneen voi käynnistää
5	Sähköiskun vaara	3	Ilmoitetaan sähköiskun vaarasta varoitustarroin laitteessa. Ohjeistetaan kytkemään laite irti sähköverkosta ennen huoltotöitä.
6	Sähköiskun vaara	3	Ilmoitetaan sähköiskun vaarasta varoitustarroin laitteessa. Ohjeistetaan kytkemään laite irti sähköverkosta ennen huoltotöitä.

3.3.3 Peltier-jäähdyttimeen sovellettavat konedirektiivin kohdat

Konedirektiivin liitteessä I on lueteltuna vaatimuksia monille koneiden eri piirteille, kuten ohjausjärjestelmille, mekaanisilta vaaroilta suojautumiselle, suojuksille ja turvalaitteille,

kunnossapidolle, sekä dokumenteille (2006/42/EY, s. 157/36–157/48). Seuraavassa on käytynä läpi direktiivin kohdat, jotka erityisesti vaikuttivat case-laitteen suunnitteluun. Harmonisoidut standardit, joilla konedirektiivin vaatimukset voidaan täyttää, on löydettävissä listattuna Euroopan komission verkkosivuilta:

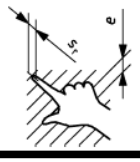
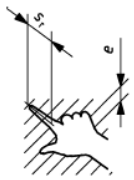
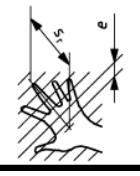
- Direktiivin kohta *1.2.2 Ohjauslaitteet* asettaa vaatimuksia koneen ohjaukselle (2006/42/EY, s. 157/38). Peltier-jäähdyttimen tapauksessa määräykset tulee ottaa huomioon käyttöliittymän paneelin suunnittelussa. Soveltamalla standardin SFS-EN 60204-1 ohjeita, katsotaan direktiivin määräyksien toteutuneen. Käyttöpaneelin suunnittelussa tulee kiinnittää huomioita muun muassa selkeyteen, symboleiden tarkoituksenmukaisuuteen, sekä vaivattomaan operointiin. (SFS-EN 60204-1, 2006, s. 102–112.)
- Kohta *1.2.3 Käynnistäminen* asettaa vaatimuksen, ettei kone saa käynnistyä ilman, että käyttäjä antaa käynnistyskäskyn käynnistysohjaimella. Jäähdyttimen käynnistys on siis ohjelmallisesti toteutettava niin, ettei laite lähde käyntiin ilman napin painallusta, kun siihen kytketään jännite. (2006/42/EY, s. 157/39; Fraser et al., 2010, s. 180; SFS-EN 60204-1, 2006, s. 86.)
- Kohta *1.2.4 Pysäyttäminen* asettaa vaatimuksen, että kone on oltava pysäytettävissä ohjaimesta. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että yhtä käyttöpaneelin painikkeista painetaan yhtämittaisesti pohjassa kolmen sekunnin ajan. Koneen sähkönsyöttöön tulee myös kytkeä kuormanerotuskytkin, joten laite voidaan sammuttaa myös katkaisemalla syöttöjännite (2006/42/EY, s. 157/39; Fraser et al., 2010, s. 182–185; SFS-EN 60204-1, 2006, s. 88.)
- Kohta 1.3.7 *Liikkuvista osista aiheutuvat riskit* vaatii, etteivät koneen liikkuvat osat saa aiheuttaa mahdollisesti onnettomuuksiin johtavia riskejä. Tämä on toteutettava osien suunnittelullisilla ratkaisuilla tai mikäli tämä ei ole mahdollista, suojuksien ja turvalaitteiden käytöllä. Peltier-jäähdyttimessä tämä on huomioitava puhaltimien suojauksessa, siten että puhaltimien ritilöiden aukkojen koon on noudatettava taulukon 7 määräyksiä. (2006/42/EY, s. 157/42; SFS-EN ISO 13857, 2008, s. 22.)
- Kohta *1.5.1 Sähkönsyöttö* asettaa valmistajalle vaatimuksen toteuttaa kaikki tarpeelliset toimenpiteet, jotta kaikki sähköstä johtuvat vaarat voidaan estää

suunnittelulla tai varustelulla. Vaatimus itsessään on niin laaja, että se vaatii koko standardin *EN 60204-1 Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset* soveltamista koneen koko sähköjärjestelmään. (2006/42/EY, s. 157/44; Fraser et al., 2010, s. 206–207.) Kyseinen standardi asettaa vaatimuksia muun muassa sähkölaitteiston koteloinnille, jolloin noudatettavaksi tulee myös standardi *SFS-EN 60529 + A1 Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi)* (SFS-EN ISO 60204-1, 2006, s. 58; SFS-EN 60529 + A1, 2000, s. 14–16).

- Kohta *1.6.3 Erottaminen energialähteistä* määrää, että kone on voitava erottaa kaikista energialähteistä. Jäähdyttimen syöttöjohdon kytkemiseksi sähköverkkoon on siis käytettävä syötönerotuskytkintä, jona voidaan käyttää esimerkiksi pistotulppaa tai kuormaerotinta. (2006/42/EY, s. 157/46; SFS-EN ISO 60204-1, 2006, s. 50.)
- Kohdassa *1.7 Tiedot* annetaan laajasti määräyksiä koneeseen vaadituista varoituksista ja merkinnöistä, sekä niiden toteuttamisesta. Myös käyttöohjeille asetetaan runsaasti vaatimuksia muun muassa niiden kielen ja sisällön osalta. Suomessa ohjeet on laadittava sekä suomeksi, että ruotsiksi, sekä käytännössä myös englanniksi. (2006/42/EY, s. 157/47 - 157/49; SFS-EN ISO 60204-1, 2006, s. 152–158.)

Taulukko 7. Turvaetäisyyksien vaatimukset säännöllisen kokoisille aukoille (SFS-EN ISO 13857, 2008, s. 22).

Mitat millimetreissä

Kehon osa	Kuva	Aukko	Turvaetäisyys, s_r		
			Pitkänomainen	Neliö	Pyöreä
Sormenpää		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Sormi rystyseen asti		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
Käsi		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$	≥ 850[a]	≥ 120	≥ 120

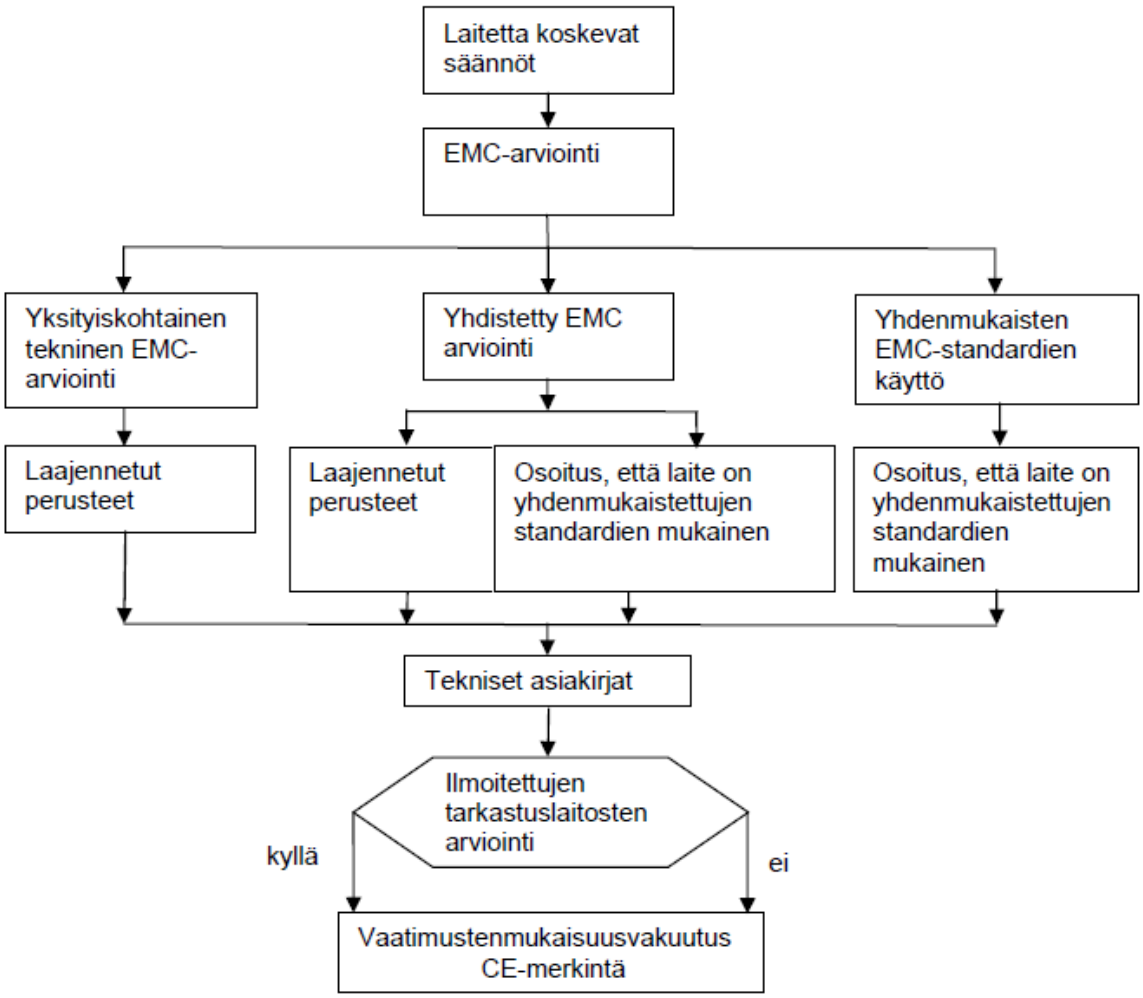
3.4 EMC-direktiivi 2014/30/EU

Nykyinen voimassaoleva EMC (electromagnetic compability)-direktiivi 2004/108/EY kumotaan 20.4.2016 uudella EMC-direktiivillä 2014/30/EU, joten uutta direktiiviä päätettiin noudattaa osittain jo nyt, jotta mahdollisilta uuden direktiivin vaatimilta muutoksilta valmiiseen laitteeseen vältyttäisiin (2014/30/EU, s. 96/95). Direktiivin tarkoituksena on luoda sähkömagneettisesti hyväksyttävä ympäristö jäsenvaltioiden alueella, sekä taata laitteistojen vapaa liikkuvuus (Tukes 2015d). Tämän toteuttamiseksi valmistajan velvollisuudet ovat (2014/30/EU, s. 96/86):

- Varmistaa, että markkinoille saatettava tuote on suunniteltu ja valmistettu niin, ettei se sähkömagneettisella säteilyllä (emissio) aiheuta radio- tele- tai muiden laitteistojen toiminnalle häiriötä, eikä myöskään tuotteen toiminta häiriinny odotettavissa olevasta sähkömagneettisesta häiriöstä (immuniteetti).
- Laatia tarvittavat tekniset asiakirjat, sekä suorittaa tai suorituttaa vaatimustenmukaisuuden arviointimenettely ja tämän jälkeen laatia EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus, sekä kiinnittää CE-merkintä laitteeseen.
- Säilyttää tekniset asiakirjat ja EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus saatavilla kymmenen vuoden ajan laitteen markkinoille saattamisen jälkeen.
- Huolehtia, että sarjatuotannossa noudatetaan direktiivin asettamia vaatimuksia.
- Varmistaa, että tuotteisiin on kiinnitetty merkintä, kuten tyyppi-, erä- tai sarjanumero, jonka avulla ne voidaan tunnistaa.
- Ilmoittaa laitteessa tai laitteen pakkauksessa tai asiakirjassa nimi, rekisteröity tuotenimi tai rekisteröity tavaramerkki, sekä postiosoite, josta valmistajaan saa yhteyden.
- Varmistaa, että laitteeseen liitetään selkeät ja helppotajuiset ohjeet ja tiedot laitteen käyttöä varten.
- Toimia välittömästi virheen korjaamiseksi, mikäli valmistajalla on syytä uskoa, että markkinoille saatettu laite on vaatimusten vastainen. Vaadittavia toimenpiteitä voivat olla laitteeseen toteutettavat korjaavat toimenpiteet, sen myynnin lopettaminen, tai sen palauttaminen loppukäyttäjiltä takaisin valmistajalle.

