

Aku Kuivaniemi

# TESTAUSPROSESSIN KEHITTÄMINEN PROJEKTILIIKETOIMINNASSA

Diplomityö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja Professori Miia Martinsuo  
Tarkastaja Professori Saku Mäkinen  
Syyskuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Aku Kuivaniemi: Testausprosessin kehittäminen projektiliiketoiminnassa  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Tuotantotalouden diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Syyskuu 2020

---

Voimakkaasti muuttuvassa projektiliiketoimintaympäristössä suuria investointihyödykkeitä tuottavien yritysten on kehitettävä tuotekehitysmenetelmiään säilyttääkseen kilpailukykynsä. Aiemmassa projektiliiketoiminnan tutkimuksessa testausta ei olla nähty merkittävänä osana tuotekehitysprosessien kehitystä. Tässä diplomityössä kuitenkin keskitytään projektiliiketoiminnassa toimivan kohdeorganisaation testaustoiminnan nykytilan analyysiin ja kehittämismahdollisuuksiin. Diplomityön tutkimusongelmana oli tutkimuksen aloitushetkellä testausprosessista ja -toiminnasta puuttuva kokonaiskuva, jonka myötä toiminnan omistajuudet ja vastuut eivät olleet selvillä organisaation eri toiminnoille. Lisäksi kokonais kuvan puuttumisen myötä toiminnassa tapahtuu paljon päällekkäistä työtä sekä viivästyksiä, jotka heikentävät tuotteiden laatua, nostavat lopputuotteen kustannuksia ja aiheuttavat projektien viivästyksiä. Diplomityön tavoitteina oli tunnistaa testausprosessin nykytila, tuoda esiin ja analysoida prosessissa esiintyvät haasteet ja luoda kohdeorganisaatiolle toimenpiteet, joilla testaustoimintaa voitaisiin kehittää.

Diplomityö on tutkimusstrategialtaan laadullinen tapaustutkimus. Tapaustutkimusta tukemaan diplomityössä on luotu teoreettinen viitekehys, jossa on tarkasteltu tarkemmin kohdeorganisaation liiketoimintakontekstia, tuotekehitystä ja testaamista sekä toiminnan kehittämistä. Empiirisessä osiossa tiedonkeruumenetelminä olivat teemahaastattelu, osallistuva havainnointi sekä kohdeorganisaation tietojärjestelmistä löytyvä sekundäärinen materiaali. Tutkimuksessa toteutettiin yhteensä 19 eri haastattelua ja havainnoitiin 27 eri tapaamista. Monimenetelmäisessä tutkimuksessa eri menetelmistä kerätyt havainnot yhdistettiin yhdeksi kokonaisuudeksi ja analyysissä käytettiin sisällön analyysia jakaen havainnot pääteemoihin tarkastelemalla näiden esiintyvyyksiä. Tulokset ja kehitysehdotukset on rakennettu vuoropuhelussa empirian ja teoreettisen viitekehysten kanssa.

Empiirisen tutkimusmateriaalin perusteella huomattiin, että voimakkaimmin kohdeorganisaation testaustoimintaa haittaavia haasteita olivat puutteellinen resurssointi, epäselvät roolit ja vastuut prosessissa, informaatiokatkokset, toimintojen välinen siiloutuminen sekä kompleksisuuden aliarviointi. Tunnistetut haasteet vertautuivat voimakkaasti aiempaan projektiliiketoiminnan tutkimukseen. Testaustoiminnan kehityskohteista empiirisessä materiaalissa nousi esille testiympäristön laitehallinta, keskitetty testaushallinta, riskienhallinta testaamisessa, testauksen läpinäkyvyys sekä tuotteen tai yksikön hyväksyntätestausvaihe testausprosessiin. Testausta käsittelevästä kirjallisuudesta empiiristä materiaalia vastasivat kehitettävistä kohteista keskitetty testaus ja riskienhallinta, testauksen läpinäkyvyys sekä hyväksyntätestausvaihe. Teoreettisen viitekehysten ja empiirisen materiaalin kehitysehdotuksien pohjalta tutkimuksessa muodostettiin kolme kehitettävää kokonaisuutta, jotka ovat testaustarpeiden tunnistus riskienhallinnalla, testausympäristön muutostenhallinta sekä työnkierto testaustoiminnassa.

Laajemmin tarkasteltuna diplomityön tulokset tukivat sekä täydensivät aiempaa projektiliiketoiminnan ja testauksen tutkimusta. Aiemmassa projektiliiketoiminnan tutkimuksessa on tunnistettu, että tuotekehitysprosessit eivät riittävällä tasolla tue kehitystä projektiliiketoiminnassa ja tässä tutkimuksessa havaittiin, että puutetta on myös prosessin testausvaiheen tutkimuksessa. Erityisesti tutkimuksen kontribuutio laajemmalle tutkimuskentälle on operatiivisella tasolla hyödynnettävissä olevat prosessi- ja toimintamallit. Lisäksi tutkimuksessa löydettiin, että testaustoiminta voisi olla erityyppisiä prosessimalleja yhdistävä tekijä, jolloin aiemmassa tuotekehitystutkimuksessa esitetyt hybridimallit voitaisiin ottaa käyttöön myös investointihyödykkeitä tuottavissa projektiyrityksissä.

Avainsanat: Projektiliiketoiminta, tuotekehitystestaus, tuotekehitysprosessit, testausprosessi

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Aku Kuivaniemi: Creating a process model for testing in project business  
Master's Thesis  
Tampere University  
Industrial Engineering and Management  
September 2020

---

In order to maintain and improve competitive advantage in a fast-changing project business environment, heavy industry companies need to develop their product development processes continuously. Product development testing process has not received significant attention in the previous project business research. This master's thesis goes deep into testing process at operational level. The research focuses on the analysis of the current state and seeks for possible development areas. The research problem was the missing holistic picture from the testing process and activities. Objectives of the master's thesis were to identify the current state of the testing process, analyze the challenges within the process and to create developmental measures to improve testing activities.

The research was conducted as a qualitative case study. Literature review has been made to support empirical work of the study. The literature review focuses on the business context of the case company, processes in the product development, testing and quality as well as operational development. Semi-structured interviews and participant observations were used for collecting primary empirical material and secondary sources were used to support findings from the primary material. In total, 19 interviews and 27 observations were carried out in order to get extensive understanding of the current state and possible improvement areas. Based on multimethod empirical material, analysis was conducted by using content analysis. The results and development proposals were constructed in dialogue with empirical material and theoretical framework.

Based on empirical material, it was noted that the most common challenges hampering the testing activities were inadequate resourcing, unclear roles and responsibilities in the process, information breaks and silos between functions as well as underestimation of the complexity. The identified challenges were strongly comparable to the previous project business research. Change management in test environments, centralized test management, risk management in testing, pipeline transparency and new acceptance test phase were the most important improvement areas in the empirical material. Almost all of these were already notified in previous testing literature. Based on findings from the empirical material and literature review, three development procedures and processes were made for change the operational model to use centralized risk management for testing, to manage changes in test environments and to utilize testing in organizational learning.

The results of the master's thesis supported and complemented previous research in areas of product development and testing in project business. Previous project business research has identified that product development processes at an operational level do not support product development in the project business and it was found in the research that deficiency is also present in the test phase of the process. Especially, the contributions of the research to a broader field of research are the processes and action models that can be utilized to some extent at the operational level of the project business. In addition, it was found in the study that testing activity could be a factor for combining different types of product development processes. It allows project business companies to use hybrid process models, presented in a previous product development studies, that can be adopted more broadly in producing heavy investment machinery.

Keywords: Project business, product development testing, NPD, Testing process, Quality

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Diplomityön tekeminen yhdistettynä korona-ajan mullistuksiin on ollut tähän astisen elämäni henkisesti rankinta aikaa. Nyt voin onnellisena todeta, että edes toinen näistä on voitettu ja se on diplomityö. Diplomityön tekeminen on opettanut minulle paljon tuotekehityksestä, prosessikehittämisestä, ihmisistä, organisaatioista ja kommunikoinnista sekä erityisesti itsestäni.

Haluan kiittää tutkimuksen kohdeorganisaatiota mahdollisuudesta tehdä tutkimusta teidän toiminnasta ja erityisesti kiitos diplomityön ohjaajalle Villelle sekä myös esimiehelleni Jukalle. Tampereen Yliopistolle kiitos mahdollisuudesta opiskella tuotantotalouden mielenkiintoisia opintoja ja erityiskiitos Miialle hyödyllisestä sekä kannustavasta palautteesta diplomityön aikana. Tärkein kiitos menee kuitenkin kotiin rakkaalle puolisololleni Riikalle, joka on jaksanut tukea minua opintojen ajan ja toivottavasti tästä eteenpäinkin.

Tampereella, 21.9.2020

Aku Kuivaniemi

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Työn tausta .....	1
1.2 Kohdeyritys ja -organisaatio .....	2
1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset .....	4
1.4 Tutkimuksen rakenne .....	5
2. TEOREETTINEN VIITEKEHYS .....	7
2.1 Tuotekehitys projektiliiketoiminnassa .....	7
2.1.1 Tuotekehitys ja prosessit .....	7
2.1.2 Projektiliiketoiminta ja kompleksisuus .....	11
2.1.3 Integroidut ratkaisut .....	15
2.1.4 Tuotekehitysprosessit .....	17
2.1.5 Prosessien haasteet projektiliiketoiminnassa .....	22
2.2 Laatu ja tuotetestaus .....	24
2.2.1 Laatu ja laadun ulottuvuudet projektitoiminnassa .....	24
2.2.2 Laadunhallinta projektiliiketoiminnassa .....	26
2.2.3 Testauksen elinkaari ja eri testaustarkoitukset .....	28
2.2.4 Testausprosessi .....	33
2.2.5 Haasteet testaamisessa .....	36
2.3 Toiminnan kehittäminen .....	38
2.3.1 Prosessin ja laadun kehittäminen projektiliiketoiminnassa .....	38
2.3.2 Laadun kehitys tuotteeseen .....	40
2.3.3 Testaustoiminnan kehitys .....	41
2.4 Synteesi .....	43
3. TUTKIMUSMENETELMÄT .....	46
3.1 Laadullinen tapaustutkimus .....	46
3.2 Tiedonkeruumenetelmät .....	47
3.2.1 Teemahaastattelut .....	48
3.2.2 Havainnointi .....	50
3.3 Muu empiirinen materiaali .....	51
3.4 Tutkimusprosessi ja tulosten analyysi .....	52
4. TUTKIMUKSEN TULOKSET .....	55
4.1 Projektiliiketoiminta ja prosessit .....	55
4.2 Laatu ja testaus .....	58
4.3 Testausprosessin rikas kuvaus ja tilanteen määrittely .....	61
4.4 Tunnistetut haasteet testausprosessissa .....	63
4.5 Testaamisen kehityskohteet .....	68
5. POHDINTA .....	70
5.1 Tulosten tarkastelu .....	70
5.2 Testaustarpeiden tunnistus riskienhallinnalla .....	73
5.3 Muutostenhallinta testausympäristössä .....	76

5.4	Työnkierto testaustoiminnassa .....	80
6.	PÄÄTELMÄT .....	83
6.1	Tavoitteiden saavuttaminen .....	83
6.2	Käytännön suositukset .....	85
6.3	Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti.....	87
6.4	Mahdollisuudet jatkotutkimukselle .....	89
	LÄHTEET .....	90
	LIITE A: TEEMAHAASTATTELURUNKO .....	94
	LIITE B: RISKIENHALLINTAPROSESSI .....	97
	LIITE C: MUUTOSTENHALLINTAPROSESSI.....	98
	LIITE D: TYÖKALU MUUTOSTENHALLINTAAN .....	99

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

<i>ATO</i>	Assemble-to-Order, tilauksesta kokoonpano
<i>ETO</i>	Engineer-to-Order, tilauksesta suunnittelu
<i>EO</i>	Engineering Order, muutostiedote
<i>EPIC</i>	Kohdeorganisaation ohjelmistokehitysprosessi
<i>FAS</i>	Final Assembly Site, kohdetyömaa
<i>FAT</i>	Factory Acceptancy Test, tehdashyväksyntätesti
<i>FMEA</i>	Failure Mode and Effect Analysis, vika- ja vaikutusanalyysi
<i>HIL</i>	Hardware-In-Loop, Ohjelmistotestaus laitteistosimulaatiossa
<i>IDEF</i>	Integration Definition for Function Modelling, integroitu määritelmä toiminnallisuuden mallintamiseen
<i>MTO</i>	Make-to-Order, tilausohjautuva tuotanto
<i>MTS</i>	Make-to-Stock, varasto-ohjautuva tuotanto
<i>OHA</i>	Operational Hazard Analysis, toiminnallinen virheanalyysi
<i>QFD</i>	Quality Function Deployment, asiakaslähtöinen tuotekehitys
<i>SIL</i>	System Integration Laboratory, systeemien integrointiympäristö
<i>SRS</i>	Safety Requirement Specification, turvallisuusvaatimus erittely
<i>SSM</i>	Soft Systems Methodology, pehmeiden systeemien menetelmä

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Lähes aina yrityksen taloudellinen menestys riippuu sen kyvystä tunnistaa asiakkaiden tarpeet ja vastata tarpeeseen nopeasti sekä kustannustehokkaasti (Ulrich & Eppinger 2012). Vastatakseen tarpeeseen, yritysten tulee tehdä tuotekehitystä. Nopeat teknologiset kehitysaskleet, muuttuvat asiakastarpeet, lyhentyvät tuotteiden elinkaaret, kilpailu sekä kasvanut globalisaatio tekevät kuitenkin tuotekehityksestä haasteellista (Cooper 2011).

Uuden tuotteen kehitys sisältää usein kompleksisia arkkitehtuureja ja useiden komponenttien yhdistämistä, jolloin niiden yhteisen suorituskyvyn määrittäminen on haastavaa (Erat & Kavadias 2008). Tällöin yhteisen suorituskyvyn määrittämiseksi tuotekehitys vaatii yleensä aina testausta (Ulrich & Eppinger 2012). Testauksessa varmistetaan, että tuote vastaa sille asetettuja teknisiä ja toiminnallisia tavoitteita. Voidaan siis todeta, että testaus on osa laadun varmistusta, koska tuotteen laadukkuus riippuu sen kyvystä täyttää ja ylittää potentiaalisen asiakkaan tarpeet (Garvin 1987). Vaikka testaus on merkittävä osa tuotteen laadunvarmistusta, liian usein se nähdään tuotekehityksessä ainoastaan pakollisena kehityksen päättävänä vaiheena eikä niinkään oppimisen mahdollisuutena (Thomke 2008). Testauksen vaikutus tuotekehityksen menestykseen on tunnistettu useissa tutkimuksissa (Cooper 2011), mutta käytännössä riittävään testaukseen tarvittava suunnittelu ja toteutus aliarvioidaan usein tuotekehitysprojekteissa (Thomke 2008; Ulrich & Eppinger 2012). Tuotekokonaisuuteen liittyessä useita eri rajapintoja, korostuu systeemien välinen yhteensopivuus, jolloin kattava testaus on tarpeen. Tuotekehityksen kustannukset kasvavat projektin edetessä, jolloin aikainen ymmärrys testauksen avulla tuotteen ja toiminnallisuuden toteuttavuudesta parantaa projektin onnistumismahdollisuuksia (Cooper 2011).

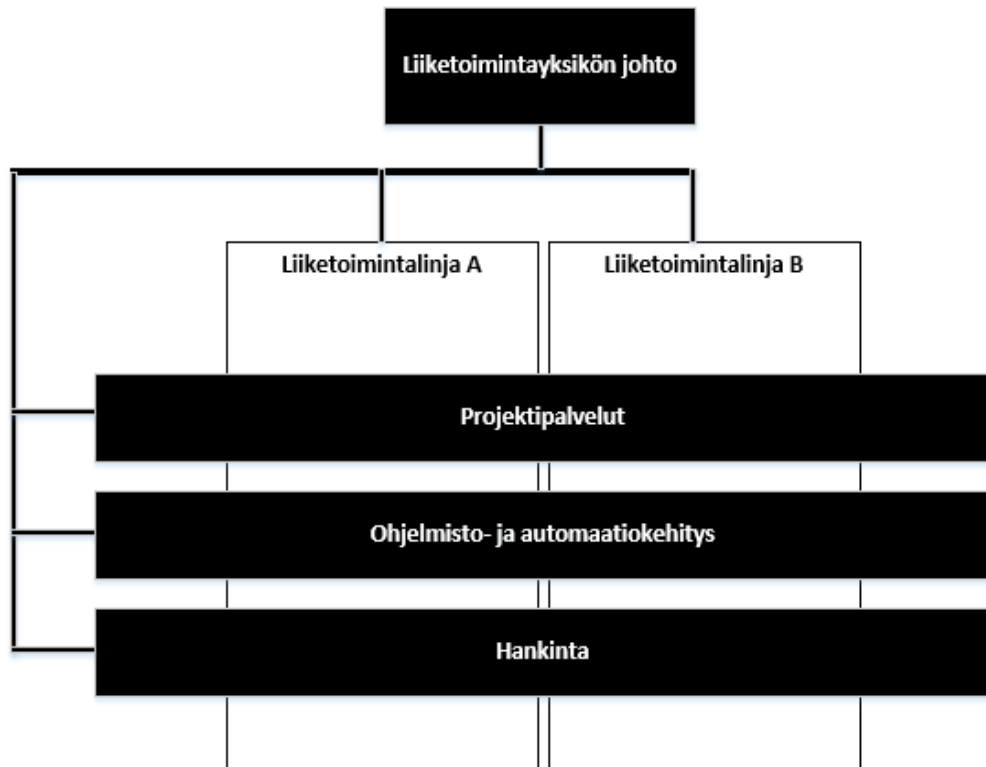
Päätös testaamisesta tuotekehityksessä on usein kompromissi laadun, kustannuksien ja aikataulun suhteen (Engel 2010). Tuotekehityksessä yksi suurimmista menestystekijöistä on nopea pääsy markkinoille, mutta toisaalta laatuongelmat myöhäisemmässä vaiheessa asiakkaan havaitsemina saattavat tuottaa kehittävälle yritykselle huomattavia haasteita. Lisäksi useat tutkimukset painottavat testauksen tärkeyttä tuotekehityksen onnistumiselle, mutta samanaikaisesti ymmärtävät, että



testaaminen kuluttaa paljon resursseja (Erat & Kavadias 2008). Formalisoitujen tuotekehitysprosessien avulla on mahdollisuus nopeuttaa ja parantaa tuotekehityksen tuloksellisuutta teollisuuden innovaatioissa (Cooper & Kleinschmidt 1991). Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että perinteiset tuotekehitysprosessit ovat sellaisenaan soveltumattomia projektiliiketoiminnassa tapahtuvaan tilauksesta ohjautuvaan tuotekehitysympäristöön ja vaatii täten lisää tutkimusta (Gosling & Naim 2009; Rahman & Shariff 2003). Erityisesti projektiliiketoiminnan osalta on havaittu puutetta käytännön prosesseissa ja niiden integroinnissa (Foehr *et al.* 2015). Standardoitu prosessi tuo tuotekehitykseen myös laadukkuutta, läpinäkyvyyttä, kommunikoitavuutta (Davenport 2005). Mallintamalla ja kehittämällä prosessia, voidaan parantaa toiminnan tuloksellisuutta keskittymällä toiminnassa arvoa tuottavaan toimintaan ja poistamaan tuloksellisuutta heikentävät tekijät.

