



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUSSI HOLMA
TUOTTEEN ELINKAAREN HALLINTA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Karri Palovuori
Tarkastaja ja aihe hyväksytty sähkö-
ja tietotekniikan tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 27.09.2017

TIIVISTELMÄ

JUSSI HOLMA: Tuotteen elinkaaren hallinta
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 65 sivua
Joulukuu 2017
Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Pääaine: elektroniikan tuotesuunnittelu
Tarkastajat: professori Karri Palovuori
Avainsanat: elinkaari, elinkaarenhallinta

Tämän työn tarkoituksena on kartoittaa elinkaariajattelun luomia mahdollisuuksia kohdeyrityksen tuotteiden kehittämisessä. Kohdeyrityksessä on tunnistettu asiakkaiden mielenkiinto elinkaariajatteluun ja tämä on luonut kohdeyrityksen tarpeen tuotteiden elinkaaren hallitsemiseksi paremmin. Elinkaaren hallinnan parantamisen myötä pyritään tunnistamaan uusia toimintatapoja kustannussäästöjen aikaansaamiseksi pitkällä aikavälillä.

Tuotteen elinkaari kattaa ajan aina tuotteen ideoinnista, sen suunnittelusta ja valmistuksesta sen käyttöönottoon ja lopulta käytöstä poistamiseen saakka. Elinkaariajattelu on osa yrityksen strategiaa ja tapa toimia pitkällä tähtäimellä. Siinä pyritään näkemään suurempi kokonaiskuva ja tehtävien päätösten vaikutukset pitkällä aikavälillä. Elinkaaren hallinnalla tarkoitetaan kokonaisvaltaista tuotteiden suunnitelmallista ylläpitoa ja seuranta koko tuotteen olemassaolon ajan. Elinkaaren hallinta kattaa myös tuotteeseen liittyvän informaation, esimerkiksi valmistusdokumentaation ja ylläpitotiedon, ja tämän informaation ylläpitämisen koko tuotteen elinjakson ajan.

Tiedolla on suuri merkitys elinkaaren hallinnassa. Tuotteen kehittämistä varten tarvitaan tietoa tuotteen käyttäytymisestä ja tuotteen ja sen komponenttien vikaantumisista ja niihin johtaneista syistä. Kattavalla vikaantumistilastoinnilla ja analysoinnilla voidaan tuotteita parantaa poistamalla niiden heikkoja kohtia. Yhtenä tärkeänä tietolähteenä on tuotteiden seuranta, jonka avulla tarkkailaan tuotteen käyttämistä elinkaaren eri vaiheissa.

Työssä tutkitaan tuotteiden elinkaaren hallintaa ja sen mukanaan tuomia mahdollisuuksia. Työn tuloksena tunnistettiin elinkaaren hallinnan alati kasvava merkitys asiakasvaatimusten ja lainsäädännön kiristymisen myötä. Työn aikana luotiin pohja tuotteista kerättävän tiedon kehittämiseksi. Näiden kerättävien tietojen pohjalta on mahdollista kehittää tuotteita elinkaarikustannustehokkaiksi ja parantaa myös samalla tuotteiden käyttövarmuutta.

ABSTRACT

JUSSI HOLMA: Product life cycle management

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 65 pages

December 2017

Master's Degree Programme in Electric Engineering

Major: Electronics product design

Examiner: Prof. Karri Palovuori

Keywords: life cycle, life cycle management

The purpose of this Master of Science Thesis is to look into the opportunities of the life cycle thinking in the product development of the target company. The target company has identified customers' interest in the life cycle thinking and this has created a need in the target company to manage their products' life cycles better. New methods for to get cost savings in the long run shall be brought out along with improving the current product life cycle management.

Product life cycle covers the whole time from conception through design and manufacturing into commissioning and finally into disposal. The life cycle thinking is an integrated part of company's strategy and a way to work in the long run. It tries to cover the whole picture and the effects of the decisions in a long timescale. The product life cycle management is denoted as a comprehensive planning of product upkeep and follow-up during the whole existence of the product. The product life cycle management also covers information closely related to the product, for example manufacturing documentation and maintenance records, and upkeeping this information during the whole life span of the product.

Information has a great importance in the life cycle management. Information is needed in the product development about product behaviour in the field and about failures in it and its component and what causes lead to these failures. With comprehensive failure statistics and analysis the products can be improved by removing weak spots. One of the most important sources of information is the follow-up of products' behaviour in the field.

In this thesis product life cycle management is studied along with opportunities it brings with it. During this thesis the growing importance of life cycle management is identified due to increasing customers' and legislative demands. In this Master of Science Thesis a base for improving the data collection of products is formed. The improved data collection enables an opportunity to make products life cycle efficient and to enhance products' dependability.

ALKUSANAT

Haluan kiittää ohjaajiani Anna-Mariaa, Aria ja Jonia haastavasta ja laajasta aiheesta työlleni. Työn tarkastajaa professori Karri Palovuorta haluan kiittää saamastani kannustuksesta ja motivaatiosta työn viemisessä eteenpäin. Haluan kiittää myös perhettäni tuesta tämän työ loppuun saattamiseksi. Suurin kiitos kuuluu kuitenkin Anniinalle. Kiitos, että olet jaksanut katsella pyrkimyksiäni vierestä ja auttanut pääsemään niissä eteenpäin.

Diplomityön tekeminen tekijälle entuudestaan tuntemattomasta aiheesta on aina haaste, mutta myös mahdollisuus oppia uutta. Tiedonhaku ja tietämyksen suodatus informaatioähkystä asettaa tekijän mielen täyteen pohdintaa, ajatuksia ja termejä. Termit, joiden ristiriitaiset määritelmät sekoittavat pakkaa entisestään. Paljon uutta kuitenkin opin tämän työn myötä ja toivottavasti pystyn hyödyntämään näitä myös tulevaisuudessa.

Raumalla, 22.11.2017

Jussi Holma

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto	1
2. Elinkaariajattelu	4
2.1 Elinkaari ja sen määrittely	5
2.2 Elinkaaren hallinta	7
2.2.1 Tuotetiedon hallinta	10
2.2.2 Suunnittelu ja elinkaarihallinta	13
2.2.3 Käyttö, ylläpito ja huolto	14
2.3 Käyttövarmuus	16
2.3.1 Käyttövarmuuden arviointi	18
2.3.2 Käyttövarmuuden tunnusluvut	20
2.4 Komponenttien eliniän ja luotettavuuden määrittäminen	22
2.5 Elinkaarikustannuslaskenta	26
2.5.1 Käyttötarkoitus ja rajoitteet	26
2.5.2 Laskentaan tarvittavat tiedot	27
2.5.3 Laskenta	29
2.5.4 Laskelmien soveltaminen ja käyttö	31
3. Ongelmanasettelu ja lähtökohdat	33
3.1 Yrityksen nykyinen elinkaarenhallinta	34
3.1.1 Tuotteen ja komponenttien elinkaarihallinta	34
3.1.2 Haasteet tulevaisuudessa	37
3.2 Nykyinen tiedonkeräys	38
4. Käytönaikaisen tiedonkeruun parantaminen	41
4.1 Tiedonkeruun haasteet	42
4.2 Tiedonkeruun parantaminen	43
4.2.1 Tarpeiden tunnistaminen	44
4.2.2 Tilastoinnin parantaminen	47
4.2.3 Seurattavuuden parantaminen	51
4.3 Kerätyn tiedon analysointi	52

4.3.1	Tuotteiden ja komponenttien vikaantumistilastointi	52
4.3.2	Vikaantumistilastot käyttövarmuuden mallinnuksessa	53
5.	Päätelmät ja niiden tarkastelu	55
5.1	Elinkaariajattelun käytännön toimet yrityksessä	55
5.2	Tiedonkeruun parantaminen yrityksessä	56
5.2.1	Vikaantumistilastoinnin parantaminen	56
5.2.2	Seurannan parantaminen	57
6.	Yhteenveto	58
	Lähteet	61

LYHENTEET JA MERKINNÄT

Lyhenteet:

BAAN	Kaupallinen toiminnanohjausjärjestelmä
FTA	engl. Failure Tree Analysis, vikapuuanalyysi
FMEA	engl. Failure Mode and Effect Analysis, vika- ja vaikutusanalyysi
FMECA	engl. Failure Mode, Effect and Criticality Analysis, vikatyypien ja vaikutusten ja kriittisyyden arviointi
HAZOP	engl. Hazard and Operability study, poikkeamatarkastelu
IMO	engl. International Maritime Organization, Kansainvälinen merenkulkuorganisaatio
IPD	engl. Installed Product Database, asennettujen tuotteiden käyttöönoton ja ylläpitotiedon kirjausjärjestelmä
LCC	engl. Life Cycle Cost, elinkaarikustannus
LCP	engl. Life Cycle Profit, elinkaarituotto
LRU	engl. Lowest Repairable Unit, pienin korjattavissa/vaihdeettavissa oleva osa
MDT	engl. Mean Down Time, keskimääräinen toimintakelvottomuus aika
MTBF	engl. Mean Time Between Failures, keskimääräinen vikaantumisväli
MUT	engl. Mean Up Time, keskimääräinen toimintakelpoisuus aika
NC	engl. Non-Conformity, sisäisten poikkeamien kirjausjärjestelmä
NPV	engl. Net Present Value, nettonykyarvo
PLM	engl. Product Life cycle Management, tuotteen elinkaaren hallinta
PSS	engl. Product-Service System, tuote-palvelu-järjestelmä
RBD	engl. Reliability Block Diagram, toimintavarmuuslohkokaavio
RCI	engl. Resolve Customer Issue, asiakaspoikkeamien kirjausjärjestelmä
TVM	engl. Time Value of Money, rahan aika-arvo

1. JOHDANTO

Elinkaariajattelu on kokonaisvaltainen ajattelutapa tuotteen hallintaan tuotteen koko sen elinkaaren aikana. Kokonaisvaltaisuudesta huolimatta elinkaariajattelu tarjoaa näkökulman tuotteen hallintaan ja tarvitseekin toteutuakseen tukea yrityksen johdolta sekä prosessien ja toimintatapojen mukautumista uuteen ajattelutapaan. Elinkaariajattelutapaa onkin rakennettu sisään moneen prosessiin, toimintapaan ja työkaluun, mutta näiden hyötyjä tuodaan usein esiin lyhyen tähtäimen etuina ja tavoitteina eikä pitkäjänteisinä, koko elinkaareen vaikuttamisen näkökulmasta.

Tämä diplomityö on tehty Rolls-Royce Oy Ab Rauman yksikölle. Se on osa kansainvälistä Rolls-Royce konsernin Marine-toimialaa, mutta se on muotoutunut historian saatossa monien yrityskauppojen myötä nykyiseen muotoonsa. Yhtiön historia ulottuu 1940-luvulle, jolloin Rauma-Repola Oy valmisti ensimmäiset Rauma-vintturit. Vuonna 1965 valmistui kuvassa 1 esiintyvä ensimmäinen Aquamaster-potkurilaitte, 50 hevosvoiman KPM 50. Vuonna 1988 Rauma-Repola ja Hollming Oy yhdistivät toimintojaan uudeksi Aquamaster-Rauma Oy:ksi. Englantilainen pörssi-yhtiö Vickers Plc osti Aquamaster-Rauma Oy:n ja kahta vuotta myöhemmin potkurilaitetoiminta siirtyi Vickersin aiemmin ostaman Kamewa-nimen alle. Vuonna 2000 Rolls-Royce pyrki vahvistamaan liiketoiminta kehitystä ja osti Vickersin ja nimi muutettiin nykyiseen muotoonsa [55]. Nykyään kohdeyrityksen päätuotteet Raumalla ovat ruoripotkurilaitteet ja kansikoneistot. Kohdeyrityksen liikevaihto on vuonna 2016 ollut 324 miljoonaa euroa ja kohdeyritys työllistää 491 henkilöä Suomessa. Kohdeyrityksellä on Suomessa Rauman lisäksi toinen toimipiste Kokkolassa, jossa valmistetaan vesisuihkulaitteita. [42]



Kuva 1 Ensimmäinen Raumalla tehty ruoripotkurilaite, KPM 50 [42].

Yhtenä tämän diplomityön tärkeimmistä tavoitteista on selvittää elinkaaren merkitystä ja miten siihen liittyviä asioita voidaan hyödyntää kohdeyrityksessä tuotteiden ja niiden kannattavuuden parantamiseksi. Työn tavoitteena on käydä läpi tämän hetken tieteellistä sisältöä elinkaaren hallinnasta ja miten sitä voidaan soveltaa käytäntöön kohdeyrityksen tuotehallinnassa. Työn tavoitteena on luoda malli, jonka avulla vikatilastoinnin avulla saadaan informaatiota suunnitteluun tuotteiden haasteista. Tavoitteena on myös luoda malli tuotteen elinkaaren kustannuslaskelmaan. Luodun mallin avulla voidaan optimoida tuotteen ja sen komponenttien kestävyys suhteessa huoltoväleihin, takuu-aikaan ja kustannuksiin.

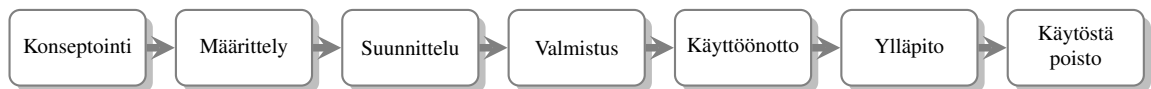
Diplomityön tavoitteena on myös luoda alustava määrittely kohdeyrityksen tuotteista käytön aikana kerättävistä käyttö- ja komponenttien vikaantumistiedoista. Näitä tietoja on tarkoitus hyödyntää tulevaisuudessa tuotteiden käyttövarmuuden arvioinnissa ja parantamisessa. Tässä työssä ei ole tavoitteena kiinnittää huomiota ympäristövaikutusten arvointiin, mutta nostetaan kuitenkin esiin sen merkittävyys tulevaisuudessa.

Yhtenä työn tavoitteena alunperin oli tutkia nykyisten tuotteiden huoltotietoja ja muodostaa näistä vikaantumistilasto, jota olisi käytetty työssä tutkittavien menetelmien datana. Tästä tavoitteesta kuitenkin luovuttiin työn edetessä ja päätettiin keskittyä luomaan pohjaa uudelle tiedonkeräysjärjestelmälle, jossa elinkaaren aikaista tietoa kerätään enemmän, varsinkin käytössäoloajalta ja sen aikana tapahtuvista huolto- ja vikaantumistilanteista.

Työssä tutkitaan elinkaariajattelua ja mitä mahdollisuuksia se tuo mukanaan. Elinkaariajattelun toimia ja mahdollisuuksia tutkitaan tuotehallinnan näkökannalta. Työn tehtävänä on kerätä kirjallisuuslähteistä koostettu tietopaketti tuotehallinnan käytettäväksi, jota tullaan myöhemmin käyttämään muun muassa tuotehallinnan prosessien ja työtapojen kehittämiseen ja elinkaaristrategian luomiseen. Työssä tutkitaan myös tuotteiden vikaantumistilastojen hyödyntämistä erityisesti tuotteiden suunnittelun, mutta myös muiden sidosryhmien tarpeisiin. Suunnittelun kannalta vikaantumistilastoja hyödynnetään vikaantumisten mallinnuksessa apuna jo olemassaolevien mallien verifointiin.

2. ELINKAARIAJATTELU

Elinkaariajattelun nimeen sisältyy sen keskeisin lähtökohta: elinkaari. Elinkaarella tarkoitetaan kaikkea sitä, mitä tuote tai palvelu kokee idean synnyttämisestä eloon aina sen kuolemaan saakka. Elinkaaren vaiheet yleisesti on esitetty kuvassa 2. Tuotteen elinkaari kattaa koko aikavälin tuotteen määrittelystä suunnitteluun, tuotteen valmistuksen ja ylläpidon johtaan lopulta tuotteen hallittuun käytöstä ja yrityksen tuotevalikoimasta poistoon [32, 53].



Kuva 2 Elinkaaren vaiheet yleisesti [18].

Tuotteen loppukäyttäjän kannalta tuotteen elinkaari kattaa ajan tuotteen hankinnasta tuotteen käytöstä poistoon. Elinkaariajattelu on kokonaisvaltainen teknis-taloudellinen ideologia, joka pyrkii ottamaan koko elinkaaren aikaiset tapahtumat huomioon. Elinkaariajattelu on myös tapa johtaa ja hallita yrityksen toimintaa ja sen on tarkoitus nivoutua osaksi yrityksen prosesseja ja ajattelutapaa. [9]

Elinkaariajattelussa koko ekosysteemin ja sen toimintojen ottaminen huomioon on keskeisessä roolissa. Näkökulma elinkaareen vaikuttaa kuitenkin tarkasteluun [44, s. 196]. Toimittajan näkökannalta tehty optimointi ei todennäköisesti kohtaa optimointia tuotteen loppukäyttäjän näkökulmasta. Toimittajan tavoitellessa arvontuottoa vain itselleen elinkaaren ajalta, voi tilanne johtaa esimerkiksi tuotteisiin, joiden valmistaminen on helppoa, mutta tuotteiden ylläpitoon kuluu kohtuuttomasti resursseja. Toisaalta tuotteen loppukäyttäjän kannalta tuotteen tulisi kestää sen suunnitellun käyttöajan luotettavasti ja kustannustehokkaasti. Toimittajan onkin määriteltävä sekä itsensä että loppukäyttäjän saama elinkaariarvo eli saatujen kustannusten ja tuoton erotus elinkaaren ajalta. Tämä vaatii neuvotteluja elinkaariarvon sisällöstä ja siitä, miten arvo tuotetaan ja kenen toimesta. Toimittajan on mahdollista käyttää jo aiemmin luotua loppukäyttäjän elinkaariarvoa myyntivalttina markkinoinnissa sekä erottuakseen kilpailijoistaan [29]. Asiakkaat myös vaativat tuotteilta nykyään enemmän ja tuottajan vastuu tuotteesta on kasvanut. Asiakkaat myös kilpailuttavat hankintojaan kansainvälisesti. Tämä on johtanut siihen, että järjestelmätoimittajat ovat laajentaneet

toimintaansa yhä enemmän palveluliiketoimintaan [1].

Osana tuotteen elinkaarikokonaisuuden hallintaa on otettava huomioon myös tuotteen valmistuksesta ja käytöstä aiheutuvat ympäristövaikutukset. Tätä kutsutaan elinkaaren ympäristövaikutuksen arvioinniksi, LCA (engl. Life Cycle Assessment). Alati kiristyvät ympäristömääräykset ja niiden rikkomisesta johtuvat sanktiot luovat uusia rajoitteita tuotteen toteuttamisessa käytettäviin ratkaisuihin ja materiaalivalintoihin. Ympäristövaikutusten arviointia ei kuitenkaan käsitellä tämän työn puitteissa, mutta korostetaan sen alati kasvavaa merkitystä tulevaisuudessa sekä asiakasvaatimusten muodossa että lakisääteisenä. [44]

2.1 Elinkaari ja sen määrittely

Elinkaarelle on monta katsontakantaa ja siten myös määritelmää. Erilaisia elinkaaren määrittelyitä on esitetty taulukossa 1. Taulukosta on nähtävillä eri lähteiden lähestymiskannat elinkaareen. Toiset kattavat koko tuotteen elinkaareen ollen näin kokonaisvaltaisen elinkaariajattelun mukaisia, mutta koneturvallisuusstandardi SFS-EN 12100 käsittelee elinkaarta tuotteen hankkijan ja loppukäyttäjän näkökannalta.

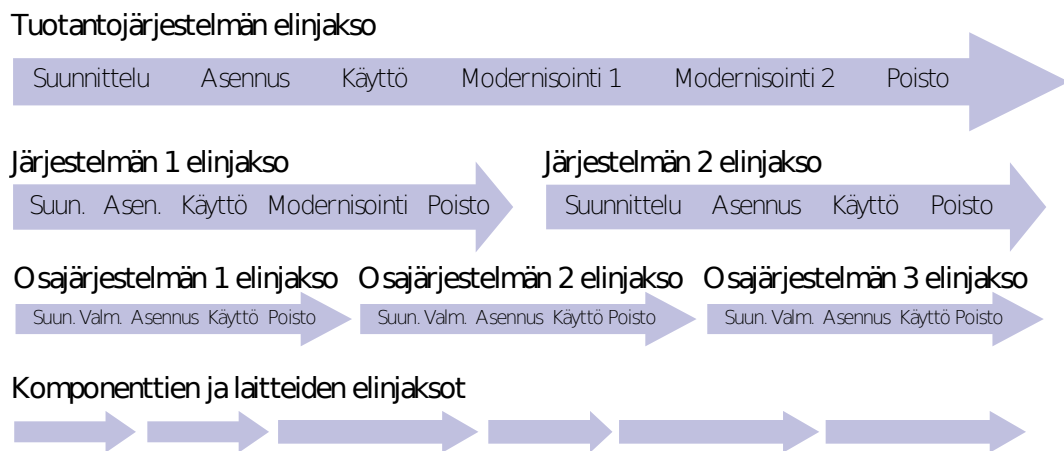
Taulukko 1 Elinkaaren vaiheita tuotteen näkökulmasta eri tahojen mukaisesti.

Yleinen määritelmä	ISO/IEC/IEEE 15228 [21]	SFS-EN 12100 [49]	Kohdeyrityksen määritelmä
Määrittely	Konseptointi		Innovointi ja mahdollisuuksien valinta
Suunnittelu	Kehitys		Esikonseptointi
Valmistus	Tuotanto		Konseptin määrittely
Asennus	Käyttöönotto	Kuljetus Kokoonpano ja asennus / käyttöönotto	Tuotteen realisointi
Ylläpito	Tukeminen	Puhdistus / Kunnossapito Vianetsintä / ongelman selvitys	Tuotannon ja käytön tuki
Käytöstä poisto	Eläköityminen	Purku / Käytöstä poisto	Käytön tuen jatkaminen Käytöstä poistaminen käyttöään päättyessä

Tuotteen eliniällä tarkoitetaan jaksoa, jonka ajan tuotteen toiminnallisuus pysyy riittävällä tasolla. Fyysistä kestoikää pystytään jatkamaan korjaamalla tai vaihtamalla tuote tai sen osia kokonaan uuteen. Toinen yleinen näkökanta käyttöikä on tuotteen toiminnallinen ikä eli aika jolloin tuotteelle on olemassa tarve. Teknologinen ikä

puolestaan liittyy tuotteessa käytettävään teknologiaan ja sen korvautumiseen uudella, paremmalla teknologialla. Teknologiat kehittyvät jatkuvasti, mutta uusien teknologioiden käyttöönottoa rajoittavat niiden kustannukset. Uutta teknologiaa ei ole järkevää ottaa käyttöön, mikäli se ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tällöin puhutaan taloudellisesta iästä, joka saattaa kestää hyvinkin pitkään, vaikka vaihtoehtoisia teknologioita on kehitetty ja ollut olemassa pitkään [48]. Esimerkkinä pitkästä taloudellisesta iästä voidaan pitää polttomoottoria auton voimanlähteenä. Vasta nyt Volvo, yksi isoimmista autovalmistajista, on ilmoittanut luopuvansa polttomoottoreista ainoana voimanlähteenä autoissaan ja varustavansa kaikki vuoden 2019 jälkeen myytävät autonsa sähköisellä voimansiirtolinjalla [57].

Järjestelmä ja sen osajärjestelmät komponentteineen muodostavat laitehierarkisen kokonaisuuden, jossa järjestelmien ja komponenttien elinjaksot limittyvät eri pituisina ja erivaiheisinä. Korjattavissa olevassa tuotteessa on komponentteja, joiden elinjakso on tuotetta lyhyempi ja osajärjestelmän, johon tuote liittyy, elinjakso voi olla pidempi. Tämä on esitetty kuvitteellisen järjestelmän osalta kuvassa 3. Tämä on otettava huomioon etenkin kunnossapidon tiedonkeruussa, sillä vikaantumisia selvittäessä on otettava huomioon vikaantumistilanteen lisäksi myös ennen vikaantumisia vallinnut tilanne. [26].



Kuva 3 Elinjaksojen hierarkisuus, muokattu lähteestä [26].