Toimittaa pyynnöstä kaikki laitetta koskevat tekniset tiedot ja asiakirjat, joiden avulla voidaan todeta, että laite on vaatimustenmukainen, mikäli kansallinen viranomainen niitä pyytää.

Laitteen vaatimustenmukaisuus EMC-direktiivin osalta voidaan toteuttaa kolmella eri menettelytavalla, jotka ovat esitettynä kuvassa 17. Kuten konedirektiivinkin kohdalla, myös EMC-direktiivissä käytännössä yksinkertaisin tapa on noudattaa yhdenmukaistettuja standardeja. (2014/30/EU, s. 96/88.)



Kuva 17. EMC-yhteensopivuuden arviointimenettelyn eri toimintatavat (Euroopan komissio, 2007, s. 29).

Käyttämällä laitteissa vain CE-merkittyjä komponentteja – joiden EMC-yhteensopivuus on siis valmistajan toimesta jo todettu – voisi ajatella, että myös itse laite on tällöin automaattisesti EMC-yhteensopiva. Laitteen katsotaan kuitenkin olevan enemmän kuin osien yhteenlaskettu summa, joten laite itsessään on myös testattava EMC-yhteensopivuuden varmistamiseksi. (Euroopan komissio, 2007, s. 23.)

Tuoteperheeseen voidaan kuitenkin käyttää ”pahimman tapauksen” –laitteen olettamaa, jolloin ainoastaan tuoteperheen oletettavasti eniten häiriöitä aiheuttava ja häiriöille alttein laite täytyy testata. Tällöin tämä laite kattaa myös koko muun tuoteperheen testauksen. Joissain tapauksissa eri ilmiöt voivat kuitenkin esiintyä eri malleissa, jolloin EMC-yhteensopivuuden toteaminen vaatii useamman kuin yhden laitteen testaamisen. (European Commission, 2010, s. 27/67; 2014/30/EU, s. 96/81). Testissä laite testataan eri taajuusaluilla käyttäen laitetta asetuksilla, jotka esitestin perusteella aiheuttavat suurimman mahdollisimman emission (IEC 61000-6-4, s. 8). Yleisen käytännön mukaan koko taajuusalue on 0 Hz – 400 GHz, mutta testissä käytettävä taajuusalue riippuu laitteen luonteesta ja sen suunnitellusta käyttötarkoituksesta. Myös laitteen käyttöympäristö vaikuttaa arvioitavien ilmiöiden valintaan. Näiden parametrien perusteella laitteelle asetetaan raja-arvot eri taajuusalueille, joita pienemmäksi sen tuottaman sähkömagneettisen säteilyn tulee jäädä (IEC 61000-6-4, s. 8). Virallisia testejä saavat tehdä jäsenvaltioiden ilmoittamat laitokset. Nämä laitokset ovat löydettävissä NANDO (New Approach Notified and Designated Organisations) –tietokannasta. Suomessa virallisia EMC-testejä tekevät SGS Finland, sekä Nemko Oy. (European Commission, 2015b, 53/67; 2014/30/EU, s. 96/89)

Testauksen ja asiakirjojen laatimisen lisäksi, on valmistajan tarpeellisin toimenpitein varmistettava, että valmistusprosessi on sen mukainen, että se pystyy tuottamaan teknisten asiakirjojen ja direktiivin säännösten mukaisia tuotteita (2014/30/EU, s. 96/98). Näiden toimenpiteiden jälkeen voidaan laitteelle laatia vaatimustenmukaisuusvakuutus, missä mainitaan muiden laitetta ja valmistajaa koskevien tietojen lisäksi mitä yhdenmukaistettuja standardeja on käytetty direktiivin vaatimusten täyttämiseksi, sekä testit tehneen ilmoitetun laitoksen nimi ja kuvaus tehdyistä toimenpiteistä (2014/30/EU, s. 96/102).

3.5 RoHS-direktiivi 2011/65/EU

RoHS- (Restriction of Hazardous Substances), eli direktiivin *tiettyjen vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa* tavoitteena on rajoittaa vaarallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa, sekä edistää laitteiden keräystä ja kierrätystä. Ensimmäinen versio RoHS-direktiivistä 2002/95/EC astui voimaan vuonna 2003 ja nykyinen 2011/65/EU on pantu voimaan heinäkuussa 2011. Tästä uudistetusta versiosta käytetään myös ajoittain nimeä RoHS II-direktiivi, mutta tässä työssä RoHS-direktiivillä

viitataan aina tähän nykyiseen käytössä olevaan versioon. (2011/65/EU, s. 174/88; European Commission, 2015c; Tukes, 2015c.)

Direktiivin tavoitteisiin pääsemiseksi vaarallisten aineiden pitoisuuksille homogeenisessa materiaalissa on asetettu ylärajat. Nämä aineet ja pitoisuudet ovat esitettyinä taulukossa 8. Aineiden haitallisuutta tutkittaessa otetaan huomioon seuraavat seikat:

- Saattaako aine haitata sähkö- ja elektroniikkalaitteiden jätehuoltotoimiin, kuten uudelleenkäyttöön tai laitteista saatavien materiaalien kierrätykseen
- Saattaako aine saastuttaa ympäristön käyttötarkoitukset huomioon ottaen tai jätekäsittelyn yhteydessä synnyttää vaarallisia jäämiä tai muuntumis- tai hajoamistuotteita
- Saattaako se saattaa jätehuollossa työskentelevien henkilöiden terveys sellaisten riskien alaiseksi, jota ei voida hyväksyä
- Onko aine mahdollista korvata turvallisimmilla aineilla tai tekniikoilla.

(2011/65/EU, s. 174/94.)

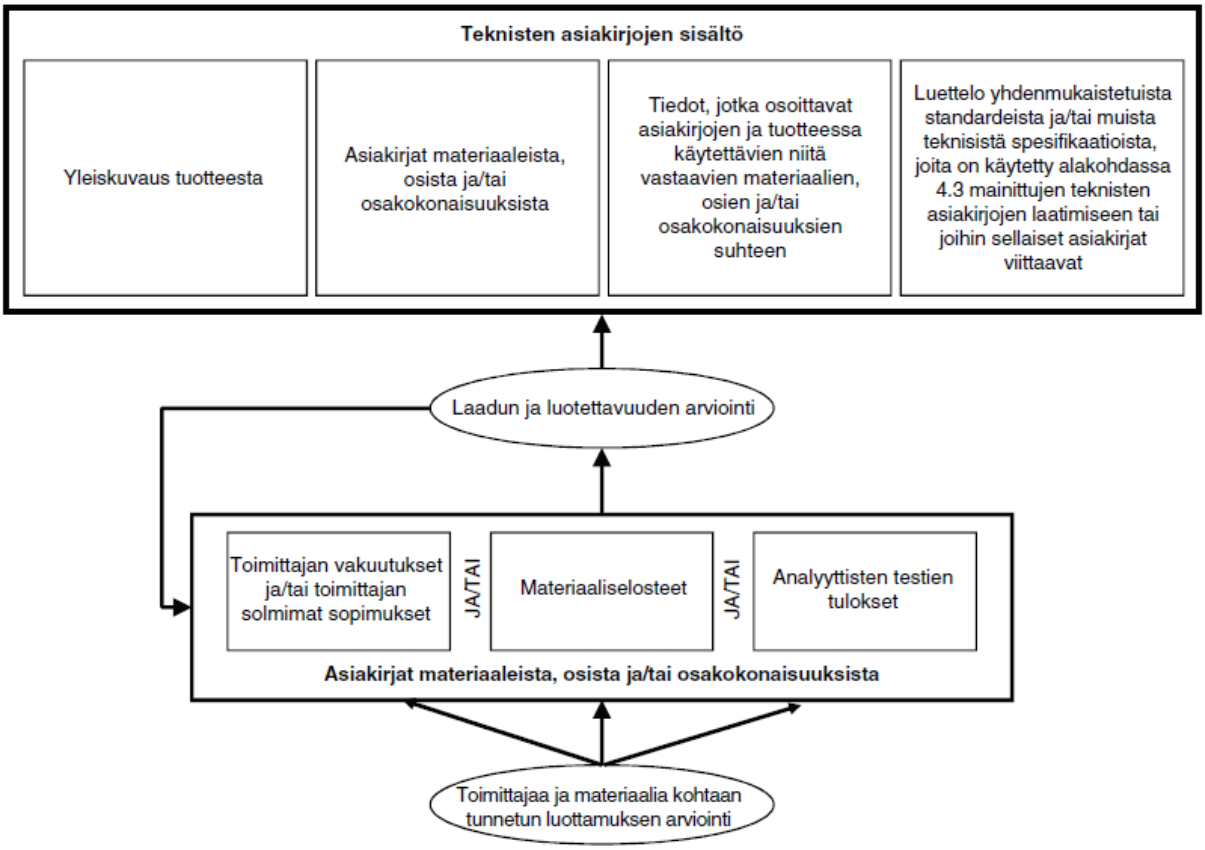
Rajoitteiden asettamisessa huomioidaan siis myös se, onko teknisesti mahdollista korvata vaarallinen aine turvallisemmalla. Tietyn aineen käytön rajoittaminen ei saa haitata tieteen ja tekniikan kehitystä vähentämällä ratkaisun luotettavuutta, tekemällä ratkaisua teknisesti mahdottomaksi, eikä nostaa ratkaisun kokonaishaittoja suuremmaksi, kuin mitä aineen kieltämisestä saavutetut hyödyt ovat (2011/65/EU, s. 174/93). Näiden syiden vuoksi tietyissä tapauksissa, kuten erityisesti lääkinnällisissä laitteissa poikkeuksia aineiden pitoisuuksissa sallitaan tai ne ovat vapautettu kokonaan rajoituksilta (2011/65/EU, s 174/106).