## **1.2 Kohdeyritys ja -organisaatio**

Diplomityön toimeksiantaja on suomalainen teollisuuden laitteita valmistava yritys. Diplomityö rajautuu kohdeyrityksen automaatoratkaisuja tuottavaan liiketoimintayksikköön, jota kutsutaan jatkossa kohdeorganisaatioksi. Toimeksiantajalla on yli puolen vuosisadan perinne liikkuvien työkoneiden suunnittelusta ja valmistuksesta. Yrityksen liiketoiminta perustuu projektiliiketoimintaan, jossa projektien arvo vaihtelee sadoista tuhansista kymmeneen miljooniin euroihin. Kuvassa 1 on esitettyä kohdeorganisaation rakenne.



**Kuva 1.** Kohdeorganisaation rakenne

Kuvan mukaisesti kohdeorganisaation toiminta on jaettu kahteen liiketoimintalinjaan, jotka hyödyntävät yhteisiä toimintoja projektipalveluista, ohjelmisto- ja automaatiokehityksestä sekä hankintaosastolta. Erillisen ohjelmisto- ja automaatiokehitysosaston lisäksi tuotekehityksen näkökulmasta tuotelinjat itsessään sisältävät sekä mekaanikka- että automaatio suunnittelua ja projektipalvelut tarjoavat myös projektikohtaista suunnittelua.

Teollisuuden megatrendien, globalisaation, automaation, digitalisaation ja palveluiden myötä toimeksiantajan tuotteet ovat muuttuneet mekaanisista työkoneista kompleksisiksi ratkaisukokonaisuuksiksi, jolloin myös tuotekehityksen merkitys on korostunut. Kohdeyrityksen tuotekehitys pohjautuu pääosin tilauksesta suunniteltavien (*Engineer-to-Order, ETO*) tuotekokonaisuuksien kehitykseen, mutta tavoitteena on modularisuuden avulla kasvattaa varsinaisten tuotekehitysprojektien osuutta. Projektien suoritus vaatii liiketoimintalinjan panoksen lisäksi yleensä palveluja myös kaikilta tukioorganisaatioilta, jolloin ulkoisten sidosryhmien lisäksi projekteihin liittyy myös useita eri sisäisiä sidosryhmiä.

Kohdeorganisaation tuotekehityksessä on havaittu haasteita laadussa ja viivästyksiä projekteissa. Erityisesti laatuongelmien eskaloituminen toimitusprojekteissa

kohdetyömaalla heikentää yrityksen mainetta luotettavana ratkaisutuottajana ja kohottaa huomattavasti projektien kustannuksia. Liikkuvien työkoneiden automatisoituessa vastuu operaatioiden turvallisuudesta on siirtymässä enemmän loppukäyttäjältä ratkaisun toimittajalle, jolloin tuotekehityksen laadunvarmistuksen vaikutus korostuu.

Diplomityön lähtökohtainen tutkimusongelma on tällä hetkellä testausprosessista ja -toiminnasta puuttuva kokonaiskuva, jonka myötä toiminnan omistajuudet ja vastuut eivät ole selvillä organisaation eri toiminnoille. Lisäksi kokonaiskuvan puuttumisen myötä toiminnassa tapahtuu paljon päällekkäistä työtä sekä viivästyksiä, jotka nostavat lopputuotteen kustannuksia ja aiheuttavat projektien viivästymistä.

### 1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Kokonaiskuvan hahmottamiseksi, toiminnan sujuvoittamiseksi ja tuotteiden laadun varmistamiseksi diplomityön tarkoituksena on kuvata kohdeorganisaation testausprosessia, johon liittyy sekä toimitusprojektien tuotetestausta että uusien tuotteiden testausta. Diplomityön tavoitteena on siis:

1. *Tunnistaa kohdeorganisaation tuotekehitystestauksen nykytila sekä määrittää ongelmakohdat nykyisessä testausprosessissa*
2. *Kehittää kohdeorganisaatiolle soveltuva testausprosessi ja toimenpiteet, joilla toiminnan laatua voidaan parantaa*

Tavoitteita tarkastellaan tutkimuksessa sekä organisaatio- että prosessinäkökulmasta. Tutkimuksen tavoitteisiin pyritään vastaamalla seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

*RQ1: Mikä on kohdeorganisaation testausprosessin nykytila ja mitä haasteita siihen liittyy?*

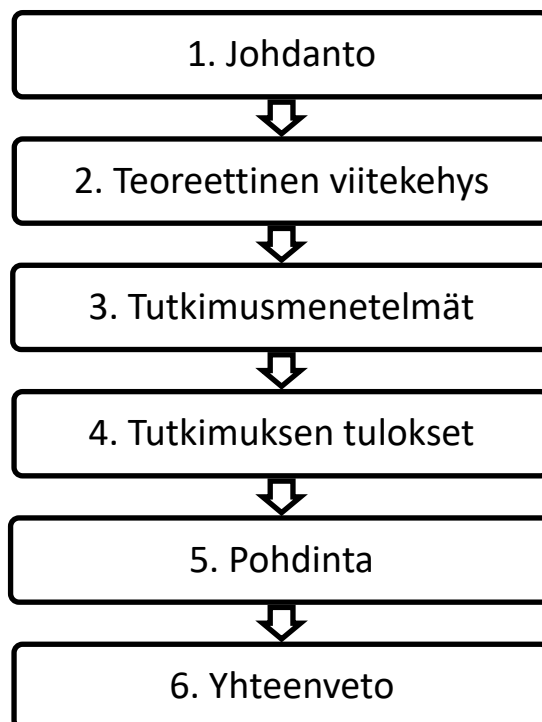
*RQ2: Miten kohdeorganisaation pitäisi hallita testausprosessia tilauksesta suunnitteluun projektiliiketoimintaympäristössä, jotta se mahdollistaisi toiminnan laadun?*

Tutkimuksessa ei ole tarkoituksena tarkastella kohdeorganisaation koko tuotekehitysprosessia, vaan syventyä testaukseen liittyviin toimintoihin. Tarkastelun kohteena on yrityksen simulaatiotestaus sekä fyysisten koneiden testaus. Tutkimuksen tarkoituksena on kuvata, mitä minkälaisia syötteitä testausprosessi vaatii, kuka syötteet määrittää, kenen kuuluisi olla testausprosessissa mukana, missä ja milloin testaus suoritetaan sekä mitkä ovat testausprosessin lopputuotokset.

## 1.4 Tutkimuksen rakenne

Diplomityön rakenne on kuvattu kuvassa 2. Johdannon jälkeen tarkastellaan teoreettista viitekehystä vallitsevina teemoinaan kohdeorganisaation tuotekehityskonteksti, laatu ja testaus sekä kolmantena osa-alueena toiminnan kehittäminen. Teoreettisessa viitekehyksessä on pyritty kirjallisuuskatsauksen avulla löytämään erityisesti projektiliiketoiminnan tuotekehitystestauksessa vaikuttavia ominaispiirteitä, siinä esiintyviä haasteita sekä mahdollisia viitekehymiä ja prosessimalleja haasteiden kumoamiseksi.

Tutkimuksen empiirinen osio on suoritettu tapaustutkimuksena, jonka vaiheet on esitelty tarkemmin luvussa kolme. Tiedonkeruumenetelminä on käytetty teemahaastatteluita, osallistuvaa havainnointia sekä tietojärjestelmistä löytyvää sekundääristä materiaalia. Tutkimuksessa on toteutettu yhteensä 19 haastattelua ja havainnoitu 27 eri tapaamista. Monimenetelmäisellä tiedonkeruulla ja laajalla aineistolla on saatu vankka empiirinen pohja tutkimukselle.



*Kuva 2. Diplomityön rakenne*

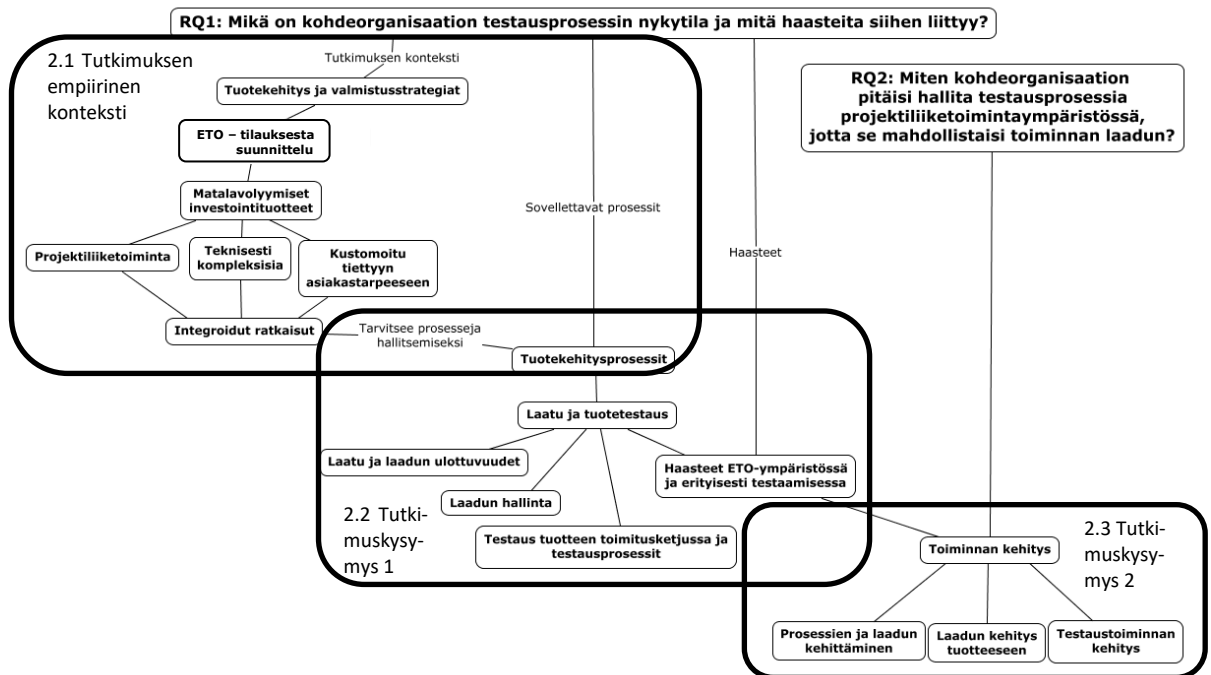
Neljännessä luvussa on aluksi esitelty tutkimuksen tulokset. Tutkimuksen tuloksia on havainnollistettu useilla teemahaastatteluista kerätyillä lainauksilla ja taulukoilla. Päätuloksia luvussa ovat rikas kuvaus kuvassa 14, joka kuvaa testaustoiminnan nykytilaa sekä taulokossa 11 esitetyt toiminnan haasteet ja taulukossa 17 esille tulevat toiminnan kehitysehdotukset.

Luvussa viisi tuloksia on tarkasteltu aiemman kirjallisuuden valossa ja nostettu esille sekä tutkimuksen päähavainnot että –löydökset ja toiminnan kehitysehdotukset. Päähavaintojen mukaan tutkimuksen kohdeorganisaatiossa esiintyvät haasteet vertautuvat voimakkaasti aiempaan projektiliiketoiminnan tutkimukseen, mutta toisaalta löydöksiä perusteella tutkimus täyttää projektiliiketoiminnan tuotekehitystestauksessa esiintyvää tutkimusvajetta. Kehitysehdotuksissa on teoreettisen viitekehyksen ja empiirisen materiaalin pohjalta luotu viitekehys testaustoiminnan ohjaamiselle, prosessi ja työkalu testausympäristön hallinnalle sekä toimintamalli henkilöstön joustavalle hyödyntämiselle testaamisessa.

Viimeisenä diplomityössä on päätelmät, jossa on tarkasteltu tutkimuksen tavoitteiden saavuttamista, käytännön suosituksia toiminnalle sekä arvioitu tutkimuksen laatua ja jatkotutkimusmahdollisuuksia. Tutkimuksessa täytettiin sille asetetut tavoitteet vastaamalla tutkimuskysymyksiin. Käytännön suositukset jaettiin kahteen toimintavirtaan; prosesseihin ja resursseihin, joissa on esitelty tiekartta kehitysehdotuksien toimeenpanemiseksi. Tutkimuksen validiteettia ja reliabiliteettia voimakkaimmin rajoittava tekijä on tapaustutkimus menetelmävalintana. Diplomityössä löydettiin neljä jatkotutkimusta edellyttävää kokonaisuutta, joiden tarkastelulla voisi parantaa kohdeorganisaation sekä muiden projektiliiketoiminnassa toimivien yritysten tuotekehityksen laatua, organisaatioiden oppimista ja prosessien integraatiota.

## 2. TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tutkimuksen teoreettinen viitekehys jakaantuu kolmeen osioon: tutkimuksen empiirisen tuotekehityskontekstin tarkasteluun, ensimmäisen tutkimuskysymyksen tarkasteluun ja toisen tutkimuskysymyksen tarkasteluun. Kuvassa 3 esiteltynä teoreettisen viitekehyyksen aihealueet ja teoriaosuuden eteneminen.



Kuva 3. Teoreettinen viitekehys

### 2.1 Tuotekehitys projektiliiketoiminnassa

#### 2.1.1 Tuotekehitys ja prosessit

Lähes kaikkien yritysten taloudellinen menestys riippuu niiden kyvystä tunnistaa asiakkaiden tarpeet ja vastata tarpeeseen nopeasti ja kustannustehokkaasti (Ulrich & Eppinger 2012; Cooper 2011). Cooper (2011) esittelee neljä trendiä, jotka edellyttävät yrityksiä kehittämään uusia tuotteita. Trendejä ovat nopeat teknologiset kehitysaskleet, muuttuvat asiakastarpeet, lyhentyvät tuotteiden elinkaaret sekä kasvanut globalisaatio. Cooperin esittelemien trendien lisäksi Unger & Eppinger (2011) nostavat koventuvan kilpailun vaikuttavan kiihtyvään tuotekehityksen tarpeeseen.

Henard & McFaydyen (2012) määrittelevät tuotekehityksen prosessiksi, jossa yksilöt tietyssä yrityksessä kehittävät uusia tuotteita. Ulrich & Eppingerin (2012) mukaan tuotekehitys on sarja toimintoja, joka alkaa markkinamahdollisuuden tunnistamisesta ja päättyy tuottamiseen, myyntiin ja toimitukseen. Tuotekehitykseen tarvitaan myötävaikutusta lähes kaikilta eri yrityksen toiminnoilta, jotta lopputulos voisi olla menestyksekkäs (Ulrich & Eppinger 2012).

Vaativuutena tehokkaalle tuotekehitykselle on yrityksen liiketoimintastrategia, joka ohjaa tuotekehitystä yrityksen haluamaan suuntaan (Cooper 2011). Tuotekehityksen kannalta yrityksen strategiana voi olla teknologinen johtajuus, kustannusjohtajuus, asiakas keskeisyys tai seuraileminen (Ulrich & Eppinger 2012). Strateginen valinta vaikuttaa yrityksen tuotekehitysprojektiportfolioon, jossa koordinoidaan suoritettavia projekteja, niihin ohjattavia resursseja ja resurssirajoitteita (Shane 2014).

Shane (2014) mukaan tuotekehitysprojekteja voidaan tarkastella yrityksen projektiportfoliossa kahdella ulottuvuudella, tuotemuutoksen asteella ja prosessimuutoksen asteella. Mikäli uusi tuote vaatii paljon muutoksia sekä tuotteen teknologiaan että prosesseihin, voidaan puhua läpimurtoprojekteista (Shane 2014). Tuotealustaprojekteista voidaan puhua, kun pyritään luomaan kokonaan uusi tuoteperhe ja kolmantena vaihtoehtona on nykyisten tuotteiden parantamisprojektit (Shane 2014). Ulrich & Eppinger (2012) jakavat erityyppiset tuotekehitysprojektit Pearsonin tapaan uusiin tuotealustoihin, muutokset nykyisiin tuotteisiin ja täysin uusiin tuotteisiin ja lisäävät neljänneksi vaihtoehdoksi muunnokset nykyisiin tuotealustoihin. Jos yrityksen strategiana on olla esimerkiksi teknologinen johtaja, sen tulisi ohjata resursseja voimakkaasti täysin uusiin tuotteisiin sekä tuotealustoihin (Shane 2014).

Teknologisen strategian lisäksi yrityksen tuotekehitystoimintoja ohjaa yrityksen kohdemarkkinat ja valmistusstrategia (Shane 2014; Little *et al.* 2000). Rahman *et al.* (2003) jakaa tuotteita kehittävät ja valmistavat yritykset neljään valmistusstrategiaan tuotantotapansa perusteella:

- Varasto-ohjautuvaan tuotantoon (*Make-to-Stock*, jatkossa *MTS*),
- Tilauhohjautuvaan tuotantoon (*Make-to-Order*, jatkossa *MTO*),
- Tilausohjautuvaan kokoonpanoon (*Assemble-to-Order*, jatkossa *ATO*) ja
- Tilauksesta suunnitteluun (*Engineer-to-Order*, jatkossa *ETO*)

Varasto-ohjautuvalla tuotannolla (*MTS*) tarkoitetaan valmistusta, jossa tuotteiden valmistus aloitetaan ennen kysynnän esiintymistä markkinoilla ja tuotteet ovat valmiita ennen niiden myyntiä (Zhang *et al.* 2013). *MTS*-strategia yhdistetään usein

korkeavolyymiseen massatuotantoon, jossa kohdemarkkinat ovat yleensä loppukäyttäjiä (Rahman & Shariff 2003). Tilausohjautuvassa tuotannossa (*MTO*) tuotanto aloitetaan vasta, kun kysyntä on tiedossa ja jokainen tuote toimitetaan suoraan asiakkaalle (Zhang *et al.* 2013). *MTO*-strategiaa voidaan käyttää laajasti eri tuotantovolyymeilla, mutta se usein yhdistetään myös tuotannon massakustomointiin (Zhang *et al.* 2013), jossa tuotteet rakennetaan valmiina varastossa olevista moduuleista (Caron & Fiore 1995). Massakustomointia eli tilausohjautuvaa kokoonpanoa kutsutaan kuitenkin eri termillä (*ATO*), jossa asiakas muodostaa oman tuotteen yrityksen tarjoamista konfiguraatiomahdollisuuksista ja tuotannon suunnittelu aloitetaan vasta asiakastilauksesta (Wang *et al.* 2011).