Viime vuosina yleinen trendi tuotteiden elinkaarille on ollut niiden lyheneminen. Varsinkin kuluttajatuotteissa uusia ominaisuuksia kehitellään jatkuvasti ja yhä nopeammalla aikataululla. Teollisuus tuotteiden, kuten paperikoneiden ja kaivoslaitteiden, käyttöikä on kuitenkin kasvanut. Tämä tarkoittaa, että yritykset ovat ottaneet huomioon sekä markkinoiden asettamia vaatimuksia että ylläpidettävyyttä tuotteiden suunnittelussa. [44]

2.2 Elinkaaren hallinta

Elinkaaren hallinnalla tarkoitetaan kokonaisvaltaista tuotteiden ja tuoteperheen suunnitelmallista ylläpitoa koko tuotteen olemassaolon ajan. Elinkaaren hallinta ei ole vain tuotteen suunnitteluvaiheessa luotava ennustus tulevaisuudesta vaan sen tarkoitus on seurata tuotetta koko tuotteen olemassaolon ajan ja myös kehittyä. Elinkaaren hallinnan on tarkoitus kattaa tuotteeseen oleellisesti liittyvän informaation, esimerkiksi valmistusdokumentaation ja ylläpitotiedon, ylläpitäminen koko tuotteen elinjakson ajan. [44, 46] Tuotetiedon ja tuotteen elinkaaren hallinnan järjestelmiä on aiemmin käytetty lähinnä tuotekehitys- ja suunnitteluosastoilla. Nykyään suuntauksena on laajentaa elinkaaren hallintaa dokumentaation ja rakenteiden hallinnasta kohti moniteknistä ja abstraktia järjestelmäkuvausta, joka pitää kattaa muun muassa konseptoinnin, vaatimustenhallinnan ja toiminnallisten kuvausten muodostamisen. [8]

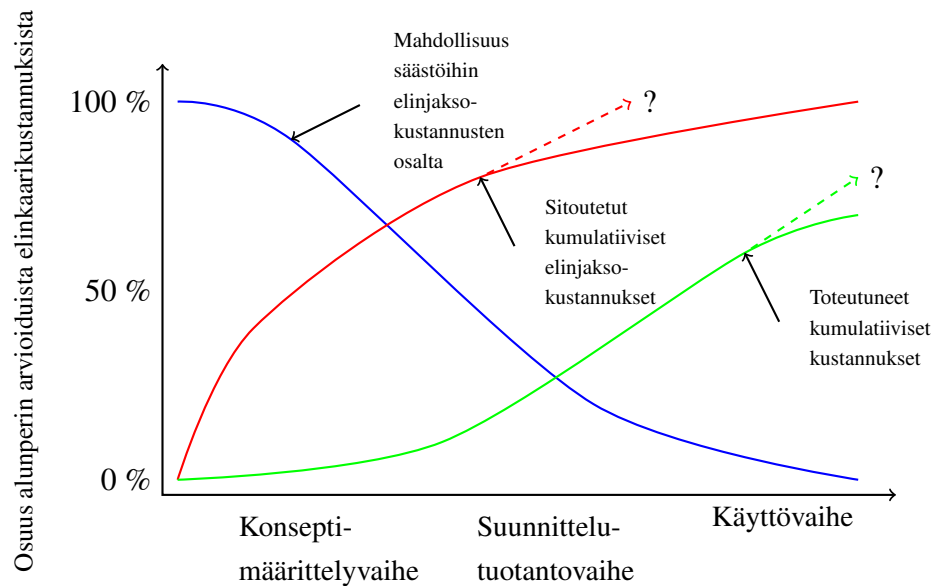
Michael Grievens on määritellyt elinkaaren hallinnan seuraavasti:

”Tuotteen elinkaaren hallinta (PLM) on integroitunut, informaatiivetoinen lähestymistapa, joka koostuu ihmisistä, prosesseista ja käytännöistä ja teknologiasta, joka vaikuttaa tuotteen eliniän ja ympäristön näkökulmaan, aina suunnittelusta valmistukseen, käyttöönottoon ja huoltoon, kulminoituen tuotteen käytöstä poistoon ja hävittämiseen.” [9]

Elinkaaren hallinta ei toimi omana osa-alueenaan vaan sen on tarkoitus toimia ajattelutapana ja pohjana yrityksen toimintatapoihin ja -käytäntöihin ja siten nivoutua kiinteäksi osaksi yrityksen prosesseja ja toimintatapoja. Elinkaaren kannalta tuotteen elinkaaren alkupää, konseptointi, määrittely ja suunnittelu ovat merkittävässä osassa myöhemmin tuotteelle kohdistuville kustannuksille. Esimerkiksi suunnittelumuutosten kustannuksista on arvioitu, että ne kasvavat kertaluokkaa suuremmiksi aina edettäessä seuraavaan vaiheeseen: luonnosvaiheesta prototyypivaiheeseen, edelleen esituotantoon ja tuotantoon aina viimeiseen vaiheeseen, jossa tuote on jo käytössä. Muutosten tekeminen on siis sitä edullisempaa, mitä varhaisemmassa vaiheessa ne tehdään. Tästä syystä alkupään konseptointi ja vaatimusmäärittely on syytä tehdä huolellisesti. [1]

Elinkaaren alkupäässä haasteena on tulevaisuuden ja kustannusten ennustamiseen liittyvä epävarmuus. Elinkaaren alkupäässä tehtyjen päätösten seurauksena arviolta jopa 70-90 % tuotteelle tulevaisuudessa kohdistuvista kustannuksista ovat sitoutuneet eikä niihin pystytä vaikuttamaan ilman merkittävää lisäpanostusta [3], [20] [28] [1]. Kuvassa 4 on esitetty kustannusten sitoutumista ja toteutuneita kustannuksia suhteessa elinkaaren alkupään vaiheisiin. Epävarmuus pienenee tiedon lisääntyessä, mutta päätöksentekoa ei voi lykätä loputtomasti. Kustannuksiin liittyvän varmuuden kasvaminen vaiheiden edetessä on esitetty kuvassa 4. Tästä syystä onkin hyvä muistaa

tuotteen alkupään tärkeys sekä sen aikana tehtyjen päätösten merkitys myöhemmillä elinkaaren vaiheilla. [1]

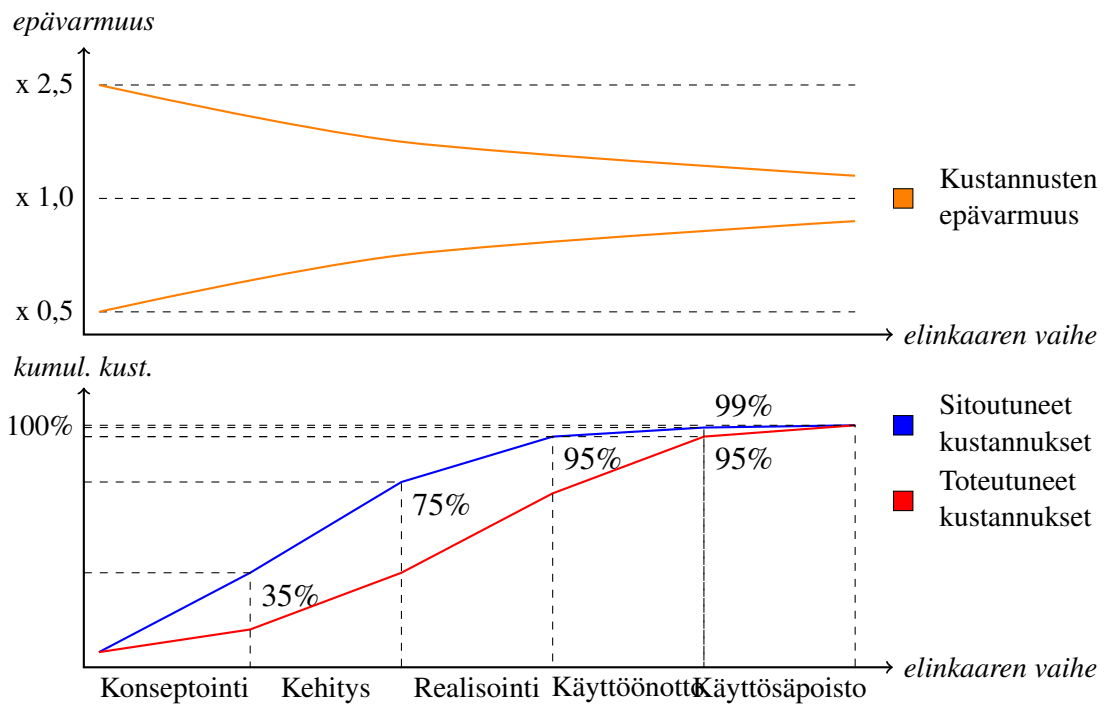


Kuva 4 Elinjaksokustannusten sitoutuminen ja toteutuminen sekä mahdollisuus säästöihin, muokattu lähteestä [1].

Projektivetoisten tuotteiden elinkaaren alkupäässä ei aina tehdä suuria panostuksia tuotteiden kilpailutuksen vuoksi. Suureen osaan tuotteista joudutaan tekemään eriasteista suunnittelutyötä ja muutoksia jo tarjousvaiheessa esitettävien vaatimusten vuoksi. Vaatimukset vaihtelevat asiakkaiden, tarvittavien tuoteluokitusten ja tuotteen käyttötarkoituksen mukaan. Jos projektia ei jatketa, on siihen sijoitetut panokset turhia kohdeyrityksen kannalta, jollei niitä pystytä hyödyntämään myöhemmin muualla. Ontuvasta alkupäästä seuraa muun muassa huono vaatimusmäärittely: todellisia tarpeita ja vaatimuksia ei kirjata ylös, ne ovat epäolennaisia tai ottavat liikaa kantaa toteutukseen. Usein vaatimusmäärittelyssä listataan toteutukseen liittyviä epäolennaisia vaatimuksia kuten käytettävä tekniikka tai materiaali. Huonosti suoritettu speksaus tulee myöhemmillä elinkaaren vaiheilla vastaan muuttuvina vaatimuksina, oletetun toiminnallisuuden puutteina tai virheellisenä toimintana. Usein asiakas tai tuotteen loppukäyttäjä ei tiedä mitä tuotteelta halutaan tai luulee tietävänsä miten tuote kuuluu toteuttaa ollakseen hyvä. Tällainen määrittely johtaa väistämättä muutoksiin projektin edetessä. Suurin osa muutoksista voidaan kuitenkin välttää huolellisella asiakastarpeen pohjustuksella ja vaatimusmäärittelyllä. [9]

Muutokset projektissa yhdessä huonon tiedonhallinnan tai tiedonjakamisen kanssa aiheuttavat ongelmia, kun tieto muutoksista ei välity kaikille sitä tarvitseville osapuolille. Tällöin varsinaisessa suunnittelussa ei osata ottaa huomioon kaikkia muutoksiin liittyviä

haasteita ja näiden haasteiden ratkaisemiseksi vaadittavia toimenpiteitä ja niiden seurauksia. Huolellisella pohjatyöllä ja panostamalla tuotteen elinkaaren alkupäähän voidaan säästää tarpeettomasta uudelleensuunnittelusta tekemällä kerralla oikein [9]. Mahdollisuus kustannussäästöihin pienenee projektin edetessä, mikä on esitetty kuvassa 5.



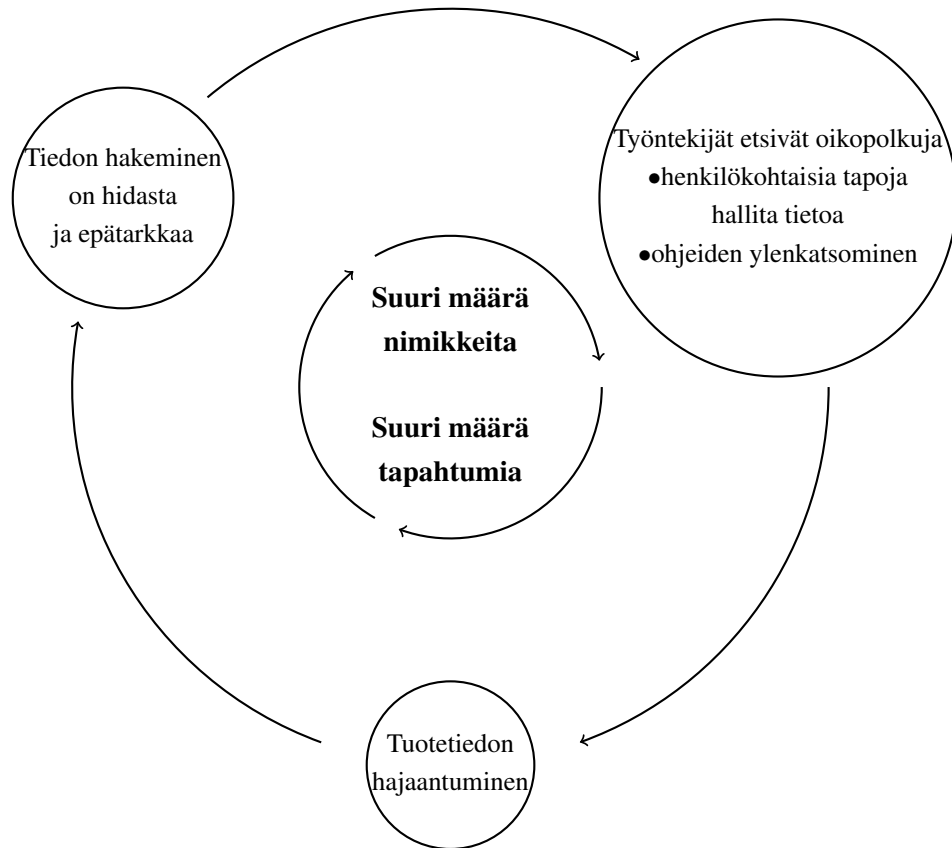
Kuva 5 Kustannusten sitoutuminen, toteutuminen ja epävarmuus, muokattu lähteestä [20].

Elinkaaren hallinta perustuu tiedolle ja sen hallinnalle, suunnitelmallisuudelle ja seurannalle. Näiden pohjalta on luotu työkaluja ja menetelmiä tukemaan elinkaaren hallintaa. Yhtenä keinona näiden hallinnassa toimii mallipohjaisuus. Eri mallien ja alamallien avulla kuvataan tiedon sidonnaisuuksia eri käyttötarkoituksessa ja tasoilla [44]. Näiden kuvausten pohjalta on laadittavissa prosesseja tiedon käsittelyyn ja hallintaan. Nämä ovat edelleen siirrettävissä elinkaaren hallintaa varten suunniteltuihin PLM (engl. Product Life cycle Management) -ohjelmistoihin. Nämä ohjelmistot toimivat työkaluna suunnittelussa, tuotetiedon hallinnassa ja seurannassa. Suurin osa nykyisistä PLM-ohjelmistoista liittyy paremminkin tuotetiedon kuin koko tuotteen elinkaaren hallintaan, vaikka niitä markkinoidaan PLM-ratkaisuina. Elinkaaren hallinta ei kuitenkaan tarkoita vain jonkin ohjelmiston tai menetelmän ottamista käyttöön, vaan sen tulee kuitenkin kehittyä jatkuvasti liiketoiminnan kehittyessä ja sen vaatimusten mukaisesti. [9]

2.2.1 Tuotetiedon hallinta

Elinkaaren hallinnassa keskeisenä osana on tuotteisiin liittyvän tiedon hallinta. Tuotteeseen liittyvää tietoa tarvitaan ja sitä myös syntyy koko elinkaaren ajalta. Tämä tieto ja siihen liittyvä tietämys ovat yrityksen arvokasta pääomaa ja yrityksen tulojen lähde ja tästä syystä tiedosta on syytä pitää hyvää huolta. Tiedon tulee olla asiaankuuluvien ihmisten helposti löydettävissä ja saatavissa, jotta sitä voidaan hyödyntää ja käyttää uudelleen. Valmistavan yrityksen elinkaaren hallinta on yleensä keskittynyt tuotteen suunnitteluun, valmistamiseen ja toimittamiseen asiakkaalle. Jotta tuotetta voidaan hallita myös, on sitä seurattava ja kerättävä tietoa talteen koko elinkaarelta. [48] [44] [46]

Tiedon tulisi olla helposti löydettävissä ja saatavissa yhdessä paikassa, koska vain näin voidaan varmistua, että käytettävä tieto on yhdenmukaista, ajankohtaista ja oikeellista [9]. On arvioitu, että työajasta 15-40 % kuluu rutiinomaiseen tiedonhakuun eri järjestelmistä [44]. Suurissa organisaatioissa, joissa hallinta ei ole riittävällä tasolla, tiedolla on tapana siiloutua: tietoa tuotetaan vain omaan tai oman osaston käyttöön ja sitä ei jaeta avoimesti. Tiedon siiloutuminen tulisi estää, koska tiedon siiloutuminen aiheuttaa päällekkäistä työtä ja myös ongelmia tiedon eheyden kanssa, koska tietoa käsitellään useassa paikassa [8, s. 45]. Tiedon hajaantuminen, varsinkin tiedon määrän lisääntyessä, on itseään ruokkiva ilmiö, joka on havainnollistettu kuvassa 6. Kaikkea mahdollista tietoa ei kuitenkaan ole järkevä jakaa liiketoiminnallisista syistä, mutta tiedon läpinäkyys osastojen välillä auttaa kuitenkin työntekijöitä hahmottamaan omaa rooliaan organisaatioissa ja näin motivoi työntekijää tehtävissään. [8] [47]



Kuva 6 Tuotetiedon hajaantumisen noidankehä, muokattu lähteestä [44].

Tuotteen elinkaaren aikaisen tiedon ja tietoon liittyvien prosessien hallintaan käytetään nykyään kattavia tuotetiedon hallinnan (PDM, engl. Product Data Management) ja elinkaarenhallinnan (PLM) ohjelmistoja suuren tietomäärän vuoksi. Terminä PDM ja PLM ovat käsitteinä sekoittuneet ajan saatossa ja ohjelmistoja markkinoivat yritykset ja tutkijatkin käyttävät näitä ilmauksia ristiin. Osassa ohjelmistoista on toimintoja elinkaaren hallintaan liittyvien prosessien hallintaan ja seurantaan. PDM/PLM-järjestelmien avulla tuotetieto, kuten vaatimukset, määrittely, nimikkeet, piirustukset, dokumentaatio ja rakenteet sekä näihin liittyvät muutokset ovat helposti hallittavissa. Hyvin järjestellystä tiedosta on helppo etsiä tarvitsemansa tieto, kuten esimerkiksi varaosatieot, sekä ylläpitää näitä tietoja. Myös myynti ja markkinointi hyötyvät organisoidusta tiedosta: tarjousten tekeminen ajantasaista tuotetietoa hyödyntävän tuotekonfiguraattorin avulla estetään virheellisten ja puutteellisten tarjousten tekeminen. PLM-järjestelmä ei itsessään ole tavoiteltava asia vaan se että PLM-järjestelmä tukee yrityksen toimintaa, sen tavoitteita ja prosesseja yhtenä käytettävissä olevana työkaluna. [44]

Mallipohjainen lähestymistapa on yksi tapa tuotteen kuvaamiseen ja siihen liittyvän tiedon hallintaan. Tuotetta koskevaa tietoa tuotetaan monessa eri paikassa ja eri

käyttötarkoitusta varten. Mallipohjaisessa tiedonhallinnassa tiedon sidonnaisuudet on kuvattu eriasteisilla malleilla. Mallit tarjoavat oman näkymänsä olemassaolevaan tietoon ja sen käsittelyyn. [8] [44]

Tuotteesta luotujen mallien avulla arvioidaan tuotteen toimintaa ja suorituskykyä. Koostettaessa eri malleja yhteen muun tuotetiedon kanssa yhdeksi, suuremmaksi, kokonaisuudeksi, voidaan puhua digitaalisesta kaksoiskappaleesta (engl. digital twin). Digitaalinen kaksoiskappale pitää sisällään tuotetta koskevat tiedot ja tarjoaa eri näkymiä näiden tietojen tarkasteluun. Sen tarkoitus on kuvata todellista tuotetta mahdollisimman tarkasti. Digitaalisessa kaksoiskappaleessa tarkempi ja yksityiskohtaisempi tuotetieto on keskitetty yhteen paikkaan, josta se on eri mallien käytettävissä. Tällöin muokattaessa tietoa se päivittyy automaattisesti sitä käyttäviin malleihin ja on siten helposti muiden sovellettavissa ja käytettävissä. Digitaalisen kaksoiskappaleen avulla voidaan toteuttaa useista eri järjestelmistä koostuvan suuremman kokonaisuuden testauksia ja verifiointeja simuloimalla ilman fyysisen järjestelmä rakentamista. Tällöin vältetään kalliilta fyysisten tuotteiden muokkaamiselta tai niiden korvaamiselta ratkaisun osoittautuessa tarkoitukseensa soveltumattomaksi. Digitaalisten kaksoiskappaleiden avulla myös muutosten tuominen ja niiden vaikutusten huomioiminen osana suurempaa kokonaisuutta on helpompaa. Digitaalista kaksoiskappaletta tulee täydentää ja ylläpitää koko tuotteen elinjakson ajan, jotta tuotteen ja siihen liittyneiden mallien toteuman seuranta on mahdollista. [9]

Kohdeyritys on tutkimassa digitaalisen kaksoiskappaleen mukanaan tuomia etuja suurempien kokonaisuuksien hallinnassa ja on mukana rakentamassa simulointialustaa, jossa digitaalisia kaksoiskappaleita tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa laivanrakennuksessa. Simulointialustan on tarkoitus toimia muun muassa turvallisuuden ja suorituskyvyn arvioinnissa jo suunnitteluvaiheessa ja myös myöhempien elinkaaren vaiheiden aikana [34].

Esimerkkinä datan ja tiedon hyödyntämisestä voidaan pitää kohdeyrityksen lentokoneturbiinien Power-by-the-Hour -huoltosopimusmallia, jossa sen sijaan, että valmistaja myy tuotteen ja siihen liittyviä varaosia, myydänkin todellista tarvetta, tässä tapauksessa työntövoimaa, kiinteään hintaan käyttötuntia kohden. Power-by-the-Hour -mallista hyötyvät sekä palvelun toimittaja, että palvelun käyttäjä. Palvelun toimittaja saa kiinnitettyä tuloja tulevaisuuteen ja saa arvokasta ensikäden tietoa tuotteen kulumisesta ja kestävydestä [29]. Power-by-the-Hour -mallin soveltamiseksi onkin ensiarvoisen tärkeää ymmärtää laitteen käyttäytyminen suhteessa käyttöön ja ikääntymiseen. Palvelun ostajalle hyödyt ovat hankintakustannuksen pieneneminen tai kokonaan pois jääminen ja tieto laitteen ylläpidon kustannuksista. Myös laitteen rikkoutumisesta aiheutuva taloudellinen riski liittyy vain laitteen tuottavuuteen eikä itse laitteeseen. Palvelun hankkija siis ostaa itselleen pienempää riskiä. Mallin myötä loppukäyttäjällä ei ole

tarvetta omalle huoltohenkilöstölleen eikä huoltotoiminnoissa tarvittaville erikoistyökaluille. Täten loppukäyttäjä pystyy paremmin keskittymään omaan erityisosaamisalaansa ja antamaan huoltotoimet suoritettavaksi laitteista eniten tietävälle taholle, niiden valmistajalle. [43]

Tällainen malli on mahdollista toteuttaa ainoastaan tuotteesta kattavasti kerättävän käytönaikaisen tiedon ja siitä jalostetun tietämyksen avulla. Tietämyksen avulla tuotteen käyttäytymistä voidaan mallintaa tarkasti ja tehdä mittauksien perusteella päätelmiä tuotteen huoltotarpeesta. Tällöin on mahdollista suorittaa ennakoivaa huoltoa ja näin välttää yllättäviä rikkoutumisia. Power-by-the-Hour -mallissa valmistuskustannuksiltaan suuren, mutta ylläpitokustannuksiltaan pienen tuotteen valmistajan kannattaa elinkaarikustannuksen minimoimiseksi rakentaa laite käyttövarmaksi ja edulliseksi ylläpitää. Tällöin laitteen korkeampi hankintahinta on perusteltua, jos siitä tulevaisuudessa saatava hyöty on suurempi kuin hankintahinnan kasvu. [2]

2.2.2 Suunnittelu ja elinkaarihallinta

Suunnittelu tuottaa suuren osan tuotteen elinkaaren aikaisesta tiedosta. Suunnittelun tuottamaa tietoa on muun muassa määrittelystä ja sitä vastaavasta toteutuksesta muodostettava tuotespesifikaatio, tuotteen valmistukseen tarvittavat dokumentit, testaussuunnitelmat ja käyttöohjeet. Suunnittelu tuottaa myös paljon dokumentoimatonta tietoa, joka on tallessa vain suunnittelijan pään sisällä tai eri järjestelmissä tai paperilla organisoimatta. Tälle hiljaiselle tiedolle on tyypillistä, että se on omakohtaista, vaikeasti ilmaistavaa ja tilanneriippuvaista [2]. Tämä tieto täytyisi saada talteen siten, että se on myöhemmin helposti löydettävissä ja käsiteltävissä ja mahdollisesti uudelleenkäytettävissä. Vuonna 1994 tehdyn tutkimuksen [44] mukaan vain pieni osa insinöörien työajasta kuluu varsinaiseen suunnittelutyöhön. Tutkimuksen mukaan noin 30 % ajasta kuluu tiedon etsimiseen, jakamiseen ja ylläpitämiseen. Noin 20 % ajasta kuluu asioiden uudelleentekemiseen, mikä johtuu siitä, että usein asian tekeminen uudelleen on nopeampaa kuin etsiä jo tehty versio siitä. Kohdeyrityksessä vuonna 2015 tehdyn tietämyksenhallintatutkimuksen tuloksena saatiin samankaltaisia päätelmiä. Lisäksi tutkimuksessa selvisi, että etsittävää tietoa ei ole löytynyt yli kolmasosassa tapauksista ja että 40 % tiedoista ja taidoista on tallessa vain yksittäisten ihmisten mielissä. [27] Kun tämä jo olemmassa oleva tieto saatetaan helposti löydettäväksi ja tavoitettavaksi uudelleenkäyttöä ajatellen, suunnittelijan aikaa on käytettävissä enemmän tuottavaan työntekoon [44].