*Taulukko 8. Rajoitetut vaaralliset aineet ja niiden sallitut enimmäispitoisuudet (*2011/65/EU*, s. 174/100).*

Vaarallinen aine	Sallittu enimmäispitoisuus painoprosentteina [%]
Lyijy	0,1
Elohopea	0,1
Kadmium	0,01
Kuudenarvoinen kromi	0,1
Polybromibifenyylit (PBB)	0,1
Polybromidifenyylieetterit (PBDE)	0,1

3.5.1 Vaatimustenmukaisuuden osoittaminen

Kuten edellä käsitellyissäkin direktiiveissä, myös tässäkin tapauksessa valmistaja voi yhdenmukaistettuja standardeja noudattamalla täyttää direktiivin vaatimukset ja täten osoittaa tuotteen olevan vaatimustenmukainen. Vaatimusten täyttämiseksi on kuvan 18 mukaisesti myös muita vaihtoehtoja. Noudattamalla standardia SFS-EN 50581 *Tekniset asiakirjat, joita tarvitaan sähkö- ja elektroniikkatuotteiden arviointiin koskien vaarallisten aineiden käytön rajoittamista* voidaan täyttää kaikki RoHS-direktiivin asettamat vaatimukset. (SFS-EN 50581, 2013, s. 1, 18.)



Kuva 18. Valmistajan velvollisuudet teknisten asiakirjojen luomiseksi (SFS-EN 50581, 2013, s. 10).

Ensimmäiseksi valmistajan tulee määrittää tarvittavat tiedot arvioimalla toimittajan luotettavuutta, sekä todennäköisyyttä vaarallisten aineiden esiintymiselle käytettävissä materiaaleissa tai osissa. Myös valmistusprosessissa käytettävät aineet tulee huomioida, kuten elektroniikan komponenttien juottamisessa käytettävän tinan lyijypitoisuus. Vaarallisten aineiden esiintymistodennäköisyyden arviointiin käytettävissä materiaaleissa voidaan käyttää apuna teknistä harkintaa, perustuen esimerkiksi teollisuuden kautta saatavaan tietoon tai tutkimukseen, historiallisiin esiintymistodennäköisyyksiin, sekä historiallisiin kokemuksiin toimittajasta ja auditointien tuloksiin. (SFS-EN 50581, 2013, s. 12.)

Tarvittavien tietojen määrittämisen jälkeen voidaan tietojen kerääminen toteuttaa pääosin kolmella eri tapaa, joita voidaan käyttää yhdessä tai erikseen:

- Toimittajan vakuutukset ja/tai sopimukset:
    - Toimittaja vakuuttaa, että vaarallisten aineiden pitoisuudet ovat sallituissa rajoissa tai mikäli poikkeuksia on käytetty, luettelo näistä.
    - Allekirjoitettu sopimus toimittajan kanssa, missä toimittaja sitoutuu noudattamaan asetettuja spesifikaatioita vaarallisten aineiden käytölle.
- Materiaaliselosteet:
    - Materiaaliseloste, mistä ilmenee materiaalin seosainepitoisuudet, sekä käytetyt poikkeukset.
- Analyyttiset testit:
    - Analyyttisten testien tulosten perusteella osoitetaan materiaalin tai osan olevan RoHS-direktiivin mukainen.

(SFS-EN 50581, 2013, s. 12.)

Kerättyjen tietojen validius ja tulokset tulee arvioida tarkoitusta varten luoduilla menettelyillä. Mikäli kerättyjä tietoja pidetään laadukkaina ja luotettavina, sisällytetään ne teknisiin asiakirjoihin. Mikäli kerättyjä tietoja ei pidetä riittävän laadukkaina tai luotettavina, on valmistajan ryhdyttävä lisätoimenpiteisiin. Näitä voivat olla muun muassa lisätietojen pyytäminen toimittajalta tai itse suoritettu aineanalysointi. Teknisten asiakirjojen on sisällettävä kuvassa 18 vaaditut tiedot ja valmistajan tulee huolehtia, että asiakirjat pysyvät ajantasaisina. Mikäli osiin tai materiaaleihin tulee muutoksia, on tekniset asiakirjat päivitettävä ajantasaisiksi suorittamalla tehdyille muutoksille vastaava tietojen kerääminen ja arvioiminen. (SFS-EN 50581, 2013, s. 14.)

3.5.2 Peltier-jäähdyttimen RoHS-vaatimustenmukaisuus

Vaikka RoHS-direktiivi on tullut voimaan jo 2011, eletään direktiivin alaisuuteen kuuluvien laitteiden osalta vielä siirtymäaikaa. Sähkö- ja elektroniikkalaitteet on direktiivissä jaettu 10 eri kategoriaan, mutta peltier-jäähdytin ei kuulu näistä mihinkään, joten se tulee direktiivin alaisuuteen vasta 2019, kun kaikki loputkin – poikkeuksia lukuun ottamatta - sähkö- ja elektroniikkalaitteet siirtyvät direktiivin alaisuuteen. (Tukes, 2015c.)

Direktiivin vaatimusten mukaan laitteisiin on oltava saatavilla varaosia, jotta niiden kunnostus ja täten elinkaaren pidentäminen on mahdollista (2011/65/EU, s. 174/90). Tällainen vaatimus tulee ottaa huomioon jo heti tuotteen suunnittelun alkuvaiheessa, jotta laitteesta voidaan tehdä huollettava suunnitelmallisilla ja kokoonpanollisilla ratkaisuilla. Tällöin esimerkiksi kokoonpanossa komponenttien paikoilleen liimaamisen sijaan olisi hyvä käyttää avattavissa olevia niittejä tai ruuveja. Myös suunnittelussa tulisi ottaa huomioon, että komponentteihin on mahdollista päästä käsiksi särkemättä laitteen rakennetta.

Suurin osa peltier-jäähdyttimen osista, kuten puhaltimet ja peltier-elementit, tulevat suoraan osien valmistajilta, joten vaatimus RoHS-direktiivin vaatimusten täytöstä voidaan osoittaa valmistajille. Tällöin maahantuojana tulee itse varmistaa, että vaatimukset ovat teknisten asiakirjojen perusteella täytetyt ja että myös itse komponentti on vaatimusten mukainen (2011/65/EU, s. 174/95). Näin menettelemällä jokaisen tilatun komponentin kohdalla, ei direktiivin vaatimusten täyttämiseksi tarvitse maahantuojana ja kokoonpanijana huolehtia enää muusta kuin, että kokoonpanossa mahdollisesti käytettävät aineet, kuten liimat ja niitit, ovat myös RoHS-direktiivin mukaisia (SFS-EN 50581, 2013, s. 12).

3.6 Tekniset asiakirjat

Tuotteen testausten ja tarkastusten jälkeen tulee tuotteesta laatia dokumentointi, mistä voidaan todeta täyttääkö tuote vaatimustenmukaisuuden. Tätä dokumenttia kutsutaan tekniseksi tiedostoksi tai tekniseksi asiakirjaksi ja siitä tulee ilmetä tuotteen kaikki olennaisimmat ominaisuudet. (SFS-EN 50581, 2013, s. 16; Tukes, 2014, s. 12.) Teknisen asiakirjan sisällön vaatimukset vaihtelet hieman eri direktiivien välillä niiden luonteen mukaan, mutta pääpiirteissään teknisen tiedoston on sisällettävä:

- Yleinen kuvaus tuotteesta.
- Rakenne- ja valmistuspiirustukset, muttei kuitenkaan sellaisten osakokoonpanojen yksityiskohtaisia suunnitelmia tai erityistietoja, jotka eivät ole tarpeellisia olennaisten terveyttä ja turvallisuutta koskevien vaatimusten toteamiseksi.
- Komponenttien, osalaitteistojen, piirien, ynnä muiden kaaviot.
- Tuotteen toimintaa, piirustuksia ja kaavioita selvittäviä kuvauksia ja selityksiä.
- Luettelo sovelletuista yhdenmukaistetuista standardeista sovellettuine osineen ja/tai muista kokonaan tai osittain sovelletuista teknisistä erittelyistä, joiden viitetiedot on julkaistu *Euroopan unionin virallisessa lehdessä*. Lisäksi, mikäli yhdenmukaistettuja

standardeja ei ole käytetty, kuvaus ratkaisuista joita on käytetty säädösten olennaisten vaatimusten täyttämiseksi. Luettelosta tulee selvitä, mitkä olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset milläkin standardilla katetaan.

- Tulokset suoritetuista suunnittelulaskelmista, tarkastusten tuloksista, ym.
- Raportit laitteelle suoritetuista testeistä.
- Jäljennös tuotteen ohjeesta.
- EU-vaatimustenmukaisuuden jäljennökset tuotteeseen liitetyistä muista tuotteista.
- Jäljennös tuotteen EU-vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta.

(765/2008/EY, s. 218/98; 2006/42/EY, s. 157/71.)

Tekninen tiedosto on siis hyvin laaja dokumentointi ja sen vaatimukset on hyvä tiedostaa jo tuotekehitysprosessin alussa, jotta vaadittujen tietojen dokumentointiin osataan kiinnittää huomiota jo tuotekehitysprosessin aikana. Teknisen tiedoston ei tarvitse olla välittömästi käytettävissä aineistomuotoisena, eikä säilytyksessä yhteisön alueella, mutta sen on oltava pyynnöstä koottavissa toimivaltaisille viranomaisille. EU-vaatimustenmukaisuusvakuutukseen nimetty henkilö on vastuussa teknisen tiedoston kokoamisesta määräajassa, joka riippuu tuotteen monimutkaisuudesta. Mikäli tässä ei onnistuta, on viranomaisilla syytä epäillä, ettei tuote ole olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten osalta vaatimustenmukainen. Tuotteen valmistuksen loputtua on teknisen tiedoston oltava saatavilla vähintään kymmenen vuoden ajan. (2006/42/EY, s. 157/71.)