Tarkasteltaessa eri valmistusstrategioita, eroavaisuus strategioiden välillä löytyy asiakkaan mahdollisuudesta vaikuttaa lopputuotteeseen. *MTS*-strategiassa asiakas on yleensä loppukäyttäjä, jolla ei ole mahdollisuutta vaikuttaa lopputuotteeseen, kun taas *ETO*-strategiassa asiakas on usein vaikuttamassa jo aikaisessa suunnitteluvaiheessa omilla spesifikaatioilla lopulliseen tuotteeseen (Rahman & Shariff 2003). Tässä tutkimuksessa keskitytään kohdeorganisaation liiketoiminnan mukaisesti tilauksesta suunnittelu (*ETO*) -strategiaan. Willner *et al.* (2016) mukaan *ETO*-strategian määrittelystä ei ole selkeää yhteisymmärrystä tutkimuksessa, joten taulukon 1 avulla on pyritty selkeyttämään *ETO*-strategian määrittelyä diplomityön kontekstissa.

Taulukko 1. *ETO*-strategian määrittelyitä kirjallisuuslähteistä

Lähde	Määritelmä	Pääpiirteet
Zennaro <i>et al.</i> (2019)	<i>ETO</i> -strategia yleensä yrityksissä, jotka ovat pieniä tai keskisuuria ja tuottavat isoja tuotteita. Tuotteen suunnittelu toteutetaan yhdessä asiakkaan kanssa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korkea epävarmuus kysynnässä, ajoituksessa, toimitusajoissa ja resurssien saatavuudessa</li> <li>• Korkea kustomointi ja kompleksisuus</li> <li>• Alhainen volyyymi ja pitkät syklijajat</li> <li>• Valmistetaan moduuleista</li> </ul>
Willner <i>et al.</i> (2016)	Yritys, joka valmistaa korkeasti kustomoituja, alhaisen volyymin tuotteita. <i>ETO</i> -tuotteita voivat olla myös tuotteet, jotka vaativat rajatun määrän tilauskohtaista suunnittelua ja perustuvat aiemmin määriteltyyn ratkaisupohjaan.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yleensä projektiliiketoimintaa</li> <li>• Korkea kompleksisuus</li> <li>• Pitkät toimitusajat</li> <li>• Tuotteita voidaan jaotella kahdella ulottuvuudella: tekninen monimutkaisuus ja keskimäärin myydyt tuotteet vuosittain</li> </ul>
Foehr <i>et al.</i> (2015)	Käsittää monen tyyppisiä yrityksiä, jotka tuottavat investointi tuotteita. Pää toimintoja ovat suunnittelu, valmistus ja rakennus.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liiketoiminta perustuu projekteihin</li> <li>• Alhainen volyyymi</li> <li>• tuotteet kompleksisia, kustomoituja ja ainutlaatuisia</li> <li>• Korkea epävarmuus tuotespesifikaatiossa, kysynnässä, prosessin kestossa, toimitusajoissa ja todennäköisyydessä voittaa tilaus</li> </ul>



Lähde	Määritelmä	Pääpiirteet
<b>Adrodegari et al. (2015)</b>	<b>Projektiliiketoimintaan</b> perustuva yritys valmistaa ainutlaatuisia tiettyyn asiakastarpeeseen soveltuvia tuotteita. Jokainen tuote suunnitellaan tyhjästä tai muokataan aiemmasta asiakasvaatimuksiin soveltuen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Korkea epävarmuus</b> tuotespecifikaatiossa, kysynnässä, toimitusajoissa ja tuotannossa</li> <li>• <b>Korkea kustomointi ja alhainen toistettavuus</b></li> <li>• <b>Alhainen volyymi</b></li> <li>• Paljon muutoksia tuotantovaiheessa</li> </ul>
<b>Rahman &amp; Shariff (2003)</b>	<b>ETO</b> -yritykset tuottavat täysin räätälöityjä <b>investointi tuotteita</b> , jossa jokainen tuote on suunniteltu ainutlaatuisesti jokaiselle asiakkaalle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Matala volyymi</b>, yrityksen tulos perustuu korkeaan tuottoon</li> <li>• <b>Korkea kompleksisuus</b> ja harvoin toistettavissa</li> <li>• Voimakkaat muutokset suunnitteluvaiheessa</li> <li>• Suunnittelua ohjaavat asiakas, toimittajat, alihankkijat, säädökset ja toiminnallisuusvaatimukset</li> </ul>

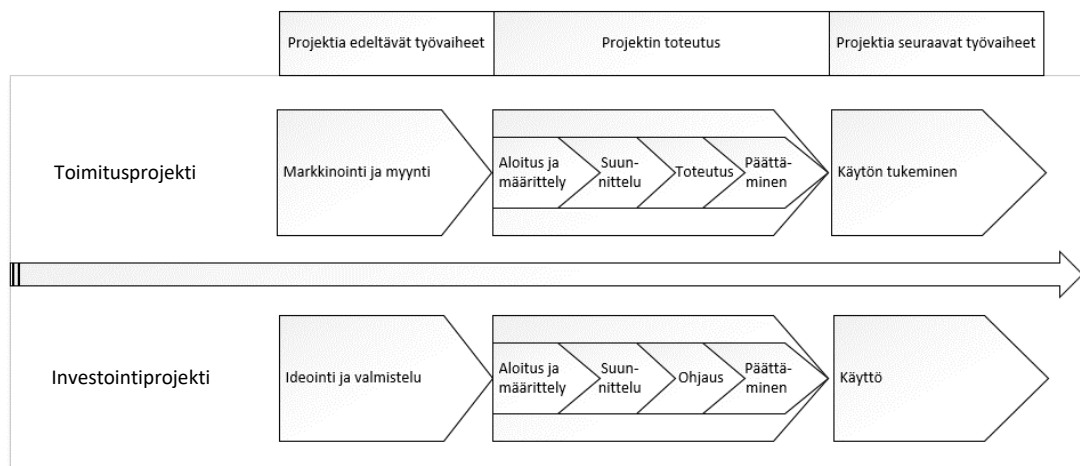
Tässä työssä määritellään *ETO*-strategia ja –tuotteet taulukon 1 määrittelyjen sekä pääpiirteiden perusteella. Voidaan todeta, että *ETO*-strategiaa toteuttavien yritysten toimintamalli perustuu **projektiliiketoimintaan**, jossa projektien avulla tuotetaan **matala volyymisiä investointituotteita**. Projekteihin liittyy usein **paljon epävarmuutta**, projekteilla tuotetut tuotteet ovat **teknisesti kompleksisia**, ne ovat ainutkertaisia sekä ne on suunniteltu ja **kustomoitu tiettyyn asiakastarpeeseen**. *ETO*-strategian perustuessa projektiliiketoimintaan ja muiden valmistusstrategioiden pohjautuessa pääosin massatuotantoon, käytetään tutkimuksessa terminologiana **projektiä** ja **projektiliiketoimintaa**.

Eräs kiistellyistä aiheista tutkimuksessa *ETO*-strategian saralla on juuri kustomoinnin osuus lopputuotteesta. Osa tutkimuksista on sitä mieltä, että strategia kattaa ainoastaan täysin uudet tyhjästä kehitetyt tuotteet (esimerkiksi Rahman *et al.* 2003) kun taas toiset ymmärtävät *ETO*-strategian siten, että tuotekehitys voi perustua joko täysin uuden tuotteen luomiseen tai aiempien tuotteiden muokkaamisen tiettyyn asiakastarpeeseen soveltuvaksi (esimerkiksi Ford & Despeisse 2016; Willner *et al.* 2016). Tässä tutkimuksessa *ETO*-strategia ymmärretään niin, että tuote voi koostua sekä täysin uudesta että myös vanhasta muokatusta tai yhdistellystä tuotteesta, koska strategiassa tuotteet ovat kompleksisia investointituotteita, jotka usein koostuvat pienemmistä osakokonaisuuksista, jolloin lopullinen tuote voi koostua sekä täysin uusista innovaatioista että aiemmin kehitetyistä ratkaisuista.

## 2.1.2 Projektiliiketoiminta ja kompleksisuus

Projektiliiketoiminnalla tarkoitetaan yritysten liiketoimintaa, joka liittyy suoraan tai epäsuorasti projekteihin ja jolla pyritään yrityksen tai yritysten tavoitteiden saavuttamiseen (Arto & Wikström 2005). Projektiliiketoiminta eroaa muusta liiketoiminnasta projektien ominaispiirteiden myötä. Projektien ominaispiirteitä ovat ainutkertainen toteutus ja tuotos. Se on ajallisesti rajattu, monimutkainen kokonaisuus, korkea epävarmuus sekä projektiliiketoiminnassa on rajattu mahdollisuus standardisoida tuotteita (Hellström & Wikström 2005). Projektiliiketoiminnalla voidaan pyrkiä yrityksen tai yritysten tavoitteiden saavuttamiseen karkeasti jaoteltuna kahdella eri tavalla: ratkaisujen toimittamisella ja kehittämisellä (Arto *et al.* 2006).

Ratkaisujen toimittamista projektiliiketoimintaympäristössä kutsutaan toimitusprojekteiksi. Toimitusprojekti voidaan nähdä tuotannon ja liiketoiminnan välineenä, jolla muodostetaan arvo asiakkaalle asiakaskohtaisen ratkaisun avulla (Arto *et al.* 2006). Toimitusprojektin asiakkaalle tuotetun arvon myötä asiakas on valmis maksamaan tuotoksesta toimittajalle, jolloin projekti tuottaa arvoa myös toimittajalleen. Kuvasta 4 nähdään toimitusprojektin elinkaari sekä toimittajan että asiakkaan näkökulmasta. Toimitusprojektin elinkaari voidaan nähdä jakautuvan kolmeen osaan: ennen projektia olevat toiminnot, projektin toteutus ja projektin jälkeiset toiminnot (Arto *et al.* 2006).



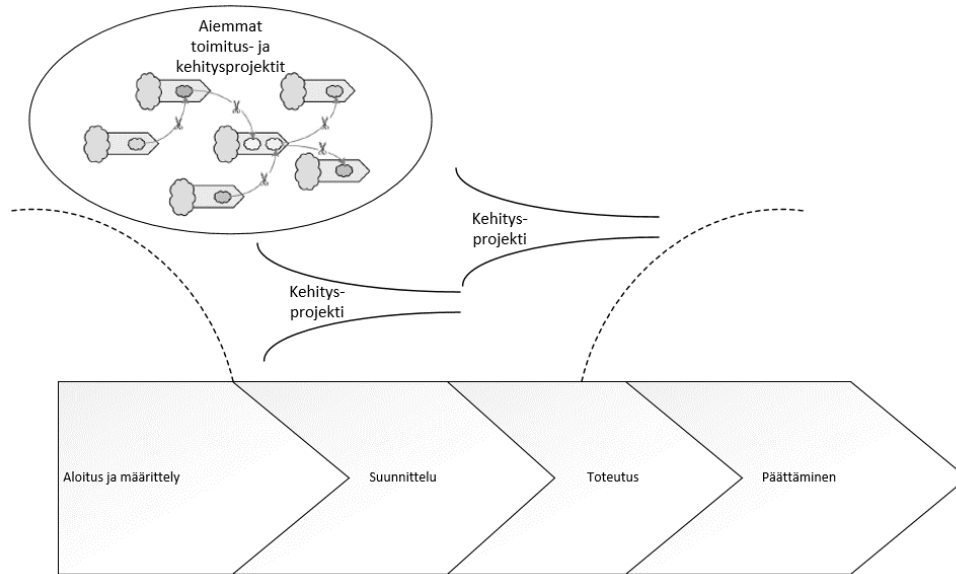
**Kuva 4.** Toimitus- ja investointiprojektien elinkaari (muokattu lähteestä Arto *et al.* 2006)

Riippuen projektin sidosryhmän näkökulmasta toimitusprojekti voidaan nähdä joko toimituksena tai investointiprojektina (Arto *et al.* 2006). Asiakkaan näkökulmasta projekti on investointi, eli yritys investoi projektiin ja sen lopputuotteeseen oletuksenaan saada

projektista huomattavaa hyötyä liiketoimintaansa. Toisaalta taas toimittajan näkökulmasta projekti on tuotannon väline hyödyntää resurssejaan siten, että projektin tuotoksena asiakkaalle saadaan toimitettua projektin tavoitteita vastaava ratkaisu (Artto *et al.* 2006).

Toimitusprojektien lisäksi projektit voidaan nähdä myös kehittämisen välineinä. Kehitysprojekteissa liiketoiminnalla ja asiakkaalle luodaan välillistä arvoa toiminnan uudistamisen tai tehostamisen myötä (Artto *et al.* 2006). Kehitysprojekteissa pyritään tietämystä soveltamalla luomaan uusia tuotteita, palveluita, ratkaisuja, osaamista, toimintaa tai parantamaan aiempaa. Kehitysprojektit voidaan jakaa toiminnan kehittämisprojekteihin ja toisaalta tutkimusprojekteihin. Tutkimusprojekteissa projektin lopputulosta tai hyötyjä on yleensä haastavaa arvioida etukäteen ja sitä käytetään enemmänkin tietämyksen luontiin tai etsintään (Artto *et al.* 2006). Kehitysprojekteissa epävarmuus lopputuloksista on pienempi ja tällöin projektin onnistumisen arviointiin pystytään määrittämään tarkemmat kriteerit. Tutkimusprojekti voi olla onnistunut vaikka projektin lopputulos ei tuottaisi hyötyä kyseiselle yritykselle (Artto *et al.* 2006).

Usein projektiliiketoiminnassa jako toimitus- ja kehitysprojekteihin ei kuitenkaan ole näin selkeä. Projekteihin perustuvassa liiketoiminnassa yrityksen tuotekehitys tapahtuu usein toimitusprojektin rinnalla, koska projektin lopputuote on ainakin osittain räätälöity tiettyyn asiakastarpeeseen soveltuvaksi. Toisaalta projektiliiketoiminnalla tuotetut tuotteet voivat perustua jo aiempaan ratkaisupohjaan (Adrodegari *et al.* 2015; Willner *et al.* 2016), joka on voitu tuottaa joko itsenäisillä tuotekehitysprojekteilla tai muihin toimitusprojekteihin kehitetyillä tuotteilla. Tällöin toimitusprojektin rinnalla tapahtuva tuotekehitys voidaan nähdä osittain ”leikkaa-liimaa” -toimintona, jossa aiemmissa projekteissa luotua tuotekehitystietoa hyödynnetään kyseisen projektin tavoitteiden saavuttamiseksi (Ulonska & Welo 2014). Kuvassa 5 hahmoteltu todellista projektin toteutusvaihetta projektiliiketoimintaa soveltavan yrityksen näkökulmasta.



**Kuva 5.** Toimitusprojektit projektiliiketoimintaympäristössä (muokattu lähteestä Artto et al. 2006; Ulonska & Welo 2014)

Ainutkertaisissa projekteissa toimitus ohjaa myös kehitysprojektien tavoitteita ja asettavat kehitysprojekteille aikataulupainetta (Kumar & Wellbrock 2009). Toimitusprojekteissa usein myydään asiakkaalle ratkaisuja, joita ei ole vielä kehitetty ja lisäksi toimitusprojektin aikataulu hyväksytään yhdessä asiakkaan kanssa, joka aiheuttaa yrityksille haasteita tuotekehitysprojektin näkökulmasta kehittää aikataulun asettamisessa rajoitteissa kustannuksitaan, suorituskyvyltään ja laadultaan kriteerit täyttäviä tuotteita (Kumar & Wellbrock 2009). Toisaalta toimitusprojektin näkökulmasta asiakkaalle vastuussa olevalla projektipäälliköltä puuttuu valtaa vaikuttaa kehitysprojektin etenemiseen (Caron & Fiore 1995). Caron & Fioren (1995) mukaan yleisin syy projektin myöhästymiseen ja kustannusten ylitykseen on tuotekehityksen myöhästymisen toimitusprojektin asettamasta aikataulusta.

Tuotekehityksen myöhästymisen projektiliiketoiminnassa johtuu yleensä sen yhtenä pääpiirteensä olevasta korkeasta kompleksisuudesta (Zennaro et al. 2019; Foehr et al. 2015; Adrodegari et al. 2015; Willner et al. 2014; Rahman & Shariff 2003). Bosch-Rekveltdt et al. (2011) mukaan kasvava kompleksisuus tai kompleksisuuden aliarvioiminen ovat merkittäviä tekijöitä, jotka vaikuttavat projektin epäonnistumiseen. Projektin kompleksisuudella tarkoitetaan sitä, että on haastavaa arvioida vaikutusta, kun monet eri toiminnot ja maailmassa vaikuttavat parametrit ovat vuorovaikutuksessa keskenään (Martinsuo 2011). Kompleksisuus nähdään usein olevan seurausta projektissa esiintyvistä epävarmuudesta (Bosch-Rekveltdt et al. 2011).

Foehr et al. (2015) mukaan epävarmuutta luovat erityisesti kasvavat trendit, kuten projektien muuttuminen megaprojekteiksi, digitalisaatio sekä tietokoneistuminen,

poikkitieteellistyminen, globalisaatio, tiukentuva lainsäädäntö sekä teknologiset standardit ja lisääntyvä tuotteiden elinkaariajattelu. Aiemmin tutkimuksessa projektin kompleksisuutta on tarkasteltu vain tekniseltä kannalta, mutta Bosch-Rekveltdt *et al.* (2011) laajentavat näkökantaa jakamalla projektin kompleksisuuden kolmeen kategoriaan: tekniseen, organisatoriseen ja ympäristölliseen kompleksisuuteen. Foehr *et al.* (2015) tarkastelee kompleksisuutta projektiliiketoiminnassa vielä tarkemmin jakamalla kompleksisuuden neljään osa-alueeseen taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Kompleksisuuden luokittelu projektiliiketoiminnassa (Bosch-Rekveltdt 2011; Foehr *et al.* 2015)

Luokka (Bosch-Rekveltdt 2011)	Tarkennettu tyyppi (Foehr <i>et al.</i> 2015)	Esimerkkejä projektiliiketoiminnassa
<b>Tekninen</b>	Tuotekompleksisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fyysisten komponenttien, moduulien ja alisysteeminen määrä</li> <li>Komponenttien vuorovaikutus</li> <li>Ohjelmiston osuus</li> <li>Ohjelmiston ja laitteiston vuorovaikutus</li> </ul>
	Prosessikompleksisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Päällekkäinen suunnittelu</li> <li>Kontrollointi, laadunhallinta ja dokumentointi toiminnot</li> <li>Toimintojen määrä prosessissa</li> </ul>
<b>Organisatorinen</b>	Organisatorinen kompleksisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Globalisaatio</li> <li>Eri suunnitteluyksiköiden lukumäärä</li> <li>Sidosryhmien määrä</li> </ul>
<b>Ympäristöllinen</b>	Markkina-kompleksisuus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lainsäädäntö</li> <li>Teknologiset standardit</li> </ul>

Bosch-Rekveltdt *et al.* (2011) TOE-viitekehyksessä (*Technical, Organizational & Environmental framework*) projektin organisatorinen kompleksisuus koostuu projektin koosta, resursseista, projektitiimistä, luottamuksesta ja organisaatioon liittyvästä riskistä. Bosch-Rekveltdt *et al.* (2011) mallissa projektinhallintaprosessit ovat osittain sisällytetty organisatoriseen kompleksisuuteen, kun taas Foehr *et al.* (2015) eriyttävät prosessikompleksisuuden omaksi osa-alueekseen. Eroavaisuudesta huolimatta voidaan taulukon 2 mukaisesti nähdä, että organisatorinen kompleksisuus sisältää prosesseista aiheutuvat kompleksisuudet, koska organisatorinen kompleksisuus sisältää Bosch-Rekveltdt *et al.* (2011) mukaan myös projektin johtamisen tavat ja työkalut sekä päällekkäiset suunnittelutoiminnot. Organisatorinen kompleksisuus kuvastaa sitä miten projekti toteutetaan johtamisen näkökulmasta.