Tuotteen tulevaa elinkaarta tulee ennustaa ja mallintaa jo tuotteen suunnittelun aikana. Tällöin voidaan varautua käytössä vastaan tuleviin tilanteisiin ja niistä selviämiseen jo ennakoita [9]. Suunnittelun tietämys jo käytössä olevista tuotteista on elintärkeää ja se luo pohjan tulevien elinkaaren vaiheiden mallinnukselle. Mallinnuksessa tarvitaan

yhteistyötä tuotteen loppukäyttäjän kanssa määrittelyvaiheen lisäksi myös suunnitteluvaiheessa varmistamaan ja tarvittaessa tarkentamaan aiemmin sovittuja määrittelyjä. Kuten aiemmin on todettu, suunnittelun aikana määräytyy noin 80 % kaikista tuotteen tulevaisuuden kustannuksista, mikä on esitetty kuvassa 4. Kohdeyrityksen tuotteissa, joissa käyttöikä on jopa 30 vuotta, suuri osa kustannuksista realisoituu vasta käyttövaiheessa tuotteen käyttöenergian ja ylläpidon muodossa. [35]

Tuotteen elinkaaren suunnittelussa on otettava huomioon pitkän käyttöiän mukanaan tuomat haasteet. Loppukäyttäjän näkökulmasta tarkastellessa kustannukset ovat tärkeimmässä roolissa toimintaa ohjaavana tekijänä. Loppukäyttäjien kustannuksiin kytkeytyvät myös tuotteen käyttövarmuus ja luotettavuus vikaantumistilanteiden seurausten myötä. Tuotteen toimittajan on kuitenkin mahdotonta arvioida tuotteen loppukäyttäjälle vikaantumisen seurauksista aiheutuvia kustannuksia. Tällöin loppukäyttäjän antamat käyttövarmuuden ja luotettavuuden vaatimukset asettavat reunaehdot suunnittelulle tai vaihtoehtoisesti valmistajan määrittämät käyttövarmuuden ja luotettavuuden tunnusluvut antavat asiakkaalle tai loppukäyttäjälle mahdollisuuden arvioida tuotteen soveltuvuutta omaan käyttötarkoitukseensa. [7] [1]

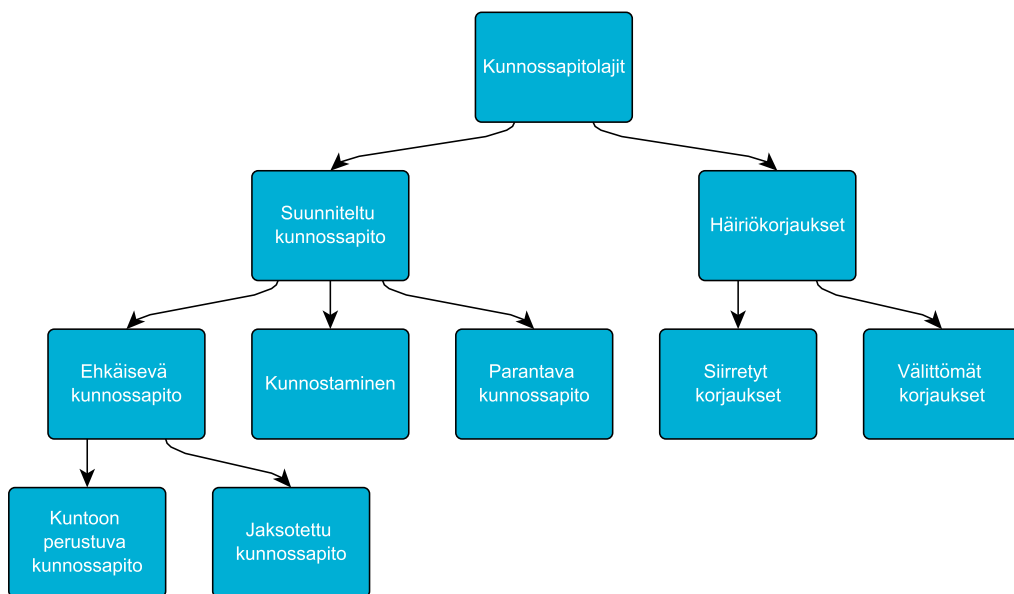
Suunnittelun tehtävänä on tuottaa uusia tuotteita, jotka ovat aiempia parempia, kestävämpiä tai edullisempia tai jopa näitä kaikkia yhdessä. Yleensä tämä pohjautuu vanhojen tuotteiden parantamiseen tai niiden pohjalta suunnitellaan täysin uusi tuote. Jotta tuotetta voidaan ylipäättään parantaa, on tärkeää tietää siihen liittyvät ongelmakohdat ja haasteet. Tähän tarvitaan kentältä saatavaa palautetta ja myös testausta. Tämän kentältä saatavaan palautteen tulee olla tiiviissä muodossa ja valmiiksi käsitelty, esimerkiksi vikatilastojen muodossa. Suunnitteluhenkilöstöllä tulee olla kuitenkin mahdollisuus tarpeen tullen tarkastella yksityiskohtaisemmin näitä tietoja. [7] [1]

2.2.3 Käyttö, ylläpito ja huolto

Tietoa tarvitaan myös myöhemmiltä elinkaaren vaiheilta. Tuotteen elinkaaren käyttö- ja ylläpitovaiheessa käytettävissä olevalla tiedolla on tärkeä merkitys, koska harvoin ylläpidettävä tuote on valmistajan helposti tavoitettavissa. Hyvässä tapauksessa olemassa olevaa tietoa voidaan hyödyntää vikaantumisten ennustamisessa ja tuotteiden hallitussa, ennakoivassa ylläpidossa. Ennakoivan ylläpidon kustannukset ovat useimmin pienemmät kuin hätätyönä tehdyn korjauksen kustannukset. [9] Käyttö- ja vikaantumistietoja voidaan käyttää myös käyttövarmuuden arviointiin ja parantamiseen ja takuuajan aiheuttamien kustannusten arviointiin. Käytönaikaisten tietojen avulla voitaisiin myös tarvittaessa helposti todentaa tuotteen väärinkäytöstä aiheutuvat laiterikot ja rajata tällaiset tapaukset valmistajan vastuuvollisuuden ulkopuolelle. [15]

Kunnossapidolle on usein asetettu vaativa haaste: samanaikaisesti pitäisi sekä minimoida käyttökeskeytyksistä aiheutuvia haittoja, että toisaalta myös vähentää ylläpidon kustannuksia. Optimointi näiden kahden puolen välillä ei onnistu ilman tietoa ylläpidettävästä kohteesta ja sen käyttäytymisestä. Ylläpitovaiheessa käytetään paljon jo suunnitteluvaiheessa luotua tietoa tuotteesta, muun muassa sen huoltamisesta. Suunnitteluvaiheessa luotua tietoa on kuitenkin tarve täsmentää vasta käytössä havaittavien ominaisuuksien valossa. Usein ylläpitovaiheessa muodostuva käytännön kokemus tuotteen suoriutumisesta määrättyssä tehtävässään ei tavoita suunnittelijoita, ellei kyseessä ole merkittävä puute tai tuotteen käytön kokonaan estävä tapahtuma. [56]

Kunnossapito koostuu suunnitellusta ja häiriötilanteiden korjaavasta kunnossapidosta, jotka on esitetty kuvassa 7. Ehkäisevän kunnossapidon tarkoituksena on pitää tuote käytettävissä olevassa tilassa, jolloin se pystyy täyttämään sille asetetut vaatimukset. Ennakoivaa kunnossapitoa tehdään yleensä jaksotetusti tietyn ajanjakson tai käyttösyklimäärän välein. Jotta kunnossapito olisi kustannustehokasta, tulee ylläpito jaksottaa siten, että huoltovälit ovat pitkiä vaarantamatta kuitenkaan tuotteen käyttövarmuutta. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa vaaditaan arvio tuotteen nykyisestä kunnosta ja sen kehittymisestä. Tällöin tuotteen huolto pysyy kustannustehokkaana, koska huolto tehdään tarpeen mukaisesti [9]. Tuotteen kuntoa voidaan arvioida monin eri tavoin. Esimerkiksi kohdeyrityksen tuotteissa kuntoa arvioidaan säännöllisillä tarkastuksilla, joissa tarkastetaan muun muassa lämpötiloja, voiteluaineen puhtautta ja käytön aikana havaittavia ääniä. Näiden mittausten perusteella voidaan arvioida tuotteen kuntoa myös automaattisesti. [50]



Kuva 7 Kunnossapitolajit, perustuu lähteeseen [32].

Häiriökorjauksiin lukeutuvat tuotteen käytön estävien vikaantumisten korjaukset. Välittömällä viankorjauksella pyritään palauttamaan tuotteen toimintakunto ja käyttöturvallisuus alkuperäiselle tasolle. Siirrettyä viankorjauksessa korjausta lykätään myöhempään ajankohtaan, jolloin korjaaminen on ylipäätään mahdollista ja usein edullisempaa. Osana kunnossapitoa ovat myös kunnostaminen ja parantava kunnossapito. Tuotteiden suorituskyky laskee käytön ja kulumisen myötä. Suorituskyvyn laskiessa alle vaaditun rajan tai tuotteen vaurioituessa tarvitaan tuotteen kunnostamista. Parantavalla kunnossapidolla tarkoitetaan kohteen turvallisuutta, luotettavuuden tai kunnossapidettävyyden parantamista muuttamatta kohteen toimintoa. [32]

Tuotteen elinkaaren aikaisen kunnossapidonärkevin kokonaistaloudellinen ratkaisu riippuu tuotteen käyttötarkoituksesta ja sille asetuista vaatimuksista. Suurta käyttövarmuutta vaativien tuotteiden, jotka eivät ole helposti ja nopeasti vaihdettavissa, ylläpitokustannusten optimoinnissa useinärkevin kokonaistaloudellinen ratkaisu on käyttää ehkäisevää kunnossapitoa. [9] Kohdeyrityksen tuotteisiin on mahdollista ostaa lisäpalveluna etämonitoroitu kunnonvalvontajärjestelmä. Tässä kunnonvalvontajärjestelmässä mittaustiedot välitetään kohdeyrityksen kunnonvalvontakeskukseen, joka kerää edellä mainittuja tietoja pidemmältä ajalta ja analysoi mittaustulosten perusteella arvion tuotteen jäljellä olevasta käyttöajasta ennen huoltotoimenpiteitä. Tämän järjestelmän reaaliaikaisten tietojen avulla voidaan vähentää huoltotoimien määrää, nopeuttaa ongelmanselvityksiä ja vähentää kalliita huoltohenkilöstön paikanpäällä tekemiä tarkastuksia. Toimittaja voi myös yhdessä tuotteen käyttäjän kanssa suunnitella tulevia tarvittavia huoltotoimenpiteitä ja niiden ajoittamista. [43]

2.3 Käyttövarmuus

Käyttövarmuus liittyy vahvasti tuotteen elinkaaren käyttövaiheeseen ja sen aikana muodostuviin ylläpidon kustannuksiin. Käyttövarmuudella tarkoitetaan tilaa, jossa tuote voi suorittaa siltä vaadittua tehtävää [32]. Tuotteen turvallisuussuunnittelussa vaaditaan tuotteen käyttövarmuutta ja sen hallintaa. Tuotteen myynninjälkeisen palveluliiketoiminnan kehittyessä lisääntyy myös tarve koko elinkaaren aikaisen käyttövarmuuden hallinnalle. Kehittyvä käyttövarmuussuunnittelu palvelee palveluliiketoimintaan siirtyessä sekä valmistajaa kustannustehokkuuden saavuttamisessa että loppukäyttäjää varsinaisen käyttövarmuuden saavuttamisessa. [22]

Myynninjälkeisen huoltotoiminnan lisääntyessä lisääntyy myös koko elinkaaren aikainen käyttövarmuus ja turvallisuussuunnittelu, etenkin käyttövarmuus. Kehittyvä käyttövarmuussuunnittelu palvelee palveluliiketoimintaan siirtyessä sekä valmistajaa että loppukäyttäjää [22]. Ratkaisujärjestelmät tai tuote-palvelujärjestelmät (engl Product-Service System, PSS) tulevat lisääntymään tulevaisuudessa. Näissä tuotteen

loppukäyttäjä maksaa tuotteen suorituskyvystä ja siihen tarvittavasta ylläpidosta, ei vain laitteista niitä hankittaessa. Ratkaisujärjestelmässä ylläpidon suorittaa suoraan tuotteen valmistaja, jolla on paras tietotaito tuotteistaan ja sen ylläpidosta laajan tietämyskannan ja kokemuksen ansiosta. [29]

Käyttövarmuus koostuu seuraavista osatekijöistä, joita on listattu taulukossa 2. Toimintavarmuus ja kunnossapidettävyyys liittyvät tuotteen rakenteeseen, johon suunnittelulla voidaan vaikuttaa. Toimintavarmuudella tarkoitetaan tuotteen kykyä toimia vikaantumatta: tuote on kestävä ja tuotteen tarjoama toiminto on saatavilla luotettavasti. Kunnossapidettävyydellä tarkoitetaan, että tuote on mahdollista palauttaa toimintakuntoon sen vikaantuessa. Toipumiskyvykkyydellä tarkoitetaan puolestaan tuotteen kykyä palautua vikaantumisesta ilman korjaavaa kunnossapitoa. Kunnossapitovarmuus liittyy sen sijaan tuotteen käyttäjään ja ylläpidosta vastaavaan tahoon ja sen kykyyn pitää tuote toimintakuntoisena. Nämä osa-alueet toteutuessaan mahdollistavat käyttövarman tuotteen ja sen turvallisen käytön. [7]

Taulukko 2 Käyttövarmuuden osatekijöitä eri lähteistä.

VTT T48 [7]	IEC 60050-192-01-22 [19]
Toimintavarmuus	Kestävyys Luotettavuus Saatavuus
Kunnossapidettävyyys	Kunnossapidettävyyys Toipumiskyvykkyyys
Kunnossapitovarmuus	Kunnossapitovarmuus
	Turvallisuus

Käyttövarmuuden määrittely jakautuu niin komponentti- ja järjestelmäsuunnittelijalle kuin tuotteen loppukäyttäjällekkin. Käyttövarmuudelle asetut vaatimukset toimivat raja-arvoina suunnittelulle. Kentällä käytössä olevien laitteiden toteutuneesta käyttövarmuudesta saatava kokemusperäinen tieto auttaa saavuttamaan vaaditun käyttövarmuuden. Vastuu toimintavarmuudesta ja kunnossapidettävyydestä lepää komponentti- ja järjestelmäsuunnittelijoiden harteilla. Kunnossapitovarmuus liittyy vahvasti kunnossapidon toimintaan tuotteen käyttövaiheessa, jolloin se on tuotteen loppukäyttäjän vastuulla. [7]

Käyttövaiheen käyttövarmuus perustuu tuotteen oikealle ja turvalliselle käytölle, jonka vuoksi tuotteen käyttäjät ja huoltajat tulee kouluttaa asianmukaisesti. Varsinaisen käyttövarmuuden ja suorituskyvyn seurannan avulla voidaan selvittää tavoittaako tuote sille asetetut vaatimukset ja millä osa-alueilla on parannettavaa. Tähän seurantaan

kuuluu muun muassa vikaantumisten kirjaaminen ja niiden kehityssuuntauksen tarkastelu. Säännöllinen seuranta ja tiedonkeruu mahdollistavat myös palautekanavan tuotteiden kehitykseen. Käyttövaiheessa parannukset voivat olla esimerkiksi komponentti- tai ohjelmistopäivityksiä. Tehtävät parannukset tulee kirjata ylös, jotta niiden vaikuttavuutta voidaan arvioida myöhemmin johdonmukaisuuden ja virheettömyyden ohella. [1]

Todennettua käyttövarmuutta voidaan käyttää hyväksi myös markkinoinnissa ja osana tarjousten tekemistä käyttövarmuusvakuutuksena. Käyttövarmuuslupaus on osoitus käytössä olevien tuotteiden avulla, päättelämällä tilastollisesti tärkeimpien komponenttien käyttövarmuutta tai osoittamalla oikeiden, toteutettujen käyttövarmuustoimien ja työkalujen käyttö tuoteprojektin edetessä [18]. Näiden väitteiden perustelujen tulee olla harkittuja ja olla tarkastettavissa. Käyttövarmuustiedon hyödyntäminen kohdeyrityksen tuotteiden markkinoinnissa vaatii tuotteiden loppukäyttäjän vaatimuksen käyttövarmuudelle. Näiden vaatimusten asettamisen tueksi tarvitaan yhdenmukaisia ja vertailtavia käyttövarmuuden mittareita [7] [1]. Yllä mainittujen toimintatapojen lisäksi käyttövarmuuden hallinnan standardin *IEC 60300-1:2014* liitteessä B [14] on listattuna enemmän yleisiä toimenpiteitä ja standardissa *IEC 60300-3-15:2009* liitteessä D [17] on projektikäyttöön tarkoitettu tarkistuslista elinkaaren aikaisen käyttövarmuuden varmistamiseksi.

2.3.1 Käyttövarmuuden arviointi

Käyttövarmuuden arviointiin on käytettävissä erilaisia työkaluja, joita käytetään käyttövarmuuden arvioinnissa tai määrittämisessä eri elinkaaren vaiheissa. Suunnitteluvaiheen alussa käytettävillä laadullisilla menetelmillä kuvataan hankalasti mitattavissa olevia vaatimuksia, joita myöhemmin tarkennetaan määrälliseen muotoon ja ne ovat siten helpommin kohdennettavissa. Suunnitteluvaiheessa tehtäviä ovat muun muassa poikkeamatarkastelu *HAZOP* (engl. Hazard and Operability study), vikapuuanalyysi *FTA* (engl. Failure Tree Analysis), ja vika- ja vaikutusanalyysi *VVA* (engl. *FMEA*, Failure Mode and Effect Analysis). Näiden menetelmien käytön tarkoituksena on nostaa esiin haasteita asetettujen tavoitteiden ja vaatimusten täyttämisesssä. [18]

Käyttövarmuuden suunnittelun tavoitteena on estää vikojen esiintyminen tai pienentää niiden todennäköisyyttä ja minimoida vikaantumisten vaikutuksia [18]. Toimintavarmuuden suunnittelussa on tunnettava mahdollisten vikojen, myös muiden kuin käytössä ilmenneiden vikojen, syyt ja pyrittävä eliminoimaan ne. Komponentit tulee mitoittaa oikein niiden kokemaan kuormitukseen ja tavoiteltuun kestoikään nähden. Oikein laaditut tuotevaatimukset suhteessa realistiseen kuormitukseen yhdessä tuotteen oikean käytön kanssa luovat tuotteen käyttövarmuuden pohjan. Vikaantumaton

järjestelmää ei ole realistista tehdä, joten suunnittelussa onkin tärkeä ottaa huomioon todennäköisimmät vikaantumiset sekä varmistaa niiden havainnointi ja turvallinen käsittely lisävahinkojen estämiseksi. Ilmaantuvista vikaantumisista on myös kyettävä toipumaan ja käyttövarmuuden kannalta etenkin nopea vikatilanteista toipuminen on tärkeää. [1] Tästä syystä kunnossapidettävyyden suunnittelussa kiinnitetään huomiota nopeaan toimintakyvyn palauttamiseen vaarantamatta huoltohenkilöstöä ja myös ennakoivan kunnossapidon mahdollistaminen siten, että koko järjestelmän toimintaa häiritään mahdollisimman vähän. Kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuuden osalta on myös syytä miettiä kunnossapidon aiempia haasteita ja niiden juurisyitä sekä miten kunnossapitotoimia voitaisiin helpottaa ja nopeuttaa. [7]

Poikkeamatarkastelu HAZOP perustuu ohjaaviin kysymyksiin, joiden avulla tunnistetaan riskit ihmisille, laitteille, ympäristölle tai organisaation tavoitteille. Ohjaavien viitesanojen, kuten ”ei tai ei mitään” tai ”osa, osittain”, avulla tutkitaan kohteen ominaisuuksien tai toimintojen poikkeamaa määritellystä ja etsitään syitä poikkeamaan ja mahdollisia seurauksia. Poikkeamatarkastelu suoritetaan yleensä tarkemman suunnittelun vaiheessa, jolloin tarvittavien muutoksien tekeminen on vielä mahdollista. FMEA:ta käytetään tunnistamaan, miten komponentit ja järjestelmät epäonnistuvat toimintonsa suorittamisessa. FMEA:n avulla voidaan tunnistaa kaikki mahdolliset vikaantumismuodot, niiden muodostumismekanismit ja näiden vikaantumisten vaikutukset tutkittavaan järjestelmään. FMEA:ta voidaan soveltaa aina komponenttitasolta kokonaisten järjestelmien, suunnittelun ja muiden prosessien arviointiin. FMEA tarjoaa myös perustan testauksen suunnitteluun ja kunnossapidon tarpeiden arviointiin. FMEA-tarkastelussa ei kuitenkaan pystytä ottamaan huomioon toimintojen redundanssia. Vikatyypin ja vaikutusten ja kriittisyyden arviointi *FMECA* (engl. Failure Mode, Effect and Cause Analysis) on FMEA:n laajennus, jossa vikaantumismuodoista arvioidaan myös kriittisyys ja tärkeys ja vikaantumismuodot lajitellaan näiden mukaisesti. [51]

Vikapuuanalyysin avulla tunnistetaan tekijöitä, jotka myötävaikuttavat ei-toivottuihin tapahtumiin, joita kutsutaan huipputapahtumiksi (engl. top event). Vikapuuanalyysin tekemisessä lähdetään liikkeelle ei-toivotusta tapahtumasta ja määritellään tekijät joista voidaan päätyä epätoivottuun tilanteeseen. Näitä tekijöitä voivat olla laitteiden vikaantumiset tai inhimilliset virheet. Tunnistetut tekijät järjestellään ja esitetään puukaaviona, joka kuvaa eri tekijöiden suhdetta huipputapahtumaan ja toisiinsa. Vikapuuanalyysin avulla voidaan myös laskea huipputapahtuman todennäköisyys, jos siihen johtavien syiden todennäköisyys on tiedossa. Vikapuuanalyysia käytetään suunnitteluvaiheessa, mutta sitä voidaan käyttää myös käyttövaiheessa vikaantumisen analysoinnissa havainnollistamaan, miten eri tapahtumat vaikuttivat vikaantumiseen. [51]

Käyttövarmuutta ja luotettavuutta voidaan analysoida tuotetasolla myös mallintamalla toiminnallisten kokonaisuuksien luotettavuuden ja komponenttien vikaantumisten vaikutusta koko järjestelmään käyttämällä luotettavuuslohkokaaviota *RBD* (engl. Reliability Block Diagram). Luotettavuuslohkokaavio on visuaalinen menetelmä luotettavuuden arviointiin, jossa malli muodostetaan lohko- tai komponenttitason luotettavuuksista sarja- ja rinnankytkennöillä. Yksittäisten komponenttien luotettavuuksia arvioidaan jo käytössä olevien vastaavien komponenttien käytönaikaisista vikaantumistiedoista ja komponenttien toimittajien ilmoittamista luvuista. Näitä tarkennetaan tarvittaessa asiantuntija-arvioiden perusteella [7] [31]. Luotettavuuslohkokaavioiden tekemiseen on olemassa valmiita ohjelmistoja, joista esimerkkinä mainittakoon kohdeyrityksessäkin käytössä oleva *ReliaSoft*-ohjelmistopakettiin kuuluva *BlockSim* [33].

2.3.2 Käyttövarmuuden tunnusluvut

Käyttövarmuuden käsittelyssä tunnuslukujen avulla voidaan tunnistaa tuotteen kriittisiä kohteita, seurata tehtyjen suunnittelumuutosten vaikutuksia ja asettaa käyttövarmuuden vaatimuksia. Näiden tunnuslukujen tulisi olla käytössä seurannassa koko tuotteen elinkaaren ajan [1]. Tyypillisiä käyttövarmuuden tunnuslukuja ovat käytettävyys, toimintavarmuuteen liittyvät keskimääräinen toiminta-aika vikaantumisvälillä *MTBF* (engl. Mean Operating Time Between Failure) ja vikaantuneiden laitteiden osuus, kunnossapidettävyyteen liittyvät keskimääräinen korjausaika *MRT* (engl. Mean Repair Time), toipumisaika *MTTR* (engl. Mean Time To Repair) ja keskimääräiset kunnossapitotunnit. Näitä tunnuslukuja on esitetty taulukossa 3. [13] [7]

Taulukko 3 Käyttövarmuuden tunnuslukuja [13].