3.6.1 Ohjeet

Hyvin laaditut ohjeet ovat olennainen osa tuotteen turvallisuutta, sillä suurimmassa osassa onnettomuuksista, joissa tuotteet ovat olleet osallisina, on syynä ollut tuotteiden väärä käyttö, eikä niinkään vaarallinen tuote (Tukes, 2012, s. 4). Valmistajan velvollisuutena on varmistaa, että tuotteen mukana toimitetaan ohjeet ja turvallisuustiedot, jotka ovat kyseisen jäsenvaltion määräämällä kielellä (765/2008/EY, s. 218/90). Käyttöohjeiden on tarjottava asiaankuuluva informaatio, niin tyhjentävästi ja yksityiskohtaisesti, että niiden noudattaminen vähentää osaltaan ihmisten, sekä eläinten loukkaantumis- tai sairastusmisriskiä tuotteen aiotussa käytössä, sekä kohtuudella ennakoitavissa väärinkäytöissä. Tuotteen asennuksen, kokoonpanon, käytön, huollon, säilytyksen ja käytöstä poiston on oltava ohjeiden tarjoaman informaation avulla turvallista ja

tarkoituksenmukaista. Ohjeilla ei kuitenkaan voida kompensoida puutteellisesta suunnittelusta johtuvia turvajärjestelmien puutteita. Käyttöohjeet tulee Suomessa antaa suomeksi ja ruotsiksi käyttäen sellaista terminologiaa, että ohjeet ovat tuotteen käyttäjien helposti ymmärrettävissä. Ohjetta laadittaessa on otettava huomioon kohderyhmän tietämyksen taso kussakin osiossa. Esimerkiksi tuotetta huoltaville henkilöille tarkoitetussa osiossa voidaan käyttää ammatillista terminologiaa, mutta tuotteen yleistä käyttöä käsittelevän osion tekstin on oltava loppukäyttäjälle ymmärrettävää. Tällaiset osiot tulee käyttöohjeessa jaotella selkeästi määritellen osion kohderyhmä sisällön alussa. (SFS-EN 82079-1, 2012, s. 22.) Ohjeiden sisältö voidaan karkeasti jaotella seuraavasti:

- tuotteen ja ohjeen tunnistaminen ja tuotemäärittely
- yleiset varoitukset ja tuotetta koskevat huomautukset
- käyttöympäristön sallitut olosuhteet
- toimenpiteet ennen käyttöönottoa
- tuotteen käyttöönotto
- käyttötarkoitus ja rajoitukset käytössä
- ohjeet virhe- ja vikatilanteissa toimimiseen
- tuotteen puhdistusta, huoltoa ja säilytystä koskevat ohjeet
- toimintaohjeet jäännösriskeiltä suojautumista vastaan
- ohjeet tuotteen hävittämiselle (Tukes, 2014, s. 8).

Käyttöohjeessa on mainittava toimittajan nimi ja osoite, tuotteen sarja- tai tyyppitunniste, nimi ja dokumenttilaji, jolloin ohjeesta selviää yksiselitteisesti sen olevan kohdistettu toimitettavaan tuotteeseen. Lisäksi ohjeeseen voidaan liittää muitakin tunnisteita, kuten valmistusnumero ja kuva tuotteesta. Itse ohje on identifioitava tunnisteella, joka sisältää tunnusnumeron, julkaisupäivämäärän, mikäli ohjeita on muutettu muutosindeksin ja päivämäärän, sekä julkaisijan nimen osoitteineen, mikäli julkaisija on eri kuin tuotteen toimittaja. Samaa ohjetta voidaan käyttää useammalle tuoteversiolle, mutta tällöin ohjeesta on oltava selkeästi tunnistettavissa mikä informaatio koskee kutakin tuoteversiota. Tuotteen toimittajan ja valtuutettujen huoltoedustajien tiedot on ilmoitettava tuotteen huoltoa ja asennusta koskevassa osiossa. Tähän osioon tulisi myös tarpeen mukaan sisällyttää tuotetta koskevat tekniset tiedot, takuuta koskevat huomautukset, vianetsintä, luettelo kulutusaineista, sekä tiedot tuotteen oikeaa hävittämistä varten. (SFS-EN 82079-1, 2012, s. 30, 36.)

Käyttöohjeen tekstin johdonmukaisuuteen, sekä ilmaisun selkeyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota ohjetta laadittaessa. Ohjeen tulisi ensimmäisenä esitellä perustoiminnot ja sen jälkeen muut toiminnot. Kielen tulee säilyä samanlaisena läpi ohjeen ja tekstissä tulee välttää käyttämästä ilmaisuja jotka saattavat ärsyttää lukijaa ja herpaannuttaa prosessoimasta informaatiota. Tällaisia voivat olla muun muassa liialliset varoitukset, sekä stereotypiat ja oletukset tiettyjä ihmisryhmiä kohtaan. Tekstijaksojen sisältämät osat tulisi jakaa eri vaiheisiin niin, että jokainen vaihe esittää yhden toiminnan. Jakoa voidaan selkeyttää muun muassa numeroimalla toimintavaiheet ja/tai opastaa käyttäjä tarkastelemaan vaiheeseen liittyvää kuvaa kussakin vaiheessa. Mikäli mahdollista, tulisi käyttäjä opastaa lukemaan ja suorittamaan ohjeen vaiheet yksi kerrallaan ja vasta sitten siirtymään seuraavaan vaiheeseen. Tekstin säilymiseen ytimekkäänä on kiinnitettävä huomiota, jotta tuotteen käyttäjän mielenkiinto säilyy ohjetta lukiessa. Keinoja tähän on lyhyiden virkkeiden käyttäminen, sekä verbien aktiivimuotojen käyttäminen passiivin sijaan, kuten ”Sammuta laite” muodon käyttäminen, ”Varmista, että laite on sammutettu” muodon sijaan. Takuuta koskevat tiedot ja muut lain kannalta välttämättömät lausumat on annettava joko erillisenä dokumenttina tai käyttöohjeessa selkeästi eriteltynä omana osionaan. Osion tulee sisältää kaikki takuuta koskevat asianmukaiset tiedot, kuten tuotteen viimeinen käyttöpäivä, palveluehdot, tuotteelle tehtävät sallitut muutokset, sekä varaosien saatavuus. (SFS-EN 82079-1, 2012, s. 24, 54–58.)

3.6.2 Peltier-jäähdyttimen käyttöohjeen erityisvaatimukset

Käyttöohjeiden sisältöä yleisesti kaikenlaisiin tuotteisiin käsittelevän standardin SFS-EN 80279-1 lisäksi on peltier-jäähdyttimen kohdalla noudatettava myös konedirektiivissä annettuja vaatimuksia käyttöohjeen sisällöstä (SFS-EN 80279-1, 2012, s. 12; Tukes, 2014, s. 9). Täten edellä mainittujen vaatimusten lisäksi on huomiota kiinnitettävä erityisesti koneiden turvallisuutta ja käyttöä koskeviin seikkoihin. Peltier-jäähdyttimen kohdalla tämä tarkoittaa huomion kiinnittämistä laitteen oikeaoppiseen kiinnittämiseen melun ja tärinän vähentämiseksi, menettelytapoihin onnettomuus- tai rikkoutumistilanteessa, sekä laitteen säätöön ja kunnossapitoon. Myös jäähdyttimen piirustuksiin, kaavioihin, kuvauksiin ja selityksiin on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta koneen käyttö, huolto, korjaus ja oikean toiminnan tarkastaminen olisi mahdollista turvallisesti. Vaikka käyttöohjeet on lain mukaan annettava suomeksi ja ruotsiksi, voidaan kunnossapito-ohjeet toimittaa vain yhdellä yhteisön

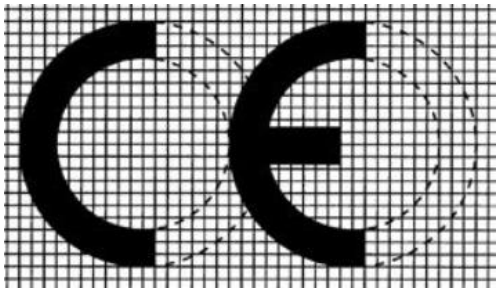
kielellä silloin, kun ne ovat tarkoitettu valmistajan tai valmistajan valtuuttaman edustajan valtuuttamien erityisasiantuntijoiden yksinomaiseen käyttöön. (2006/42/EY, s. 157/48.)

3.7 CE-merkintä

CE-merkinnän kiinnittämisellä valmistaja vakuuttaa ja ottaa täyden vastuun tuotteen vaatimustenmukaisuudesta. Tuote siis täyttää kaikki niin turvallisuutta, terveyttä, ympäristöä kuin kuluttajansuojaa ja energiatehokkuutta koskevat vaatimukset, jotka EU on sillä asettanut. Valmistajan lisäksi ainoastaan valmistajan valtuutettu edustaja saa kiinnittää CE-merkinnän ja se saadaan kiinnittää ainoastaan tuotteisiin, joihin merkinnän kiinnittämisestä on säädetty asiaa koskevassa yhdenmukaistamislainsäädännössä. Merkinnän tulee olla ainoa vaatimustenmukaisuusmerkintä, jolla osoitetaan tuotteen olevan yhteisön yhdenmukaistamislainsäädännön vaatimusten mukainen, eikä muita merkintöjä, merkkejä tai kirjoituksia saa kiinnittää tuotteeseen, joilla saatetaan johtaa kolmansia osapuolia harhaan. Tuotteeseen voidaan kuitenkin soveltaa muita yhdenmukaistamislainsäädäntöön kuulumattomia merkintöjä, mikäli ne parantavat kuluttajansuojaa. (765/2008/EY s. 218/43; 768/2008/EY, s. 218/84; Tukes, 2014, s. 13.)

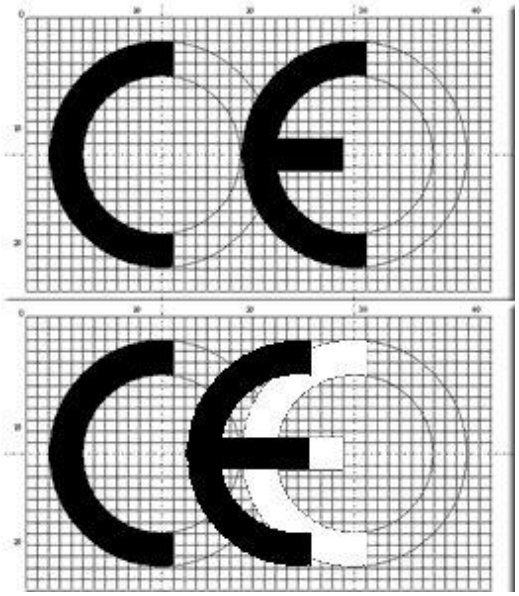
CE-merkintä tuotteessa sallii myös sen vapaan liikkuvuuden Euroopan talousalueella. Tavaroiden vapaa liikkuvuus on yksi sisämarkkinoiden neljästä perusvapaudesta ja jäsenvaltiot eivät saa rajoittaa tuotteen liikkuvuutta alueellaan ilman epäilystä tuotteen vaatimustenvastaisuudesta. (European Commission, 2014, s. 52; Euroopan parlamentti, 2014.)

Merkinnän tulee olla vähintään 5 mm korkea ja sen mittasuhteiden tulee säilyä kuvan 19 mukaisina. Merkinnän tulee olla näkyvä, pysyvä, sekä helposti luettavissa joko tuotteesta itsestään tai sen arvokilvestä. Kirjainten väri ja täyttö saa olla eri kuin kuvassa esitetty, mutta merkinnän on säilytettävä selkeys ja helppolukuisuus. Mikäli merkintää ei tuotteen luonteen vuoksi ole mahdollista kiinnittää tuotteeseen, voidaan se kiinnittää pakkaukseen, sekä mukana tuleviin asiakirjoihin. (Tukes, 2014, s. 13; European Commission, 2014, s. 54.)



Kuva 19. Tuotteeseen kiinnitettävän CE-merkinnän mittasuhdepiirros (Tukes, 2014, s. 13).