Kompleksisuuteen vaikuttavia ympäristöllisiä tekijöitä ovat esimerkiksi sidosryhmät, sijainti ja markkinaolosuhteet (Bosch-Rekveltdt *et al.* 2011). Ympäristölliset vaikuttimet voidaan nähdä pehmeinä tekijöinä, joita on haastava kvantifioida. Ympäristöllisiin

tekijöihin voidaan nähdä liittyvän Foehr *et al.* (2015) mallista sekä markkinakompleksisuuden vaikuttavat tekijät että osa organisatorisista tekijöistä, kuten globalisaatio ja sidosryhmien lukumäärä. Erityisesti kohdeorganisaation liiketoiminnassa olennaista on ymmärtää projektissa oleva ympäristöllinen kompleksisuus, koska usein projektin tavoitteita ja etenemistä ohjaa toimittajan lisäksi myös asiakas ja toisaalta projektien koostuessa useista alisysteemeistä, niihin liittyvät sidosryhmät ovat voimakkaasti vaikuttamassa projektin epävarmuuteen.

Teknisen kompleksisuuden tekijöitä ovat esimerkiksi projektin tavoitteiden määrä, laajuus, tehtävien määrä ja riippuvuus sekä epävarmuus tavoitteissa ja laajuudessa (Bosch-Rekvelde *et al.* 2011). Toisin sanoen tekninen kompleksisuus riippuu siitä, kuinka selvä näkemys projektissa tuotettavasta lopputuotteesta on olemassa. Tekniseen kompleksisuuteen voidaan nähdä kuuluvan Foehr *et al.* (2015) mukaan tuotekompleksisuus, jossa tarkastellaan komponenttien ja alisysteemin määrää ja vuorovaikutusta kokonaisuudessa sekä ohjelmiston ja laitteiston yhteistoiminnan vaatimuksia.

Vastatakseen projektien kompleksisuuden yrityksiin tulee soveltaa johtamistapoja ja prosesseja projekteihin soveltuvaksi (Bosch-Rekvelde *et al.* 2011). Tuotteiden modularisaatio on nähty monissa lähteissä vastauksena projektiliiketoiminnan kompleksisuuden haasteisiin. Esimerkiksi Foehr *et al.* (2015) mukaan modularisaation avulla systeemi saadaan jaettava kompleksisuudeltaan hallittaviin osiin, mutta modulaarion myötä tuotteeseen syntyy uusia rajapintoja, jotka pitää pystyä integroimaan kokonaisuudeksi. Modularisaatio keskittyy usein teknisen systeemin jakamiseen hallittaviin osiin, mutta laiminlyö eri suunnittelutoimintojen yhdistämisen moduuleihin (Foehr *et al.* 2015).

### 2.1.3 Integroidut ratkaisut

Projektiliiketoiminnan tutkimuksessa tarkastellaan paljon integroitua ratkaisuja. Viime vuosikymmenen lopulla Caron & Fiore (1995) tutkivat, kuinka integroida valmistus- ja innovaatioprosessi projektiliiketoimintaa harjoittavassa yrityksessä, kun taas Little *et al.* (2000) tarkastelivat tutkimuksessaan suunnittelun ja aikataulutuksen integrointia projektisektorilla. 2010-luvulla integrointia projektiympäristössä ovat tutkineet esimerkiksi Foehr *et al.* (2015) systeemien integroinnin kannalta ja Reid *et al.* (2019) informaation integrointia projektin tarjousprosessissa. Lukuisien tutkimusten perusteella voidaan todeta, että integrointi on olennainen aihe diplomityön kontekstissa,

mutta integroinnin käytännön toteuttamisesta ainutkertaisissa projekteissa on tutkimuksessa puutetta (Foehr *et al.* 2015).

Integrointiin yhdistetään usein sana systeemi ja sanojen yhdistelmä voidaan ymmärtää tutkimuksessa monella tavalla (Foehr *et al.* 2015). Engel (2010) määrittelee systeemin rakennelmaksi tai kokoelmaksi eri elementtejä, joka tuottaa tuloksen, mikä ei ole saavutettavissa yksittäisellä elementillä. Teknisestä näkökulmasta systeemien integrointi määritellään usein toiminnoksi, jossa pyritään yhdistämään useita eri elementtejä eli alisysteemejä tai komponentteja yhdeksi isoksi systeemiksi (Foehr *et al.* 2015), jotka eivät itsenäisinä osina pysty täyttämään systeemin tarkoitusta (Shenhar 1998).

Hobday *et al.* (2005) ottavat laajemman näkökannan, jossa argumentoivat systeemien integroinnin olevan kyvykkyyttä, joka mahdollistaa eri toimijoita määrittelemään ja yhdistelemään tarvittavia syötteitä systeemille ja ymmärtämään tulevaisuuden systeemin kehityksen. Hobday *et al.* (2005) jatkavat toteamalla, että yrityksen näkökulmasta integrointi keskittyy tapaan, jolla yritys yhdistelee korkean teknologian komponentteja, alisysteemejä, ohjelmistoja, taitoja, tietämystä ja henkilöstöä valmistamaan tavoitteena olevaa tuotetta. Mitä teknologisempi, kompleksisempi ja kustannuksiltaan korkeampi tuote on, sitä tärkeämpi aktiviteetti systeemien integrointi on tuotetta tuottavalle yritykselle. Hobday *et al.* (2005) argumentoivatkin, että systeemien integrointi on korkeaa teknologiaa tuottavan yrityksen ydinosaamista.

Poiketen yleisestä systeemien suunnittelusta ja integroinnista, projektiliiketoiminnassa systeemien integrointi vaatii paljon enemmän joustavuutta (Foehr *et al.* 2015). Little *et al.* (2000) mukaan projekteissa joustavuuden tarve tulee siitä, että asiakas saattaa muuttaa tarpeitaan projektin edetessä. Integroinnin haasteet voidaan luokitella kuuteen alueeseen taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. *Integroinnin tarpeet projektiliiketoiminnassa (Foehr et al. 2015)*

Tarve	Selitys
<b>Mitä integroidaan?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moduulien, komponenttien ja alisysteemien integrointi</li> <li>• Datan, työkalujen ja IT-järjestelmien integrointi</li> <li>• Suunnitteluyksiköiden integrointi</li> <li>• Sisäisten ja ulkoisten sidosryhmien integrointi</li> <li>• Ihmisten integrointi</li> <li>• Elinkaarivaiheiden integrointi</li> </ul>
<b>Milloin integroidaan?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integroinnin ajankohta</li> <li>• Voi olla osa suunnittelua, käyttöönottoa tai operaatioita</li> <li>• Pyritään mahdollisimman aikaiseen integrointiin alisysteemien testaamisella</li> </ul>
<b>Kuka integroi?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integroinnista vastuussa oleva tahon</li> <li>• Aikainen integrointi vaikuttaa vastuun siirtymiseen käyttöönotosta suunnitteluun</li> </ul>

Tarve	Selitys
<b>Missä integroidaan?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integroinnin fyysinen sijainti</li> <li>• Toimitusprojekteissa usein toimituspaikassa</li> <li>• Modulaarion avulla pystytään vähentämään asiakas-site integrointia</li> </ul>
<b>Miksi integroidaan?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integroinnin tavoitteena pitäisi olla systeemin tarkoituksen saavuttaminen eikä niinkään yksittäisten toiminnallisuuksien integrointi</li> </ul>
<b>Integroinnin ohjausmetodi?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• V-malli</li> <li>• Agile</li> <li>• Vesiputous</li> <li>• IFM (<i>Integrated Formal Method</i>)</li> </ul>

Taulukossa 3 on lueteltu projektien integroinnissa huomioon otettavia asioita. Yleisesti voidaan todeta, että tutkimuksen kontekstissa on erityisen tärkeää ymmärtää integroinnin tarkoituksena olevan ei pelkästään teknisen systeemin integrointi, vaan myös kaikkien ulkoisten ja sisäisten sidosryhmien, organisaation ja prosessien integrointi kokonaisuudeksi. Lisäksi integraatioajattelu tulisi aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa tuotekehityksessä ja projekteissa, jolloin pystyttäisiin välttämään kalliita epäjatkuvuuksia ja siiloutumista projektin aikana. Taulukon 3 mukaisesti olennaisena osana integrointia on ohjausmetodi eli prosessi. Projektiliiketoiminnassa voidaan hyödyntää erilaisia prosesseja, kuten V-mallia, spiraalista kehitystä, perinteistä vesiputousmallia sekä samanaikaista kehitystä.

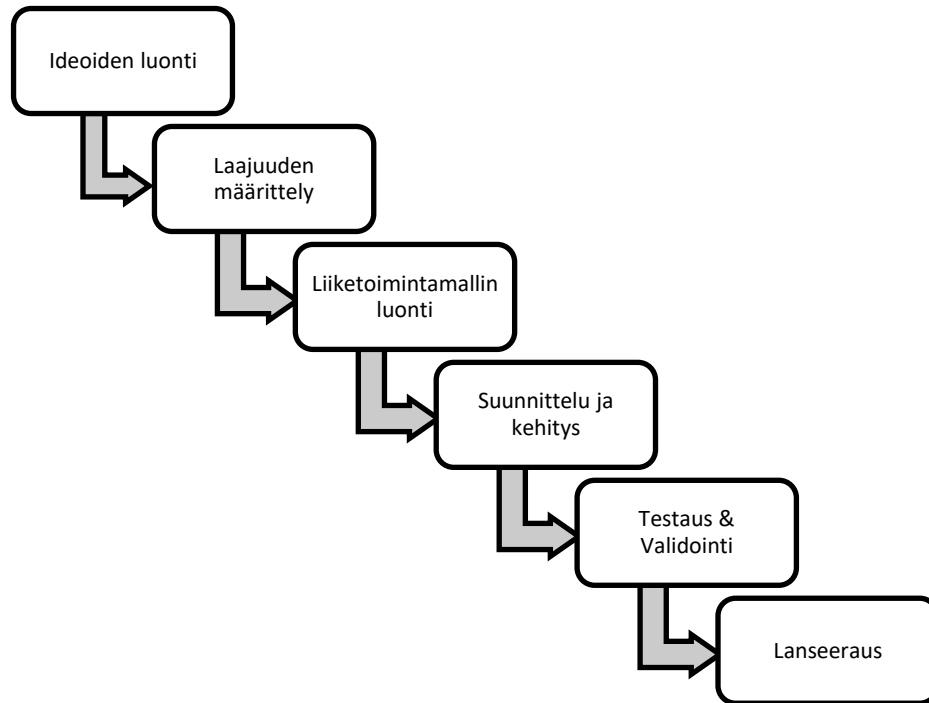
## 2.1.4 Tuotekehitysprosessit

Jotta pystyttäisiin vastaamaan tuotekehitystarpeeseen nopeasti ja kustannustehokkaasti, tarvitaan tehokkaita prosesseja tuotekehityksen johtamiseen ja innovaatioita prosesseihin (Henard & McFaydyen 2012). Kustannustehokkuuden ja nopeuden lisäksi formaalit tuotekehitysprosessit parantavat tuotekehityksen laatua, koordinoitua, suunnittelua, johtamista sekä kehittämistä (Ulrich & Eppinger 2012). Prosessien ideana on siis kuljettaa tuotekehitysprojektit systemaattisesti ideasta julkaisuun.

Unger & Eppinger (2011) jakavat prosessit karkeasti kahteen ääripäähän: perinteiseen vaiheistettuun prosessiin eli vesiputousmalliin ja joustavampaan spiraaliin tuotekehitysprosessiin. Spiraalia prosessia kutsutaan usein myös *Agile*-malliksi (Cooper 2011). Perinteinen vaiheistettu prosessi on sarja erillisiä ja peräkkäisiä vaiheita, jossa seuraavaan vaiheeseen siirryttäessä ei palata enää edeltävään vaiheeseen, koska se on haastavaa ja kallista (Unger & Eppinger 2011). Spiraalissa tuotekehitysprosessissa liikutaan useita kertoja eri prosessin vaiheiden välillä iteroimalla parasta mahdollista



lopputulosta. Kuvassa 6 on esitelty perinteinen vaiheistettu tuotekehitysprosessi mukaillen Cooperin (2011) *Idea-to-Launch Stage-Gate* systeemiä. Prosessi koostuu 6 vaiheesta: Ideoiden luonnista, laajuuden määrittelystä, liiketoimintamallin luonnista, varsinaisesta tuotteen kehityksestä ja tuotteen lanseeraamisesta.



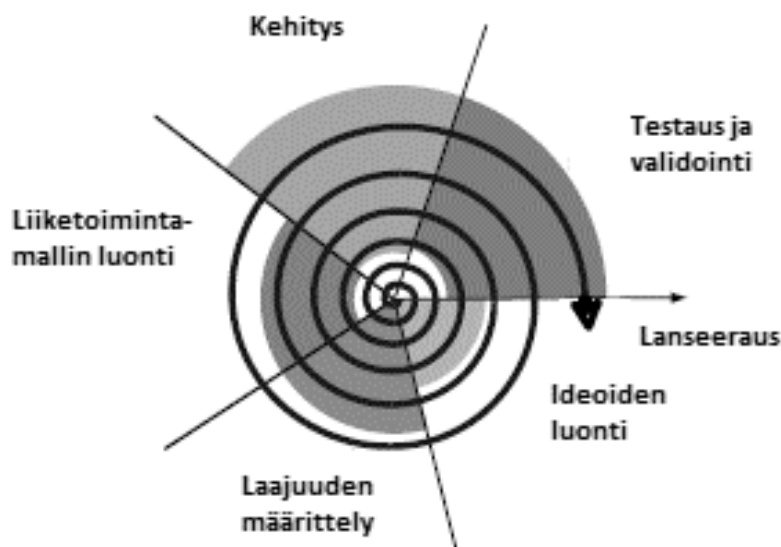
**Kuva 6.** Perinteinen vaiheistettu prosessi (muokattu lähteestä Cooper 2011)

Ideoiden luonnissa luodaan pohja prosessin käynnistymiselle. Ideointi tarkoittaa sitä, että pyritään löytämään teknologisia kehitysmahdollisuuksia, jotka kohtaavat markkinoiden tarpeeseen ja odotettuun kysyntään. Laajuuden määrittelyssä tarkastellaan, mitkä edellisessä vaiheessa luoduista ideoista ovat kannattavia toteuttaa ja missä mittakaavassa. Kolmannessa vaiheessa liiketoimintamallin luonnissa määritellään tuote eli mitä kehitetään ja toimitetaan, miksi tuotteeseen kannattaa investoida sekä toimintasuunnitelma tuote- ja taloussuunnitelmien saavuttamiseksi. Kehitysvaiheessa tuotteen kehitys toteutetaan suunnitelman mukaisesti. Testaus- ja validointivaiheessa varmistetaan tuotteen hyödynnettävyys sekä itse tuotteen näkökulmasta että tuotannon, asiakkaan ja liiketoiminnan näkökulmasta. Viimeisenä prosessin vaiheena on tuotteen lanseeraus. (Cooper 2011)

Vaiheistetussa tuotekehitysprosessissa jokaisen vaiheen välissä on portti. Cooperin (2011) mukaan porteilla tehdään aina päätös siitä, investoidaanko projektiin lisää resursseja vai jätetäänkö projekti odottamaan tai hylätäänkö se. Porteissa siis päätetään, onko edellisen vaiheen tuotokset riittävät seuraavaan vaiheeseen

siirtymiseksi. Investointien näkökulmasta tärkeimmäksi portiksi Cooper (2011) nostaa kehitysvaihetta edeltävän portin, jossa sitoudutaan suuriin resurssointeihin ja investointeihin alettaessa kehittämään varsinaista tuotetta.

Spiraalinen tuotekehitysprosessi koostuu samoista vaiheista kuten geneerinen vaiheistettu prosessi, mutta siinä liikutaan suunnitellusti eri vaiheiden välillä ja samalla kerätään palautetta vaiheiden toiston avulla (Unger & Eppinger 2011). Spiraalinen prosessi on kehitetty ohjelmistokehityksen tarpeisiin, jossa projektin vaatimukset ja ratkaisut kehittyvät prosessin edetessä iteraatioiden avulla (Cooper 2016). Spiraalinen tuotekehitysmalli on suunniteltu auttamaan ohjelmistokehittäjiä nopeasti kehittämään toimivan ohjelman, joka jatkuvasti validoidaan asiakkaalla. Spiraalinen projekti jaetaan sprintteihin, jossa jokaisessa pitäisi saavuttaa toimiva tuote. Testaamalla sprinteissä saavutettuja tuotteita asiakkaalla saadaan ymmärrystä projektista haluttaviin tuloksiin, jotka usein ohjelmistoprojektien alussa ovat epäselviä (Cooper 2016). Spiraaliprosessin etenemistä on kuvattu kuvassa 4.