Tunnusluku	Kuvaus
Käytettävyys MUT MDT	Osuus ajasta, jolloin tuote on käytettävissä keskimääräinen toimintakelpoisuus aika (engl. Mean Uptime) keskimääräinen toimintakelvottomuus aika (engl. Mean Downtime)
MTBF	keskimääräinen vikaantumisväli (engl. Mean Time Between Failure) vikaantuneiden laitteiden osuus
MRT MTTR	keskimääräinen korjausaika (engl. Mean Repair Time) keskimääräinen toipumisaika (engl. Mean Time To Repair)
Elinikä Vikataajuus Luotettavuus	komponentin tai tuotteen odotettavissa oleva elinikä vikojen esiintymistiheys todennäköisyys toiminnan keskeytymättömyydelle

Käytettävyys on se osuus ajasta, jolloin tuote pystyy toteuttamaan sille asetetun tehtävän. Käytettävyys lasketaan keskimääräisen toimintakelpoisuusajan *MUT*:n ja keskimääräisen toimintakelvottomuuden *MDT*:n avulla, jolloin käytettävyyteen vaikuttaa vain aika vikaantumisesta toipumiseen. Usein esiintyvät pienet vikaantumiset, jotka kyetään kuitenkin havaitsemaan ja korjaamaan nopeasti, eivät vaikuta merkittävästi käytettävyyteen. Käytettävyys huomioi kuitenkin kaikki käyttövarmuuden osa-alueet [7]. MTBF on ajanmääre, joka kertoo puolestaan keskimääräisestä käytettävyysajasta vikaantumisten välillä [13]. MTBF:n määritelmä vaihtelee eri lähteissä, mutta siitä huolimatta se on yksi käytetyimmistä käyttövarmuuden tunnusluvuista. MRT ja MTTR ovat kunnossapidon ja kunnossapidettävyyden tunnuslukuja ja kertovat paremminkin kunnossapito-organisaation toimivuudesta kuin itse ylläpidettävästä tuotteesta. [56]

Käytettäviin tunnuslukuihin vaikuttaa myös taso, jolla tarkastelua tehdään: komponenttitasolla käytetään vikaantumistodennäköisyyksiä ja järjestelmä- ja tuotetasolla MTBF:aa, MTTR:aa ja käytettävyyttä. Käytettävyys on suhdeluku, jonka avulla kuvataan koko tuotteen tai järjestelmän toimintakelpoisen ajan suhdetta koko toiminta-aikaan [7]. Käytettävyyden laskentaa varten tarvitaan toteutuneet toimintakelpoisuus- ja toimintakelvottomuusajat. Käytettävyyteen vaikuttavat siten tuotteen toimintavarmuus, kunnossapidettävyyys ja kunnossapitovarmuus. Käytettävyyden määrittämiseksi vaaditaan siis tietoa tuotteen käytössäoloajalta: kuinka kauan tuote on ollut toimintakuntoinen ja kuinka nopeasti tuote on takaisin toimintakunnossa vikaantumisen jälkeen. [13]

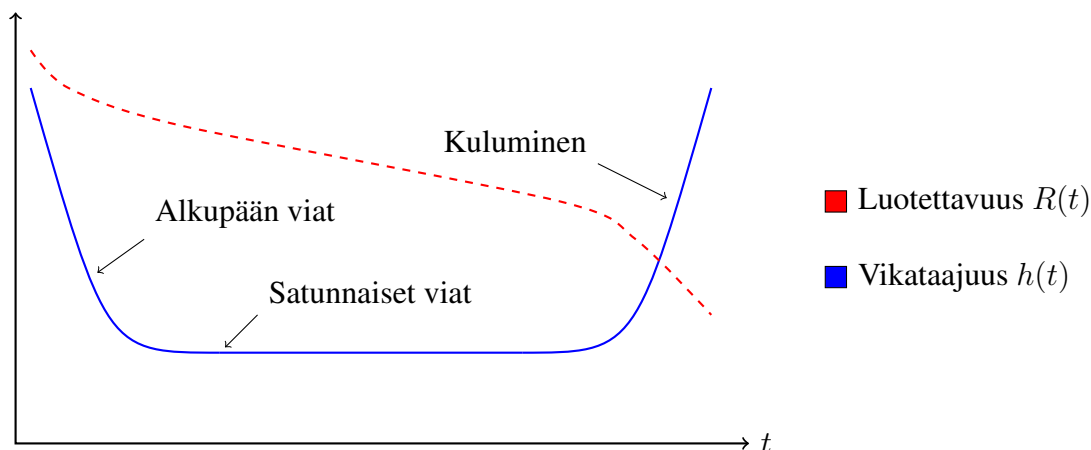
Tunnuslukuja tulisi seurata säännöllisesti käyttövaiheen aikana ja ryhtyä tilanteen korjaaviin toimenpiteisiin, mikäli tuotteelle asetut käyttövarmuustavoitteet eivät täyty. Ennen korjaavia toimenpiteitä on syytä tarkastella huolellisesti vikaantumisen juurisyytä vikataajuuden ja vikamoodin kannalta [5]. Tunnuslukujen laskennassa ja analysoinnissa tulee kuitenkin huomioida niiden pohjana olevan datan tilastollinen laatu, jotta vinoutuneen tai sensuroidun datan pohjalta ei tehdä virheellisiä johtopäätöksiä [7].

2.4 Komponenttien eliniän ja luotettavuuden määrittäminen

Korjattavissa oleva tuote koostuu komponenteista, joiden elinjakso voi olla samanmittainen tai lyhyempi kuin tuotteen. Komponentin elinikä ja sen luotettavuus kulkevat käsi kädessä ja vaikuttavat tuotteen ylläpidon suunnitteluun ja käytettävyyteen vikaantumisten välityksellä. Komponentin ollessa sopivasti mitoitettu, se kestää käytössä riittävän hyvin. Komponentin elinikään liittyy vahvasti myös luotettavuus, joka kertoo millä todennäköisyydellä komponentti kestää seuraavan käyttöjakson huoltoon saakka. Elinikä voidaan myös mieltää ajanjaksoksi, jonka ajan komponentti täyttää siltä vaaditun luotettavuuden. Vikaantuminen on järjestelmän tai komponentin kyvyttömyys hoitaa sille määriteltyä tehtävää [6].

Yksittäisten komponenttien elinikää ja toimintavarmuutta tarvitaan etenkin koko tuotteen käyttövarmuutta arvioitaessa ja tarkastellessa. Myös ylläpidon suunnittelussa ja ylläpitosuunnitelman tehokkuuden tarkastelussa ja päivittämisessä tarvitaan tietoa komponenttien oletusta eliniästä suhteessa niiden todelliseen käyttöikänsä. Komponentit kuluvat käytössä ja niissä käytettyjen materiaalien ominaisuudet heikkenevät ikääntyessään. Komponentin suorituskyvyn laskiessa alle vaaditun tason voidaan komponentin sanoa vikaantuneen ja tulleen käyttöikänsä päähän. Suunnittelussa tulee ottaa näiden ilmiöiden vaikutus huomioon jo varhaisessa vaiheessa. Jotta komponentit voidaan mitoittaa tarkoituksenmukaisesti oikein, on niihin kohdistuvien kuormituksen ja ikääntymisen vaikutuksia voitava mallintaa. [45]

Käyttötarkoitustaan vastaavaan toimintaan mitoitettujen komponenttien vikaantumistaajuuden käyttäytymistä ajan suhteen voidaan kuvata niin kutsutulla ”kylpyammekäyrällä” (engl. bathtub curve), joka on esitetty kuvassa 8. Hallitsevat vikaantumistavat elinkaaren eri vaiheissa muodostavat kylpyammeen muodon. Tämä yleistys ei välttämättä päde todellisuudessa, mutta sen on huomattu kuvaavan hyvin varsinkin sähköisten komponenttien vikaantumista. Suhteellinen vikaantumistaajuus on suurempi komponentin eliniän alussa ja lopussa. Normaalin käyttöiän keskivaiheilla vikaantumistaajuus pysyy lähes vakiona. Eliniän alun suurempi vikaantumistaajuus, joka paranee ajan kuluessa, johtuu satunnaisista materiaali-, tuotanto- ja asennusvirheistä. Eliniän keskivaiheilla satunnaisten vikojen taajuus pysyy tasaisena, mutta loppupuolella kääntyy nousuun komponenttien kulumisen myötä. [25]



Kuva 8 ”Kylpyammekäyrä”, vikaantumistaajuus ajan funktiona, perustuu lähteisiin [5] [45].

Komponenttien kestoikää voidaan kuitenkin arvioida tilastollisesti kerättyjen vikaantumistietojen avulla ja määrittää komponentin kestoille luotettavuustaso. Vaihtoehtoisesti komponentille voidaan määrittää tavoitellusta luotettavuustasosta enimmäiskäyttöikä [4]. Tulevaisuuden dynaamisessa luotettavuusdatan keräämisessä, jossa saadaan tarkempaa tietoa yksittäisten tuotteiden käytöstä ja käyttöympäristöstä, saadaan käyttöiän ennusteista paikkansapitävämpiä [11].

Vikaantumista voidaan arvioida todellisen käytön lisäksi myös testauksen avulla. Tällöin testausta suoritetaan yleensä komponenteille tai osajärjestelmille kiihdytettyjä testausjärjestelyjä hyödyntäen, jotta tuloksia saadaan nopeammin. Kiihdytetyssä testauksessa kuitenkin voi jäädä löytämättä joitakin vikamoodeja, joiden juurisyynä on valmistusmateriaalien ominaisuuksien heikkeneminen ajan myötä ja toisaalta testaus tapa voi korostaa joitain vikamoodeja. Kiihdytetyssä testauksessa haasteena on oikeiden kiihdytysmenetelmien käyttö, jolla saadaan aikaan samoja vikaantumismodeja kuin oikeissa käyttöolosuhteissa. Sopimattoman kiihdytysmenetelmän käyttö saattaa nostaa esiin vikaantumismodeja, joita normaalikäytössä ei ilmiinny lainkaan. Myös kaikkien käyttöikää rajoittavien olosuhdeyhdistelmien testaaminen kattavasti on usein aikataulullisesti mahdotonta. [25]

Tuotannossa tehtävällä kattavalla testauksella ja komponenttien tai valmiiden tuotteiden vanhennuksella saadaan karsittua nopeasti vikaantuvia heikoimpia komponentteja pois varsinaiseen käyttöön menevien tuotteiden joukosta. Vanhennus lyhentää myös varsinaiseen käyttöön menevien tuotteiden elinikää, mutta oikein suoritettuna vanhennuksen vaikutus on merkityksellinen. Vanhennusta käytetään elektroniikkakokoonpanossa, mutta esimerkiksi mekaanisten osien kattava vanhennus ei ole mielekästä [25]. Kohdeyrityksen tuotteiden kohdalla suoritetaan lyhyt testaus

kokoonpanon jälkeen kokoonpanovirheiden löytämiseksi ja toiminnan varmistamiseksi, mutta tuotteiden mekaanisen luonteen vuoksi vanhennustestaus ei ole mielekäästä.

Komponenttivalmistajan suorittaman kontrolloidun elinikätestauksen lisäksi komponenttien käyttäjä voi suorittaa eliniän arviointia. Käyttöiän ennustaminen on hankalaa ilman tietoa todellisesta käyttöasteesta ja kuormituksista. Tässä määrittämisessä käytetään kentältä käytössä olevista komponenteista saatavaa dataa, joka vastaa paremmin todellista käyttöä. Kentältä saatava data on kuitenkin sensuroitunutta: komponentteja ei pyritä käyttämään vikaantumiseen saakka, koska tämä tapahtuisi käyttövarmuuden kustannuksella. Komponenttien eliniän ja luotettavuuden arviointiin käytetään vikaantumisten tilastollista analyysia, jossa mittaustulokset sovitetaan jakaumiin [7][1][5][4]. Luotettavuusanalyysissa käytettäviä jakaumia ja niiden ominaisuuksia on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4 *Luotettavuusanalyysissa käytettäviä jakaumia ja malleja sekä niiden ominaisuuksia [5] [12].*

Jakauma/malli	Ominaisuuksia
Normaalijakauma	Yleisesti käytetty, ilmiintyy luonnossa, käytetään muun muassa mittausvirheiden arviointiin
Lognormaalijakauma	Vikaantumisaikojen logaritmit noudattavat normaalijakaumaa, malli sopii väsymisestä aiheutuvia vikaantumisten mallintamiseen
Ekspontiaalijakauma	Yksinkertainen, vakiovikataajuus, yleisesti käytetty, unoh-tamisominaisuus
Weibull-jakauma	Käytetään useiden kilpailevien vikatyypin mallintamisessa, monipuolinen: sovellettavissa monien eri vikaantumistyypin mallintamiseen
Weibull-malli	Käytetään yleisesti komponenttien elinikämallinnuksessa, mahdollistaa paranevan ja huononevan komponentin mallintamisen
Weibull-prosessi	Useiden weibull-jakaumien käyttö kuvaamaan paremmin käyttäytymistä
Epähomogeeninen Poisson-prosessi	Peräkkäisten, toisistaan riippumattomien tapahtumien mallintaminen

Komponenttien vikaantumisdatasta muodostetaan parhaiten sopiva tai käyttötarkoituksen perusteella valittu jakauma tai malli ja etsitään sen muotoa kuvaavat parametrit. Valittavaan malliin vaikuttaa eniten ongelma tai asia, jota ollaan ratkaisemassa tai selvittämässä. Myös saatavilla oleva data vaikuttaa käytettävän mallin valintaan ja mallin

parametrien arviointiin [6]. Ajan suhteen hyvin eri tavalla käyttäytyvää vikaantumista ei voida mallintaa yksinkertaisilla jakaumamalleilla, vaan tällaisten järjestelmien analysointiin soveltuu paremmin stokastisiin prosesseihin perustuvat mallit, jotka ottavat huomioon vikaantumiskäyttäytymisessä tapahtuvat muutokset. Weibull-prosessi ja epähomogeeninen Poisson-prosessi ovat esimerkkejä nämä muutokset huomioonottavista malleista. [4]

Parametrien arvot määritellään laskennallisesti tähän soveltuville laskentaohjelmilla, joita ovat erityisesti vikaantumisten analysointiin ja käyttövarmuuden määrittämiseen käytetyt ohjelmistot, kuten Reliasoft-ohjelmistopakettin *Weibull++*. Näillä muodostetuilla muutamalla parametrilla on yksinkertaista käsitellä isoa järjestelmää ja sen toimintavarmuutta suuren datamäärän sijaan. [31].

Tilastollisten jakaumien parametrien arvioinnissa tulee ottaa huomioon myös luottamustaso, jotta jakaumamallien tuloksia voidaan hyödyntää. [12] Perinteisesti käytetty jakauma käyttövarmuuslaskennassa on ollut eksponentiaalijakauma sen yksinkertaisuuden vuoksi. Weibull-jakauma on toinen yleisesti käytetty malli sen monipuolisuuden vuoksi, sillä se taipuu hyvin erilaisten asioiden mallintamiseen [4]. Sovitettaessa dataa Weibull-malliin estimoidaan tilastoivalle osalle kaksi parametria: karakteristinen elinikä η ja muotoparametri β . Kolme-parametrisessä muodossa mukaan tulee myös viaton aika γ , joka siirtää jakaumaa aika-akselilla eteenpäin [16]. Karakteristinen ikä parametrina kuvaa tilannetta, jolloin 63,2 prosentin osuus mallinnettavasta populaatiosta on vikaantunut. Weibull-mallin muotokerroin vaikuttaa vikataajuuden muotoon. Sen avulla voidaan kuvata laskevaa, nousevaa tai vakiona pysyvää vikaantumistiheyttä. Kun parametri $\beta = 1$, vikaantumistiheys pysyy vakiona ja tällöin Weibullin jakauma muistuttaa eksponentiaalista jakaumaa. [25] [31]

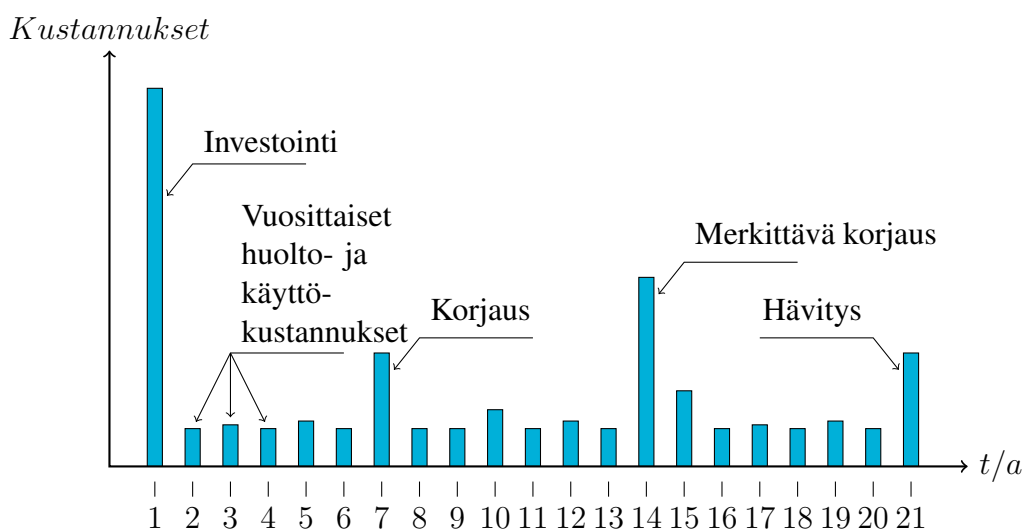
Luotettavuusmallin valinnan ja parametrien muodostamisen jälkeen on tärkeää validoida mallin toimivuus ja käyttökelpoisuus suunniteltuun käyttötarkoitukseen. Validointiin tarvitaan tietoja, joita ei ole käytetty mallin parametrien muodostamisessa. Käytettävissä olevan tiedon määrän ollessa vähäinen ei validointia pystytä suorittamaan kunnolla [31].

Tieto luotettavuuteen vaikuttavista tekijöistä vähentää riskiä tuotantokustannusten nousemisesta tehtäessä tuote liian kestäväksi. Järjestelmätason testausta on tarpeen suorittaa, jotta saadaan määritettyä koko tuotteen luotettavuus, mahdolliset komponenttien vuorovaikutuksesta johtuvat asiat ja tunnistetaan suunnittelun heikoimmat lenkit. Esimerkiksi taajuusmuuttajaa voidaan käyttää alentamaan sähkömoottorin mekaanista kuormitusta ja täten parantaa järjestelmän kokonaisluotettavuutta [25]. Komponentin vioittumismalli yhdessä jatkuvien mittausten kanssa mahdollistaa prognoosien eli jäljellä olevan eliniän ennusteen tekemisen [45]. Komponentilta vaadittavaa elinikää tulisi kuitenkin lähteä tarkastelemaan suunnittelussa

ensisijaisesti tuotteen ja sille asetettujen vaatimusten ja niiden allokoinnin kautta [1].

2.5 Elinkaarikustannuslaskenta

Elinkaaren hallinnassa yhtenä työkaluna on elinkaarikustannuslaskenta, jonka avulla voidaan arvioida tuotteiden ja palveluiden tulevia kustannuksia ja vertailla eri vaihtoehtojen kustannustehokkuutta, eritoten pitkällä aikavälillä. Elinkustannusten ajallista jakautumista ja kertymistä on havainnollistettu kuvassa 9. Tuotteen käytöstä ja ylläpidosta aiheutuvat kustannukset voivat muodostua suuremmiksi kuin mitä tuotteen hankintahinta on. Tästä syystä elinkaarikustannuslaskelmien avulla voidaan vertailla investointien todellisia kustannuksia pelkän hankintakustannuksen sijaan. [54]



Kuva 9 Esimerkki tuoteyksilön elinkaarikustannusten jakautuminen ajallisesti [35].

Elinkaarikustannuslaskemat ja niistä tehtävät analyysit tuottavat kvantitatiivista, numeerista tietoa. Tämän jalostetun tiedon käyttökelpoisuuteen vaikuttaa laskelmien epävarmuus, joka muodostuu laskennalle syötetyn tiedon epätarkkuudesta ja epävarmuudesta. Elinkaarikustannusanalyysi kannattaa kuitenkin useimmissa päätöksentekotilanteissa, koska arvioitukin laskelma antaa paremman kuvan kokonaiskustannusvaikutuksista kuin vain hankintahinnan vertailu. Elinkaaritietoisuuden lisääntyessä asiakkaiden vaatimukset ovat lisääntyneet luotettavuuden osalta ja asiakkaat osaavat myös vaatia osoitusta tuotteiden todellisesta käyttövarmuudesta elinkaaren aikaisten kustannusten hallitsemiseksi. [54]

2.5.1 Käyttötarkoitus ja rajoitteet

Elinkaarikustannuslaskelman tekeminen on tärkeä osa tuoteprojektin alkuvaiheessa kannattavuuslaskelmana. Sitä käytetään suunnittelunohjauksessa toteutusvaihtoehtojen

vertailussa ja arvioinnissa. Tehtyjä laskelmia tarkennetaan elinkaaren edetessä tiedon ja sen varmuuden lisääntyessä. Toteutuneista kustannuksista tehtäviä laskelmia käytetään palautteena alkupäässä tehtävien ennusteiden korjaamiseen ja parantamiseen. Elinkaarikustannuslaskelmaa voidaan käyttää myös loppukäyttäjän elinkaariarvon varmistamiseen projektinohjauksessa ja arvon muodostumisen osoittamiseen käyttövaiheessa. [29]

Loppukäyttäjän kokema elinkaariarvo muodostuu koko elinkaaren ajalta, jo heti ideoinnista suunnittelu-, toimitus- ja käyttövaiheiden myötä. Asiakasarvon tuottamiseen liittyviä ratkaisuja tehdään jo varhaisessa vaiheessa [29]. Loppukäyttäjä hyötyy suunnitteluvaiheessa tehtävistä panostuksista, joiden tarjoamat ratkaisut pienentävät ylläpito- ja korjauskustannuksia ja käyttökeskeytyksiä. Painotus alkupään panostuksen ja käyttövaiheen kustannusten välillä tuotteen alkupäässä on osittain riippuvainen tuotteen loppukäyttäjän yrityksen toiminnan luonteesta ja laadusta. Toimittajan on tärkeää pitää huolta myös itselleen kertyvästä elinkaariarvosta. [29]

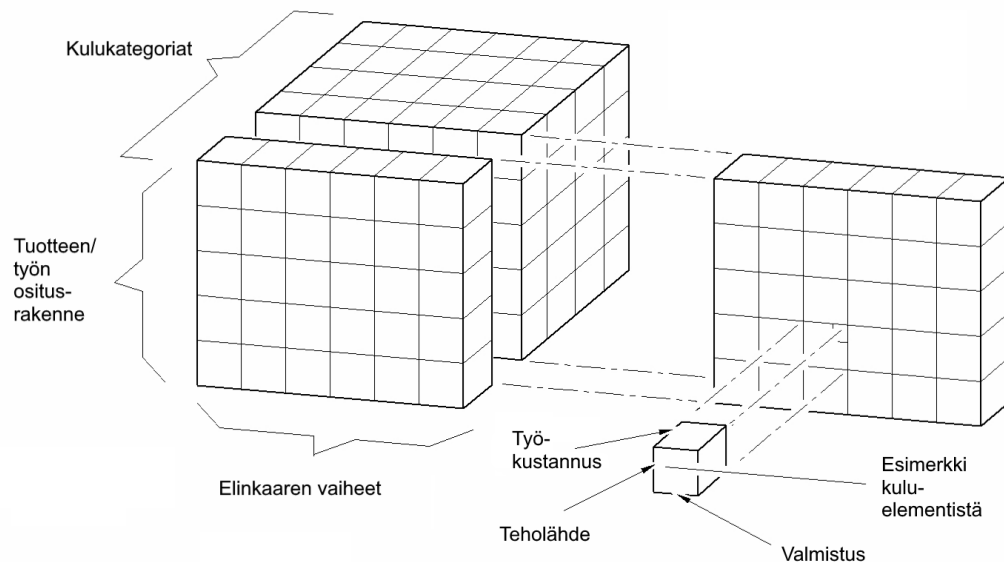
Tehtäessä elinkaarikustannuslaskenta asiakkaan näkökulmasta voidaan sen avulla myös näyttää toteen potentiaalisille tuleville asiakkaille tuotteen käyttökustannusten vaikutuksen investoinnin kokonaiskuluihin. Elinkaarikustannuslaskennan tekeminen antaa valmistajan lisäksi asiakkaalle ja loppukäyttäjälle hyvän pohjan hankintojen vertailuun. Tällaisten laskelmien esittäminen esimerkiksi markkinointitilanteessa antaa positiivisen mielikuvan, että toimittaja on panostanut tuotteensa elinkaareen ja miettinyt osaltaan asiakkaan kokeman arvon ja kustannusten muodostumista eikä ole keskittynyt tavoittelemaan vain omaa etuaan. [29]

2.5.2 Laskentaan tarvittavat tiedot

Kustannuslaskelman käyttötarkoitus vaikuttaa sen laajuuteen ja sisältöön. Elinkaarikustannusten laskennassa voidaan keskittyä vain syntyviin kustannuksiin, mutta kattavassa analyysissä on syytä ottaa myös saatavat tuotot huomioon. Tuotot voivat olla tuotteen korkeasta käytettävyydestä syntyviä tuottoja tai vähentyneitä kuluja, esimerkiksi käyttöenergian säästöstä. [54]

Elinjaksokustannuslaskelma vaatii tietoa eri vaiheiden kustannuksista ja myös niiden ajallisesta kohdistumisesta. Projektin kustannusten arvioinnissa on hyvä käyttää suunnittelijoiden ja oston kokemusta aikaisemmista projekteista esimerkiksi merkittävien komponenttien kustannusten arvioinnissa. Pienten kappaletavaroiden, joita on käytetty laajasti muissakin projekteissa, kustannus on luotettavimmin arvioitavissa oston järjestelmistä saatavilla tiedoilla. Elinkaaren aikaisiin tapahtumiin kuten huolto- ja korjaustoimiin liittyvät kustannukset ovat yleensä hyvin saatavilla myynti- ja työtilausjärjestelmistä. [54]

Elinkaarikustannuslaskennassa kulut voidaan esittää kuvan 10 kaltaisena matriisina, jossa kulut on jaoteltu tuotteen tai työn osille kulukategorioittain elinkaaren eri vaiheille. Kuvassa on esimerkkinä esitetty yksi kuluelementti, jonka särmä/taho edustavat vielä tarkempaa analyysitasoa [20].



Kuva 10 Elinkaarikustannusten jako tekijöihin tuotteen/työn osille, kulukategorioittain ja elinkaaren vaiheille, muokattu lähteestä [20].

Haluttu kulurakenteen tarkastelusyvyys riippuu laskennan käyttötarkoituksesta. Tarkan laskelman tekeminen vie enemmän aikaa ja käsin tehtäessä virheiden mahdollisuus kasvaa työmäärän kasvaessa. Jo valmiina olevan tiedon käyttö, kuten valmistusvaiheen osaluetteloiden ja työnositusten käyttö vähentäisi virheiden määrää. Samoin näille kohdistuvien kustannusten automaattinen haku olisi suotavaa. Toimitetun ja käyttövaiheessa olevan tuoteyksikön huoltosuunnitelma on käytettävissä ja myös toteutuneiden huoltokäyntien kattavat tiedot ovat saatavilla kohdeyrityksen järjestelmistä projektikohtaista seuranta varten. [54]

Käytettäessä elinkaarikustannuslaskentaa eri vaihtoehtojen vertailuun ei elinkaarilaskelmaan tarvitse sisällyttää kuin ne kuluelementit, joihin eri vaihtoehdot vaikuttavat [20]. Hyvin tarkassa analyysissä alimpana tasona on järkevintä käyttää alinta huollettavissa tai vaihdettavissa olevaa komponenttia *LRU* (engl. Lowest Repairable Unit). Elinkaaren aikaisia kustannuksia on esitetty taulukossa 5 ja tuotteita taulukossa 6. Kustannusten laskennan tarkentamiseksi vaaditaan loppukäyttäjältä tietoa tuotteen käyttöympäristöstä, jotta esimerkiksi käyttöenergian hinnan ja keskeytyksistä aiheutuvan tuotannonmenetyksen vaikutukset laskelmaan voidaan ottaa huomioon. [54]

Taulukko 5 Elinkaaren aikaisia kustannuksia [54] [1].