On erityisten tärkeää, että CE-merkintä tehdään määräysten mukaisesti, sillä se on helposti sekoitettavissa merkintää läheisesti muistuttavaan China Exports -merkintään. Kuvan 20 merkkien vertailusta huomataan, että oikein laaditunkin merkinnän erottaminen voi olla haastavaa. China Exports-merkki ei ole tae tuotteen turvallisuudesta, vaan kertoo ainoastaan, että tuote on valmistettu Kiinassa. Merkki on oletettavasti tarkoituksellisesti laadittu erehdyttävästi muistuttamaan CE-merkintää vaatimustenvastaisten tuotteiden tuomiseksi myyntiin yhteisön alueelle. Vaikkakin China Exports -merkitty tuote olisi vaatimustenmukainen ja CE-merkitty, ei siitä saa löytyä China Exports -merkintää, sillä tuotteessa ei saa olla mitään muuta CE-merkintää muistuttavaa merkintää, kuin itse CE-merkki. (Cemarking.net, 2015; 2006/42/EY, s. 157/26.)



Kuva 20. CE-merkintä yläpuolella ja China Exports-merkintä alapuolella. Merkinnät erottaa toisistaan ainoastaan kirjainten etäisyydestä (Elektroda.pl, 2015).

3.8 Tuotekehitysprosessi perinteinen, sekä DFMA-suunnittelu yhdistettyinä

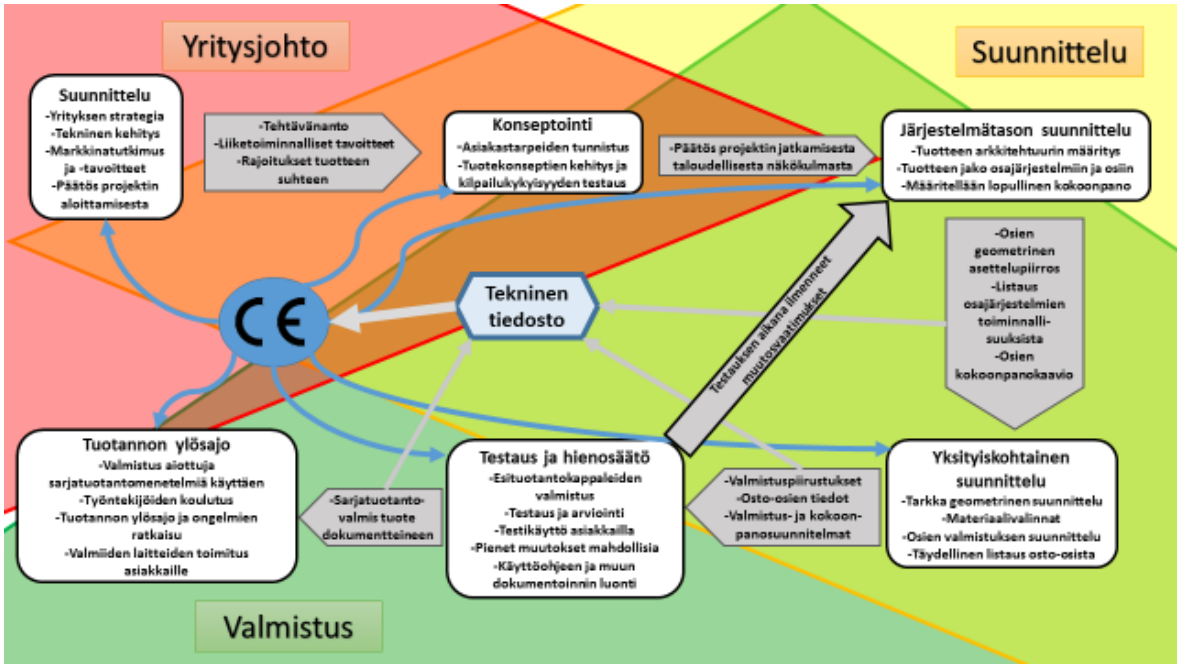
Kuvassa 21 on esitettynä tuotteen koko kehitysprosessi, joka on luotu yhdistämällä aiemmin esitellyt askel-askeleelta etenevä perinteinen tuotekehitysprosessi, sekä valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu. Taustalla olevat eriväriset kolmiot kertovat eri osastojen, yritysjohdon, suunnittelun ja valmistuksen, roolit eri vaiheissa tuotekehitysprosessia.

Yritysjohdon rooli on projektin alussa suuri aina niin pitkälle, että lopullinen päätös projektin toteuttamisesta on tehty. Suunnitteluosasto on projektissa mukana jo alkupalaverista lähtien tuomassa teknistä tietämystä ensimmäiseen kokoukseen missä tehdään päätös konseptointivaiheeseen siirtymisestä. Projektin edetessä suunnitteluosaston rooli kasvaa ja säilyy aina prototyyppien testausvaiheeseen. Näin suunnittelijat saavat välittömästi tiedon, mikäli testien aikana tuotteessa on ilmennyt muutostarpeita.

Valmistusosasto tulee tuotekehitysprosessiin osalliseksi konseptointivaiheessa, kun aiotusta tuotteesta valmistetaan ensimmäisiä konsepteja. Jo tässä vaiheessa voidaan ottaa kantaa valmistusteknisiin näkökulmiin ja ehkäistä ratkaisuja, jotka vaikeuttaisivat valmistusta ja kokoonpanoa. Konseptointivaiheen jälkeen kaikki osastot ovat tekemässä päätöstä, onko projektia taloudellisesti kannattavaa jatkaa. Valmistusosaston rooli on huomattavan suuri jo järjestelmätason ja yksityiskohtaisessa suunnittelussa, sillä valmistus- ja kokoonpanoystävällisten tuotteiden suunnittelu vaatii jatkuvaa kommunikointia valmistus- ja suunnitteluosastojen välillä, jotta epäkohdat huomataan jo suunnitteluvaiheessa ja niihin voidaan puuttua heti. Suunnitteluvaiheiden jälkeen valmistusosaston rooli tuotekehityksessä kasvaa, kun tuotteesta tehdään ensimmäiset prototyypit testausta varten. Kun tuote on testattu ja viimeistelty ja se on valmis sarjatuotantoon, aloitetaan tuotannon ylös ajo. Tässä vaiheessa myös yritysjohdon rooli kasvaa, sillä vaihe vaatii usein laiteinvestointeja, sekä työntekijöiden koulutusta, jotta sarjatuotanto saadaan käyntiin ja toimitukset asiakkaille aloitettua.

Kuvasta 21 nähdään myös, että CE-merkinnän vaatimukset vaikuttavat tuotekehitysprosessin jokaiseen vaiheeseen jo heti ensimmäisestä vaiheesta lähtien, sillä lainsäädäntö saattaa asettaa rajoituksia tuotteen suhteen. CE-merkinnän vaatimusten tiedostaminen alusta alkaen auttaa suunnittelemaan lain mukaisen tuotteen, mutta

vaatimukset on syytä tiedostaa myös, jotta tekniseen tiedostoon osataan kerätä vaadittavat dokumentit jo tuotekehitysprosessin aikana. Teknisen tiedoston kasaamiseen tulee jokaisen osapuolen osallistua projektin aikana. Kun asianmukaiset dokumentit ovat valmiiksi kerätty tekniseen tiedostoon, on tuotteen vaatimustenmukaisuus helppo todeta näistä dokumenteista ja tuotteeseen voidaan kiinnittää CE-merkintä.



Kuva 21. Tuotekehitysprosessi perinteinen, sekä valmistus- ja kokoonpanoystävällinen suunnittelu yhdistettyinä (Eskelinen et al., 2013, s. 23–24 Ulrich et al., 2000, s. 15–18).

4 YHTEENVETO

Uuden tuotteen taustalla on aina nykyiseen tai tulevaan asiakastarpeeseen vastaaminen. Tästä syystä tuotteen kehityksen tulisikin lähteä asiakastarpeen kartoittamisesta, tarkoittaa se sitten laajaa kyselytutkimusta nykytarpeista tai markkinoiden kehityksen ennustamista. Huonosti tehty alkukartoitus johtaa tuotekehitysprojektiin, jossa tuotetta aletaan suunnittelemaan ilman riittäviä tietoja asiakkaiden vaatimuksista. Suunnittelun edetessä markkinoilta saadaan lisätietoa vaatimuksista, mikä tarkoittaa ominaisuuksien lisäämistä tuotteeseen kesken suunnittelun. Muutoksien toteuttaminen voi vaatia uusien osien suunnittelua ja testaamista ja jo valmiin layoutin uudelleen suunnittelua. Muutosten tullessa yksitellen suunnittelijoiden tietoon, näyttää yritysjohdolle siltä, että tuote on kohta valmis vaikka projektin aikataulu venyy jatkuvasti. Näin aikataulu ja budjetti ylittyvät moninkertaisesti alkuperäisestä ja tuotteesta mahdollisesti saatava tuotto on käytetty jo ennen kuin ensimmäistäkään laitetta on myyty. Mikäli nämä tiedot olisivat olleet yritysjohdon tiedossa jo heti projektin alussa, olisi projekti todennäköisesti hylätty kannattamattomana.

Hyvin suunnitellussa tuotekehitysprojektissa ensimmäisiin vaiheisiin käytetään paljon aikaa ja vaivaa, vaikkei tässä kohtaa saada vielä mitään näkyvää aikaiseksi. Aluksi arvioidaan yrityksen strategia tuotteen suhteen, tekninen kehitys ja markkinatavoitteet ja vasta näiden jälkeen päätetään aloitetaanko tuotekehitysprosessi. Seuraavaksi tunnistetaan markkinoiden tarpeet, kehitetään ja arvioidaan vaihtoehtoisia tuotekonsepteja ja näistä valitaan yksi tai useampia jatkokehitykseen. Konseptien kilpailukykyisyyttä markkinoilla arvioidaan ja tehdään uusi arviointi onko projektia kannattavaa jatkaa taloudellisesta näkökulmasta.

Näiden vaiheiden jälkeen aloitetaan tuotteen järjestelmällinen suunnittelu, missä järjestelmätason suunnittelusta edetään yksityiskohtaiseen suunnitteluun ja edelleen testaukseen ja hienosäätöön. Tuotteen viimeistelyn jälkeen aloitetaan tuotannon ylösajo, missä käytetään jo lopullisia sarjavalmistusmenetelmiä ja ratkotaan tuotannossa ilmenneitä ongelmia. Samalla myös henkilökunta koulutetaan ja tuotteita toimitetaan asiakkaille testiin. Vähitellen tuotannon ylösajosta siirrytään sarjatuotantoon ja tuote julkistetaan, jolloin se tulee jakelijoille laajasti saataville.

Tuotekehitysprosessi ei kuitenkaan koskaan ole täysin järjestelmällinen vaihe-vaiheelta etenevä prosessi, vaan useimmiten iteratiivinen projekti, missä prototyypistä saatujen kokemusten perusteella palataan suunnitteluvaiheeseen ja tehdään suunnitelmiin tarpeelliset muutokset. Rinnakkaissuunnitteluprosessissa murretaan kommunikaatiomuuri suunnittelu- ja valmistusosastojen väliltä, jolloin jo alusta alkaen voidaan tuotteen suunnittelussa ottaa huomioon valmistus- ja kokoonpanoystävällisyys. Tällaista suunnittelua sanotaan DFMA-suunnitteluksi (Desing For Manufacturing and Assembly) ja sen avulla voidaan maksimoida yrityksen tuotteesta saama kate, kun valmistus- ja kokoonpanokustannukset saadaan minimoitua. Myös tuotteen laatua saadaan parannettua, kun valmistus on huomioitu jo tuotteen suunnittelun alusta alkaen.