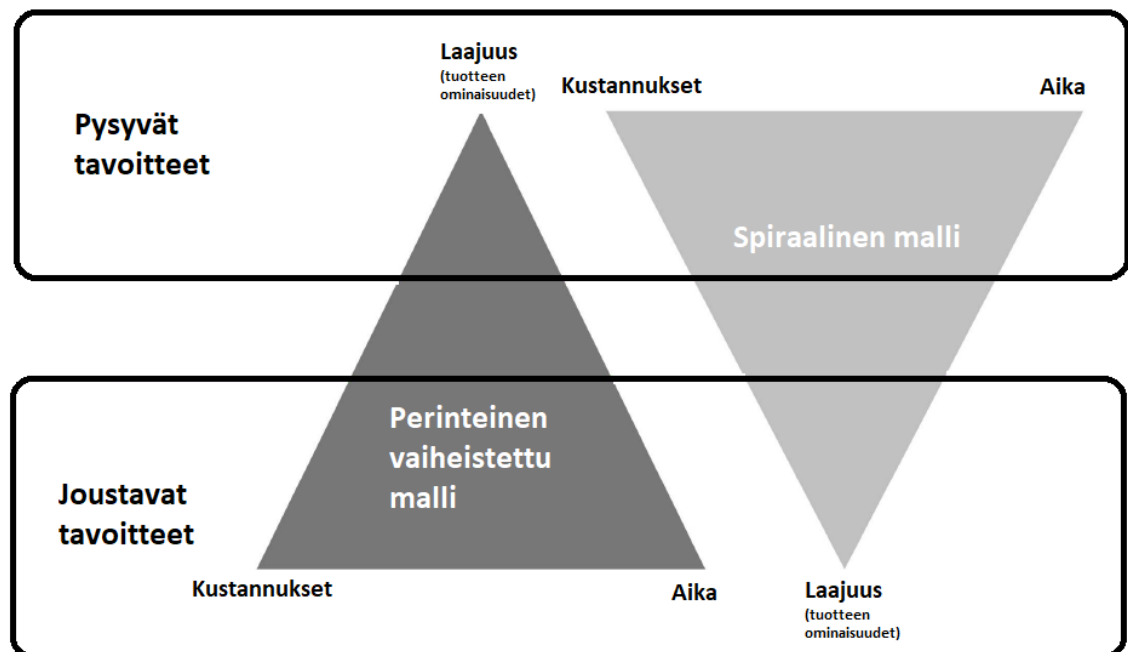


**Kuva 7.** Spiraali tuotekehitysprosessi (muokattu lähteestä Unger & Eppinger 2011)

Verrattaessa prosesseja, vaiheittaisessa prosessissa korostuu vaiheiden väliset päätöksentekoportit, jotka ovat pääsy seuraavaan vaiheeseen kun taas spiraalisessa mallissa siirtyminen seuraavaan vaiheeseen on joustavampaa ja vähemmän säädeltyä (Unger & Eppinger 2011). Cooperin (2011) mukaan portit ovat edellytys tuotekehitysprosessin laadukkuuteen ja mahdollisuuteen priorisoida. Spiraalisessa mallissa johdon kyky hallita tuotekehitystä esimerkiksi laadun tai priorisoinnin kannalta on heikompi, koska porttien puute heikentää näkyvyyttä projektin etenemiseen (Unger & Eppinger 2011).

Suunniteltaessa kompleksisia systeemejä spiraalisen prosessin heikkoutena on tuote-erittelyn voimakkaat muutokset projektin edetessä, mikä saattaa aiheuttaa kehitysprojektin myöhästymistä (Unger & Eppinger 2011). Vaiheittaisessa tuotekehitysprosessissa tuotteen erittely lukitaan aikaisessa vaiheessa prosessia, jolloin saattaa syntyä markkinariski tuotteen soveltumisessa markkinoille. Ungerin ja Eppingerin (2011) mukaan vaiheittaisen prosessin suurimmat ongelmat ovat sen jäykkyys sekä pitkä läpimenoaika. Läpimenoaikaa pidentää se, että prosessissa on usein haastavaa käsitellä samanaikaisia toimintoja vaiheiden sisällä ja toisaalta päätösportit saattavat luoda hidastavia pullonkauloja (Unger & Eppinger 2011).

Vertailua prosessien välillä voidaan tarkastella myös projektin tavoitteiden kannalta. Kuvassa 8 esitetty Cooperin (2016) näkemys siitä, kuinka prosessimallit soveltuvat projektin kolmen päätavoitteen, laajuuden, kustannusten ja aikataulun täyttämiseen.



**Kuva 8.** *Prosessin soveltuvuus projektin tavoitteisiin (muokattu lähteestä Cooper 2016)*

Cooperin (2016) mukaan perinteinen vaiheistettu prosessi on soveltuvampi tilanteisiin, joissa tuotekehitysprojektin laajuus eli tuotteen halutut ominaisuudet ovat tiedossa. Toisaalta spiraalinen tuotekehitysmalli soveltuu tilanteisiin, joissa laajuus on epäselvä ja projektin kustannukset sekä aika on sidottu.

Useimmat prosessimalleista on luotu MTS-valmistusympäristöön ja täten tutkimuksessa on puutetta projektiympäristöön soveltuvista tuotekehityksen viitekehyksistä (Rahman et al. 2003). Tarkasteltaessa eri prosesseja projektiliiketoiminnan näkökulmasta spiraalinen

malli voisi olla sopiva, koska usein projekteissa on koettu, että tuotekehityksestä aiheutuva myöhästyminen lisää myös riskiä suuresta budjetin ylityksestä. Foehr *et al.* (2015) mukaan spiraalimallia ei kuitenkaan käytetä, koska se aiheuttaisi huomattavasti korkeammat materiaalikustannukset iteraatioissa tuotettujen välituotteiden myötä. Myös Cooper (2016) toteaa, että spiraalinen malli ei ole yksinään kyvykäs ohjaamaan fyysisten tuotteiden kehitystä. Rahman *et al.* (2003) kritisoivat perinteisen vaiheistetun mallin soveltuvuutta ainutkertaiseen projektiympäristöön, koska se ei ota riittävästi huomioon asiakasrajapintaa projektissa, kuten asiakkaan vaikutusta tuotekehityksen tavoitteisiin ja toisaalta tuotteen toimittamiseen liittyviä aktiviteetteja.

Vaiheittainen ja spiraaliprosessi ovat kaksi ääripäätä erityyppisistä tuotekehitysmalleista (Unger & Eppinger 2011). Cooper (2011) tuo esille kirjassaan mallin, jossa yhdistellään sekä perinteistä vaiheittaista tuotekehitysmallia spiraaliseen tuotekehitysmalliin. Yhdistetyssä mallissa perinteisen mallin vaiheiden sisällä tapahtuu spiraalista kehitystä. Cooperin (2011) mukaan uusi malli hyödyntää tuotekehityksen ääripäiden parhaita puolia, jossa pyritään vähentämään vaiheittaisen mallin kankeutta ja toisaalta spiraalisen mallin liiallista vaihtelevuutta. Mallissa korostetaan erityisesti asiakkaan tai käyttäjän läsnäoloa prosessissa. Cooperin (2016) mukaan perinteinen- ja spiraalinen tuotekehitysmalli eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan spiraalinen malli on enemmän päivittäiseen tuotekehityksen ohjaukseen ja vaiheittainen prosessi taas korkeamman tason investointipäätöksiin liittyvään suunnitteluun.

Yhdistetyn hybridimallin vahvuuksia ovat esimerkiksi parempi kommunikaatio, tehokkaampi suunnittelun toteutus, parempi asiakaspalautteen huomioiminen, selkeämpi dokumentaatio, mukautuminen epävarmuuteen sekä muutoksiin ja parempi ilmapiiri kehitysprojektissa (Cooper 2016). Hybridiprosessimallin toteuttaminen ainutkertaisessa projektiliiketoiminnassa saattaisi olla kannatettavaa, koska siinä pyritään testaamisen avulla varmistamaan jatkuvasti kehitettävän tuotteen soveltuvuus asiakkaan tarpeisiin. Koko prosessin elinkaaren aikaisella testaamisella tuotteen laatuun vaikuttaviin tekijöihin pystytään reagoimaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Hybridimallin toimivuutta fyysisten tuotteiden valmistukseen ei ole vielä paljon tutkittu (Cooper & Sommer 2016), joten sen soveltuvuutta projektitoimintaan on haastava arvioida.

## 2.1.5 Prosessien haasteet projektiliiketoiminnassa

Useissa tutkimuksissa on havaittu perinteisten prosessien soveltamisesta aiheutuvat haasteet projektiliiketoiminnalle. Taulukossa 4 on tarkasteltu projektiliiketoimintaa käsittelevistä tutkimuksista esille tulevia haasteita prosesseissa ja niihin kehitettyjä ratkaisuja.

Taulukko 4. *Prosessien haasteet ja kehitysalueet*

Tutkimus ja konteksti	Haasteet	Kehitysalueet
<b>Zennaro et al. (2019)</b> <b>Kirjallisuuskatsaus projektiliiketoiminnan tuotannon haasteista</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spesifikaatio- ja kehitysprosessit</li> <li>• Tuotannon suunnittelu ja kontrollointi</li> <li>• Portfolionhallinta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Älykkäiden tietojärjestelmien käyttö tuotekehityksessä ja tuotannossa</li> <li>• Materiaalihallinnan työkalut</li> <li>• Ergonomia tuotannossa</li> <li>• Ihmisresurssien monimuotoisuuden arviointi ja hyödyntäminen</li> </ul>
<b>Reid et al. (2019)</b> <b>Toimintatutkimus prosessien laadusta projektiliiketoiminnassa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prosessien läpinäkyvyys</li> <li>• Prosessin onnistuminen korkeasti riippuvainen ihmisresursseista</li> <li>• Projektien riippuvuus</li> <li>• Projektien vertailu, koska tieto aiemmista projekteista puuttuu</li> <li>• Prosessin alkuvaiheiden päätökset vaikuttavat loppuvaiheiden suoritukseen</li> <li>• Epäselvät rajapinnat toimintojen välillä</li> <li>• Prosessin luovutuspisteet</li> <li>• Epäselvyys omistajuudessa ja vastuissa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• IDEF-QA prosessianalyysi</li> <li>• Projekteista oppimisen tukeminen</li> <li>• Kommunikointimekanismien läpinäkyvyys</li> <li>• Panostus kehitysprosessin etupäähän</li> </ul>
<b>Mello et al. (2017)</b> <b>Tapaustutkimus projektiliiketoiminnan toimitusketjun kontrollinnasta</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokumentoinnin heikko laatu</li> <li>• Myöhästymiset piirustusten toimittamisessa</li> <li>• Tuotemuutokset tuotannon alettua</li> <li>• Virheiden löytämiseen ja korjaamiseen kulunut aika</li> <li>• Laatuongelmat</li> <li>• Tietovirta katkokset</li> <li>• Heikko prosessin läpinäkyvyys</li> <li>• Aliarvioidaan kompleksisuus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaatimusten analyysin systematisointi</li> <li>• Kyvykkyyksien kehittäminen</li> <li>• Yhteistyö toimittajien kanssa</li> <li>• Suunnittelun ja tuotannon integrointi</li> <li>• Riskienhallintatyökalu joka huomioi edellisen tiedon aiemmista projekteista</li> </ul>

Tutkimus ja konteksti	Haasteet	Kehitysalueet
<b>Adrodegari et al. (2015)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektinhallintamenetelmien hyödyntäminen yksilöllistä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tilanteeseen räätälöity integroitu tietojärjestelmä projektinhallinnalle ja suunnittelulle</li> <li>• Lisätutkimus kattavista prosesseista</li> </ul>
<b>Tapaustutkimus projektiliiketoiminnan tuotannon suunnittelusta ja kontrolloinnista</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kokonaisuuteen soveltuvien prosessien puuttuminen</li> <li>• IT-järjestelmien hajautuneisuus</li> </ul>	
<b>Little et al. (2000)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eri vaiheissa kulkevien projektien kilpailu kriittisistä resursseista, esimerkiksi testauksessa</li> <li>• Tuotteiden myyntikonfiguroinnin hallinta</li> <li>• Vähäinen huomio tuotekehityksen hallintaan ja monitorointiin</li> <li>• Riittävän master aikataulun hallinta, liikaa uusia tilauksia</li> <li>• Heikko asennuksen suunnittelu, aikataulutus ja seuranta</li> <li>• Korkea uudelleen työn taso</li> <li>• Prosessien irrallisuus toisistaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tilanteeseen soveltuvien tietojärjestelmien kehitys</li> <li>• Seurantamekanismien rakennus</li> <li>• Prosessien integrointi toisiinsa</li> <li>• Integroitu suunnittelu ja täytäntöönpano</li> <li>• Tuotannon aikataulutus takaperin</li> </ul>
<b>Tapaustutkimus projektiliiketoiminnan integroidusta suunnittelusta ja aikataulutuksesta</b>		
<b>Caron &amp; Fiore (1995)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puutteellinen kommunikointi toimintojen välillä</li> <li>• Asiakkaalle vastuullisella ei vaikutusvaltaa kehitykseen</li> <li>• Kompleksisuuden aliarviointi</li> <li>• Osaoptimointi</li> <li>• Kokonaissuunnitelman puute</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toistettavien työpakettien tunnistaminen ja standartointi</li> <li>• "Down-Top" projektin aikataulutus ja "Top-Down" kontrollointi</li> <li>• Informaation aktiivinen jakaminen</li> </ul>
<b>Katsaus projektiliiketoimintaympäristöstä</b>		

Useissa tutkimuksissa nousee esille liiketoimintaprosessin alkuvaiheiden haasteet. Erityisesti projektin tarjous- ja myyntivaiheessa **asiakastarpeen spesifioinnissa** tuotekontrolloinnin puutteesta johtuvat virheet aiheuttavat haasteita projektin myöhemmissä suoritusvaiheissa. Esimerkiksi ainutkertaisissa projekteissa suunnittelun jäädytys venyy usein myöhäiseksi, johtuen asiakkaan vaikutuksesta tuotekehityspäätöksiin (Rahman & Shariff 2003). Tämä saattaa johtaa tuotekehityksessä epäselvyyteen kehitettävästä tuotteesta ja aikataulullisesti haasteet kumuloituvat projektin loppupäähän, koska kehityksessä myöhästynyt projektin aikataulu pyritään ottamaan kiinni esimerkiksi vähentämällä testauksen määrää. Toisaalta suunnittelun jäädyttämisen myöhästymisen saattaa johtaa myös tuotteen vajaaseen

kehitysasteeseen tai reaktiiviseen ongelmanratkaisuun, jossa tuotteesta tulee entisestään kompleksisempi ja ainutkertaisempi (Ulonska & Welo 2014).

Lisäksi tutkimuksista esille nousee voimakkaasti **haasteet suunnittelun ja tuotannon välisessä yhteistoiminnassa ja kommunikoinnissa**. Mello *et al.* (2014) mukaan kontrolloinnin puute suunnittelun ja tuotannon rajapinnassa aiheuttaa projektien viivästymisiä. Kolmantena haasteena on **resurssienhallinta**. Zennaro *et al.* (2019) mukaan projektitoimintaympäristössä syntyvä epävarmuus aiheuttaa haasteita resurssien ajoituksessa. Lisäksi Little *et al.* (2000) on tunnistanut kriittisistä resursseista aiheutuvan kilpailun projektien välillä. Projektien resurssien kilpailutilanteessa tyypillistä toimintaa saattaa olla projektipäälliköiden resurssien varaaminen ”kaiken varalle” (Abrantes & Figueiredo 2015). Tällöin resurssien todellinen vapausaste muille projekteille jää pimentoon.

## 2.2 Laatu ja tuotetestaus

### 2.2.1 Laatu ja laadun ulottuvuudet projektitoiminnassa

Laatu on tunnistettu nopeuden lisäksi olennaiseksi elementiksi projektiliiketoimintaympäristössä (Reid *et al.* 2019). Laadun määritelmä ei kuitenkaan ole yksinkertainen, koska laadun havaitseminen perustuu kokemukseen eli se on subjektiivinen (Yang & El-Haik 2009) ja sillä on useita ulottuvuuksia (Garvin 1987). Tekniseltä näkökannalta laadulla voidaan nähdä olevan kaksi tarkoitusta: tuotteen tai palvelun tulee pystyä täyttämään potentiaalisen asiakkaan tarpeet ja tarpeet tulee täyttää johdonmukaisesti (Yang & El-Haik 2009). Määritelmän perusteella laatu tai laadukkuus perustuu siis asiakkaan subjektiiviseen näkemykseen siitä, täyttääkö tuote tai palvelu tarpeet ja toisaalta täyttääkö tuote tai palvelu tarpeet riittävän pitkään.

Kuten jo aiemman määritelmän perusteella on todettua, laatu perustuu subjektiiviseen kokemukseen ja voi tällöin tarkoittaa eri kohteille eri asiaa. Garvin (1987) jakaa artikkelissaan laadun ulottuvuudet kahdeksaan luokkaan, joiden perusteella tuotteen tai palvelun laatua voidaan tarkastella:

- **Suorituskyky (*Performance*)** kuvaa tuotteen pääominaisuuksia eli kuinka hyvin tuote tai palvelu suoriutuu päätehtävästään.
- **Ominaisuudet (*Features*)** ovat tuotteen tai palvelun lisätoimintoja, jotka täydentävät tuotteen päätarkoitusta.

- **Vaatimustenmukaisuus (*Conformance*)** kuvaa tuotteen tai palvelun vastaavuutta vaatimuksiin ja soveltuvuutta teollisiin standardeihin.
- **Luotettavuus (*Reliability*)** tarkastelee tuotteen toimimattomuuden todennäköisyyttä tietyllä aikavälillä.
- **Kestävyys (*Durability*)** kuvaa tuotteen hyödyntämisaikaa mukaan lukien huollot. Vahvasti riippuvainen luotettavuudesta.
- **Huollettavuudella (*Serviceability*)** tarkoitetaan tuotteen ylläpidettävyyttä, korjattavuuden helppoutta ja huoltopalvelun nopeutta.
- **Esteettisyys (*Aesthetics*)** tarkastelee tuotteen aisteilla havaittavia ominaisuuksia kuten, ulkonäköä, ääntä, hajua ja makua.
- **Havaittu laatu (*Perceived quality*)** aiemmista tuotteista tai palveluista luo mielikuvan myös uusien tuotteiden laadusta.

Huolimatta laadun subjektiivisesta kokemuksesta, osaa laadun ulottuvuuksista voidaan mitata objektiivisesti. Esimerkiksi ajoneuvon suorituskykyä voidaan mitata sen kiihtyvyydellä tai toimintamatkalla ja luotettavuutta voidaan tarkastella toistokokeiden avulla. Tulee kuitenkin huomata, että tuotteen tai palvelun ei tarvitse täyttää kaikkia Garvinin (1987) laadun ulottuvuuksia. Usein tuotteen laadun parannus yhdellä ulottuvuudella saattaa heikentää laatua jollakin toisella ulottuvuudella, kuten esimerkiksi parannettaessa ajoneuvon suorituskykyä saattaa sen kestävyys tai luotettavuus heikentyä. Tavoiteltaessa korkeaa laatua kaikilla ulottuvuuksilla nousee laadun kustannukset huomattaviksi (Garvin 1987). Tärkeintä yritykselle onkin strategisesti ymmärtää, millä laadun ulottuvuuksilla se pystyy erottumaan kilpailijoistaan ja täten hankkimaan kilpailuetua (Garvin 1987). Erottuminen laadulla kilpailijoista pitää kuitenkin tapahtua siten, että ymmärtää kohdeasiakkaalle olennaiset laadun ulottuvuudet ja pystyy täyttämään tai ylittämään ne, koska modernin laadun määritelmän mukaan laatu on asiakkaan tarpeiden täyttämistä tai ylittämistä ja kilpailuetua voi saavuttaa, jos pystyy ylittämään asiakkaan odotukset (Sower 2011).