Hankintakustannukset
Kuljetus- ja asennuskustannukset
Käytöstä aiheutuvat kustannukset (käyttöenergia)
Ehkäisevä ja korjaava kunnossapito
Varaosien hankinta ja varastointi
Epäkäytettävyyden aiheuttamat tuotannon menetykset
Käytöstä poistaminen

Taulukko 6 Elinkaaren aikaisia tuottoja [54] [1].

Vuotuinen tuotto tuotteen käytöstä
Käytön keskeytymättömyys
Ennakoimattomien keskeytysten vähentyminen
Vähentynyt kunnossapitotarve
Vähentynyt työvoiman tarve
Varaosamenekin pieneneminen
Varaosavaraston pienentäminen
Jäännösarvo poistettaessa käytöstä

Mallipohjaista elinkaarikustannuslaskelmaa varten tarvitaan lisäksi tietoa tuotteen ja sen komponenttien vikaantumistodennäköisyyksistä ja eri vikaantumisista aiheutuvista seurauksista ja niiden kustannuksista. Näiden tietojen avulla voidaan simuloida tuotteen kustannusten käyttäymistä ja samalla arvioida eri vikatyypin ja -kohteiden vaikutusta kustannuksiin herkkyyksianalyysin avulla helposti. [54] [1]

2.5.3 Laskenta

Elinkaarikustannuksien laskennassa yksinkertaisin lähestymistapa on laskea yhteen kaikki kulut tarkasteltavalta ajanjaksolta kulu- ja työerittelyistä. Tämä luontainen lähestymistapa, jossa ynnätään aiemmin esitetyn kuvan 10 kustannuselementit yhtälön 1 mukaisesti elinkaarikustannukseksi *LCC* (engl. Life Cycle Cost).

$$LCC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l C_{ijk} \quad (1)$$

jossa *C* on on kohdistuva kustannus, *i* on elinkaaren vaihe, *j* työn erittelyrakenne ja *k*

kulukategoria. Elinkaarikustannusten ajoittumisen tarkastelussa aiemmin esitetyn kuvan 9 mukainen sijoittelu auttaa hahmottamaan kulujen kertymistä. [28]

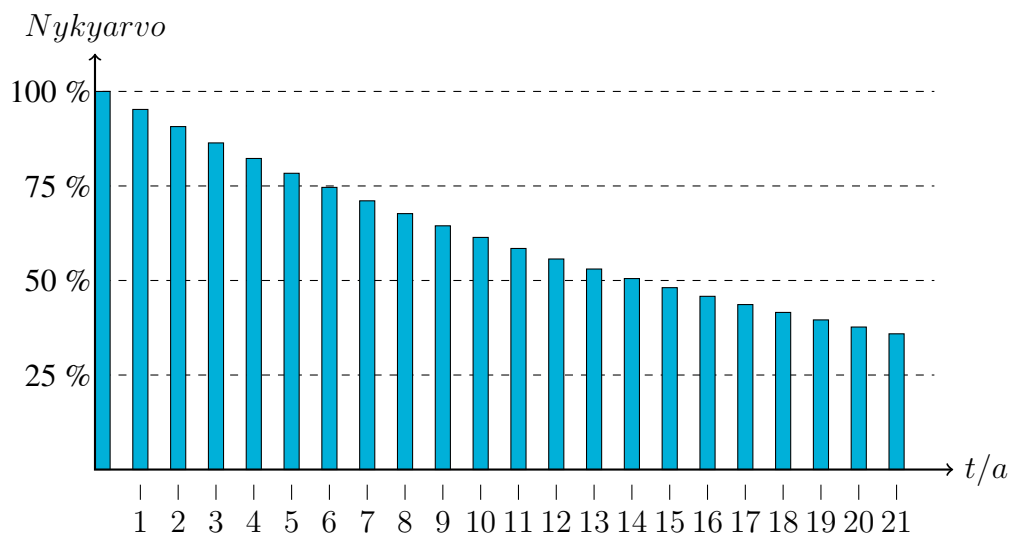
Yksinkertaisimmassa muodossaan tuotteen elinkaarikustannukseksi tuottajan kannalta saadaan

$$LCC = \text{Suunnittelukustannukset} + \text{valmistuskustannukset} + \text{takuu-kustannukset} + \text{yleiskustannukset} \quad (2)$$

Kustannusten ja tuottojen nykyarvo, NPV (Net Present Value), toimii kvantitatiivisena arviona erilaisia toteutusvaihtoehtoja tarkasteltaessa. Nykyarvon laskentaan vaikuttaa olennaisesti miten suhtaudutaan rahan aika-arvoon TVM (Time Value of Money). Rahan aika-arvon laskenta perustuu siihen oletukseen, että myöhemmin sijoitettava raha olisi käytettävissä muuhun lisäarvoa tuottavaan sijoitukseen. Kustannusten nykyarvon laskentaan käytetään diskonttausta. Diskonttauksessa käytettävän korkokannan suuruus vaihtelee yritysten mukaan, mutta yleisesti käytetään yleensä yrityksen omasta toiminnasta arvioitua korkokantaa. Nykyarvon diskonttaus on esitetty yhtälössä 3. [31]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

jossa C käytetty raha, t on rahan käyttöhetki, ja r on laskennassa käytetty korkokanta desimaalimuodossa. Kuvassa 11 on esitetty diskonttauksen vaikutus rahan arvoon.



Kuva 11 Nykyarvon käyttäytyminen ajan funktiona, korkokantana 5 %.

Esimerkiksi kuuden vuoden päästä tehtävä 100 hintayksikön investoinnin nykyarvo on alle 75 hintayksikköä. Vastaavasti tulevaisuudessa saatavien tuottojen arvo laskee mitä kauempana tulevaisuudessa tuotto saadaan. Yhdistämällä diskonttaus elinkaarikustannuksiin saadaan elinkaarikustannuslaskelma, joka ottaa huomioon rahan aika-arvon ja antaa näin todenmukaisemman arvon eri vaihtoehtojen kokonaiskustannusten vertailuun. [54]

Elinkaarikustannuslaskelmaa varten voidaan myös hyödyntää vikaantumis- ja kunnossapitotarvemalleja, jos sellaisia on käytettävissä. Elinkaarikustannuslaskelma, joka huomioi komponenttien vikaantumiset, voidaan suorittaa simulaation avulla, kun tuotejärjestelmä ja sen komponenttien vikaantumiset ja niistä aiheutuvat kustannukset on mallinnettu ja malleille on asetettu parametrit käyttöä vastaavasti. Nopea tapa tehdä tällaista simulaatiota on käyttää tarkoitukseen soveltuvaa ohjelmistoa, kuten ReliaSoft-ohjelmistoa. Peruseriaate ohjelmistojen käytössä on, että komponenttien vikaantumistodennäköisyysjakaumat ovat selvitetty ja järjestelmän kustannukset mallinnettu. Näiden tietojen pohjalta ajetaan simulaatiokierroksia, joissa komponenttien vikaantumiset ovat satunnaisia, mutta niiden vikaantumisaika noudattaa niille määritettyä jakaumaa. Mallin pohjalta muodostetusta käyttövarmuudesta saadaan laskettua keskeytyksistä aiheutuvat kustannukset sekä ylläpito- ja korjauskustannukset mallille syötetyn datan pohjalta. [33]

Reliasoftin kaltaisten valmiiden ohjelmistokokonaisuuksien käytön etuna on, että tietoja ei tarvitse erikseen siirtää ohjelmistojen välillä, vaan niitä voidaan käsitellä kulloinkin sopivinta työkalua käyttämällä. Tällöin käytettävissä on myös ajantasaisinta tietoa tuotteiden ja niiden komponenttien käyttäytymisestä. Näissä ohjelmistoissa on käytettävissä valmiiksi toteutettuna monia analysointityökaluja muun muassa herkkyysohjelmistojen suorittamiseen. [33]

2.5.4 Laskelmien soveltaminen ja käyttö

Elinjaksokustannuslaskelmat eivät ole vain työkalu tuotteen alkupäässä tapahtuvaan vaihtoehtojen vertailuun vaan laskelmia kannattaa tehdä pitkin tuotteen elinkaarta. Tällöin on mahdollista saada palautetta laskelman tekemiseen toteutuneiden kustannusten kautta. Käytettäessä elinkaarikustannusta osana päätöksentekoa, on hyvä pitää mielessä, että elinkaarikustannuslaskelma antaa suuntaa-antavan ennusteen, joka on korkeintaan yhtä hyvä kuin ennusteeseen syötettävät lähtöarvot. Laskelman rajoituksista huolimatta se on kuitenkin hyvä apuväline eri vaihtoehtojen vertailussa ottaen huomioon koko tuotteen tai ratkaisun eliniän. [10]

Elinkaarikustannuslaskelmia tulisi tehdä jo projektien alkuvaiheessa, jolloin mahdollisuus vaikuttaa tuleviin kustannuksiin on suurimmillaan [20]. Alkupäässä

tehtävillä laskelmissa on aina epävarmuutta. Erilaisten epävarmuustekijöiden vaikutusta voidaan arvioida herkkyysanalyysin avulla. Herkkyysanalyysillä selvitetään epävarmojen tekijöiden vaihtelun vaikutusta ja osuutta koko laskelman epävarmuuteen. Näin tunnistettuja tekijöitä voidaan analysoida edelleen laskelmien tarkentamiseksi. Laskelmia varten tehtyjen oletusten tarkentuva ja jäljitettävissä oleva tarkastelu projektin edetessä on tärkeää laskelmien virheellisen tulkinnan estämiseksi. Projektin edetessä ja käytettävissä olevan tiedon varmentuessa voidaan herkkyystarkastelua karsia vastaavasti. [20]

Elinkaarikustannusten laskentaan, kuten muuhunkin ennustamiseen, liittyy epävarmuustekijöitä. Analysoimalla näitä tekijöitä tarkemmin saadaan myös elinkaarikustannusennustetta tarkennettua. Elinkaarikustannusten seuranta tuotteen käyttöään edetessä tuottaa tietoa siitä, miten tuotteen käyttökustannukset käyttäytyvät todellisessa ympäristössä. Toimittajalle tämä kerätty tieto mahdollistaa käyttökustannuksien ennustumallin varmentamisen ja tarvittaessa sen muokkaamisen. Elinkaarikustannukset voivat kuitenkin poiketa ennustetusta ulkoisten tekijöiden, kuten energian hinnan, muuttuessa. Näiden muutoksien vaikutuksia ennustukseen voidaan arvioida etukäteen herkkyysanalyysillä, minkä avulla tarkastellaan elinkaarikustannusten muuttumista yhtä ennusteparametriä muuttamalla. [20]

Tuotteiden seurannassa yhtenä osa-alueena on myös elinkaaren aikaisten kustannusten seuranta. Seuranta on olennaista, jotta voidaan todeta aiempin laskelmien paikkansapitävyys ja tarvittaessa reagoida ilmeneviin poikkeamiin tilanteen korjaamiseksi ja ottaa opiksi seuraaviin projekteihin. [20]

3. ONGELMANASETTELU JA LÄHTÖKOHDAT

Tällä hetkellä kohdeyrityksen suunnittelu toimii yleisten suunnitteluperiaatteiden mukaisesti ja luokituslaitosten antamien sääntöjen puitteissa [36]. Tuotesuunnittelulla on käytössään myös kokemusperäistä tietoa aiempien ratkaisujen toimivuudesta ja niissä havaituista haasteista. Kohdeyritys on suunnitteluun keskittyttyään ulkoistanut tuotteissa käytettävien komponenttien valmistuksen, mutta on pitänyt kuitenkin tuotteiden kokoonpanon itsellään. Tuotteiden kokoonpanossa on myös mahdollista tehdä pieniä muutostöitä tarpeen vaatiessa. [37]

Tuotteissa vikaantuneita komponentteja ja vikaantumisten vaikutuksia ei tilastoida tällä hetkellä kattavasti. Tuotteissa ilmenevät suurimmat ongelmatilanteet ratkaistaan nopeasti asiakastyytyväisyyden takaamiseksi. Kohdeyrityksen tavoitteena on entistä paremmat tuotteet tulevaisuudessa. Vikojen tilastoiminen ja analysointi nähdään mahdollisuutena ja yhtenä työkaluna tämän tavoitteen saavuttamisessa [37]. Kohdeyrityksessä on otettu käyttöön probabilistista suunnittelua, jossa kappaleiden kestävyys ja kuormituksen jakaumamallien avulla päätellään optimaalinen mitoitus mekaanisille rakenteille. Optimaalinen mitoitus tässä yhteydessä tarkoittaa rakennetta, joka täyttää sille asetetut lujuus- ja käyttövarmuusvaatimukset kustannustehokkaasti. [24]

Kohdeyrityksellä on konsernitasolla luotuja prosesseja, joita pyritään täyttämään päivittäisessä työntöössä. Kuitenkin alunperin toisenlaiseen projektiympäristöön suunnitellut prosessit eivät istu saumattomasti kohdeyrityksen tekemiseen. Suunnittelun osalta näitä prosesseja on jo alettu uudistamaan paremmin kohdeyrityksen käyttöön sopiviksi [38]. Turhien prosessien ja prosessivaiheiden, joissa ei luoda uutta tietoa tai muokata sitä käytettävämpään muotoon, poisjättäminen on perusteltua. Poisjätettävien vaiheiden arviointi tulee kuitenkin käydä läpi kokonaisvaltaisesti toiminnan kannalta. Tästä syystä avoimuus ja toiminnan läpinäkyvyys osastorajojen yli on suotavaa, jotta isompi kokonaisuus olisi kaikkien ymmärrettävissä. Tämä auttaisi kehittämään yhteistyötä yli osastorajojen ja ylläpitämään tekijöiden oman työn tärkeyttä ja mielekkyyttä kokonaisuuden kannalta.

3.1 Yrityksen nykyinen elinkaarenhallinta

Tällä hetkellä yrityksen tuotteiden hallinta keskittyy elinkaaren alkupäähän. Tuotehallinta on keskittynyt tuotteen elinkaaren alkupäähän tuotteen valmistukseen ja asiakkaalle toimittamiseen asti ja tämän jälkeen vastuu siirtyy huolto-organisaatiolle. Tästä syystä tuotteen valmistusdokumentaatio on järjestetty hyvin ja valmistukseen tarvittava tieto on helposti saatavilla. Tuotteiden muokkaaminen tilauskohtaisesti asiakkaan toiveiden mukaiseksi on asettanut kuitenkin haasteita tiedon ylläpidolle. Monissa tuoteyksilöissä käytetään samoja ratkaisuja kuin aiemmin valmistetuissa yksilöissä. Tuotekokoonpanojen variaatioita on kuitenkin lukuisia ja esimerkiksi yhteen osakokoonpanoon tehtävän muutoksen vaikutukset muualle kaikkissa näissä variaatioissa vaatii runsaasti selvittämistä. Saatavilla oleva tieto on kuitenkin mahdollisesti epätäydellistä ja voi sisältää virheitä johtuen käsin tehtävästä muokkauksesta. [37]

Yrityksellä on myös tuotteiden huolto- ja ylläpitopalveluita tarjoava liiketoimintayksikkö. Kunnossapitoyksikkö vastaa tuotteen käyttöönoton jälkeisestä tiedon ylläpitämisestä. Tuotteisiin käyttövaiheessa tehtävät muutokset kirjataan piirustuksiin, mutta eivät välttämättä kulje suunnitteluosaston kautta. Kunnossapitoyksikön suorittaessa tuotteiden huoltoa kirjataan tehdyt toimet huoltoreportille. Tuotteen loppukäyttäjät saavat kuitenkin toteuttaa tuotteiden kunnossapidon parhaaksi katsomallaan tavalla, esimerkiksi omalla tai kolmannen tahon kunnossapito-organisaation avulla. Tämä aiheuttaa haasteensa olemassa olevan tiedon ylläpidolle. Kiinteällä yhteistyöllä tuotteiden loppukäyttäjien kanssa saadaan tällaisessakin tilanteessa pidettyä kohdeyrityksen tiedot ajantasalla tuotetuen helpottamiseksi. [35]

Kohdeyrityksen huolto- ja kunnossapitoyksikkö toimii kuitenkin omana tulosityksikkönään, mikä osaltaan ohjaa sen toimintatapoja. Omana itsenäisenä yksikkönään sen on saatava liikevaihtoa ja tuotettava voittoa. Enemmän huoltoa vaativina tuotteet tuovat huollolle enemmän liikevaihtoa. Tuotteiden pidemmät huoltovälit pienentävät siten huolto-organisaation liiketoimintamahdollisuuksia. Kohdeyrityksessä kuitenkin pyritään parhaillaan yhtenäistämään eri yksiköiden ja toimipisteiden liiketoiminnan tavoitteita tukemaan koko yrityksen toimintaa. [35]

3.1.1 Tuotteen ja komponenttien elinkaarihallinta

Aiemmin kohdeyrityksessä käyttövarmuudelle ei ole määritetty tunnuslukuja ja niiden sallittuja raja-arvoja ollenkaan. Tuotteiden käyttövarmuudelle ei ole asettu suoria vaatimuksia tai määritetty raja-arvoja vaan suunnittelua on tehty luokituslaitosten

sääntöjen mukaisesti ja yleisten mitoitusteorioiden mukaisesti. Probabilistisen suunnittelun käyttöönoton myötä tähän asiaan on kuitenkin tullut muutos ja nykyään tuotteille on määritetty vaatimuksia myös käyttövarmuuden osalta [36]. Tuotteen elinkaaren hallinnassa tulee pyrkiä varmistamaan tuotteen vaatimustenmukaisuus myös tulevaisuudessa. Tätä varten on varmistettava tuotteen toimivuus käytössä ja varaosien saatavuus myös tulevaisuudessa. Alati muuttuva lainsäädäntö asettaa omia haasteitaan tulevaisuuteen varauduttaessa. [3]

Kohdeyrityksessä käyttöönotettua probabilistista mitoitusta käytetään mekaanisten komponenttien suunnittelussa ja sitä ollaan ottamassa käyttöön laajemmin. Probabilistisessa eli todennäköisyysmalliin pohjautuvassa mitoituksessa otetaan huomioon komponenttien vikaantumisen todennäköisyyden jakauma suhteessa kuormitukseen. Kriittisten osien mitoituksessa on kuitenkin aina noudatettava luokituslaitosten antamia määräyksiä. Luokituslaitosten antamat määräykset pohjautuvat käytännön kokemuksiin materiaaleille, rakenteille ja komponenteille toimintaympäristössään. Luokitusvaatimusten laatimisessa on käytetty varmuuskertoimia, joiden avulla varmistetaan tuotteen kestävyys valmistajasta ja materiaalitoimittajasta huolimatta luokitusvaatimusten mukaisessa kuormituksessa [36].

Käyttövarmuus on näkyvin osa asiakkaan kokemasta tuotteen laadukkuudesta. Tuotteiden korkea käyttövarmuus osoittaa asiakkaalle yrityksen kykyä ja osaamista tuotteiden elinkaaren hallintaan. Käyttövarmuuden rinnalla ovat myös vaatimukset turvallisuudesta ja turvallisesta käytöstä. Tuote ei saa vikaantua käytössä siten, että se aiheuttaisi vaaratilanteen. Koska kohdeyrityksen tuotteet ovat osa isompaa järjestelmää, tulisi käyttövarmuusvaatimukset määrittellä ylemmän tason vaatimusten allokoinnin mukaisesti. Kohdeyritys vastaa siten osaltaan omien tuotteidensa käyttövarmuusvaatimusten täyttymisestä. Tarvittavia tietoja käyttövarmuuden määrittämiseksi käytössä olevasta laitekannasta ei kerätä riittävän kattavasti. Näitä tietoja tulisi alkaa kerätä, jotta käytössä olevien tuotteiden käyttövarmuuden nykytaso voidaan määrittää. [7]

Loppuasiakkaalla on täysi vastuu tuotteesta takuuajan päätyttyä, mutta imagosyistä hyvätahdon eleenä ja säilyäkseen loppuasiakkaiden hyväksytyjen toimittajien listalla kohdeyritys on korvannut joidenkin kestoprojektien rikkoutumisia. Nämä kulut on kuitenkin laskutettu toimitusprojektin takuuvarauksesta, vaikka tällainen takuun ulkopuolinen hyvän tahdon ele sopisi paremmin markkinointikustannukseksi [37]. Tällaisten suurten kulujen ennustaminen on hankalaa ja niiden välttämiseksi tuotteita ja niiden käyttöä ja ylläpitoa voidaan seurata nykyistä enemmän. Tämä voidaan tehdä automaattista seurantaa kehittämällä tai yhteistyössä tuotteen loppukäyttäjän kanssa. Tällöin voidaan osoittaa tuotteen suorituskyvyn ylittäminen tai ohjeistuksen vastainen

käyttö, jolloin tapahtuma on loppukäyttäjän vastuulla. Toisaalta seuranta toimii myös loppukäyttäjän eduksi silloin, kun tuotetta on käytetty oikein.

Huoltosuunnitelmia tehdään tuotesuunnittelun tekemien mitoitusten ja ohjeistuksen ja luokkavaatimusten mukaisesti. Huoltohenkilöstölle on kuitenkin muodostunut vahva näkemys siitä, mitä tuotteiden osia on syytä huoltaa jokaisen huoltokäynnin ohessa [35]. Nämä kokemukseen pohjautuvat toimenpiteet ovat perusteltavissa samankaltaisille tuotteille, joista kokemus on saatu. Uudempien tuotteiden ja niiden uusien komponenttien myötä sama kokemus ei ole sovellettavissa ilman asianmukaista tietoa. Esimerkiksi komponentin aiemmalle versiolle soveltuva työtapo voi olla vahingoittaa komponentin uutta versiota. Aiempaan kokemukseen pohjautuvista tiedoista tulee saada kirjattua ylös tietoa myös ”varmuuden vuoksi” vaihdetun komponentin kunnosta ja kulumisasteesta. Näiden tietojen avulla saadaan kuvaa komponentin kulumisesta ja ne ovat olennaista tietoa vikaantumismallinnuksen kannalta. Ilman näitä tietoja komponenttien kestoian arviot ja mallinnus perustuu vain vikaantuneiden yksilöiden tietoihin, mikä voi johtaa tarpeettoman hyvien komponenttien määrittelyyn tai tarvittavaa lyhyempiin huoltoväleihin ja täten kustannustehottomuuteen ylläpidossa. [56]

Loppukäyttäjälle myytävän huoltopalvelun neuvotteluissa on käytetty hyväksi huoltoon tarvittavien varaosien elinkaarikustannuslaskelmia. Näiden kustannuslaskelmien muodostamisessa on käytetty olemassaolevia tuotteiden huoltosuunnitelmia ja huolto-organisaation asiantuntija-arvioita tarvittavista ylläpitotoimista elinkaaren aikana. Loppukäyttäjät ovat olleet mielissään näistä esitetyistä, hyvinkin karkeista ylläpitohuollon kustannuslaskelmista. Näissä laskelmissa ei ole kuitenkaan esitetty mahdollisia vikaantumisia ja näistä aiheutuvia kustannuksia, koska oletusarvoisesti tuote on suunniteltu ja rakennettu kestäväksi käytön rasitukset oikein ylläpidettynä. [35]

Sisäiset ja asiakkaan havaitsemat laatupoikkeamat kirjataan ylös omiin järjestelmiinsä, joista on kerrottu tarkemmin kappaleessa 3.2. Nämä järjestelmät on tarkoitettu ongelmien kirjaamista, selvittämistä ja raportointia varten, mutta varsinkin loppuasiakkaan havaitsemat ongelmatilanteet pyritään ratkaisemaan nopealla aikataululla. Ongelmatilanteiden selvittämisessä ja ratkaisemisessa käytetään kuitenkin usein sähköpostia sen nopean tavoitavuuden takia. Tapahtumat kuitenkin kirjataan järjestelmään, mutta tietoja päivitetään yleensä vasta tilanteen ratkettua. [39] Kentällä tapahtuviin kalliisiin vikaantumisiin reagoidaan kohdeyrityksessä nopeasti ja tilanteet pyritään selvittämään nopeasti asiakkaan edun mukaisesti. Tällaisissa tapauksissa kohdeyrityksessä pyritään myös selvittämään vikaantumiseen johtaneet syyt ja miten tällaisten tilanteiden syntyminen voidaan välttää sekä jo toimitetuissa että vastaavissa tuotteissa. Kustannuksiltaan pienten komponenttien ongelmiin ei puututa yhtä hanakasti. [37]

Hankittaessa komponentteja ja osakokoonpanoja ostolla on käytössään suunnittelun antamat tiedot osien vaatimuksista sekä listaus suositelluista valmistajista. Oston toimintaa ohjataan kuitenkin omana tulosvastuullisena osastonaan, jonka kannustimena on muun muassa hankinnoissa tehtävät säästöt. Kannustimet voivat ajaa oston ostamaan komponentit sieltä, mistä halvimmalla saadaan. Tällainen hankinta voi myöhemmin kostausta, kun muutaman euron edullisempien osien vuoksi joudutaan tuotteeseen tekemään kalliita korjaustoimenpiteitä kentällä tuotteen ollessa jo käytössä [37]. Tämä ongelma palautuu suunnitteluvaiheessa tehtäviin komponenttimäärittelyjen ja valintojen tärkeyteen.