Teknisen suunnittelun lisäksi tulee tuotteen suunnittelussa ottaa huomioon turvallisuutta koskevat vaatimukset, joita direktiivit asettavat. CE-merkintä on nykyisin edellytyksenä lähes kaikille Suomessa myytäville tuotteille. Kiinnittämällä CE-merkinnän tuotteeseensa valmistaja ottaa täyden vastuun siitä, että tuote on sitä koskevien direktiivien vaatimusten mukainen. CE-merkintä ei ainoastaan velvoita, vaan se myös oikeuttaa tuotteelle vapaan liikkuvuuden Euroopan talousalueella.

Järjestelmällisesti vaihe-vaiheelta etenevän tuotekehitysprojekti, sekä DFMA-suunnittelu yhdistämällä luotiin malli, jossa projekti etenee vaihe kerrallaan, mutta jokaisessa vaiheessa on vähintään kaksi kolmesta osapuolesta, yritysjohto, suunnitteluosasto ja valmistusosasto, mukana. Tällöin kommunikointi eri osastojen välillä on jatkuvaa läpi projektin. Mallissa huomioitiin myös CE-merkinnän vaatimusten aiheuttamat toimenpiteet ja kuinka nämä tulee ottaa jo projektin alkuvaiheista lähtien huomioon.

Tässä työssä esimerkkinä käytetyn peltier-jäähdyttimen tulee noudattaa koneiden turvallisuudesta määräävää direktiiviä 2006/42/EY, elektromagneettisia häiriöitä koskevaa direktiiviä 2014/108/EY, sekä vaarallisten aineiden käyttöä rajoittavaa direktiiviä 2011/64/EY. Kun laite täyttää näiden direktiivien vaatimukset, voidaan sille täyttää vaatimustenmukaisuustodistus, sekä kiinnittää CE-merkintä.

Direktiivit eivät määrää yksittäistä toimintatapaa, jolla vaatimustenmukaisuus tulee todeta, mutta usein ainut järkevä vaihtoehto on noudattaa direktiivissä mainittuja

yhdenmukaistettuja standardeja. Kun laitteen osoitetaan noudattavan yhdenmukaistettuja standardeja, voidaan sillä antaa vaatimustenmukaisuusolettama. Muussa tapauksessa on valmistajan sovellettava joko EY-tyyppitarkastusmenettelyä, sekä koneen valmistuksen sisäistä tarkastusta tai täydellistä laadunvarmistusmenettelyä.

Konedirektiivin perimmäisenä tavoitteena on, etteivät koneet aiheuta vaaraa ihmisille, eläimille, eikä ympäristölle, sekä taata tuotteiden vapaa liikkuvuus jäsenvaltioissa. Direktiivi pitää sisällään laajan riskinarvioinnin, missä käydään koneen mahdolliset riskit yksi kerrallaan läpi, pisteytetään nämä riskin suuruuden perusteella ja pyritään pienentämään riski siedettävälle tasolla. Mikäli tämä ei ole mahdollista, pyritään vaara ensisijaisesti poistamaan luontaisesti turvallisilla suunnittelutoimenpiteillä, seuraavaksi suojausteknisillä toimenpiteillä ja mikäli tämäkään ei ole mahdollista, tiedotetaan vaarasta käyttöä koskevilla tiedoilla. Riskiarviointi on iteratiivinen prosessi, missä arviointi tulee suorittaa alusta alkaen, kun muutoksia koneeseen on tehty riskin pienentämiseksi. Uudelleen arvioinnissa arvioidaan onko haluttu riski pienentynyt riittävästi ja onko tämän toimenpiteen seurauksena syntynyt uusia riskejä. Koska riskejä pyritään poistamaan ja pienentämään ensisijaisesti suunnittelutoimenpiteillä, on riskiarviointi hyvä työkalu suunnittelijalle jo tuotteen suunnittelun alusta alkaen.

Konedirektiivi asettaa paljon myös suoria määräyksiä koneen turvallisuuden kannalta. Peltier-jäähdyttimelle direktiivi asetti vaatimuksia muun muassa ohjauslaitteiden, käynnistyksen ja pysäyttämisen, liikkuvista osista aiheutuvien riskien, sähkönsyötön ja tietojen antamisen suhteen.

EMC-direktiivi, eli elektromagneettista yhteensopivuutta koskeva direktiivi antaa määräyksiä laitteen sähkömagneettisen säteilyn osalta. Laite ei saa aiheuttaa häiriötä radio- tele- tai muiden laitteistojen toiminnalle ja sen tulee myös itsessään sietää tietty määrä sähkömagneettista häiriötä. Käytännössä näiden toteaminen vaatii laitteen testaamisen jäsenvaltioiden ilmoittamassa laitoksessa. Suomessa tällaisia laitoksia ovat SGS Finland ja Nemko Oy. Vaikka laitteessa käytettäisiin vain CE-merkittyjä valmiita komponentteja – jotka ovat siis valmistajan toimesta jo todettu EMC-yhteensopiviksi – on itse laite testattava vielä erikseen, sillä tässä elektromagneettisten häiriöiden osalta laitteen katsotaan olevan enemmän kuin osien yhteenlaskettu summa.

RoHS-direktiivi, eli direktiivi tiettyjen vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa rajoittaa vaarallisten aineiden käyttöä sähkö- ja elektroniikkalaitteissa, sekä edistää laitteiden keräystä ja kierrätystä. Direktiivi asettaa ylärajoja vaarallisten aineiden pitoisuuksille homogeenisessa materiaalissa. Aineiden haitallisuutta tutkittaessa otetaan huomioon saattaako aine haitata jätehuoltotoimia, kuten uudelleenkäyttöä tai materiaalien kierrätystä, saastuttaa ympäristöä, altistaa jätehuollossa työskentelevien henkilöiden terveys hyväksymättömien riskien alaiseksi ja onko aine mahdollista korvata turvallisemmilla aineilla tai tekniikoilla.

Tietyn aineen käytön rajoittaminen ei saa siis haitata tieteen ja tekniikan kehitystä vähentämällä ratkaisun luotettavuutta tai tekemällä ratkaisua teknisesti mahdottomaksi, eikä nostaa ratkaisun kokonaishaittoja suuremmaksi, kuin mitä aineen kieltämisestä saavutetut hyödyt ovat. Näistä syistä tietyissä tapauksissa tai sovelluksissa, kuten lääkinnällisissä laitteissa, aineiden pitoisuuksissa sallitaan poikkeuksia tai ne ovat kokonaan vapautettu rajoituksista.

Suurimmassa osassa onnettomuuksista, joissa tuotteet ovat olleet osallisina, on syynä ollut tuotteiden väärä käyttö, eikä niinkään vaarallinen tuote. Tästä syystä tuotteiden ohjeisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota. Käyttöohjeiden tulee tarjota asiaankuuluva informaatio niin tyhjentävästi ja yksityiskohtaisesti, että niiden noudattaminen vähentää ihmisten, sekä eläinten loukkaantumis- ja sairastumisriskiä tuotteen aiotussa käytössä, sekä kohtuudella ennakoitavissa väärinkäytössä. Ohjeilla ei kuitenkaan voida kompensoida puutteellisesta suunnittelusta johtuvia turvajärjestelmien puutteita. Suomessa käyttöohjeet tulee antaa suomeksi ja ruotsiksi ja käytettävän terminologian on oltava ymmärrettävää kohderyhmän tietämyksen taso huomioiden.

Dokumentointi on tärkeä osa vaatimustenmukaisuusmenettelyä. Direktiivit asettavat vaatimuksen teknisen tiedoston kasaamisesta, josta tulee voida todeta täyttääkö tuote vaatimustenmukaisuuden. Vaatimukset teknisen tiedoston sisällöstä vaihtelevat eri direktiivien välillä, mutta pääpiirteissään siitä on löydyttävä ainakin yleiskuvaus tuotteesta, rakenne- ja valmistuspiirustukset, komponenttien ynnä muiden kaaviot, toimintaa, piirustuksia ja kaavioita selittävät kuvaukset, luettelo sovelletuista teknisistä erittelyistä,

tulokset suoritetuista suunnittelulaskelmista ja tarkastusten tuloksista, raportit testeistä, jäljennös tuotteen ohjeesta, vaatimustenmukaisuuden jäljennökset tuotteeseen liitetyistä muista tuotteista, sekä jäljennös tuotteen vaatimustenmukaisuusvakuutuksesta.

Tekninen tiedosto on siis hyvin laaja dokumentointi ja sen kokoaminen on hyvä aloittaa jo tuotekehitysprosessin alusta alkaen. Tiedoston ei tarvitse välittömästi olla käytettävissä aineistomuotoisena, eikä säilytyksessä yhteisön alueella, mutta sen on oltava pyynnöstä koottavissa toimivaltaisille viranomaisille. Mikäli teknistä tiedostoa ei pystytä määräajassa toimittamaan, on viranomaisilla syytä epäillä tuotteen olevan vaatimustenvastainen.

Vaatimustenmukaisuuden toteamisen jälkeen voidaan tuotteeseen kiinnittää CE-merkintä osoittamaan, että se noudattaa kaikkia lain asettamia vaatimuksia. CE-merkinnän tuotteeseen saa valmistajan lisäksi kiinnittää ainoastaan valtuutettu edustaja ja se saadaan kiinnittää ainoastaan tuotteisiin, joihin merkinnän kiinnittämisestä on säädetty asiaa koskevassa yhdenmukaistamislainsäädännössä. Tuotteeseen voidaan CE-merkinnän lisäksi kiinnittää muita yhdenmukaistamislainsäädäntöön kuulumattomia merkintöjä mikäli ne parantavat kuluttajansuojaa. Tuotteeseen ei kuitenkaan CE-merkinnän lisäksi saa kiinnittää mitään CE-merkintää muistuttavaa merkintää, joka saattaisi erehdyttää kuluttajaa. CE-merkinnän kiinnittämisen jälkeen on tuote valmis markkinoille ja oikeutettu vapaaseen liikkuvuuteen Euroopan talousalueella.

5 JATKOKEHITYS

Projektin aikana kehitetystä peltier-jäähdyttimestä saatiin noin 100 W:n tehoinen, ottotehon ollessa alle 100 wattia. Tämä tarkoittaa yli yhden hyötysuhdetta, mikä on termoelektriselle jäähdyttimelle erinomainen tulos. Markkinoilta kuitenkin löytyy jo lähes vastaava laite, joten ollakseen kilpailukykyinen tulee jäähdyttimen myyntihinnan olla selvästi markkinoilta jo löytyvää tuotetta halvempi. Jotta jäähdytintä voitaisiin myydä kannattavasti, on komponenttien hintoja saatava alaspäin tai samasta kokoonpanosta saatava enemmän tehoa irti. Projektin jatkokehitystavoitteeksi jäi kehittää 200 W:n jäähdytystehoon kykenevä peltier-jäähdytin, joka yhä pysyy painon, koon, luotettavuuden, olosuhteiden siedon ja hinnan kannalta asiakasvaatimuksissa.