Jokaiselle yritykselle strategisesti tärkeät laadun ulottuvuudet riippuvat niiden asiakkaista. Projektiympäristön yleispiirteiden myötä voidaan kuitenkin olettaa, että kalliiden ja kompleksisten investointihyödykkeiden kohdalla korostuu laadun ulottuvuuksista vaatimusten mukaisuus, luotettavuus, kestävyys, suorituskyky sekä huollettavuus. Foehr *et al.* (2015) mukaan projekteissa enenevässä määrin tuotteita ohjaa ympäristölliset säädökset ja rajoitukset sekä tekniset standardit. Tuotteiden ollessa kompleksisia integroituja systeemejä, systeemien elementtien luotettavuus korostuu,

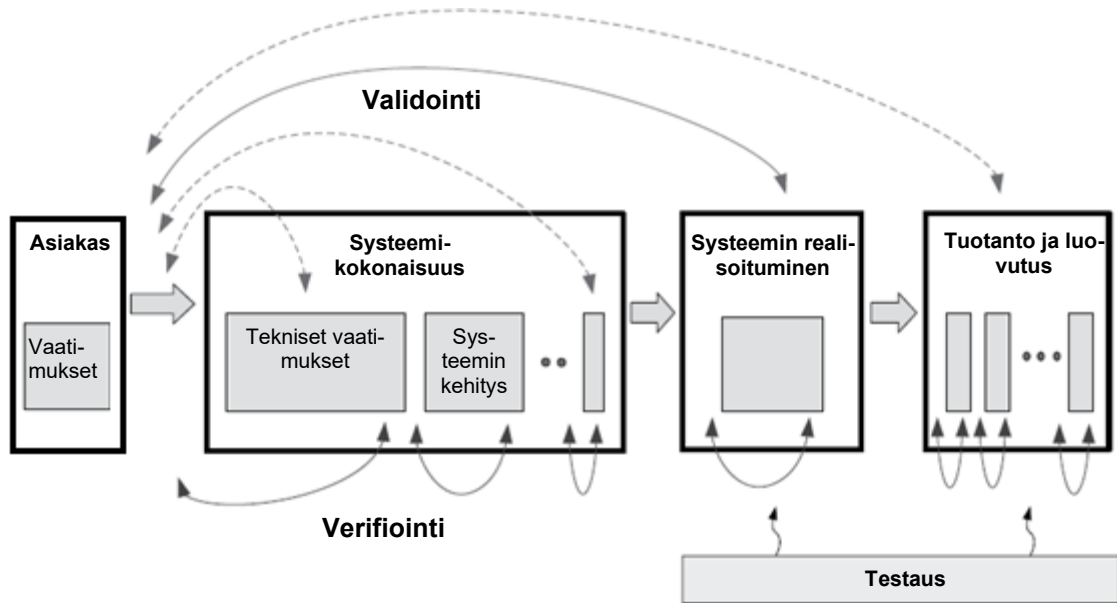


koska systeemin kokonaisluotettavuus on elementtien luotettavuuden tulo (Sower 2011). Kokonaisen systeemin luotettavuus on paljon pienempi kuin yksittäisen elementin, koska elementtien voidaan ajatella olevan sarjassa, jossa jokaisen elementin toimivuus vaaditaan systeemin tarkoituksen täyttämiseksi.

Investoinnin arvon ollessa suuri, esille nousee myös suorituskyky, kestävyys ja huollettavuus. Projekteissa investointipäätöksissä korostuu tuotteiden elinkaariajattelu eli tuotteiden ostaja pyrkii miettimään enemmän omistamisen ja käyttämisen kokonaiskustannuksia eikä vain päätöksentekohetkellä syntyviä hankintakustannuksia (Foehr *et al.* 2015). Tällöin voidaan ajatella, että laadun ulottuvuuksien osalta olennaisessa roolissa on myös suorituskyky, kestävyys ja huollettavuus, koska näiden pohjalta määräytyvät elinkaaren aikana syntyvät kulut. Suorituskyky määrittää, kuinka hyvin tuote pystyy suoriutumaan päivittäisestä toiminnasta, kestävyys määrittää tuotteen käyttöiän ja huollettavuus tukee sekä suorituskykyä että kestävyyttä.

### **2.2.2 Laadunhallinta projektiliiketoiminnassa**

Ainutkertaisissa projekteissa yrityksen tulee ottaa laatu huomioon jo aikaisessa suunnitteluvaiheessa, koska mahdollisuudet vaikuttaa laatuun projektin loppuvaiheessa ovat vähäisemmät varsinaisen massatuotantovaiheen puuttuessa. Laadun määritelmän mukaisesti sen tärkein tehtävä on täyttää tai ylittää asiakastarpeet. Asiakastarpeiden täyttämisen lisäksi tuotteen laatu on tärkeää myös turvallisuus ja vastuusyistä. Varmistaakseen asiakasturvallisuuden ja välttyäkseen oikeudellisilta kuluilta yrityksen tuotteiden tulee olla hyvin suunniteltuja ja todella luotettavia (Sower 2011). Laadukkuuden varmistamiseksi koko tuotteen suunnittelun elinkaarella yrityksen tulisi hyödyntää erilaisia laadunhallinnan työkaluja. Laadunhallintaa on havainnollistettu kuvassa 9.



**Kuva 9.** Laadunhallinta integroiduitujen systeemien kehityksessä (muokattu lähteestä Engel 2010)

Kuvasta 9 nähdään, että laadun määritelmän mukaisesti vaatimukset lähtevät asiakkaasta. Integroitujen systeemien kehityksessä vaatimukset käännetään teknisiksi vaatimuksiksi, jotka jalkautuvat alisysteemien kehitykseen. Verifiointilla varmistetaan, että realisoitunut tuote tai systeemi täyttää sille asetetut vaatimukset eli verifiointilla vastataan kysymykseen, onko systeemi rakennettu oikein (Engel 2010). Validoinnin tarkoituksena on varmistaa, että tuote toimii tarkoitetussa käyttöympäristössään systeemin sidosryhmiä tyydyttävällä tavalla eli validointi vastaa kysymykseen, onko rakennettu oikea tuote (Engel 2010). Testaaminen on verifiointin ja validoinnin väline, jossa kehitettävä tuote altistetaan tietyille olosuhteille, lopputulokset havainnoidaan, tallennetaan sekä arvioidaan tietystä näkökulmasta (Engel 2010). Testaus on siis osa suurempaa tuotekehityksen laadunhallintaa, jossa testauksen avulla tehdään laadun ohjausta ja varmistusta.

Poiketen kuvasta 9 projektitoiminnassa testaaminen tulee sisällyttää jo systeemin kehitysvaiheeseen, koska vaikuttaminen testaamisella laatuun on tuotanto- ja luovutusvaiheessa haasteellista ja saattaa aiheuttaa paljon uudelleen työtä (Caron & Fiore 1995). Sisällyttämällä laatu tuotteeseen jo suunnitteluvaiheessa vähennetään myöhäisempiä muutoksia, tuotantoaika sekä kustannuksia (Rahman *et al.* 2003) Toisaalta testaamista vasta systeemin realisoitumisvaiheessa puoltaa se, että usein asiakkaalle myytävä lopputuote on kooltaan massiivinen ja valmiina vasta loppukäyttäjän kohteessa, jolloin kokonaisuuden testaaminen ennen loppukokoonpanoa saattaa olla mahdotonta (Rahman *et al.* 2003).

### 2.2.3 Testauksen elinkaari ja eri testaustarkoitukset

Testaus nähdään usein vain tapana etsiä virheitä eikä niinkään systemaattisena tapana varmistaa tuotteen laadukkuus (Koopman & Wagner 2016). Toisaalta Thomken (2008) mukaan tuotekehityksessä on taipumus ymmärtää testaus vain loppuvaiheen verifiointityökaluna eikä niinkään jatkuvana oppimisen välineenä. Testaus määritellään tuotekehitystutkimuksessa ”suunnittele-rakenna-testaa-analysoi” -sykliksi (Erat & Kavadias 2008; Thomke 1998). Jos ensimmäinen sykli tuottaa testauksessa halutun tuloksen, voidaan päätös tehdä analyysin pohjalta ja jatkaa eteenpäin kehityksessä. Testaus, koetoiminta tai kokeilu on tuotekehityksen perustoiminto, jota käytetään ongelmanratkaisumuotona. Koetoimintasykli on olennainen osa oppimisprosessia erityisesti teknologioiden integraatiossa ja valmistuksessa (Thomke 1998).

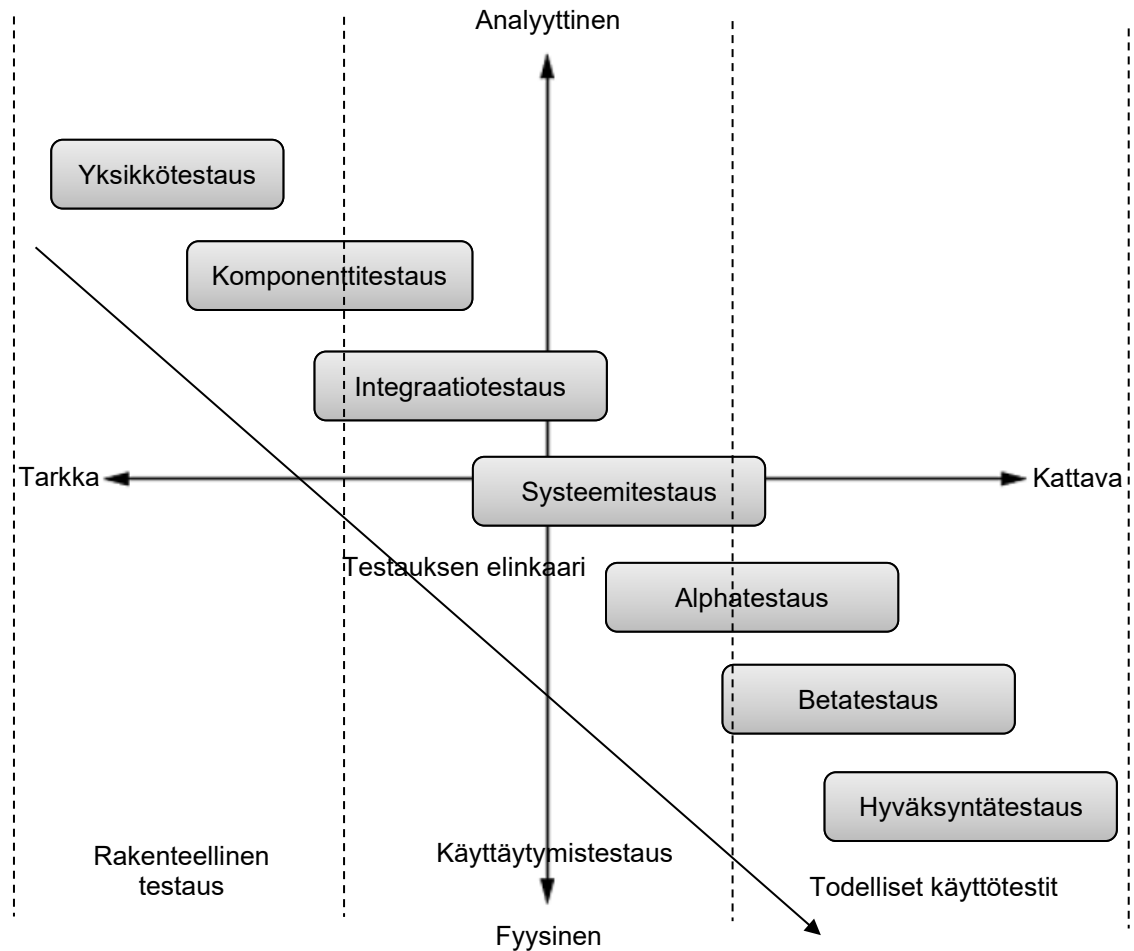
Ulrich & Eppinger (2012) määrittelevät testauksen prosessiksi, jossa kehitetään approksimaatio kehitettävästä tuotteesta ja tarkastellaan sen ominaisuuksia. Approksimaatiota kehitettävästä tuotteesta kutsutaan prototyypiksi tai koekappaleeksi, jolla on yksi tai useampi kehityksen kiinnostuksen kohteena oleva ominaisuus. Engel (2010) määrittelee testauksen toiminnoksi, jossa tuotetta käytetään tietyissä olosuhteissa, tulokset havainnoidaan ja tallennetaan sekä arvioidaan jostain tietyistä näkökulmasta.

Testauksen muotoa voidaan tarkastella kahdella eri ulottuvuudella. Ensimmäinen ulottuvuuksista on testattavan kohteen olemus eli tehdäänkö testi analyyttisellä vai fyysisellä mallilla. Toinen ulottuvuuksista on testattavan kohteen laajuus tai tarkoitus eli onko testissä tarkoitus tarkastella syvällisesti yhtä ominaisuutta vai kehitettävän tuotteen ominaisuuksia kokonaisuudessaan. (Ulrich & Eppinger 2012) Tarkasteltaessa kehitettävän tuotteen ominaisuuksia kokonaisuudessaan, voidaan puhua myös integraatiotestistä, jossa tuotteen komponenttien ja alisysteemien yhteensopivuus testataan yhtenä kokonaisuutena (Engel 2010).

Analyttinen prototyyppi kuvastaa kehityksen kohteena olevaa tuotetta matemaattisena tai laskennallisena mallina, kun taas fyysinen prototyyppi on fyysinen malli kehitettävästä tuotteesta, joka on valmistettu joko korvaavista tai oikeista kohteeseen suunnitelluista materiaaleista (Ulrich & Eppinger 2012). Pystyakselilla oleva fokusoitunut prototyyppi tarkoittaa sitä, että sillä tarkastellaan ainoastaan tiettyä ominaisuutta ja toisaalta kokonaismallilla pyritään kuvaamaan kehitettävän tuotteen koko toiminnallisuutta (Ulrich & Eppinger 2012).

Toinen tapa jaotella testausta on tarkastella niitä niiden tarkkuuden tai rakeisuuden perusteella. Tällöin testaus voidaan esittää yhdellä janalla, jossa hienorakeisimmassa ääripäässä testaus kutsutaan rakenteelliseksi testaukseksi (*White-Box*) ja karkearakeisemmassa ääripäässä on todelliset käyttötestit (*Live Tests*). Rakenteellisten ja todellisten testien väliin jää käyttäytymistestit (*Black-Box*). (Black 2011).

Rakenteellisessa testauksessa tarkastellaan nimensä mukaisesti kohteen rakennetta tekniseltä näkökannalta ja se vaatii tällöin asiantuntijuutta teknisestä toteutuksesta (Engel 2010). Rakenteellisesta testauksesta esimerkkinä voidaan pitää yksikkö- ja komponenttitestauksia. Käyttäytymistestissä tarkastellaan testauskohteen toiminnallisuutta eli toteuttaako testattava kohde sille annettua spesifikaatiota (Engel 2010). Käyttäytymistesteistä esimerkkeinä voidaan nähdä integraatio- ja systeemitestaus. Voidaan siis yleistää, että rakenteellinen testi tarkastelee sitä, miten testauksen kohde tuottaa teknisesti ulostulon kun taas käyttäytymistesti tarkastelee, että minkälainen ulostulo on riippumatta teknisestä toteutuksesta. Todellisilla käyttötesteillä tarkastellaan tuotteen käyttäytymistä todellisessa ympäristössä asiantuntijan, asiakkaan tai loppukäyttäjän näkökulmasta (Black 2011). Käyttötestejä ovat esimerkiksi *alpha*-, *beta*- ja hyväksyntätestit.



**Kuva 10.** Testausmuodot tuotekehityksen elinkaarella (muokattu lähteistä Ulrich & Eppinger 2012; Black 2011; Engel 2011)

Kuvassa 10 on esitetty tuotekehitystestauksen elinkaari. Testauksen elinkaari tuotekehityksessä voidaan nähdä vaiheistuvan useampaan eri testausmenetelmään. Jokaisen kehitettävän tuotteen osalla ei aina välttämättä käydä jokaista eri testausmenetelmää lävitse, vaan valitaan tilanteeseen ja tuotteeseen soveltuvat menetelmät. Kuvasta nähdään, että testauksen tulisi olla tuotekehityksessä jatkuva toiminto, joka alkaa jo varhaisessa tuotekehityksen vaiheessa rakenteellisesta teknisiin yksityiskohtiin pureutuvista testauksista. Usein testaus nähdään tuotekehityksessä irrallisena kehityksen päättävänä vaiheena, jossa validoidaan kehityksessä syntyneet tuotteet (Engel 2010), mutta sen pitäisi olla enemmän tuotekehitystä jatkuvasti ohjaava toiminto, jossa päätöksentekoa validoidaan eri testausmenetelmien avulla.

Usein testaus kannattaa aloittaa analyyttisillä prototyypeillä, koska niiden käyttäminen on yleensä helpompaa, halvempaa ja nopeampaa (Yang & El-Haik 2009). Tämä johtuu siitä, että analyyttisen mallin ominaisuuksien muutos on helpompaa, jolloin se on muunneltavissa käyttötarkoitukseen fyysistä mallia joustavammin (Ulrich & Eppinger 2012). Analyyttisesti pystytään mahdollisesti varmistamaan osittain tuotteen vastaavuus

vaatimuksiin, mutta analyyttisen mallin toiminta perustuu aina olettamuksiin, jolloin se ei ota huomioon odottamattomia tapahtumia (Yang & El-Haik 2009). Analyyttistä mallia käytetäänkin usein kohdentamaan kehitystoimintoja tuotteen soveltuvuusvaatimuksiin ja vastaavasti fyysisiä prototyyppejä hienosäätämään ja validoimaan tuotteen vaatimusten mukaisuus (Ulrich & Eppinger 2012). Kuvasta 10 poiketen, esimerkiksi komponentti- tai integraatiotestaus ei kuitenkaan aina tapahdu analyyttisillä malleilla, koska jossain tapauksissa testaus fyysisillä komponenteilla voi olla helpompaa ja halvempaa.

Toisinaan testauksen kohde eli prototyyppi voi sisältää sekä analyyttisiä että fyysisiä ominaisuuksia. Analyyttisiä ja fyysisiä ominaisuuksia sisältäviä integraatioinfrastruktuureja voidaan kutsua termeillä *System Integration Laboratory (SIL)* tai vaihtoehtoisesti *Hardware-in-loop (HIL)*. *SIL*-testauksen tarkoituksena on validoida systeemiä integraation aikana ja sen jälkeen hyödyntämällä sekä virtuaalisia että fyysisiä alisysteemiympäristöjä. *SIL*-testauksen avulla pystytään aikaisessa vaiheessa todentamaan ohjelmiston ja laitteiston integraatiota ja toiminnallisuuksia ilman suuria fyysisiä koneita (Engel 2010). Projektiliiketoiminnan tuotekehityksessä *SIL*-testauksesta on huomattavasti etua, koska kehitettävät tuotteet ovat yleensä fyysisesti suuria ja voimakkaasti pääomaa sitovia, jolloin fyysisten prototyyppien rakentaminen ei välttämättä ole taloudellisesti ja ajallisesti kannattavaa, mutta tuotteiden kompleksisuudesta johtuva tarve integraatiotestaamiselle ennen asiakkaalle luovutusta on tuotteen laadun kannalta olennaista.