Tuotteen loppukäyttäjä voi vapaasti kilpailuttaa tuotteiden huollon tai suorittaa itse vaadittavia ylläpitotoimia, jolloin tieto näissä huolloissa tehdyistä korjauksista ei tavoita kohdeyritystä. Näitä tietoja on kuitenkin mahdollista saada varaosamyynnin kirjanpidon kautta, mutta tässä haasteena on varaosien kohdistuminen. Loppukäyttäjällä on todennäköisesti oma varaosavarastonsa, jonka kautta varaosat kiertävät käyttöön. Tällöin komponentin vikaantuessa varaosa otetaan tästä varastosta ja toimittajalta tilattu uusi varaosa siirretään varaosavarastoon odottamaan seuraavaa tarvetta. Kohdistamisongelma syntyy myös, kun loppukäyttäjä tilaa osia usean samankaltaisen, mutta eri kohteessa olevan tuotteen käyttöön varaosamyynnin kirjautuessa ylös varaosatilauksen yhteydessä mainitun toimitusprojektin mukaisesti. [35]

3.1.2 Haasteet tulevaisuudessa

Kohdeyrityksen haasteina tulevaisuudessa ovat alati kiristynvä kilpailu ja lainsäädäntö. Uudislaitteiden myynnin hiljentyessä liiketoiminnan painopistettä on muutettu ja haettu uutta vauhtia kunnossapidon puolelta [37]. Haasteena on myös asiakasvaatimusten lisääntyminen ja niiden täyttäminen. Vaatimusten täyttämisen todentaminen tulee vaatimaan yhä enenevässä määrin enemmän dataa. Kohdeyritys on profiloitunut korkean teknologian yritykseksi, joka asettaa tiettyjä odotuksia asiakaskunnassa tuotteiden laatuun, toimivuuteen ja toimintavarmuuteen. Tuotteiden vikaantumisesta aiheutuvan imagokustannuksen arvoa on hankala arvioida. Pitääkseen yllä saavutettua imagoa kohdeyrityksen tulee panostaa tuotteiden laatu- ja kustannusten pienentämiseen haastavasta kilpailutilanteesta huolimatta. [38]

Liiketoiminnan laajentaminen uudella Power-by-the-Hour –liiketoimintamallilla vaatii kuitenkin kohdeyritykseltä hyvää oman tuotteen ja sen vaatiman ylläpidon tuntemista. Tunnettaessa tuotteen käyttäytyminen oikeassa käytössä, päästään kustannustehokkaaseen kunnossapitoon ja varmistetaan tuotteen käyttövarmuus. Tähän päästään kattavalla elinkaaren hallinnalla, joka vaatii kattavaa tiedon keräämistä tuotteiden koko elinkaaren ajalta. Power-by-the-Hour –malli vaatii myös asiakkaan todellisen tarpeen ymmärtämistä, jotta asiakkaalle voidaan määrittää mallin

mahdollistama arvontuotto ja kuinka paljon asiakas on valmis maksamaan tästä arvontuotosta. [35]. Parhaimmassa tapauksessa sekä asiakas että toimittaja hyötyvät: asiakas hyötyy pienemmästä investoinnista ja ennustettavista kustannuksista ja toimittaja puolestaan saamistaan kiinteistä tuloista. Kohdeyrityksen tulee pitää huoli myös omasta arvontuotostaan [29]. Tämä voidaan taata varmistamalla, että tuotetta käytetään sopimusehtojen mukaisesti. Tämä vaatii tuotteilta nykyistä kattavampaa itsediagnostiikkaa.

3.2 Nykyinen tiedonkeräys

Nykyinen tiedonkeräysmalli on muodostunut aikojen saatossa nykymuotoonsa. Tietoja kerätään hajautetusti eri järjestelmiin, mutta tietojen yhdistäminen toisiinsa on nykymallissa aikaavievää ja virhealtista tarvittavan käsityön määrän vuoksi. Tällainen tiedonhallintamalli on ongelmallinen pelkästään jo yhdessä asiakasprojektille kohdistuvassa ongelmanselvityksessä, jossa projektin historiatiedoille on todellista tarvetta. [39] Tiedonkeräyksen haasteet on tunnistettu aiemminkin muissa yrityksissä ja kohdeyrityksen kaltaisia haasteita on käsitelty VTT:n teknologiaraportissa 48 [7].

Tällä hetkellä tuotteiden valmistuksessa, asennuksessa ja käyttöönotossa havaittavia ongelmakohtia varten ei ole yhtenäistä järjestelmää vaan havainnot kirjataan ylös tapauskohtaisesti eri järjestelmiin. Merkittävistä havainnoista tehdään kirjaus useampaan eri järjestelmään. Taulukossa 7 on esitetty kohdeyrityksessä käytössä olevat nykyiset tieto- ja tiedonkeräysjärjestelmät. Eri järjestelmät eivät kuitenkaan juttele keskenään ja tiedot eivät linkity toisiinsa. [39]

Taulukko 7 Nykyiset tieto- ja tiedonkeräysjärjestelmät kohdeyrityksessä [39] [40].

Järjestelmä	Kuvaus
NC	Sisäiset poikkeamat, engl. Non-Conformity
RCI	Asiakaspöikkeamat, engl. Resolve Customer Issue
Palaute-järjestelmä	Lievät, tuotannossa havaitut poikkeamat ja kehitysideat
IPD	Asennettujen tuotteiden tietokanta, jonne huoltoraportit tallennetaan, engl. Installed Product Database
MobileWorker	Huolto- ja käyttöönottohenkilöstön työtilaus- ja tuntikirjausjärjestelmä
BAAN	Toiminnanohjausjärjestelmä (varaosamyntitiedot)

Taulukosta 7 havaitaan tiedon hajaantuminen moneen eri järjestelmään. Näistä järjestelmistä keskenään ovat linkitettyinä vain NC ja RCI. NC-järjestelmää käytetään yrityksen sisäisten eli ennen asiakkaalle toimitusta havaittujen ongelmatilanteiden

kirjaamiseen. Tätä järjestelmää käytetään merkittävien tapahtumien, kuten esimerkiksi alihankkijoiden toimittamien viallisten komponenttien, ylöskirjaamiseen ja selvitysprosessin ohjaukseen. Tässä järjestelmässä ei ole tietoa tapauksille kohdistuvista kustannuksista, vaan laatuosasto hakee laatuksittain liittyvät kulut kohdeyrityksen myyntijärjestelmästä saatavan raportin avulla. [39]

RCI-järjestelmä on NC-järjestelmää vastaava ulkoisten poikkeamien kirjausjärjestelmä ja moni toiminnoista onkin hyvin samanlaisesti toteutettu. Tämä järjestelmä on luotu ongelmakohtien kirjaamisen ja ongelmienratkaisuprosessin ohjaukseen. RCI-tietokannassa olevia tietoja on mahdollista käsitellä tilastollisesti ja tiedot on yleisesti luokiteltu. Varsinaiset huoltoraportit kerätään IPD-tietokantaan, mutta nämä raportit koostuvat avoimista tekstikentistä joiden täyttämiseen ei ole olemassa ohjeistusta [40]. Tästä syystä raportit ovat laadultaan ja sisällöltään vaihtelevia. Raportteihin liittyy usein kuvia ja liitteitä, joissa oleva informaatio liittyy olennaisesti vian selvitykseen ja ongelmanratkaisuun. Palaute-järjestelmään kirjataan tuotannossa havaittuja puutteita, kuten esimerkiksi virheitä osaluetteloissa.

Kohdeyrityksen laatuosasto käy läpi näihin järjestelmiin kirjattuja laatu poikkeamia. Laatu poikkeamia käsitellään kuukausittaisissa palavereissa, joissa käydään läpi uusia esiin tulleita ja vanhempia merkittäviä laatu poikkeamia sekä näistä aiheutuneita laatu kustannuksia. Suunnittelu saa näistä palavereista palautetta tuotekehitykseen pääasiassa kalliiden ongelmakohtien osoittamisen muodossa. [39]

Laitteita huollettaessa ja korjattaessa kohdeyrityksen toimesta tulee huoltoinsinööriin täyttää huoltoraportti. Aiemmin huoltoraportti on ollut hyvin vapaamuotoinen ja siinä raportoitava sisältö on ollut huoltoinsinööriin harkinnan varassa. Nykyinen huoltoraporttipohja on dokumenttipohja, johon huoltoinsinööri täyttää käsin kaikki tiedot. Huoltoraportin täyttämiseen käytetään tablettipohjaista MobileWorker-sovellusta, joka tarjoaa huoltohenkilöstölle myös työtilauksen, työssä tarvittavat dokumentit, työajankirjauksen ja työn hyväksyttämisen asiakkaalla. Huoltoraportin tietoja täytetään usein vasta varsinaisten huoltotoimien jälkeen eikä työn lomassa. Huoltoraportti on vapaamuotoinen, tekstikenttäpohjainen dokumentti. Huoltoraporttipohjassa on kiinteitä kenttiä olennaisia tietoja varten, kuten työn numero, aluksen nimi ja IMO-numero sekä laiteprojektin numero. [40]

Huoltoraportille ylös kirjattavat tiedot ovat kuitenkin huoltohenkilön harkinnan varassa ja myös kiinteiden kenttien täyttäminen on vajavaista. Tästä syystä huoltoraporttien informaatio sisältö ja taso vaihtelee. Yleistä ohjeistusta huoltoraportin täyttämiseen ei ole olemassa eikä korjatuista vioista ja vaihdetuista osista vaadita tarkempaa listausta. Huoltoraporttien automatisoitua läpikäymistä hankaloittaa myös eroavaisuudet komponenttien nimissä osalistuksen, huoltohenkilöstön ja loppukäyttäjän välillä. [40]

Vikoja tilastoidaan nykyään sisäisistä ja ulkoisista poikkeamista koostettavien tilastojen avulla. Tilastoinnin jaottelussa käytetään poikkeamalle kirjattua kohdetta mihin osakokoonpanoon laitteistossa vika kohdistuu. Yhden poikkeamakirjauksen alla tehdään kuitenkin muitakin toimenpiteitä. Näitä ei kuitenkaan kirjata kattavasti ja määrämuotoisesti, joten näiden tietojen automaattinen jalostaminen nykyisten huoltoraporttien pohjalta vaatii paljon käsittelyä tietojen silti jäädessä vajaiksi [40]. Kohdeyrityksen toimintaa tukevassa yksikössä on kuitenkin otettu koekäyttöön ohjelmisto, joka mahdollistaa näiden tietojen louhimisen avainsanojen perusteella olemassa olevista tietojärjestelmistä. Tätä ohjelmistoa on kuitenkin käytetty vain aputyökaluna manuaalisen käsittelyn rinnalla ongelmatilanteen aiempien esiintymisten selvittämisessä. Tekstinlouhinnan avulla ei kuitenkaan tavoiteta kaikkia tilanteita komponenttien ja osajärjestelmien eri nimitysten ja puutteellisen tiedon vuoksi. [41]

Myyntijärjestelmästä on saatavilla tilastotietoa varaosien myynnistä ja myös niiden kohdistumisesta tilatulle huollolle. Takuuna lähetettävät komponentit kohdistuvat oikealle projektille, mutta loppukäyttäjät saattavat tilata samalla tilauksella varaosia sekä varastoon että useampaan eri kohteeseen. Tällöin tuotteeseen vaihdettavien varaosien tyyppi, malli, versio tai vaihto aika ei ole valmistajan tiedossa. Tämä heikentää oleellisesti myyntijärjestelmästä saatavan tiedon laatua ja hyödynnettävyyttä tällaisten asiakkaiden osalta. Loppukäyttäjät saattavat ostaa varaosia myös suoraan niiden valmistajilta, jolloin tieto tällaisten varaosien käytöstä jää saamatta. Jotkin komponenttivalmistajista ja -myyjistä ovat uskollisia yhteistyölle kohdeyrityksen kanssa ja eivät myy varaosia suoraan loppukäyttäjille. [35]

4. KÄYTÖNAIKAISEN TIEDONKERUUN PARANTAMINEN

Tiedon kerääminen tuotteiden elinkaaren ajalta on osa tuotteiden elinkaarenhallintaa. Motivaationa tiedon keräämiselle on tuotteiden laadun ja ennustettavuuden parantaminen. Kerättävien tietojen avulla saadaan parempi kuva tuotteen käyttäytymisestä todellisessa ympäristössä. Tätä todellista käyttäytymistä mallintamalla päästään pureutumaan tuotteiden elinkaaren ymmärtämiseen, tuotteiden haasteisiin ja pystytään priorisoimaan resursseja näiden haasteiden voittamiseksi [56]. Ennustettavuutta voidaan hyödyntää tuotteen käyttövarmuuden parantamiseen ja siten asiakkaan kokeman arvon lisäämiseen. Tästä asiakkaan kokemasta arvonnalisäyksestä kohdeyrityksen on mahdollista saada oma osansa, mikäli elinkaariajattelun malli pystytään myymään tuotteiden loppukäyttäjille. Loppukäyttäjien elinkaaritietoisuuden lisääntyessä he alkavat myös vaatia elinkaarikustannustehokkuutta omilta järjestelmätoimittajiltaan. Laitetoimittaja, joka kykenee osoittamaan tuotteidensa täyttävän nämä vaatimukset, on muita toimittajia paremmassa asemassa kilpailutilanteessa. [10]

Käyttövarmuustiedon hankintaan ja hyödyntämiseen vaaditaan selkeät menetelmät, työkalut ja näiden tietojen analysointiin nimetyt vastuuhenkilöt [10]. Datan hankintaa ja tiedon saatavuutta on arvioitu keskeisemmäksi tekijäksi, joka estää käyttövarmuuslaskennan hyödyntämisen [56]. Käyttövarmuustietojen kerääminen voi auttaa eri toimintojen parantamisessa. Asiakstarpeita ja -odotuksia koskevaa tietoa voidaan käyttää muun muassa uusien tuotteiden vaatimusten määrittämiseen ja niiden hiomiseen. Toimitettujen tuotteiden toteutuneen käyttövarmuuden, vikaantumisista analysoitujen vikaantumismoodien ja loppukäyttäjien tarpeiden pohjalta suunnittelu pystyy paremmin pureutumaan tuotteiden kehittämiseen. Käyttövaiheessa käyttövarmuustietojen avulla voidaan parantaa kunnossapitovarmuutta sekä vaikuttaa tulevaisuuden kunnossapidettävyyteen [15]. Tiedonkeruun tulee ulottua kattamaan myös takuuajan ulkopuolista aikaa. Tiedot tulisi olla saatavilla kootusti ja eri järjestelmistä saatavat tiedot tulisi olla yhdistettävissä siten, ettei samoja tapahtumia tule kirjatuksi useampaan otteeseen. [56]

Kohdeyrityksen tuotteista suurin osa myydään loppukäyttäjien sijaan järjestelmätoimittajille, jotka liittävät kohdeyrityksen tuotteita osaksi omia tuotteitaan. Tällöin järjestelmätoimittaja tekee päätöksen käytettävästä osajärjestelmästä, mutta loppukäyttäjä voi vaikuttaa osaltaan omilla vaatimuksillaan järjestelmätoimittajan tekemiin hankintoihin. Tästä syystä on tärkeää saada markkinoitua loppukäyttäjille ajatus investoinnin koko elinkaaren vaikutuksesta pelkän hankintainvestoinnin sijaan. Loppukäyttäjälle tulee esittää tämän tarpeen lisäksi tämän ajattelumallin edut ja miten se vaikuttaa loppukäyttäjän liiketoimintaan arvoa tuottavasti. Loppukäyttäjän omaksuessa tällainen elinkaarimallin mukainen ajattelutapa luodaan samalla tarve tuotteen vaatimusten lisäämiselle esimerkiksi käytettävyyden osalta. Tällöin tulee saada loppukäyttäjä ja järjestelmätoimittaja vakuuttuneiksi kohdeyrityksen vahvuudesta mainituilla osa-alueilla kilpailijoihin nähden, jotta hankintapäätös päättyy kohdeyrityksen eduksi. [38] [29]

4.1 Tiedonkeruun haasteet

Tiedon kerääjä ei ole yleensä tiedon käyttäjä ja tiedonkeruu voidaan nähdä omaa työtä hyödyttämättömänä ja kuormittavana asiana. Tällöin tiedon kerääjälle täytyy osoittaa tiedonkeräämisen tärkeys perustelemalla mihin kerättyä tietoa käytetään. Automaattisella tietojen keräämisellä voidaan osittain korvata manuaalista tiedonkeruuta, mutta se ei poista sitä kokonaan. Tiedonkeruun tulisi olla mahdollisimman helppoa ja yksinkertaista, jotta se ei tuo merkittävää lisätyökuormaa huoltohenkilöstölle [40]. Kerättävien tietojen lisäämisessä tulee muistaa, että jo olemassa olevan tiedon keräämisestä uudelleen ei ole hyötyä. [7]

Nykyinen eri järjestelmiin hajaantunut tieto tuo oman haasteensa. Kohdeyrityksen nykyiset prosessit ja käytännöt on rakennettu nykyisten järjestelmien varaan. Uusi, nykyisten järjestelmien rinnalle käyttöönotettava järjestelmä ei aiheuttaisi muutoksia jo olemassa oleviin järjestelmiin ja niiden tietoja hyödyntäviin työkaluihin. Työkaluihin tehtäviä muutoksia voitaisiin siten tehdä asteittain tarpeiden ja tiedon hyödyntämismahdollisuuksien ja -tapojen lisääntyessä. Vanhojen järjestelmien käyttö tosin rohkaisee aiempien, jo hyvin omaksuttujen, työkalujen käyttöön, joissa uutta kerättävää tietoa ei välttämättä pystytä hyödyntämään. Tällöin vaarana on, että vanhojen työkalujen käyttöä jatketaan uusien kehitettävien työkalujen rinnalla. Vanhojen järjestelmien korvaamisella osittain uudella järjestelmällä on myös omat haasteensa. Vanhoissa järjestelmissä oleva data tulisi saattaa uuteen järjestelmään muuttumattomana, mutta vanhat datarakenteet eivät sellaisenaan ole uudessa järjestelmässä käytettävässä muodossa. Tällaisessa tilanteessa joudutaan muuttamaan myös monia vanhojen järjestelmien tietoja käyttäviä sovelluksia. Tarvittavien muutosten vaikutusten minimointi ja uusien toteutusten verifointi ja validointi on haastavaa ja aikaa vievää. [7]

Kerätty tieto tulisi olla helposti jaettavissa eri sidosryhmien kesken kohdeyrityksen sisällä. Myös jalostettu tieto tulisi olla muodossa, joka on jaettavissa sellaisenaan tai helposti muokattavissa esimerkiksi komponenttitoimittajille. Laitekomponenttitoimittajat ovat kokeneet haasteena datan saamisen määrämuotoisena erityisesti tilanteissa, joissa loppukäyttäjä ei asioi suoraan toimittajan kanssa [7].

Kerätty tieto tulisi saada kohdistettua oikeaan komponenttiin ja rakenteeseen. Kokoonpanokuvaan tai kaaviokuvaan perustuvat tiedon jaottelut ovat omaan, tarkoituksenmukaiseen käyttöönsä hyviä. Kerättävää tietoa ei tulisi kuitenkaan sijoittaa suoraan näiden lokeroihin, vaan omaan rakenteeseensa, johon voidaan suorittaa nopeita hakuja. Tästä rakenteesta tietoja saadaan tarpeen mukaan rajattua näkymiin, jolloin voidaan nopeasti selvittää esimerkiksi tietyn valmistajan komponenteille kohdistuneet ongelmat kaikissa laitetyypeissä. [56]

4.2 Tiedonkeruun parantaminen

Kerättävän tiedon kehittämisessä on syytä pitää mielessä tavoitteet ja tarpeet, joihin tiedonkeruun lisäyksellä pyritään. Tietoa käytetään päätöksenteon tukena ja tiedonkeruun suunnittelu ja toteuttaminen tulisi tehdä tukemaan yrityksen strategian toteuttamista [1]. Tuotteiden elinkaaren hallintaa parantamalla luodaan sekä tuotteiden loppukäyttäjille että kohdeyritykselle mahdollisuus arvontuottoon. Elinkaaren aikainen arvontuotto vaatii pitkäjänteistä ajattelua ja tulevaisuuden ennustamista. Tiedonkeruun kehittämisessä olennainen kysymys on mitä kaikkea tietoa halutaan kerätä, milloin ja kuinka kattavasti, jotta tavoitteet ja tarpeet tulevat tyydytetyksi. [2]

Yleisesti kerättävällä tiedolla tulee olla selvä käyttötarkoitus mihin tietoa käytetään [52]. Tiedon lisäämisen kustannusten tulee olla pienemmät kuin tiedon lisääntymisestä saatavan hyödyn. Tämä asettaa luonnollisen rajoitteen tiedonkeräyksen kehitykselle, koska ei ole kannattavaa kerätä enemmän tietoa, jos siitä ei ole saatavissa hyötyä [37]. Saatava hyöty voi kuitenkin ilmaantua myöhemmin elinkaarella esimerkiksi takuukustannusten pienenemisellä tai vianselvityksen yhteydessä. Näin syntyvien hyötyjen todentaminen ja osoittaminen on mahdollista vain pidempiaikaisella seurannalla. [1]

Kerättävän tiedon tulee olla riittävän kattavaa, laadukasta ja hyödynnettävissä olevaa, jotta datan pohjalta voidaan tehdä analyyseja ja päätelmiä. Kohdeyrityksen tuotteet ovat enemmän tai vähemmän yksilöitä, mutta samanlaisten moduulien käyttö osaltaan parantaa tietojen kattavuutta. Dataa tulee myös kerätä riittävästi huomioiden tuotteiden käyttötavat ja -ympäristöt, jotta näiden vaikutus tuotteen toimintaan voidaan ottaa huomioon tai eliminoida tarvittaessa. [7]

Tietoa voidaan kerätä myös myöhemmin ilmenevien tarpeiden varalle, mutta pääasiassa kerättävälle tiedolle tulisi olla olemassa selkeä käyttötarkoitus. Myöhemmin ilmeneviä tarpeita voi tulla esimerkiksi lainsäädännön muuttumisen tai loppukäyttäjän vaatimusten myötä. Valmistajan kannalta tuotteen väärinkäytön ja ylläpitoohjeistuksen noudattamatta jättämisen todentaminen pienentäisi mahdollisuutta takuun väärinkäyttöön. [6]

Tiedonkeräyksen taso on otettava huomioon tiedonkeräystä suunniteltaessa. Tietoa tulisi kerätä alimmalta korjattavissa tai vaihdettavissa olevalta komponenttitasolta. Tässä on haasteena alihankittujen kokoonpanojen rakenteet, joista kohdeyrityksellä ei välttämättä ole tarkkaa tietoa eivätkä tiedot ole täten kohdeyrityksen itsensä hallittavissa. Näitä tietoja tulisi olla kerättävissä alikokoonpano- ja komponenttivalmistajien käyttöön, joiden kanssa kohdeyritys on tiiviissä yhteistyössä. Tiedonkeruun uudistaminen ei saa kuitenkaan aiheuttaa kohtuutonta työkuormituksen lisääntymistä huoltohenkilöstölle. Tiedonkeruun tulisi olla helppoa, nopeaa ja vaivatonta. Tiedonkeruun automatisointi tai automaattinen täydentäminen olisi paras vaihtoehto, mutta tällaisen järjestelmän toteuttamisessa tarvittavien muutosten kustannukset voivat ylittää saatavien hyötyjen arvon. [40]

Tuotteista kerätyn tiedon tulee olla myös laadukasta. Hyvin jäsennelty, helposti löydettävissä ja hyödynnettävissä oleva tieto on perusedellytyksenä tarkemmalle analysoinnille [26]. Tiedon tulisi olla myös yksiselitteistä ja mieluiten numeerisessa muodossa. Numeerinen tieto ei jätä tulkinnanvaraa, mutta kaikkea ei ole mahdollista ilmaista numeerisesti. Laadullisen tiedon tulisi olla myös jaettuna selkeisiin ennalta määrättyihin vaihtoehtoihin, joista valitaan kulloinkin tilanteeseen parhaiten sopiva vaihtoehto. [37]

4.2.1 Tarpeiden tunnistaminen

Osana tiedonkeruun parantamista järjestettiin ideariihi käytönaikaisen tiedonkeräyksen kehittämiseen liittyvien tarpeiden ja näihin liittyvien varsinaisten kerättävien tietokohteiden kartoittamiseksi. Ideariihessä arviointiin myös kerättyjen tarpeiden ja ideoiden tarpeellisuutta ja priorisointia kohdeyrityksen tämänhetkisessä tilanteessa. Ideoita kerätessä painotettiin avointa mieltä ja ennakkoluulottomuutta, jotta tilaisuudesta saataisiin kerättyä mahdollisimman paljon potentiaalisia ideoita. Näitä ideoita on mahdollista hyödyntää myöhemmin tiedonkeruuta edelleen kehitettäessä. taulukossa 8 on esitetty lyhyesti tunnistettuja tarpeita, joiden pohjalta tiedonkeruuta kehitetään.