Myös laitteen peltier-elementtien ja jäähdytyssiilien kokoonpano oli hidasta ja virheille altista, sillä lämpöä johtavan tahnan levittäminen tasaisesti laajalle alalle kuparisiilin pohjaan oli haastavaa. Peltierien puristaminen kuparisiilien väliin vaati myös erityistä tarkkuutta epätasaisen puristuksen johtaessa peltierin liukumiseen pois siilien välistä. Jatkotutkimuksena nämä ongelmat tulisi poistaa sarjavalmistettavasta tuotteesta, jotta tuotteen kokoonpantavuuden nopeus ja varmuus nopeutuisivat huomattavasti.

Noudatettavien direktiivien ja niihin liittyvien yhdenmukaistettujen standardien selvitys on hyvin työlästä. Tätä prosessia voitaisiin nopeuttaa huomattavasti, mikäli kehitettäisiin työkalu, joka laitteen ominaisuuksien perusteella listaa direktiivit ja standardit, jotka tuotteen suunnittelussa on syytä ottaa huomioon.

LÄHTEET

Bower, E. 2003. Specification-Driven Product Development. United States of America: iUniverse, Inc. 226 s.

Cagan, J. & Craig M. V. 2003. Kehitä kärkituote. Ideasta innovaatioksi. Talentum, Helsinki. 412 s.

Cemarking.net. 2015. THE BLOG Chinese Export…? [Cemarking.net www-sivuilla]. Päivitetty 2015. [Viitattu 24.11.2015]. Saatavilla: https://cemarking.net/chinese-export/

Çengel, Y. 1998. Heat Transfer: A Practical Approach. The McGraw-Hill Companies, Inc, United States of America. 1006 s.

eHow. 2016. How Do Portable Refrigerator Work? [eHow.com www-sivuilla]. Päivitetty 2016. [Viitattu 9.3.2016]. Saatavissa: http://www.ehow.com/how-does_5629902_do-portable-refrigerators-work_.html

Elektroda.pl. 2015. Super ”okazje” z allegro – kontynuacja. [Elektroda.pl www-sivuilla]. Päivitetty 2015. [Viitattu 24.11.2015]. Saatavissa: http://www.elektroda.pl/rtvforum/topic1891015-240.html

Eskelinen, H & Karsikas, S. 2013. DFMA-OPAS – Valmistus- ja kokoonpanoystävällisen tuotteen suunnittelu. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 115 s.

European Commission. 2010. Guide for the EMC Directive 2004/108/EC. [European Commission www-sivuilla]. Päivitetty 12.11.2015. [Viitattu 12.11.2015]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/9863/attachments/1/translations/en/renditions/native

European Commission. 2014. The ’Blue Guide’ on the implementation of EU product rules [verkkodokumentti]. 1.1. painos. 15.07.2015 [Viitattu 24.11.2015]. 133 s. Saatavissa:

http://ec.europa.eu/DocsRoom/documents/12661/attachments/1/translations/en/renditions/pdf

European Commission. 2015b. Country. [European Commission www-sivuilla]. Päivitetty 13.11.2015. [Viitattu 12.11.2015]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=country.notifiedbody&cou_id=246

European Commission. 2015c. Recast of the RoHS Directive. [European Commission www-sivuilla]. Päivitetty 11.11.2015. [Viitattu 16.11.2015]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/environment/waste/rohs_eee/index_en.htm

Euroopan komissio. 2007. EMC-direktiivin 2004/108/EY soveltamisopas (22.3.2007). [Tukes www-sivuilla]. Päivitetty 22.3.2007. [Viitattu 13.11.2015]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/ohjeet/EMC_dir10804_sovopas.pdf

Euroopan komissio & Yritys- ja teollisuustoiminnan pääosasto. 2011. CE-merkintä – avain Euroopan markkinoille! Euroopan unionin virallinen lehti, Brysseli. 12 s. Saatavissa: http://bookshop.europa.eu/fi/ce-merkintae-pbNB8010346/

Finnfoam, 2015. Finnfoam maan paras eriste. [Finnfoam www-sivuilla]. Päivitetty 2015. [Viitattu 28.10.2015]. Saatavissa: http://www.finnfoam.fi/finnfoam-eristelevyt/ominaisuudet/

Fraser, I. et al,. 2010. Konedirektiivin 2006/42/EY soveltamisopas. 2. painos. Euroopan komissio yritys- ja teollisuustoiminta. 415 s. Saatavissa:

Heatsink calculator, 2015. Heatsink calculator. [Heatsink calculator www-sivuilla]. Päivitetty 2015. [Viitattu 23.9.2015]. Saatavissa: http://www.heatsinkcalculator.com/

IEC 61000-6-4. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emsission standard for industrial environments. International electrotechnical commission. 2006. 22 p.

Incropera, F. & DeWitt, D. 2002. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 5. painos. John Wiley & Sons, Inc. 981 s.

Lamminen, J. 2012. Muovien ruiskuvalu. Tampereen ammattikorkeakoulu. 41 s. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53160/Lamminen_Jarkko.pdf?sequence=2

Matilainen, J. & Parviainen, M. & Havas, T. & Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. 1. painos. Teknologiainfo Teknova Oy. 387 s.

Melcor. 2015. Thermoelectric Cooler HT4-12-40. [elfaelektroniikka www-sivuilla]. Päivitetty 2015. [Viitattu 21.9.2015]. Saatavissa: https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/ia680010_e.pdf

Qpedio. 2010. Heat Sink. Manufacturing Technologies. [Qpedia www-sivuilla]. [Viitattu 22.10.2015]. Saatavissa: https://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0CFgQFjAHahUKEwio1dC9xtXIAhVG1hQKHSSJDG0&url=http%3A%2F%2Fwww.qats.com%2FDownload%2FQpedia_Nov10_HS_manuf_technologies.ashx&usg=AFQjCNG4iDLaKCPkCOvO9ryEn8mCBSaTiQ&sig2=qRCrOIYOnta-mM2l-S6EnA&cad=rja

Rittal – The System. 2015. Termoelektrinen jäähdytin Kokonaisjäähdytysteho/lämmitysteho 100 W – SK 3201.200. [Rittal www-sivuilla]. Päivitetty 2015. [Viitattu 20.10.2015]. Saatavissa: http://www.rittal.com/fi-fi/product/show/variantdetail.action?c=/J%C3%A4%C3%A4hdytys/J%C3%A4%C3%A4hdyttimet/Termoelektrinen%20j%C3%A4%C3%A4hdytin%20Kokonaisj%C3%A4%C3%A4hdytysteho/l%C3%A4mmitysteho%20100%20W/Termoelektrinen%20j%C3%A4%C3%A4hdytin%20Kokonaisj%C3%A4%C3%A4hdytysteho/l%C3%A4mmitysteho%20100%20W&categoryPath=/PG0001/PG0168KLIMA1/PG0169KLIMA1/PRO0275KLIMA1=/PG0001/PG0168KLIMA1/PG0169KLIMA1/PRO0275KLIMA1&productID=3201200

SFS 60529 + A1. Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2000. 89 s. Vahvistettu 11.6.2000.

SFS-EN 50581. Tekniset asiakirjat, joita tarvitaan sähkö- ja elektroniikkatuotteiden arviointiin koskien vaarallisten aineiden käytön rajoittamista. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2013. 22 s. Vahvistettu 21.1.2013.

SFS-EN 60204-1. 2006. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2006. 216 s. Vahvistettu 9.11.2006.

SFS-EN 82079-1. Käyttöohjeiden laatiminen. Jäsentäminen, sisältö ja esittäminen. Osa 1: Yleiset periaatteet ja yksityiskohtaiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS, 2012. 107 s. Vahvistettu 29.10.2012.

SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2010. 173 s. Vahvistettu 13.12.2010.

SFS-EN ISO 13857. Koneturvallisuus. Turvaetäisyydet yläraajojen ja alaraajojen ulottumisen estämiseksi vaaravyöhykkeille. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2008. 46 s. Vahvistettu 23.6.2008.

SFS-ISO/TR 14121-2. Koneturvallisuus. Riskin arviointi. Osa 2: Käytännön opastusta ja esimerkkejä menetelmistä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. 2013. 80 s. Vahvistettu 21.1.2013

Suomen kuumasinkitsijät ry. 2007. Kuumasinkityksen toimintaketju yleisohje. Suomen kuumasinkitsijät ry. 8 s. Saatavissa: http://www.kuumasinkitys.fi/kuumasinkityksen_toimintaketju_yleisohje_1_2007.pdf

Taulukot.com. 2016. Kaavoja. [Taulukot.com www-sivuilla]. [Viitattu 9.3.2016]. Saatavissa: http://www.taulukot.com/index.php?search_id=fysiikka_kaavoja&lng=fi#

TE Technology, Inc. 2007. Thermoelectric Module (TEM) Peltier Element Mounting Procedure. TE Technology, Inc, Traverse City. 13 s. Saatavissa: https://tetech.com/wp-content/uploads/2013/11/tem_thermoelectric_module_mounting_procedure.pdf

TEC Microsystems. 2015. Thermoelectric Coolers FAQ. [TEC Microsystems www-sivuilla]. [Viitattu 21.9.2015]. Saatavissa: http://www.tec-microsystems.com/EN/Intro_Thermoelectric_Coolers.html

The Engineering ToolBox, 2015. Thermal Conductivity of some common Materials and Gases. [The Engineering ToolBox www-sivuilla]. Päivitetty 2015. [Viitattu 23.9.2015]. Saatavissa: http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html

The Heat Sink Guide. 2015. THE HEASINK GUIDE: Information about heatsinks – part 2 Heatsink production methods. [The Heatsink Guide www-sivuilla]. Päivitetty 2010. [Viitattu 22.10.2015]. Saatavissa: http://www.heatsink-guide.com/

Tukes. 2012. TUOTTEIDEN KÄYTTÖOHJEET ja turvallista käyttöä koskevat merkinnät. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Helsinki. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/Tuotteiden_kaytto-ohjeet_opas.pdf

Tukes. 2014. Sähkölaitteiden valmistus, maahantuonti ja myynti. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto, Helsinki. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/esitteet_ja_oppaat/sahkolaitteiden_valmistus_maahantuonti_ja_myynti.pdf

Tukes. 2015a. EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus. [Tukes www-sivuilla]. [Viitattu 5.11.2015]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/vaatimustenmukaisuusvakuutus/

Tukes. 2015b. LVD-sähköturvallisuus. [Tukes www-sivuilla]. [Viitattu 6.11.2015]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/LVD-sahkoturvallisuus/

Tukes. 2015c. Lisätietoa RoHS-direktiivistä. [Tukes www-sivuilla]. [Viitattu 6.11.2015]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/RoHS---Vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittaminen/RoHS-direktiivi-vaarallisten-aineiden-kayton-rajoittamisesta-sahko--ja-elektroniikkalaitteissa-/

Tukes. 2015d. EMC – Sähkömagnettinen yhteensopivuus. [Tukes www-sivuilla]. Päivitetty 6.10.2015. [Viitattu 12.11.2015]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkolaitteet1/Sahkolaitteiden-vaatimukset/EMC---sahkomagneettinen-yhteensopivuus/

Työsuojeluhallinto. 2008. Koneturvallisuus Koneiden tekniset vaatimukset ja vaatimustenmukaisuus. Multiprint, Tampere. 24 s. Saatavissa: http://tyosuojelujulkaisut.wshop.fi/documents/2008/12/tso_16-2009.pdf

Ulrich, K. & Eppinger, S. 2000. Product Design and Development. 2. painos. The McGraw-Hill Companies, Inc, United States of America. 358 s.