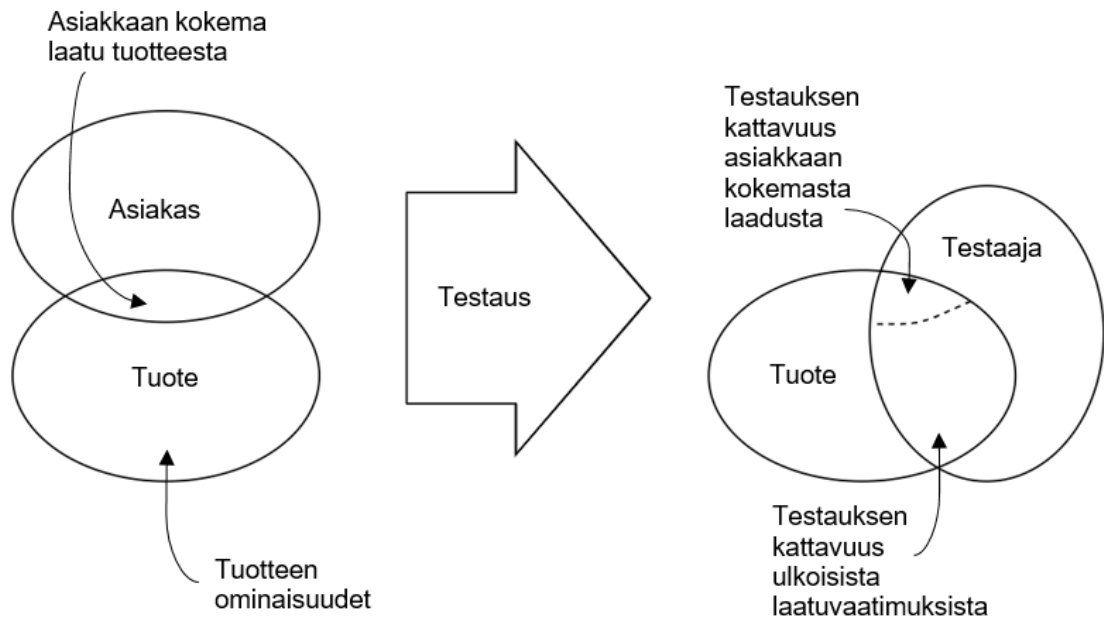
Testauksen elinkaarta mietittäessä tulee huomioida syy testaukselle. Testauksen päätarkoitus ei ole ainoastaan rakentaa tai toteuttaa testausta vaan tuottaa yritykselle informaatiota päätöksenteon tueksi (Porter 2004). Elinkaaren näkökulmasta olennaista on, että informaatio eri testausvaiheista ja menetelmistä etenee aina seuraavaan vaiheeseen, jolloin pystytään rakentamaan informaatiota edellisen testausvaiheen päälle. Syitä testaukseen voidaan tarkastella Ulrich ja Eppingerin (2012) tapaan, jotka jakavat testauksen käyttötarkoituksen neljään luokkaan: oppimiseen, kommunikointiin, integrointiin ja virstanpylväisiin. Oppimistarkoituksessa testauksen koekappaleilla pyritään vastaamaan kysymyksiin, onko kehitetty tuote toimiva ja kuinka hyvin se vastaa asiakkaiden tarpeisiin. Kommunikointitarkoituksessa erityisesti fyysisillä prototyypeillä pystytään näyttämään tuotekehityksen sisäisille ja ulkoisille sidosryhmille mitä tuotteella on tarkoitus tehdä (Ulrich & Eppinger 2012). Integrointitarkoituksessa prototyypeillä pyritään varmistamaan, että komponentit ja eri alijärjestelmät toimivat yhteen kuten on oletettu. Virstanpylväänä prototyyppejä voidaan käyttää projekteissa havainnollistamaan saavutettu tulos, jotta voidaan saada esimerkiksi johdolta tai asiakkaalta suostumus jatkaa tuotekehitysprojektissa seuraavaan vaiheeseen.

Tuotekehitystestaus voidaan nähdä myös kehitettävän tuotteen validoinnin välineenä. Validointi on prosessi, jossa tarkastellaan, että onko kehitetyn tuotteen ominaisuudet yhdenmukaiset asiakaslähtöisten vaatimusten kanssa (Yang & El-Haik 2009). Tuotevalidoinnilla voidaan nähdä Yang ja El-Haikin (2009) mukaisesti seitsemän eri tarkoitusta:

1. Toiminnallisen suorituskyvyn validointi – Varmistaa, että tuote pystyy täyttämään toiminnalliset vaatimukset
2. Toimintaympäristön validointi – Varmistaa, että tuote toimii todellisessa toimintaympäristössään
3. Luotettavuus validointi – Varmistaa, että tuote toimii suunnitellun elinkaarensa ajan
4. Käyttövaatimusten validointi – Varmistaa, että tuote toimii eri käyttötavoilla
5. Turvallisuusvaatimusten validointi – Varmistaa, että tuote täyttää turvallisuusvaatimukset
6. Rajapinta- ja yhteensopivuusvalidointi – Varmistaa tuotteen yhteensopivuuden muiden laitteiden kanssa
7. Huollettavuuden validointi – Varmistaa, että tuote on huollettavissa suunnitellun huolto-ohjelman puitteissa

Huomataan, että Yang ja El-Haik (2009) testauksen validointitarkoitukset ovat yhtäläisiä Garvinin (1987) laadun ulottuvuuksien kanssa. Tuotekehityksessä ei ole välttämätöntä tehdä jokaista validointia kaikille tuotteille vaan jokaisen tuotteen kohdalla tulee analysoida sitä, mitä validointeja tarvitaan ja mikä on niiden prioriteetti (Yang & El-Haik 2009). Olennaista onkin ymmärtää tuotteen tai projektin ratkaisun kannalta tärkeimmät laadun ulottuvuudet ja toisaalta testauksen tuottaman informaation vastaavuus näihin laadun ulottuvuuksiin.

Laadun määritelmän mukaisesti tuotteen laadun määrittelee asiakas (Garvin 1987), mutta toisaalta erityisesti projektiliiketoiminnassa olennaisia laadun kriteereitä ohjaavia tekijöitä ovat myös muut tekijät, kuten suunnittelua määrittävät tekniset standardit ja turvallisuusmääräykset (Foehr *et al.* 2015). Tällöin erityisesti diplomityön kontekstissa voidaan nähdä, että testauksella on validointitarkoituksessa kaksi laadun varmistukseen liittyvää tehtävää: asiakkaan kokeman laadun validointi ja toisaalta tuotteelta vaadittujen teknisten ominaisuuksien validointi. Testaamisen kattavuus erilaisiin laadun validointitarpeisiin riippuu myös testauksen suorittamisesta kuvan 11 mukaisesti.



**Kuva 11.** Testauksen kattavuus laadun ulottuvuuksista

Kuvasta 11 nähdään, että asiakkaan kokema laatu tuotteesta syntyy vain osasta tuotteen ominaisuuksista. Loput ominaisuuksista voivat olla esimerkiksi tuotteen turvallisuuteen liittyviä toimintoja, jotka määrittelevät ulkoiset toimijat, kuten standardit. Testattaessa tuotetta, usein yhdellä testauksella ei pystytä kattamaan koko tuotteen ominaisuuksia, vaan vain osa niistä (Thomke 2008). Tällöin kuvan 11 mukaisesti huomataan, että testauksen kattavuus sekä asiakkaan kokemasta laadusta että muista ulkoisista vaatimuksista on ainoastaan osittainen. Testattaessa olennaista on ymmärtää, mikä on asiakkaan kokema laatu tuotteesta, mitkä ovat muut ulkoiset laatuvaatimukset ja millä testausmenetelmillä nämä laatuvaatimukset pystytään validoimaan.

Tuotekehityksessä testauksen todellinen kattavuus on kompromissi aikataulun ja muiden resurssien suhteen (Engel 2010). Vaikka tunnistettaisiin kaikki asiakkaan ja muiden ulkoisten vaikuttimien asettamat laatuvaatimukset, on usein mahdotonta testata kehitettävää tuotetta täydellisesti. Testauksen priorisointi rajoitteisiin sopivaksi tulisi tapahtua kehityksessä tunnistettujen laatukriteerien pohjalta (Black 2010). Jotta testauksen kattavuus olisi mahdollisimman hyvä jokaisessa vallitsevassa olosuhteessa, tulisi sen hyödyntää tiettyä prosessia.

## 2.2.4 Testausprosessi

Edellisen luvun mukaisesti, yhden tuotteen testaus saattaa koostua monesta eri testausmenetelmästä (Thomke 2008). Erityisesti projektiliiketoiminnan kontekstissa toteutettava ratkaisu koostuu usein useista eri alisysteemeistä, jolloin tuotteen



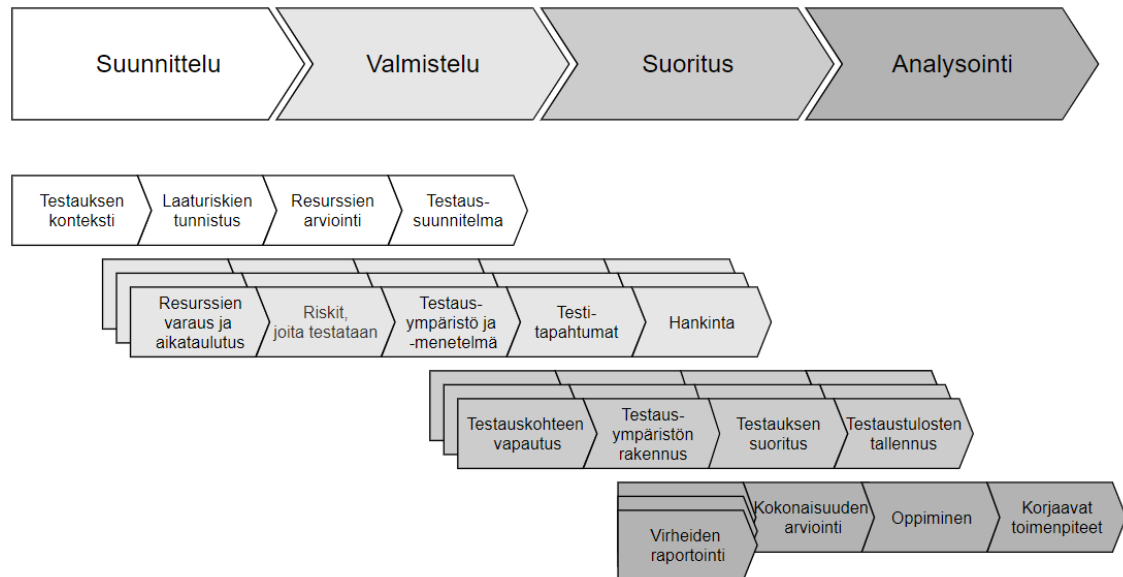
testaaminen saattaa sisältää erikseen sekä ohjelmiston että laitteiston testaamista sekä myös näiden testaamista yhtenä kokonaisuutena. Pystyäkseen hallitsemaan vallitsevaa testauskokonaisuutta, toiminnan täytyy tukeutua prosessiin.

Testausprosessin korkean tason viitekehys voidaan jakaa neljään vaiheeseen: suunnitteluun, valmisteluun, suorittamiseen ja analysointiin (Black 2004). Ensimmäinen prosessin vaihe eli suunnittelu on erityisen tärkeä, koska tuotekehitysprojekteissa yleisenä ongelmana on, että toteutetaan testaus, joka ei vastaa projektin kokonaistavoitteisiin (Ulrich & Eppinger 2012). Testauksen suunnittelussa tunnistetaan testattavan kohteen konteksti, tunnistetaan ja priorisoidaan laatuvaatimukset ja riskit, arvioidaan tarvittavat resurssit ja hankitaan johdon sitoutuminen niihin sekä kehitetään suunnitelma toiminnoista, osallistujista sekä riippuvuuksista testauksen suorittamiseen (Black 2004). Erityisesti projektitoimintaympäristössä laatuun vaikuttavien tekijöiden huomioiminen aikaisessa vaiheessa testauksen suunnittelussa on tärkeää, koska esimerkiksi kompleksisen tuotteen sisältäessä ohjelmistoa, ohjelmistotestaus nähdään usein vain ohjelmointivirheiden etsimisenä (Koopman & Wagner 2016).

Testauksen valmistelussa määritellään ensimmäisenä testaukseen käytettävissä olevat resurssit (Black 2004). Resurssien asettamissa rajoitteissa tunnistetaan laatuvaatimukset tai riskit, joihin testauksella aiotaan vastata, määritellään testausympäristö ja testausvälineet, joilla testaus toteutetaan, luodaan testaustapahtumat sekä muodostetaan aikataulu hankinnalle, rakentamiselle ja testaukselle (Ulrich & Eppinger 2012). Integroitujen ratkaisujen yleensä vaatiessa useampia testausmuotoja sekä toistoja on hyvä huomata, että valmisteluvaiheessa prosessi hajautuu useampaan aliprosessiin, jossa jokaista laatuvalidointia vastaavaa testausta tarkastellaan jatkossa omana prosessinaan.

Testauksen suorittamisvaiheessa suunnittelu luovuttaa ensin testauksen kohteena olevan kokonaisuuden sisältäen integroidussa ratkaisussa sekä ohjelmiston että laitteiston (Black 2004). Luovutuksen jälkeen rakennetaan testausympäristö ja sijoitetaan testattava kohde infrastruktuuriin (Engel 2010). Riippuen testausmenetelmästä sekä prototyypin analyyttisyydestä tai fyysisyydestä testausinfrastruktuurin, rakentaminen on yleensä hyvin tilannekohtaista (Ulrich & Eppinger 2012). Infrastruktuurin rakentamisen jälkeen prosessissa siirrytään testauksen suoritukseen, jossa testaus toteutetaan valmisteluvaiheessa luodun testitapahtuman perusteella (Black 2004). Suorituksen yhteydessä tallennetaan testaustulokset ja mahdolliset häiriöt testausympäristössä.

Viimeisessä vaiheessa raportoidaan ensin yksittäisistä testauksista saavutetut tulokset ja mahdolliset virheet, jonka jälkeen katsotaan laajemmin, kohtaako testauskokonaisuus tuotteelle tai projektille asetettuja toiminnallisuus-, aikataulu-, budjetti- ja laatuvaatimuksia (Black 2004). Kokonaisuuden myötä ymmärretään tuotteen arvo ja mahdollisuudet oppia sekä parantaa tuotetta että testaustoimintaa. Tarvittaessa tehdään jollekin osa-alueelle korjausta, priorisoidaan ja aikataulutetaan suunnittelu uudelleen (Black 2010).



**Kuva 12.** Testausprosessi (lähteistä Black 2004; Engel 2010; Thomke 2008; Ulrich & Eppinger 2012)

Kuvasta 12 nähdään, että testausta ohjaava pääprosessi jakautuu neljään aliprosessiin ja osa aliprosesseista vielä yksittäisten testaustapahtumien prosesseiksi. On hyvä huomata, että erityisesti projektiliiketoiminnassa jokainen yksittäinen testaus tähtää tietyn asiakasratkaisun toimittamiseen, jolloin myös testauksessa pitää pystyä hahmottamaan kokonaisratkaisun laadunvarmistus eikä ainoastaan yksittäisen ratkaisun osa-alueen virheiden havaitseminen. Jotta kokonaisratkaisun laadunvarmistus voitaisiin toteuttaa, prosessin ohjauksen tulee perustua tunnistettuihin laaturiskeihin. Testauksen ollessa iteratiivinen oppimisprosessi, tietämys ratkaisusta kehittyy prosessin aikana, jolloin testauksen prioriteetteja pitää pystyä sovittamaan tilanteeseen. Tiedon kehitys prosessin aikana johtaa siihen, että prosessin eri vaiheista palataan usein laaturiskien tunnistukseen, joiden perusteella ymmärretään kehittyneen tiedon varassa testauksen priorisaatio.

Vaikka kuvassa 12 prosessi on esitetty peräkkäisesti vaiheistettuna, eri prosessin vaiheet saattavat mennä päällekkäin, jolloin toimintojen ohjaus ja kontrollointi on olennaista. Projektitoiminnan tutkimuksessa on huomattu, että erityisesti kehityksen ja

tuotannon eli testauksen kontekstissa hankinnan ja rakentamisen välinen kontrollointi on tärkeätä, koska liiketoiminnassa suunnittelu ja tuontanto ovat osa samaa toimitusketjuprosessia (Mello et al. 2017). Kontekstista johtuen, testauksessa ja projektiliiketoimintaprosesseissa saattaa esiintyä useita eri haasteita.

## 2.2.5 Haasteet testaamisessa

Yleisesti projektiliiketoiminnan tutkimuksessa on tunnistettu haasteita eri projektin elinkaaren toimintojen rajapinnoissa. Samat haasteet toistuvat myös testaamisessa ja testaamisen rajapinnoissa tuotekehitykseen. Taulukossa 5 on tarkasteltu tarkemmin testaukseen liittyviä haasteita ja tunnistettuja kehitysalueita.