Taulukko 8 Tietotarpeita sidosryhmittäin

Tarpeen kohde	Tarve	Kuvaus
Asiakas	Hankintakustannus Tuotteen käyttövarmuus Elinkaarimallin hyödyt ja haitat	Investoinnin hinta Tuotteen käytössä todennettu käyttövarmuus Isomman hankintakustannusten etujen osoitus elinkaaren myöhemmillä vaiheilla
Myynti	Markkinointimateriaali	Asiakkaan luottamuksen voittaminen Asiakkaan kokeman hyödyn osoittaminen
Suunnittelu	Takuulaajennuksen hinnoittelu Tuotteiden ja komponenttien kesto	Takuulaajennuksen aiheuttamat kustannukset Vikatheydet, vikamoodit
Komponenttitoimittajat	Komponenttien kestävyys	Komponenttien kestävyys
Osto	Erot toimittajissa	Hyvien ja haasteellisten toimittajien tunnistaminen
Huolto	Huoltotarpeen arviointi Varaosamyynti	Tuotteen huoltotarve Varaosamyynnin ennakoiminen

Myynnissä hyödynnettävää tietoa on muun muassa toimitettujen laitteiden toteutunut käyttövarmuus, jolla voidaan osoittaa tuotteiden täyttävän niille asetetut vaatimukset. Tämä toimii tehokkaana markkinointivälineenä kohdeyrityksen osaamisen ja tuotteiden laadun osoittamisessa. Tuotteiden vikaantumismallinnuksesta voidaan käyttää myös tuotteen takuulaajennuksen hinnoittelussa. Toteutuneiden elinkaarikustannusten avulla voidaan osoittaa laadittujen ennakkohuoltosuunnitelmien toimivuus myös käytännössä. [37] [35]

Suunnittelu tarvitsee tietoa käytössä havaittavista ongelmakohdista ja niiden esiintymistiheydestä, jotta suunnittelun resursseja voidaan kohdistaa oikein. Yhtenä merkittävänä hyödyntämiskohteena näille tiedoille onkin käyttövarmuuden kehittäminen. Komponenttien käyttövarmuuden mallinnuksessa hyödynnetään kentältä saatavan datan lisäksi komponenttitoimittajilta saatavaa informaatiota. Laaja tiedonkeruu

antaa uusia mahdollisuuksia komponenttitoimittajien kanssa tehtävään yhteistyöhön. Tiedonkeräys komponenttien kestoikästä niiden todellisessa ympäristössä palvelisi myös komponenttivalmistajia omassa tuotekehityksessään [7]. Komponenttivalmistajille voitaisiin toimittaa heidän tarvitsemiaan tietoja esimerkiksi komponenttien toteutuneesta käyttöikästä, käyttövarmuudesta, vikaantumismoodista ja suorituskyvyn kehityksestä niiden vallitsevassa käyttöympäristössä. Näiden tietojen avulla toimittajat saisivat parannettua omia mallejaan ja ennusteitaan tuotteidensa luotettavuudesta ja edelleen kehitettyä niitä. [2]

Käyttövarmuustiedon pohjalta voidaan parantaa myös komponenttien vaatimusmäärittelyitä hankintaosaston käyttöön. Tällöin osto kykenee hankkimaan mahdollisimman sopivia komponentteja ja arvioimaan niiden toimittajia. Käytössä olevan tiedon lisääntyessä myös toimittajareklamaatioiden tueksi on käytettävissä enemmän materiaalia. Käyttövarmuuden varmistaminen tulee olla osaltaan myös oston toimintaa ohjaamassa rahamääräisten mittareiden muodossa [56]. Oston säästötoimien kiristäminen äärimmilleen voi rajoittaa laatua, mikäli hankittaville komponenteille asetetut vaatimukset eivät ole riittävät tai täsmälliset ja mikäli osto pyrkii ostamaan komponentit mahdollisimman halvalla. Tällöin saadaan aikaan kustannussäästöjä hankintavaiheessa, mutta halvimman vaihtoehdon valinta voi kostautua myöhemmin [37].

Huollon tarpeisiin kerättävä tieto ja itsediagnostiikka nopeuttaisivat huoltotoimenpiteitä ja mahdollistaisivat toimenpiteiden oikean kohdistamisen. Paremman tiedon avulla voidaan tehdä tarkempia päätöksiä tarpeellisista huoltokohteista ja huoltojen ajoittamisesta. Myös loppukäyttäjien ja kolmannen osapuolen huolloista tulisi kerätä tietoa ja tämä vaatii yhteistyön lisäämistä näiden osapuolten kanssa. Kunnossapidettävyyteen liittyvät ongelmat tulisi myös saada kerättyä talteen ja raportoitua myös suunnittelun käyttöön kunnossapidettävyyden kehittämiseksi [35]. Vikakustannuksiin tulee sisällyttää kunnossapidon kustannusten lisäksi keskeytyksestä aiheutuneet kustannukset ja muut oleelliset vian aiheuttamat kustannukset. Näiden tietojen avulla pystytään arvioimaan asiakkaalle koituneen haitan astetta. Näiden tietojen saaminen on kuitenkin haasteellista, koska loppukäyttäjät eivät välttämättä ole halukkaita jakamaan tällaisia tietoja omasta liiketoiminnastaan. [10]

Viime vuosina kohdeyritys on panostanut varaosiin sitoutuneen pääoman vähentämiseen varaosavaraston kokoa ja varastoivien nimikkeiden määrää pienentämällä. Tällä hetkellä varaosamyyntiä ennustetaan aiemman varaosamenekin ja käytössä olevien laitteiden määrän ja käyttöiän ennakkohuoltosuunnitelman pohjalta [35]. Vikatilastoinnin ja vikaantumisten mallintamisen avulla varaosaennusteista olisi mahdollista tehdä tarkempia [1]. Tämän hyödyntämistä tulee tutkia enemmän käytössä olevan tietomäärän ja tietämyksen lisääntyessä.

4.2.2 Tilastoinnin parantaminen

Vikatilastoinnin parantaminen itsessään lisää käsiteltävän datan määrää. Kattavan vikatilaston analysoinnin tarkoituksena on jalostaa tästä datasta informaatiota. Tätä informaatiota jalostetaan edelleen tietämykseksi ja ymmärrykseksi vikaantumiseen johtaneista syistä. Komponenttien vikaantumisia sattuu myös satunnaisesti johtuen muun muassa komponenttien valmistuksessa käytettävien materiaalien ja valmistusprosessin luontaisesta vaihtelusta [25]. Tarkemman vikatilastoinnin avulla voidaan myös muodostaa tarkempi malli komponentin käyttöiästä ja luotettavuudesta kyseisessä käyttötarkoituksessa ja ympäristössä. Tätä tietoa voidaan hyödyntää myöhemmin suunnittelussa käyttövarmuuden ja huolto-ohjelman määrittämisessä. Lisääntynyttä tietämystä voidaan hyödyntää myös takuuajan määrittämisessä tai takuuajan pidennyksen hinnoitteluun [6]. Toisin ajateltuna voitaisiin myös saada selville, mikäli tuotteessa on käytetty ”*liian hyviä*” komponentteja. Näitä komponentteja, jotka eivät vikaantuessaan estä laitteen käyttöä tai vahingoita tuotetta, voitaisiin niin halutessa korvata edullisemmilla vaihtoehdoilla. [37]

Komponenttien määritettyä kestoikää voidaan hyödyntää myös komponenttien oikean mitoituksen verifointiin. Tästä saatujen tulosten nojalla voidaan tarvittaessa muuttaa komponenttivalintaa paremmin käyttötarkoitustaan vastaavaksi. Komponenttivalintoja tulee muistaa tarkastella myös elinkaarikustannusten näkökannalta. Tarkoitukseensa ”*liian kestävä*n” komponentin valinta voi olla loppukäyttäjälle arvoa tuottava, jos tällä valinnalla vältetään tuotteen käytön keskeytymisestä aiheutuneista tuotannonmenetyksiä. [35]

Käytön aikana kerättävät tiedot voidaan jaotella taulukon 9 mukaisiin päätyyppeihin. Inventaariotiedoista tulisi käydä ilmi koko tuotteen rakenne ja kokoonpano. Lisäksi käyttötiedoista tulisi olla selvitettävissä tuotteeseen tehdyt muutokset ja päivitykset ja mahdollisesti näihin johtaneet syyt. Tuotteen käyttöympäristöstä tulisi myös kerätä talteen tietoa esimerkiksi tuotteen käyttölämpötilasta, jolla on merkittävä vaikutus esimerkiksi ohjaukseen käytettävän elektroniikan käyttöikänsä. Näitä käyttöympäristötietoja tulisi kerätä ainakin käyttövarmuuden suhteen kriittisimmistä kohteista. Tapahtumatietoihin kerätään tuotteeseen tai komponentteihin liittyviä tapahtumia, kuten vikaantumisia tai huoltokäyntejä. [15] [26]

Taulukko 9 Kentältä kerättäviä tietoja, perustuu lähteisiin [15] ja [26].

Tieto	Kuvaus ja huomiot
Inventaariotiedot	Tarkka tieto kentällä olevista nimikkeistä, niiden konfiguraatiosta ja mitä muita nimikkeitä niihin sisältyy.
Käyttötiedot	Milloin nimike on otettu käyttöön, kuinka sitä on käytetty ja koska se on poistettu käytöstä.
Ympäristötiedot	Nimikkeen käyttöolosuhteet, erityisesti nimikkeen käyttövarmuuden vaikuttavien tekijät.
Tapahtumatiedot	Kaikki nimikkeen käyttöään tapahtumat, kuten vikaantumiset, korjaukset, päivitykset, etc.

Näitä taulukossa 9 mainittuja asioita kerätään tarpeelliseksi katsottu määrä riittävällä tasolla. Esimerkiksi huoltotoimenpiteiden kohdistus tulisi osoittaa tietylle tuoteyksilölle, sen osakokoonpanolle tai yksittäiselle komponentille. Nämä kohdistustiedot tulisi olla valittavissa olemassaolevasta tallennetusta tuotteen rakenteesta, jotta vältetään käsin tehtävän kirjauksen virheiltä. Pääasia on, että kyseinen tieto saadaan kohdistettua oikeaan paikkaan. Tapahtumatiedon ollessa kohdistettuna oikein, voidaan kirjattavan toimenpiteen valintaa helpottaa supistamalla valintavaihtoehtojen määrää sulkemalla pois epäoleelliset vaihtoehdot, kuten esimerkiksi tiivisteiden kohdalla sähköinen ylikuormitus. Tavoitteena on hyödyntää mahdollisimman paljon kvantitatiivisiä tietokenttiä, jotta kerättävästä tiedosta saadaan yhdenmukaista ja kattavaa aineistoa, jota on helppo käsitellä [37]. Ylläpitohuoltojen yhteydessä tehtäviä kirjauksia on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10 Ylläpitohuollon yhteydessä kerättävät tiedot.

Tieto	Kuvaus/huomiot
Tuotetiedot	Sarjanumero
Tilatiedot (Jos ei kerätä automaattisesti)	Käyttötunnit Kuormitusprofiili Lämpötilat Paineet Pinnankorkeudet Muut käyttöolosuhdetiedot
Tehty työ	Läpikäytyt tarkistuslistat Huoltotoimet Korjaustoimet Työtunnit HSE-huomiot

Ylläpito- ja korjaustoimenpiteistä kerättäviä tietoja on lueteltu taulukossa 11. Edelleen tehdyt toimet tulee yksilöidä tuote-, kokoonpano- tai komponenttitasolle. Tällä hetkellä kohdeyrityksessä vikoja kohdistetaan tiettyyn osakokoonpanoon tai isoon komponenttiin tuotteessa, mutta kohdistaminen juuri tiettyyn, pienempään komponenttiin täytyisi toteuttaa. Tämä valinta voidaan toteuttaa joko tuoterakenteesta suoraan valitsemalla, kokoonpanokuvien position perusteella tai vaikkapa kytkentäkaaviosta valitsemalla. Tämän toteuttaminen olisi mahdollista esimerkiksi käyttämällä komponenteille viitetunnuksia, joiden avulla osa olisi yksilöitävissä erilaisista näkymistä. [7]

Taulukko 11 Korjaustoimien yhteydessä kerättävät tiedot.

Tieto	Kuvaus/huomiot
Tuotetiedot	Malli Sarjanro
Komponentti tiedot	Valmistaja Malli Sarjanro
Huoltotiedot Vanhan ja uuden komponentin tiedot	Vaihdetun komponentin kunto Valmistaja Malli Sarjanro
Kokoonpano- muutokset	Vanhan ja uuden kokoonpanon tiedot, esimerkiksi piirustus- numerot
Vikatiedot	Vikatyyppejä Ilmaantuminen Kohdistuminen (Nimike/osa/kokoonpano) Vikaantumismoodi (ajoittainen/katkonainen, jatkuva vikaantuminen) Äkillinen/asteittainen/osittainen vikaantuminen Vikaantumismekanismi (ylikuormitus/kuluminen) Vian syy (suunnitteluvirhe/heikkous/valmistus/ikäntyminen/väärinkäyttö (ympäristö)/väärinkäyttö (operointi)) Vikaantumisen vaikutukset (toiminnan jatkuminen, epäkäytettävyyssäikeä, epäkäytettävyyden seuraukset käyttäjälle, vaaratilanteet, ympäristövaikutukset)

Yhtenä osana tiedonkeruun kehittämisessä on jatkuvien mittausten ottaminen käyttöön. Jatkuvilla mittauksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä esimerkiksi lämpötila- ja painemittauksia, joiden lukemat tallennettaisiin koko laitteen käytön ajalta. Jatkuvien mittausten mahdollisia kohteita, joita voidaan hyödyntää diagnostiikkatarkoituksessa on listattu lisää standardissa SFS-ISO 13379-1 [50]. Koko ajan kehittyvät anturiratkaisut yhdessä teollisen internetin langattoman tiedonsiirron mahdollistamana luovat suurta dataa. Suuren datan jakaminen eri toimijoiden käyttöön luovat mahdollisuuksia uusille liiketoimintamalleille. [23]

Näiden mittausten hyöty on ilmeinen vianselvityksessä, mutta näiden usean mittauskanavan tietojen tallentaminen vaatii mittausvälistä riippuen runsaasti

tallennuskapasiteettia. Tiedon määrästä ja kohdeyrityksen tuotteiden käyttöympäristöstä johtuen näitä mittauksia ei tällä hetkellä voida toteuttaa siten, että mittaustiedot tallentuisivat reaaliaikaisesti kohdeyrityksen järjestelmiin. [40]

Jatkuvista mittauksista olisi suurta hyötyä esimerkiksi vianselvityksessä ja tuotteen väärinkäytön osoittamisessa. Viat kehittyvät yleensä vähitellen ja suorituskyvyn muutoksista olisi helppoa todeta alkava vikaantuminen. Tällöin ongelmaan pystytään puuttumaan jo ennen kuin tuotteen suorituskyky heikkenee tai tuote ei toimi ollenkaan. Tuotteen ylikuormitus ja määriteltyjen käyttöolosuhteiden vastainen käyttö olisi helposti todennettavissa olemassaolevasta, jatkuvasta mittausdatasta. [6]

4.2.3 Seurattavuuden parantaminen

Seurattavuus on olennainen osa elinkaaren hallintaa. Tuotteiden seuraaminen niiden toimittamisen jälkeen on tärkeää valmistajille, jotka ovat vastuussa toimittamansa tuotteen toimivuudesta ja soveltuvuudesta määriteltyyn käyttötarkoitukseensa. Seuraamalla tuotetta toimittajat voivat varmistua siitä, että tuote täyttää sille asetut vaatimukset ja odotukset. [56] Tuotetasolla tehtävät muutokset tuotteisiin tulee kirjata ylös muutoksiin johtaneiden syiden kanssa. Muutoksiin johtaneet syyt arvioidaan muutosta tehtäessä, mutta näin muutoksen syitä ja itse muutoksen tehokkuutta voidaan tarvittaessa arvioida myöhemmin. [1]

Valmistajalla on usein eniten tietoa tuotteesta, sen suorituskyvystä ja toiminnasta erilaisissa tilanteissa. Aina näin ei kuitenkaan ole. Valmistajan tuottamaa informaatiota on voinut kadota hävinneiden dokumenttien ja yrityksestä lähteneiden henkilöiden hiljaisen tiedon muodossa. Tällaisen ehkäisemiseksi tuotteeseen liittyvän informaation tulisi olla hyvässä järjestyksessä ja helposti saatavilla. Yksittäisten tuotteiden kohdalla on mahdollisuus tilanteeseen, että loppukäyttäjä tietää laitteensa käyttäytymisestä valmistajaa enemmän. Vuoropuhelun lisäämiseen loppukäyttäjien kanssa tulisi myös panostaa, jotta käyttäjäkokemuksena kerätty tietämys voi tuoda uutta näkökulmaa suunnitteluun. [35]

Tuotteiden seurattavuutta hankaloittaa myös tuotteiden loppukäyttäjien itse suorittamat korjauskokoonpanotoimet, joissa useammasta laitteesta yhdistelemällä koostetaan toimiva laite. Tällöin laitteiden osakokoonpanoille kohdistuneet korjaustoimenpiteet piiloutuvat, koska tällä hetkellä laitteella on vain yksi koko laitteen käsittävä sarjanumero. Koska tällaisten eri tuoteyksilöiden osista kokoonpantujen laitteiden koostaminen on sallittu tietyissä tilanteissa, tulisi valmistajalla olla tieto näistä ja kehittää metodi tällaisten tapausten tapahtumahistorian selvittämiseen ongelmatilanteissa. [35]

Teollinen internet tuo mukanaan uusia mahdollisuuksia myös seurattavuuden

kehittämiseen. Tietoliikenneyhteyksien ulottuminen yhä enenevässä määrin myös tuotteiden käyttöympäristöön mahdollistaa yhteydenpidon tuotteen ja sen valmistajan välillä. Nykyisen kunnonvalvontajärjestelmää kevyemmän vaihtoehdon lisääminen kaikkiin tuotteisiin mahdollistaisi ennaltaehkäisevän huoltomarkkinoinnin asiakkaille, joiden kanssa ei luotu huoltosopimusta. [29] Kerätyillä tiedoilla voitaisiin myös profiloida asiakkaiden todellista käyttöä ja näin tarjota myöhemmin kyseiseen käyttöön parhaiten soveltuvaa tuotetta.

4.3 Kerätyn tiedon analysointi

Kerättyjen tietojen käyttö sellaisenaan ei hyödytä esimerkiksi suunnittelua ja kerätyt tiedot tulisi jalostaa käytettävämpään muotoon. Tunnusluvuiksi jalostettuna käsittely helpottuu ja tunnuslukujen myötä myös seuranta ja näiden tunnuslukuihin perustuva ohjaaminen mahdollistuu [56]. Näitä analyysejä tulisi käyttää kehityskohtien osoittamiseen ja priorisointiin ja tuotteiden koko elinkaaren ymmärryksen lisäämiseen. Tietämyksen lisäämisellä pyritään ennaltaehkäisemään ongelmien syntymistä tulevaisuudessa ja minimoimaan niistä muodostuvia haittoja. [7]

Käytettäviä mittareita suunniteltaessa tulisi kiinnittää huomiota mittareiden, myös rahamääräisten kehittämiseen [56]. Tällaisten mittareiden seuranta antaisi tarkemman kuvan käytössä olevan tuoteyksilön käyttövarmuuden ja sen seurannaisvaikutusten kehittymisestä. Vaikutukset loppukäyttäjien liiketoimintaan antaisivat tarkan kuvan näistä seurannaisvaikutuksista, mutta kuten aiemmin on todettu, yritykset eivät välttämättä halua antaa tällaisia tietoja omasta liiketoiminnastaan laitetoimittajien käyttöön [35]. Yhtenä mittarina voitaisiin käyttää elinkaarikustannusten kehittymistä ja niiden vertailua ennustettuihin elinkaarikustannuksiin [10]. Käytettävät mittarit tulisi valita siten, että niitä voidaan hyödyntää koko elinkaaren aikana ja että mittarit olisivat vertailukelpoisia. [56].

4.3.1 Tuotteiden ja komponenttien vikaantumistilastointi

Kerättyjen tietojen tilastollisella käsittelyllä saadaan muodostettua komponenteille vikajakaumat. Yksi käytetyimmistä malleista vikaantumisten käsittelyssä on Weibull-malli. Sen avulla voidaan käsitellä muun muassa materiaalin lujuutta ja ennustaa tilastollisesti elektronisten ja mekaanisten komponenttien, laitteiden ja järjestelmien vikaantumisaikoja [33]. Näitä malleja on käsitelty tarkemmin luvussa 2.4.

Vertailemalla esimerkiksi eri tuotteissa tai erilaisessa käytössä olevien komponenttien tai osakokoonpanojen vikaantumiskäyttäytymistä keskenään, voidaan päätellä ratkaisujen toimivuutta luotettavuuden ja käyttövarmuuden osalta. Yhdistämällä nämä mallit

elinkaarikustannuslaskelmaan voidaan arvioida paremmin näiden vaikutusta loppukäyttäjän liiketoimintaan, mikäli laskelmaa varten on käytettävissä tiedot keskeytyksien vaikutuksista ja niistä aiheutuvista kustannuksista. [10]

Kentältä kerättyjen tietojen pohjalta tarkoituksena on mallintaa komponenttien kestoajan käyttäytymistä tilastollisesti. Komponenttikohtaisten mallien laatiminen vie aikaa ja eri parametrien vaikutus, kuten käyttöajan ja olosuhdekuormituksen vaikutukset tulee käydä huolellisesti läpi. Vikaantumista voidaan käsitellä esimerkiksi tuotteen tai komponentin käyttöajan, käynnistys- ja sammutussykliä määrän, matkamittarin lukeman tai monen muun vastaavan suureen avulla [16]. Käytettävä suure myös riippuu komponentin käyttötavasta suhteessa käyttäjään pituuteen. [45]

Kerätyn tiedon käsittelyssä tulee ottaa huomioon eri tuoteyksilöiden välinen runsas vaihtelu kokoonpanossa. Kerätty data tulee olla selkeästi lajiteltu, jotta dataa voidaan lajitella tuoteperheittäin, tuotteittain, varianteittain ja osakokoonpanojen perusteella. Tämä vaatii kerättävien tietojen integroimista nykyisin käytössä oleviin järjestelmiin ja niiden sisältämiin tietoihin, jotta vältetään tietojen muokkaamiselta käsin [37]. Tiedon ollessa helposti lajiteltavissa, voidaan analyysia varten poimia tarvittava aineisto, jolle suoritetaan määritettyjen tunnuslukujen laskenta.

Vikaantumistilastoinnissa apuna olisi järkevintä käyttää ReliaSoft-ohjelmistopakettin Weibull++-sovellusta, joka on tarkoitettu juurikin vikaantumistilastojen käsittelyyn ja luotettavuusmallien parametrien hakemiseen. Yhtenäisen ohjelma-alustan etuna on tiedon hyväksikäyttö useiden sovellusten kesken, jolloin vältetään tietojen muokkaamiselta ja syöttämiseltä käsin. ReliaSoft-ohjelmistossa on mahdollista käyttää jo olemassa olevia vikaantumistietoja sovellusrajapinnan kautta tai vaihtoehtoisesti siirtotiedostojen avulla. [33]

4.3.2 Vikaantumistilastot käyttövarmuuden mallinnuksessa

Kohdeyrityksellä on käytössään Reliasoft-ohjelmiston tarjoama työkalupaketti, jonka avulla on mahdollista toteuttaa käyttövarmuuden arviointia. Reliasoftin työkalut käyttävät omaa tietokantaansa tiedonkäsittelyyn, mutta tämä on mahdollista yhdistää jo olemassaolevaan tietämyskantaan sovellusrajapinnan kautta [33]. Puuttuvilta osin vikaantumismalleja tulee täydentää asiantuntija-arvioin tai esimerkiksi komponenttivalmistajilta saatavien tietojen avulla. [7]

Vikaantumistilastoja käytetään käyttövarmuuden mallintamiseen ja simulointiin. Mallintamiseen ja simulointiin on kohdeyrityksessä käytettävissä ReliaSoft-ohjelmistopaketti. Tätä kattavaa ohjelmistoa voidaan käyttää kirjaustyökaluna erilaisissa käyttövarmuuden analysointimenetelmissä, joita on jo nyt kohdeyrityksessä

käytössä. Näitä ovat muun muassa vikapuuanalyysi ja FMEA, joita käytetään kriittisten kohteiden tunnistamiseen ja vikaantumisten syy-seuraussuhteiden selvittämiseen. Yhtenäisestä ohjelmistopaketesta on etua, koska samoja tietoja voidaan käyttää helposti ohjelmiston eri sovellusten välillä. [33]

Reliasoftin Blocksim-työkalun avulla muodostetaan luotettavuuslohkokaaviomalli tuotteen rakenteen ja toiminnallisuuden pohjalta. Suunnitteluvaiheessa luotavien vikapuuanalyysin ja FMEA:n avulla tunnistettuja kohtia ja kriittisyyttä käytetään apuna vikaantumismallin riippuvuussuhteiden muodostamisessa. Kun luotettavuuslohkokaaviomalli on muodostettu, yhdistetään tähän komponenteille muodostetut vikaantumismallit. [33]

ReliaSoft-ohjelmiston työkalujen mahdollisuuksia tulee selvittää lisää, kun ensin on saatu parannettua vikaantumistilastointia. Tällaisia mahdollisuuksia on muun muassa jo olemassa olevan tiedon, rakenteiden ja analyysien hyödyntäminen käyttövarmuusmallien automaattisessa luonnissa. Kohdeyrityksen konsernitasolla tähän on jo olemassa resursseja, mutta hyödyntämisen kannalta olisi parempi nimetä käyttövarmuuden hallinnan vastuhenkilö, jolla olisi konsernin tukitoimintoja enemmän tietoa kohdeyrityksen tuotteista.