765/2008/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 9.7.2008 tuotteiden kaupan pitämiseen liittyvää akkreditointia ja markkinavalvontaa koskevista vaatimuksista ja neuvoston asetuksen (ETY) N:o 339/93 kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti, Strasbourg. 18 s. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:218:0030:0047:fi:PDF

768/2008/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston yhteisellä päätöksentekomenetelmällä tekemät päätökset; euroopan parlamentin ja neuvoston päätös 9.7.2008 tuotteiden kaupan pitämiseen liittyvistä yhteisistä puitteista ja päätöksen 93/465/ETY kumoamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti, Strasbourg. 46 s. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:218:0082:0128:FI:PDF

2006/42/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 17.5.2006 koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti, Strasbourg. 86 s. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0042:FI:PDF

2006/95/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 26.2.2014 tietyllä jännitealueella toimivien sähkölaitteiden asettamista saataville markkinoilla koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti, Strasbourg. 1 s. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/legal content/fi/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2014_096_R_0357_01&from=EN

2011/65/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 8.6.2011 tiettyjen vaarallisten aineiden käytön rajoittamisesta sähkö- ja elektroniikkalaitteissa (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti, Strasbourg. 23 s. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:FI:PDF

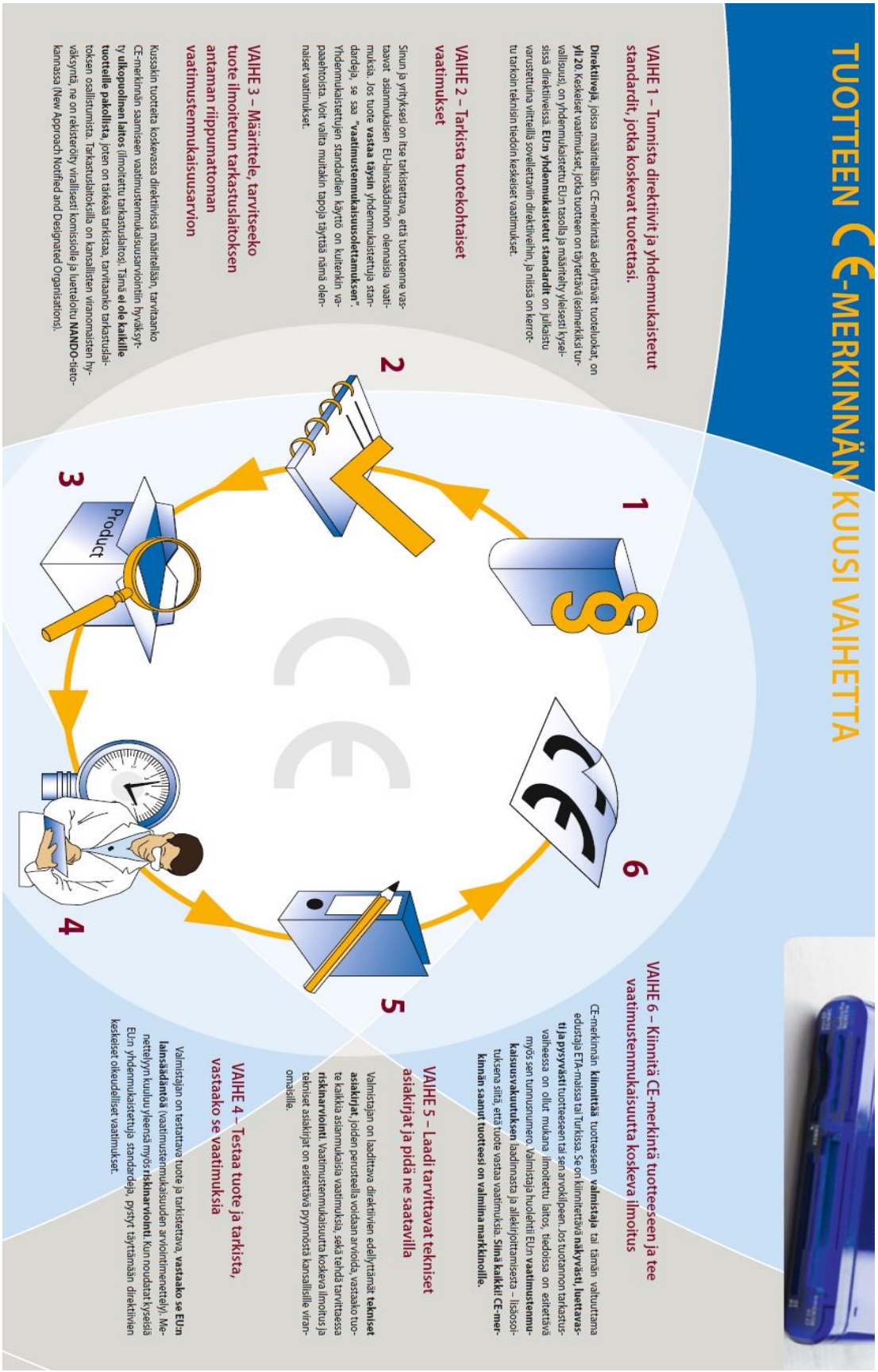
2014/30/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 26.2.2014, sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön yhdenmukaistamisesta (uudelleenlaadittu). Euroopan unionin virallinen lehti, Strasbourg. 106 s. Saatavissa: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2014_096_R_0079_01&from=EN

Liite I

Toiminnanharjoittajien velvollisuuksia (Tukes, 2014, s. 23).

Toiminnanharjoittajien velvollisuuksia	Valmis-taja	Valtuu-tettu edustaja	Maa-hantuoja	Jakelija
Asettaa saataville markkinoilla vain vaatimustenmukaisia laitteita	x	x	x	x
CE-merkintä				
• kiinnittää	x	(x)		
• tarkistaa		x	x	x
EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus				
• laatii ja säilyttää 10 vuoden ajan	x	(x)		
• pitää saatavilla 10 vuoden ajan		x		
• säilyttää jäljennöksen 10 vuoden ajan			x	
• antaa pyynnöstä viranomaiselle	x	x	x	x
Tekniset asiakirjat				
• laatii ja säilyttää 10 vuoden ajan	x			
• varmistaa saatavuuden 10 vuoden ajan		x	x	
• antaa pyynnöstä viranomaiselle	x	x	x	x
Suorittaa vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt	x			
Varmistaa, etteivät varastointi- ja kuljetusolosuhteet vaaranna laitteen vaatimustenmukaisuutta	x	(x)	x	x
Pitää kirjaa vaatimustenvastaisista laitteista ja tiedottaa tarvittaessa niistä jakelijoille	x	(x)	x	
Varmistaa, että laitteessa on tyyppi-, erä- tai sarjanumero tai muu merkintä, jonka ansiosta se voidaan tunnistaa	x	(x)	x	x
Ilmoittaa nimensä, rekisteröidyn tuotenimensä tai rekisteröidyn tavaramerkkinsä sekä osoitteen, josta toiminnanharjoittajaan saa yhteyden	x		x	
Varmistaa, että laitteessa on valmistajan ja/tai maahantuojan nimi, rekisteröity tuotenimi tai rekisteröity tavaramerkki sekä osoite, johon valmistajaan ja/tai maahantuojaan saa yhteyden		(x)		x
Jos epäilee, että laite on vaatimustenvastainen, ryhtyy toimiin	x	(x)	x	x
Tekee yhteistyötä viranomaisen kanssa	x	x	x	x
Säilyttää 10 vuoden ajan viimeisen sähkölaitteen markkinoille saattamisesta tunnistetiedot toiminnanharjoittajista, joille se on toimittanut laitteita.	x	x	x	x
Säilyttää 10 vuoden ajan viimeisen sähkölaitteen markkinoille saattamisesta tunnistetiedot toiminnanharjoittajista, jotka ovat toimittaneet sille laitteita.			x	x

Tuotteen CE-merkinnän kuusi vaihetta (Tukes, 2014, s. 10–11).



EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus (Tukes, 2015a).

EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus

Me

[Yrityksen nimi
Postiosoite
Postinumero ja -toimipaikka
Puhelinnumero
Sähköpostiosoite]

vakuutamme yksinomaan omalla vastuulla, että seuraava tuote

Laite: [Laitteen nimi/kuvaus]
Tuotemerkki: [Tuotemerkk]
Malli/tyyppi: [Malli/tyypp]
[Muut kuvaustiedot]

täyttää

[Täytä tähän direktiivit ja asetukset, jotka koskevat laitetta, esim.
pienjännitedirektiivin (LVD) 2006/95/EY,
sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevan EMC-direktiivin 2004/108/EY,
vaarallisten aineiden käytön rajoittamista koskevan RoHS-direktiivin 2011/65/EU,
energiaan liittyvien tuotteiden ekologista suunnittelua koskevan ecodesign-direktiivin 2009/125/EY ja
sen nojalla annetun komission asetuksen (EU) N:o xx/xx koskien xxx ekologista suunnittelua]

vaatimukset sekä on seuraavien harmonisoitujen standardien sekä teknisten eritelmien mukainen:

[LVD: Täytä tähän allekkainen LVD-standardien nimet, joita on käytetty. esim.
EN 60335-2:2012
EN 60335-2-7:2010

EMC: Täytä tähän allekkainen EMC-standardien nimet, joita on käytetty. esim.
EN 55014-1:2006 + A1:2009 + A2:2011
EN 55014-2:1997 + A1:2001 + A2:2008

RoHS: Täytä tähän allekkainen RoHS-standardien nimet, joita on käytetty. esim.
EN 50581:2012

xxx Täytä tähän mahdolliset muut standardit ja deklaraatiot

Jos laitteeseen sovelletaan LVD-direktiiviä, alla oleva teksti pitää olla
CE-merkinnän kiinnittämisvuoden kaksi viimeistä numeroa: täytä tähän, esim. 13

Paikka ja aika

[Valmistaja / Valtuutettu edustaja: (valitse vaihtoehto, jota edustat)]
[Yrityksen nimi]

_____

[Allekirjoittajan nimi ja titte]