5. PÄÄTELMÄT JA NIIDEN TARKASTELU

Elinkaariajattelu tulisi nähdä kokonaisvaltaisena tapana toimia yrityksessä, joka tähtää elinkaaritehokkaisiin ratkaisuihin. Elinkaaritehokkuus ilmenee usein elinkaarikustannuksissa, mutta lainsäädännön oletettavan kiristymisen myötä on syytä ottaa huomioon ja varautua tulevaisuuden kasvavaan ympäristötietoisuuteen ja sen mukanaan tuomiin haasteisiin kohdeyrityksen tuotteille. [10]

Tuotteiden elinkaarta tulee ajatella myös asiakkaan näkökulmasta ja miettiä miten tuote auttaa sen loppukäyttäjää arvontuotossa [29]. Käyttövarmuuden tavoittelu tulisi nähdä kilpailutekijänä, joka osana profiloitumista korkean teknologian yritykseksi erottaa kohdeyrityksen edukseen muista alan toimijoista. [1]

5.1 Elinkaariajattelun käytännön toimet yrityksessä

Elinkaariajattelun tukemisen tulee lähteä yrityksen johtotasolta asti. Kohdeyrityksessä ollaankin laadittu elinkaaristrategia, jonka avulla pyritään ottamaan huomioon elinkaaren aikaiset vaikutukset kohdeyrityksen prosesseihin ja toimintatapoihin. Kohdeyrityksen prosessien ja käytäntöjen muuttaminen elinkaariajattelumallin mukaiseksi vie aikaa ja vaatii eri osa-alueiden tarkempaa analysointi tässä työssä esitettyjen elinkaariajattelun perusteiden mukaisesti. Tuotteiden elinkaarta hallitaan tälläkin hetkellä, mutta seurattavuutta voidaan parantaa tuoteymmärryksen lisäämiseksi. Tätä ymmärryksen lisäämistä voidaan käyttää hyödyksi tuotesuunnittelun lisäksi huoltoliiketoiminnan puolella huoltopalvelusopimuksia tehtäessä. [29]

Elinkaarikustannusten arviointia voidaan parantaa lisääntyvän tiedonkeruun myötä. Näitä tarkempia arvioita voidaan käyttää osoittamaan asiakkaalle, että kohdeyritys on todella tutkinut tuotteidensa menestymistä kentällä ja että niistä on osoittaa todellisia mitattuja tunnuslukuja. Näitä tunnuslukuja asiakas voi käyttää toimittajiaan valitessa [56]. Näiden mittareiden tulisi olla vertailtavia keskenään ja eri valmistajien tulisi yhteisymmärryksessä sopia näiden mittareiden määrittelystä.

Elinkaaren hallinnassa käytettävien mittareiden esittäminen asiakkaalle osoittaa, että tuotteen valmistaja on vakuuttunut tuotteensa käyttövarmuudesta. Toisaalta asiakkaan tulee ymmärtää näiden lukujen tarkoitus ja luonne. Elinkaarikustannusten laskenta toimii

rahamääräisenä mittarina todellisten käyttökustannusten osoittamiseen. Kun käytettävissä on dataa todellisesta käytöstä ja voidaan osoittaa samalla, että käyttövarmuuden parantamiseksi on tehty toimia, voidaan olettaa laskelman pitävän paikkansa. Epävarmuustekijöitä on kuitenkin aina läsnä, kuten esimerkkinä käyttöenergian hinta. Elinkaarikustannusten laskemisessa tällaiset laitetoimittajasta riippumattomat tekijät ja niiden epävarmuus tulee arvioida samalla tavalla kaikkien valmistajien kohdalla, jotta totuudenmukainen vertailu on mahdollista. [30]

5.2 Tiedonkeruun parantaminen yrityksessä

Työn aikana laadittua alustavaa tiedonkeräysehdotelmaa tulee täydentää ja muokata tarvittaessa toteuttamiskelpoisemmaksi. Tässä työssä ei selvitetty tiedonkeräyksen uudistamiseen liittyviä kustannuksia. Myöskään uudesta tiedonkeräyksestä saatavien hyötyjen arvoa ei ole tämän työn puitteissa lähdetty arvioimaan työn aikataulun vuoksi. Kohdeyrityksen tulisi kuitenkin selvittää tässä työssä esiteltyjen tapojen ja menetelmien taloudellista arvoa, niiden kustannuksia ja vaikutusta tuotteen hintaan ja vasta tämän selvityksen jälkeen päättää mahdollisista tehtävistä muutoksista tiedonkeräyksessä. Tiedonkeräyksen lisäämisen toteuttaminen vaatii huolellista suunnittelua sekä varsinaisen datan keräysprosessin että sen taltioimisen kannalta. [26]

Kohdeyrityksessä on herännyt mielenkiinto digitaalista kaksoiskappaletta kohtaan. Tässä mallissa kaikkia tuotteeseen liittyviä asioita käsitellään eri näkymistä, mutta itse tieto on tallennettuna vain yhteen paikkaan. Tällaisen ratkaisun avulla vältetään tilanteelta, jossa jo olemassaolevaa tietoa syötetään tai käsitellään uudelleen samalla tavalla toisessa järjestelmässä [9].

5.2.1 Vikaantumisilastoinnin parantaminen

Vikaantumistilastoja on jo tällä hetkellä käytettävissä tuotteista ja niiden komponenteista, mutta olemassa olevan aineiston käsiteltävyys on hankalaa sen hajaantuneisuuden vuoksi. Nykyiset järjestelmät soveltuvat kuitenkin hyvin niiden tämän hetkiseen käyttötarkoitukseen, mutta niiden avulla voidaan saavuttaa enemmänkin tuotekehityksen saralla. Mittausdatan lisääntyessä sekä näitä tietoja analysoimalla päästään parempaan ymmärrykseen vikaantumisia aiheuttavista juurisista. Tällöin haasteita voidaan ratkaista jo ennen kuin ne muodostuvat ongelmiksi. [26]

Käyttövarmuuden ja luotettavuuden arvioimiseksi jo olemassa oleville tuotteille on määritettävä käytettävät menetelmät ja niiden tavoitearvot. Käyttövarmuuden määrittämiseen on käytettävissä ReliaSoft-ohjelmistopaketti, jonka analysointimahdollisuuksiin tulee tutustua paremmin sen käyttökelpoisuuden

todentamiseksi. Käyttövarmuuden laskentaan ja hallintaan tulee nimittää vastuhenkilö, jolla on tarvittava asiantuntemus vikaantumistietojen analysointiin vikaantumisten juurisyiden tunnistamiseksi. Hänen vastuullaan on myös vikaantumistietojen muuttaminen käyttövarmuuden tunnusluvuiksi. Näitä jo valmiiksi jalostettuja tunnuslukuja voidaan käyttää hyväksi tuotteiden seurannassa ja suunnittelupanoksien ohjauksessa. [56]

Vikaantumistilastojen kattavuuden lisääntyessä komponenttien käyttöiän ja luotettavuuden nykyistä mallinnusta saadaan tarkennettua. Verrattaessa näin saatujen mallien tunnuslukua yleisiin hyväksyttihin mitoitusmenetelmiin ja käytettyihin asiantuntija-arvioihin voidaan tunnistaa riskikohteita tai mahdollisesti ylimitoitettuja komponentteja. Vikaantumistilastojen avulla pystytään myös arvioimaan eroja komponenttitoimittajien välillä ja siten valitsemaan parempia toimittajia. Myös komponenttivalmistajat voisivat hyödyntää heille toimitettavaa dataa omaan laaduntarkkailuunsa. [7]

5.2.2 Seurannan parantaminen

Tuotteiden seuranta on osa elinkaaren hallintaa. Seurannan avulla voidaan tunnistaa tuotteiden käyttötapoja ja hyödyntää tätä tuotteiden markkinoinnissa ja uusien tuotteiden vaatimusmäärittelyssä. Tuotteiden seuranta mahdollistaa myös esimerkiksi käyttövarmuuslupausten täyttymisen huoltopalvelusopimuksessa tai mahdollisen tuotteen väärinkäytön osoittamisen takuuasioissa. Kohdeyrityksessä käyttöön otettavan uuden PLM-järjestelmän myötä tuotteiden seuranta tulee helpottumaan dokumentoinnin ja elinkaaren hallinnan ohella.

Seurannan parantamisen osalta tuotteiden elinkaarikustannusten seuraaminen koko elinjakson ajalta tuo varmuutta aikoinaan muodostettujen laskelmien paikkansapitävyydestä. Laskelmista poikkeavien arvojen osalta voidaan analysoida kyseisen poikkeaman aiheuttamaa riskiä koko laitekannan osalta. Tällöin kohdeyritys voi varautua tuleviin vastaavankaltaisiin poikkeamiin ja antaa tästä indikaation loppukäyttäjille jo ennalta. Myös tuotteiden käyttövarmuuden tulisi olla seurattavien suureiden joukossa. [26]

6. YHTEENVETO

Elinkaariajattelu on toimintatapa, joka pyrkii kattamaan kaikki tuotteen elinkaaren aikaiset vaiheet. Se on suuri kokonaisuus, joka vaikuttaa joka paikkaan yrityksen toiminnassa. Sen avulla pyritään ottamaan huomioon tehtävien päätösten ja valintojen vaikutuksia pitkällä aikavälillä. Elinkaariajattelu on osa kestävästä kehitystä, jolla pyritään takaamaan yrityksen toiminnan jatkuvuus.

Yleinen tarve tuotteiden elinkaaren hallinnalle on lisääntymässä kasvavien asiakasvaatimusten vuoksi. Hankintapäätöksiä ei enää tehdä pelkän hankintakustannuksen perusteella vaan hankintoja tehdessä halutaan tarkastella hankinnan kokonaiskustannuksia koko tuotteen elinkaaren ajalta. Näihin kustannuksiin vaikuttavat muun muassa käyttöenergian hinta, ylläpidon tarve ja varaosien hinta. Tuotteen käyttövarmuudella on vaikutus tuotteiden elinkaarituohtoihin, jotka tulee ottaa huomioon kokonaiskustannusten laskennassa.

Elinkaaren alkupään tärkeyttä ei voida olla korostamatta liikaa. Huolellisesti laaditun ja tarpeita vastaavan vaatimusmäärittelyn ansiosta vältytään turhan ja kannattamattoman työn tekemiseltä. Elinkaaren alkupäässä tehtävät päätökset myös sitovat suurimman osan myöhemmillä elinkaaren vaiheilla realisoituvista kuluista. Elinkaaren alkupäässä onkin suurin mahdollisuus vaikuttaa näihin tuleviin kustannuksiin. Epävarmuus tulevaisuudesta on kuitenkin suurimmillaan alkupäässä ja tästä syystä alkupäässä tehtäviä laskelmia tulee tarkentaa niihin liittyvän tiedon tarkentuessa. Tiedon tarkentuessa laskelmien pohjalta tehtyjä päätöksiä tulee tarkastella uudelleen, jotta varmistetaan niiden oikeellisuus.

Kohdeyrityksessä on tunnistettu asiakkaiden mielenkiinto elinkaariajatteluun ja tämä on luonut kohdeyrityksen tarpeen tuotteiden elinkaaren hallitsemiseksi paremmin. Elinkaaren hallinnan parantamisen myötä pyritään tunnistamaan uusia toimintatapoja kustannussäästöjen aikaansaamiseksi pitkällä aikavälillä.

Tietoa tuotetaan yhä enemmän ja enemmän. Aiemmin tuotetiedon hallinta on ollut paremminkin dokumentoinnin hallintaa. Tuotteiden ja suurempien järjestelmien yhä monimutkaistuessa yksinkertainen dokumenttienhallinta ei ole enää riittävä ratkaisu, vaan tarvitaan näiden dokumenteissa olevan sisällön hallintaa. Tuotteista tuotetaan paljon dokumentteja niiden konseptoinnin, suunnittelun ja valmistuksen aikana. Tuotteisiin tehtävien muutosten takia monia näistä dokumenteista joudutaan

muokkaamaan tai jopa tekemään kokonaan uudelleen. Monien muutosten kohdalla näiden kirjaus joudutaan tekemään useaan paikkaan ja vieläpä käsin. Tässä dokumenttipohjaisessa suunnittelutavassa muutosten tekeminen moneen paikkaan on riskialtista ja tehotonta. Tästä syystä dokumenttipohjaisesta suunnittelutavasta tulee siirtyä tiedon kannalta yhtenäisempää toimintatapaan, jossa tiedot ovat tallennettuna vain yhteen paikkaan, josta niitä tarpeen mukaan luetaan tai muutetaan. Tällöin tehtävät muutokset saadaan automaattisesti vietyä tarvittaviin dokumentteihin niiden pysyen näin jatkuvasti ajantasaisina.

Käytönaikaista tietoa voidaan hyödyntää tuotteiden kehittämiseen, laadun parantamiseen tai tietoon pohjautuen voidaan mahdollistaa uusia liiketoimintamalleja. Kerättävien tietojen avulla saadaan parempi kuva tuotteen käyttäytymisestä todellisessa ympäristössä. Tätä todellista käyttäytymistä mallintamalla päästään kiinni paremmin myös pienempiin ongelmiin, joista ei aiheudu suuria varaosakustannuksia, mutta jotka vaikuttavat käyttövarmuuteen. Ennustettavuutta voidaan hyödyntää tuotteen käyttövarmuuden parantamiseen ja siten asiakkaan kokeman arvon lisäämiseen.

Tämän työn tarkoituksena oli kartoittaa elinkaariajattelun luomia mahdollisuuksia kohdeyrityksen tuotteiden kehittämisessä. Työn teoriapainotteisessa alussa pyrittiin tunnistamaan kirjallisuudesta elinkaaren hallinnan menetelmiä ja toimintatapoja, joilla saadaan tuotteiden kustannuksia pienennettyä sekä kohdeyrityksen että loppukäyttäjän näkökulmasta. Työn tavoitteena oli myös selvittää, miten tuotteissa ilmenevistä haasteista voitaisiin paremmin saada kiinni ja hyödyntää näitä tietoa uusien tuotteiden kehityksessä sekä vanhojen tuotteiden käytönaikaisessa parantamisessa. Työn yhtenä alkuperäisenä tavoitteena oli käydä lävitse nykyisten vikaantumistietojärjestelmien sisältöä, mutta tästä luovuttiin työn edetessä tunnistettaessa tarve kehittää kohdeyrityksen nykyisistä tuotteista käyttövaiheessa kerättävää vikatilastointia.

Tässä työssä tunnistettuja menetelmiä on jo käytössä kohdeyrityksen nykyisessä prosessissa ja niiden hyödyntämiselle edelleen löydettiin käyttökohteita tuotteiden käyttövarmuuden ja luotettavuuden saralta. Täysin uusia menetelmiä ei varsinaisesti löytynyt, mutta tunnistettiin uusia tapoja hyödyntää jo olemassa olevia tietoja. Tiedon merkityksen ja sen hallinnan korostuminen nosti esiin nykyisen tiedonkeruun riittämättömyyden ja asialle on päätetty tehdä jotakin.

Kohdeyritykselle ollaan luomassa strategiaa tuotteiden elinkaaren hallitsemiselle. Tarve tällaiselle strategian luomiselle oli tunnistettu jo ennen tämän diplomityön aloittamista ja tämän työn tuli tukea uuden strategian luomista. Tässä työssä ei ole suoraan käsitelty uutta strategiaa, mutta tämä työ antaa pohjatietoa ja ajatuksia elinkaaristrategian luontiin sen tavoitteiden asettamisessa ja keinojen löytämisessä.

Tuotedokumentaatiota ja tuotetietoa tuotetaan yhä enenevässä määrin. Esineiden internetin ja teollisen internetin mahdollistamien anturiratkaisujen myötä tiedon määrä tulee yhä kasvamaan. Tiedonkeruun automatisointia näiden järjestelmien avulla tulee tutkia, sillä niiden yleistyessä myös niiden kustannukset samalla tulevat laskemaan. Tällä tavoin voidaan kasvattaa tuotteiden seurattavuutta ja samalla vähentää henkilöstöä vaativia ylläpitotoimia. Seurattavuuden paraneminen tuo mukanaan mahdollisuuden todellisen käytön analysointiin, jota voidaan hyödyntää sekä markkinoinnissa että uusien tuotteiden suunnittelussa.

Tällä diplomityölläkin oli oma elinkaarensa. Alkupään vaatimusmäärittely muuttui kesken työn tekemisen, mikä aiheutti osaltaan haasteita tekijälle aikataulun suhteen yhdessä tekijän rajallisten projektinjohtamistaitojen takia. Elinkaaren aikaisen seurannan ansiosta tämä diplomityö kuitenkin lopulta valmistui ja työ tullaan lopulta poistamaan käytöstä arkistoon, kun tässä työssä ehdotettuja muutoksia otetaan käyttöön. Tämä työ opetti tekijälleen työn määrittelyn, suunnitelmallisuuden ja aikataulutuksen tärkeyttä projektinhallinnassa.

LÄHTEET

- [1] T. Ahonen, J. Jännes, S. Kunttu, P. Valkokari, O. Venho-Ahonen, T. Välisalo, A. Ellman, J.-P. Hietala, P. Multanen, A. Mäkiranta, H. Saarinen, and H. Franssila, *Käyttövarmuuden hallinta — standardista käytäntöön*. VTT, 2012, viitattu 31.1.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T69.pdf>
- [2] T. Ahonen and M. Reunanen, *Elinkaaritiedon hyödyntäminen teollisen palveluliiketoiminnan kehittämisessä*. VTT, 2009, viitattu 15.6.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2009/W136.pdf>
- [3] Y. Asiedu and P. Gu, “Product life cycle cost analysis: State of the art review,” *International Journal of Production Research*, vol. 36, no. 4, pp. 883–908, 1998.
- [4] E. Bergman, *Vikatietojen tilastollinen analyysi – Sensuroinnin vaikutus Weibullmallien estimoinnissa*. VTT, 1998, viitattu 13.2.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/1998/J831.pdf>
- [5] A. Birolini, *Reliability Engineering: Theory and Practice*, 7th ed. Springer Verlag, 2014.
- [6] W. R. Blischke, M. R. Karim, and D. N. P. Murthy, *Warranty Data Collection and Analysis*. Springer Verlag London Limited, 2011.
- [7] H. Franssila, S. Kunttu, H. Saarinen, and P. Valkokari, *Käyttövarmuustiedon hallinta ja hyödyntäminen suunnittelussa*. VTT, 2012, viitattu 31.1.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2012/T48.pdf>
- [8] G. Granholm, *Katsaus kompleksisten järjestelmien elinkaaren suunnitteluun*. VTT, 2013, viitattu 31.1.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2013/T121.pdf>
- [9] M. Grieves, *Virtually perfect: driving innovative and lean products through product lifecycle management*. Space Coast Press, 2011.
- [10] K. Holmberg, *Käyttövarmuuden ja elinjaksotuoton hallinta*. VTT, 1998, viitattu 14.2.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/1998/S188.pdf>
- [11] Y. Hong and W. Q. Meeker, “Field-failure predictions based on failure-time data with dynamic covariate information,” *Technometrics*, vol. 55, no. 2, pp. 135–149, 2013, viitattu 20.4.2017. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.2013.765324>

- [12] O. Iltanen, “Luotettavuusanalyysin perusteita,” 2008, viitattu 20.7.2017. Saatavissa: <http://urn.fi/urn:nbn:fi:uta-1-18207>
- [13] Electropedia – International Electrotechnical Vocabulary. International Electrotechnical Commission. Viitattu 13.5.2017. Saatavissa: <http://www.electropedia.org/>
- [14] *IEC 60300-3-1:2004 Dependability management – Part 3-1: Application guide – Analysis techniques for dependability – Guide on methodology*, International Electrotechnical Commission Std., 2005.
- [15] *IEC 60300-3-2:2005 Dependability management – Part 3-2: Application guide – Collection of dependability data from the field*, International Electrotechnical Commission Std., 2005.
- [16] *IEC 61649 Weibull analysis*, International Electrotechnical Commission Std., 2008.
- [17] *IEC 60300-3-15:2009 Dependability management – Part 3-15: Application guide – Engineering of system dependability*, International Electrotechnical Commission Std., 2009.
- [18] *IEC 60300-1:2014 Dependability management – Part 1: Guidance for management and application*, International Electrotechnical Commission Std., 2014.
- [19] *IEC 60050-192:2015 International electrotechnical vocabulary – Part 192: Dependability*, International Electrotechnical Commission Std., 2015.
- [20] *IEC 60300-3-3:2017 Dependability management – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing*, International Electrotechnical Commission Std., 2017.
- [21] *ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering — System life cycle processes*, International Standardization Organisation Std., 2015.
- [22] J. Jännes, “Käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinta suunnittelun alkuvaiheissa,” Master’s thesis, Tampereen teknillinen yliopisto, 2011, viitattu 20.7.2017. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-2011062114737>
- [23] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, “Securing the future of german manufacturing industry – recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0 – final report of the industrie 4.0 working group,” 2013, viitattu 7.7.2017. Saatavissa: http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf
- [24] J. Keski-Rahkonen, “Probabilistic framework for product design optimization,” *Rakenteiden mekaniikka*, vol. 50, no. 3, pp. 122–126, 2017, viitattu 3.10.2017. Saatavissa: <https://doi.org/10.23998/rm.64959>

- [25] J. Kiilunen, *Development and Evaluation of Accelerated Environmental Test Methods for Products with High Reliability Requirements*, TUT, 2014, viitattu 12.5.2017. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3381-5>
- [26] S. Kunttu and J. Kiiveri, “Kunnossapidon elinkaaritiedon hallinta,” *Promaint-lehti*, vol. 26, no. 4, pp. 24–27, 2012.
- [27] P. Lähteenmäki and M. Penttilä, “Results for knowledge management questionnaire in Rauma.”
- [28] A. Lindholm and P. Suomala, “Learning by costing,” *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 56, no. 8, pp. 651–672, 2007.
- [29] M. Martinsuo and L. Vuorinen, “Etenemisen seurannasta elinkaariohjaukseen ratkaisutoimituksissa,” *Teollinen Internet uudistaa palveluliiketoimintaa ja kunnossapitoa*, 2017, viitattu 10.6.2017. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201706061586>
- [30] D. Murthy, M. Rausand, and S. Virtanen, “Investment in new product reliability,” *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 94, no. 10, pp. 1593–1600, 2009.
- [31] H. Pham, *Springer handbook of engineering statistics*. New York: Springer, 2006.
- [32] *PSK 6201 Kunnossapito – Käsitteet ja määritelmät*, PSK Standardisointi Std., 2016.
- [33] “Systems analysis reference - reliability, availability & optimization,” ReliaSoft Corporation, viitattu 10.7.2017. Saatavissa: http://reliawiki.org/index.php/System_Analysis_Reference
- [34] Rolls-Royce to establish open ship simulation platform together DNV GL, NTNU and Sintef. Rolls-Royce Holdings plc. Viitattu 4.7.2017. Saatavissa: <http://www.rolls-royce.com/media/press-releases/yr-2017/03-07-2017-rr-to-establish-open-ship-simulation-platform-together-dnv-gl-ntnu-and-sintef.aspx>
- [35] Haastattelu, huollon elinkaarilaskenta-asiantuntija, 15.3.2017.
- [36] Haastattelu, suunnitteluasiantuntija, 21.4.2017.
- [37] Haastattelu, tuotehallinnan asiantuntija A, 23.3.2017.
- [38] Haastattelu, tuotehallinnan asiantuntija B, 13.2.2017.
- [39] Haastattelu, laatuasiantuntija, 21.4.2017.
- [40] Haastattelu, huollon tietojärjestelmäasiantuntija, 27.3.2017.
- [41] Haastattelu, PLM-asiantuntija, 21.4.2017.

- [42] “Rolls-Royce Oy Ab yritysesittely,” Rolls-Royce Oy Ab, viitattu 7.7.2017.
- [43] “Service – Global marine support is our business – Helping you manage the vital balance between operational availability and cost,” Rolls-Royce plc – Marine Services, viitattu 7.7.2017. Saatavissa: <https://www.rolls-royce.com/~media/Files/R/Rolls-Royce/documents/customers/marine/services-brochure2.pdf>
- [44] A. Sääksvuori and A. Immonen, *Product Lifecycle Management*, 3rd ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
- [45] M. Sánchez-Silva and G.-A. Klutke, *Reliability and Life-Cycle Analysis of Deteriorating Systems*. Springer Verlag, 2016.
- [46] J. Stark, *Product Lifecycle Management*. Springer International Publishing, 2015, vol. 1.
- [47] J. Stark, *Product Lifecycle Management*. Springer International Publishing, 2015, vol. 2.
- [48] P. Suomala, “Measurement of new product development performance — life cycle perspective,” Ph.D. dissertation, Tampere University of Technology, 2004, viitattu 4.5.2017. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-200810021087>
- [49] *SFS-EN 13306 Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen*, Suomen Standardoimisliitto SFS Std., 2010.
- [50] *SFS-ISO 13379-1 Koneiden kunnonvalvonta ja diagnostiikka. Datan tulkinta ja diagnosointitekniikat. Osa 1: yleiset suuntaviivat*, Suomen Standardoimisliitto SFS Std., 2012.
- [51] *SFS-EN 31010 Riskien hallinta. Riskien arviointimenetelmät*, Suomen Standardoimisliitto SFS Std., 2013.
- [52] *Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*, Suomen Standardoimisliitto SFS Std. SFS-EN ISO 14 224, 2016.
- [53] *SFS-EN 13306 Kunnossapito – Kunnossapidon terminologia*, Suomen Standardoimisliitto SFS Std., 2016.
- [54] V. Taipale, *Osajärjestelmän vaikutus prosessijärjestelmän elinkaariin LCP-laskentamalli*. VTT, 1998, viitattu 6.2.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1920.pdf>
- [55] E. Tammiaho, *Ruoripotkurilaitteiden liiketoiminta Suomessa*. Tekes, 2009, viitattu 27.7.2017. Saatavissa: https://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/tekes_ruoripotkurit.pdf

- [56] P. Valkokari, T. Ahonen, H. Franssila, A. Itäsalo, J. Jännes, T. Välisalo, and A. Ellman, *Käyttövarmuussuunnittelun kehittämistarpeet – Käyttövarmuuden hallinta suunnittelussa – hankkeen työraportti 1*. VTT, 2011, viitattu 31.1.2017. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W180.pdf>
- [57] Volvo Cars to go all electric. Volvo Car Group. Viitattu 10.7.2017. Saatavissa: <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/210058/volvo-cars-to-go-all-electric>