Taulukko 5. Testaamisen haasteet ja kehitysalueet

Tutkimus konteksti ja	Haasteet	Kehitysalueet
<b>Toche et al. (2017)</b> <b>Tutkimus yhteistyöstä testaamisessa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kasvava kysyntä prosessien joustavuudelle ja integroinnille</li> <li>Systeemi ja informaatiokenteet usein siiloutuneita ja yhteensopimattomia</li> <li>Tuotteet ja prosessit muuttuvat koko ajan monimutkaisimmiksi</li> <li>Heikko yhteistyö, siirrettävyys ja uudelleen käyttö</li> <li>Arvokas informaation on hajaantunut organisaation eri toimintoihin</li> <li>Testit eivät ole systemaattisesti yhdistetty todelliseen lopputuotteeseen</li> <li>Testausinformaatio ei ole tuettu tuotetiedonhallintajärjestelmissä</li> <li>Testauksessa hankitun informaation jakaminen ja talentaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yhtenäistetty informaatiojärjestelmä</li> <li>Yhteistyö simuloinnin, kehityksen, testauksen ja tuotemäärityksen kanssa hyödyntämällä samaa lähdeinformaatiarakennetta</li> <li>Hallittavat kustannukset vähentämällä tietojärjestelmien välistä manuaalista tiedonsiirtoa</li> <li>Tuotevaatimusten siirrettävyys yhtenäistämällä "as-required", "as-designed" ja "as-tested" rakenteet samaan järjestelmään</li> <li>Standardoidut liiketoimintatavoitteet, joilla mahdollistetaan suunnittelun uudelleenkäyttäminen</li> </ul>
<b>Black (2011)</b> <b>Kirja, Ohjelmiston ja laitteiston testaaminen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Liian paljon oletuksia</li> <li>Epärealistinen projekti aikataulu</li> <li>Keskeneräiset testustuotteet</li> <li>Kehittäjän ja infrastruktuurin tuen puute</li> <li>Epäsoveltevat testausvälineet</li> <li>Epärealistiset testausaikataulut</li> <li>Virheiden korjaus testausympäristössä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Testaus koko projektin elinkaarella</li> <li>Järkevä testausresurssien käyttö</li> <li>Testiautomaatio</li> <li>Hyvä testausarkkitehtuuri</li> <li>Selkeät prosessit toimintojen välisille luovutuksille</li> <li>Selkeästi määritelty testauskohde</li> <li>Jatkuva testauksen suoritus</li> <li>Resurssien lisäys aikaisessa vaiheessa</li> </ul>

Tutkimus konteksti ja	Haasteet	Kehitysalueet
Engel (2010)  Kirja, Integroitujen systeemien testaaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuotekehityksessä aliarvioidaan testaamisen tarve kompleksisissa systeemeissä</li> <li>• Tarve verifiointille, validoinnille ja testaukselle tunnistetaan prosessissa liian myöhään</li> <li>• Testausympäristön ylläpito projektista toiseen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formaali verifiointi, validointi ja testaus proseduuri</li> </ul>
Thomke (2008)  Kappale kirjasta tuotekehityksessä oppimisesta testaamisen avulla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testauksen kustannussäästöjen aliarviointi</li> <li>• Tuotekehitysprosessit eivät tue alkuvaiheen testausta</li> <li>• Testaus nähdään enemmän verifikaationa kuin oppimisen välineenä</li> <li>• Suunnittelu- ja testautointitoimintojen rajapintojen hallinta</li> <li>• Ymmärrys tarpeellisesta ja riittävästä testaamisesta</li> <li>• Pitkä aikajana kehityksestä testaamiseen, palautteen unohtuminen</li> <li>• Ylikuormitetut testausresurssit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testauksen suorittaminen koko tuotekehityksen elinkaarella</li> <li>• Resurssien ylityöntäminen mahdollistaa tehokkaamman oppimisen testauspalautteen nopeamman saamisen myötä</li> <li>• Systemaattinen testaus suunnitelma</li> <li>• Peräkkäisen ja rinnakkaisen testauksen hyödyntäminen</li> </ul>

Taulukon 5 kirjallisuuskatsauksen perusteella haasteena testauksessa on sen **irralisuus** muusta tuotekehityksen elinkaaresta. Rajapinnan kitka kehitystoiminnon ja testauksen välillä nousee esille esimerkiksi Toche *et al.* (2017) ja Thomken (2008) artikkeleissa. Massatuotantoon perustuvassa tuotekehityksessä testausvaihe nähdään usein yhtenä kehityksen päättävänä vaiheena, mutta projektiliiketoiminnassa testauksen tulisi olla integraali osa koko kehityksen elinkaarta, koska kehitettävät tuotteet ovat usein hyvin ainutkertaisia ja tällöin mahdollisuus vaikuttaa tuotteeseen myöhemmässä vaiheessa on heikompi.

Testauksen osalta haasteissa korostuu testattavan kohteen monimutkaisuuden ja testaamisen **tarpeen aliarviointi**. Testaustarpeen aliarviointi saattaa osittain johtua heikoista informaatiojärjestelmistä, joka oli tunnistettu haasteeksi Toche *et al.* (2017) tutkimuksessa. Heikon tietojärjestelmän myötä tiedon kumuloituminen ja sen hyödyntäminen tulevaisuudessa heikkenee, jolloin varautuminen tulevaisuuden testaustarpeisiin on haastavampaa.

Lisäksi testaustoiminnalle tuotekehityksessä ominaista on testaamisen siirtäminen myöhempään vaiheeseen ja haasteeksi syntyy tällöin **virheiden myöhäinen havainnointi** ja toisaalta testaustarpeiden kasaantuminen sekä muutoksien kustannusten nousu. Laadun kannalta olennaiseksi tunnistettiin laadun rakentaminen sisälle tuotteeseen sekä projektiliiketoiminnan näkökulmasta (Rahman *et al.* 2003) että systeemien integroinnin näkökulmasta (Engel 2010).

## 2.3 Toiminnan kehittäminen

### 2.3.1 Prosessin ja laadun kehittäminen projektiliiketoiminnassa

Davenport (2005) määrittelee liiketoimintaprosessin seuraavasti:

*”Liiketoimintaprosessi on yksinkertaisesti se tapa jolla yritys tekee työnsä – sarja aktiviteetteja, jolla pyritään saavuttamaan tietty tavoite tietylle sisäiselle tai ulkoiselle asiakkaalle”*

Prosesseissa keskitytään siis tapahtumasarjoihin, joihin yritys käyttää resurssejaan ja jotka luovat asiakkaalleen lisäarvoa. Prosessien kehityksellä taas pyritään parantamaan prosessin tuloksellisuutta keskittymällä käyttämään resursseja enemmän tuloksellisuutta luovaan toimintaan. Prosessien kehitys voi tarkoittaa esimerkiksi prosessimaiseen toimintatapaan siirtymistä, yksittäisen prosessin kehitystä ja käyttöönottoa tai aiempien prosessien uudistamista (Martinsuo & Blomqvist 2010). Davenportin (2005) mukaan yritykset pyrkivät prosessien kehittämiseen ja standardisointiin saavuttaakseen parempaa kommunikaatiota, mahdollistaakseen pehmeät luovutukset prosessien välillä ja mitatakseen toiminnan suorituskykyä.

Projektiliiketoiminnan tutkimuksessa on puhuttu paljon liiketoimintaprosessien kehittämisestä ja niiden soveltuvuudesta projektiliiketoiminnan kontekstiin. Esimerkiksi tutkimuksen kohteena ovat olleet aiemmin kehitettyjen tuotekehitysprosessien soveltuvuus projektiliiketoimintaan (Rahman *et al.* 2003), suunnittelu ja tuotantoprosessien integrointi ja kontrollointi (Little *et al.* 2003; Adrodegari *et al.* 2015; Mello *et al.* 2014), tarjousprosessin standardointi ja laadun tarkkailu (Reid *et al.* 2019) sekä tuoteportfolioprosessi (Ulonska & Welo 2014). Mainituissa tutkimuksissa on kehitetty useita prosessimalleja kontekstiin liittyen, mutta tutkimuksessa on puutteita teorian soveltamisesta käytäntöön ja käytännön toteutettavuudesta (Mello *et al.* 2017; Foehr *et al.* 2015).

Prosessien kehittämiseen on projektiliiketoimintaympäristössä käytetty esimerkiksi *IDEF* (*Integration Definition for Function Modelling*) mallia (Reid *et al.* 2019) ja *SSM* (*Soft*

*Systems Methodology*) metodia (Mello *et al.* 2017). Yleisesti prosessien kehitys noudattelee sykliä, jossa tunnistetaan kehitettävän prosessin raja-  
aus, analysoidaan nykyinen prosessi, määritellään prosessi uudelleen, pilotoidaan uutta prosessia ja parannetaan, otetaan prosessi käyttöön sekä toteutetaan ja seurataan sitä (Martinsuo 2010). Prosessien kehittäminen noudattelee paljon laadun kehittämistä, jossa kehitys tapahtuu suunnittelu, toteuta, tarkista ja toimi syklissä (Sower 2011). Voidaankin nähdä, että prosessien kehitys on osa laadun kehittämistä, jossa prosessien kehittämisellä vaikutetaan yrityksen koko toiminnan laadukkuuteen.

Rahman & Shariff (2003) listaavat tutkimuksessaan projektitoimintaan soveltuvan prosessin vaatimuksia taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. *Tuotekehityksen prosessimallin vaatimukset projektiliiketoiminnassa (Rahman & Shariff 2003)*

<b>Vaatimukset</b>	<b>Selitys</b>
<b>Monitasoinen Yleinen taso</b>	Jaettu useisiin tasoihin toteuttamisen helpottamiseksi Ei liian yksityiskohtainen, pitäisi pystyä soveltamaan useisiin tilanteisiin
<b>Ohjaa tavoitteisiin</b>	Yksinkertainen, johdonmukainen, helppo ymmärtää, helposti implementoitavissa
<b>Seurattavuus</b>	Helppo seurata, selkeä vaiheistus
<b>Ohjaa dokumentointiin</b>	Tuo esille tarvittavat dokumentit ja niiden säilyttämisen
<b>Suunnitteluprosessin vaiheet</b>	Tuo esille tarvittavat toiminnot suunnitteluprosessia
<b>Parantaa kommunikaatiota</b>	Kannustaa kommunikaatioon eri sidosryhmien välillä
<b>Yksinkertainen ja käytännönläheinen</b>	Itseään selittävä ja helposti ymmärrettävä
<b>Toimii kontrollimekanismina</b>	Strukturoitu suunnitelma tarkistuspisteineen ja rajapyykkeineen, hyödyntää tarkistuslistoja
<b>Mahdollistaa samanaikaisen suunnittelun</b>	Pystytään hyödyntämään päällekkäistä suunnittelua
<b>Huomioi ihmiset</b>	Ottaa huomioon pehmeät arvot teknisen toteutuksen lisäksi

Rahman & Shariff (2003) mukaan taulukossa 6 mainittuja vaatimuksia voidaan käyttää ohjenuorana luotaessa prosessimallia projektitoimintaan. Taulukon vaatimuksiin lisänä prosessien tulisi tukea toiminnan integraatiota. Kehitettäessä kompleksisia kokonaisuuksia, jotka koostuvat useista alisysteemeistä, erityisen tärkeä rooli prosessilla on kohdistaa panoksia integraatioon. Integraatio huomioon otettaessa prosessien tarvitsee olla läpinäkyviä, jolloin kokonaisuuden jokaisella osalla on mahdollisuus ymmärtää prosessissa tehtävien päätösten vaikutus integroitavan kokonaisuuden lopputulokseen (Adrodegari *et al.* 2016).

Prosessien ja laadun kehittämisen perusteena on niiden mittaaminen. Prosessien mittaamisella voidaan seurata tuotoksia, syötteitä ja itse prosessin toimivuutta

(Martinsuo & Blomqvist 2010). Mittaamisen avulla tunnistetaan tarvittavat kehityskohteet jonka jälkeen tehdään tarvittavat korjaustoimenpiteet.

### 2.3.2 Laadun kehitys tuotteeseen

Projektiliiketoiminnan tuotekehityksessä korostetaan laadun sisällyttämisestä tuotteeseen (Rahman & Shariff 2003). Laadun integroiminen tuotteeseen jo kehitysvaiheessa on olennaista, koska mahdollisuus vaikuttaa tuotteen laatuun myöhemmillä tuotantoratkaisuilla on pienempi varsinaisen massatuotantovaiheen puuttuessa. Lisäksi projektiliiketoiminnan tutkimuksessa korostetaan loppuasiakkaan huomattavaa vaikutusta tuotekehityspäätöksiin jo hyvin varhaisessa vaiheessa (Mello *et al.* 2014). Tuotekehityksessä yleisesti käytössä olevia laadun työkaluja ovat Sowerin (2011) mukaan *Quality Function Deployment (QFD)*, *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, *Design for Six Sigma* ja *Taguchi* –menetelmät. Projektiliiketoimintaympäristössä käytettävistä menetelmistä Rahman ja Shariffin (2003) nostavat esille *QFD* ja *FMEA* –menetelmät.

*QFD*-menetelmä on systemaattinen työkalu asiakastarpeiden kääntämiseksi teknisiksi vaatimuksiksi (Sower 2011). Rahmanin ja Shariffin (2003) mukaan *QFD*-menetelmä soveltuu hyvin projektiliiketoimintaympäristöön, jossa tapahtuu yhtäaikaista tuotekehitystä eri toiminnoissa. *QFD*-menetelmän avulla voidaan hallita koko ratkaisun laadun informaatiovirtoja, siten että tuotteen laatu vastaa kompleksisessäkin kokonaisuudessa asiakkaan asettamia laatumääritelmiä (Sower 2011). *QFD*-menetelmää käytetään erityisesti tuotekehityksen aikaisessa vaiheessa (Rahman & Shariff 2003), jossa asiakkaan määrittämät laatuvaatimukset jalkautetaan peräkkäisten matriisien avulla tuotteen vaatimuksista aina käyttövaatimukseen (Sower 2011).

*QFD*-menetelmä on hyödyllinen laadunhallinnan työkalu projektitoimintaympäristössä, koska on tunnistettu, että liiketoimintaprosessin alkupäässä tehdyt virheet tuotteen myyntikonfiguraatiossa synnyttää ongelmia prosessin loppupäässä (Zennaro *et al.* 2019; Little *et al.* 2000). Erityisesti *QFD*-menetelmän hyödyllisyys tulee siitä, että tilauksesta suunnitteluun tuotekehityksessä kehitys tapahtuu juuri tiettyyn tarpeeseen, jolloin asiakastarpeen ymmärtäminen ja laadullisen informaation kääntäminen tuotteen teknisiksi vaatimuksiksi on olennaista.

*FMEA*-menetelmää käytetään tuotteen mahdollisten virheikäyttämisen ennaltaehkäisemiseksi (Sower 2011). Tuotetta tarkastellaan systeeminä ja arvioidaan jokaisen virheen vaikutusta kokonaiseen systeemiin ja sen todennäköisyyttä. *FMEA*-menetelmä perustuu riskienhallintaan, jossa arvioidaan virheen aiheuttaman riskin

vakavuutta ja tehdään toimenpiteitä riskien välttämiseksi (Sower 2011). *FMEA*-menetelmää on tarkasteltu esimerkiksi Lorenzin ja Ferreiran (2018) tutkimuksessa projektitoimintaympäristössä. Empiirisen tutkimuksen mukaan, menetelmän avulla pystyttiin vähentämään kehityksessä tapahtuvaa uudelleen työtä ja parantamaan tuotteiden laatua.

Black (2010) nostaa kirjassaan esille riskienhallinnan merkityksen testaamiselle. Todellisessa kilpailutilanteessa yritykselle ei ole yleensä mahdollista testata kaikkia mahdollisia tuotteen ominaisuuksia, jolloin riskienhallinnan avulla tunnistetaan järjestys ja prioriteetti erilaisille testaustarpeille. Projektiliiketoiminnassa riskienhallinnan merkitys tuotekehityksessä korostuu, koska tuotteen kehitysvaihe on tunnistettu usein syyksi projektien myöhästymiseen, mutta toisaalta pystyäkseen toimimaan tässä liiketoimintaympäristössä, yrityksen on pystyttävä tarjoamaan ratkaisuja hyvinkin nopealla toimintasyklillä. Lorenzin ja Ferreiran (2018) tutkimuksen mukaan systemaattinen *FMEA*-menetelmä ylläpitää ja kehittää organisaation eri toimintojen välistä kommunikaatiota ja tuo esille näkemyksiä useista näkökulmista. Cooperin (2011) mukaan poikkitieteellisen osaamisen hyödyntäminen tuotekehityksessä on yksi sen merkittävimmistä menestystekijöistä.

### 2.3.3 Testaustoiminnan kehitys

Suurimpina haasteina testaamisessa on tunnistaa ja valita testaustarpeet (Black 2011). Tunnistamisessa olennaisinta on ymmärtää jokaisen testauksen tarkoitus, koska testauksen päämääränä on tuottaa yritykselle informaatiota päätöksenteon tueksi (Porter 2004). Toisaalta reaali maailmassa testaus on aina kompromissi aikataulun ja kustannuksien suhteen, jolloin ei ole mahdollista testata kaikkea mahdollista (Engel 2010). Molempiin haasteisiin testaamisessa voidaan vastata laadun riskienhallinnalla.

Laadun riskienhallintaan perustuvalla testauksella on Blackin (2011) mukaan neljä huomattavaa etua:

- Priorisaation mahdollistaminen testaamisessa
- Parempi ymmärrys testaamisen laajuudesta
- Riskienhallinta yhdistää laajan joukon organisaation eri toimintojen edustajia, jolloin mahdollista hyödyntää laajempaa näkemystä testaukseen
- Pystytään mittaamaan testaamista laadun mittareilla, ymmärretään testaamisen vaikutus laaturiskeihin



Riskien priorisaation avulla voidaan allokoita resursseja niille testauksille, joilla on huomattavimmat vaikutukset tuotteen laatuun. Riskienhallinnan avulla pystytään myös kattavasti ymmärtämään, mikä on testaamisella saavutettava kattavuus koko tuotteen laadun riskeistä ja minkälaisia riskejä ollaan valmiita hyväksymään ilman testaamista. Poikkitieteellinen joukko riskien tunnistamisessa ja analysoinnissa avaa keskustelua tuotteesta, purkaa siloja toimintojen välillä ja parantaa tuotteen eri alisysteemien integraatiota kun osa-alueiden asiantuntijat keskustelevat keskenään rajapinnoista. Kuten prosessien ja laadunkehityksessä on todettua, näiden mittaaminen on olennaisen osa kehittämistä. Riskienhallinnan avulla testaamisen raportointia voidaan kehittää siten, että ymmärretään testaamisen tai testaamatta jättämisen vaikutus laatuun.

Blackin (2011) mukaan laadun riskienhallintaan käytetään yleisimmin sekä informaaleja menetelmiä että *FMEA*-menetelmää. Menetelmävalinnasta riippumatta, testaamisen kontekstissa tärkeitä on ylläpitää riskien sidosteisuus jokaiseen yksittäiseen testaustapahtumaan. Lisäksi olennaista on tunnistaa, liittyykö riski varsinaisesti kehitettävään tuotteeseen vai onko se projektin riski (Black 2011). Projektin riski on esimerkiksi riittämättömät saatavilla olevat testausresurssit kun taas tuotteen riskeiksi liitetään esimerkiksi tuotteen ominaisuuden toimimattomuuden liittivät riskit. Sidosteisuus ja riskien jaottelu tehdään kattavassa testaussuunnitelmassa.

Projektiliiketoiminnan kontekstissa on tunnistettu haasteeksi myös eri projektien kilpailu yhtenevistä testausresursseista (Little *et al.* 2000). Ongelma on yleinen moniprojektiympäristössä, joka johtuu Engwallin ja Jerbrantin (2003) tutkimuksen mukaan sekä epäonnistumisesta projektien aikataulutuksessa että sitoutumisesta liian suureen määrään projekteja. Testaamisessa epäonnistuminen projektien aikataulutuksessa ja sitoutuminen liian suureen määrään projekteja näkyy testaukseen käytettävissä olevassa kiristyneessä aikataulussa. Testaamisen kontekstissa näitä ongelmia pystyttäisiin ratkomaan tunnistamalla realistisesti käytettävissä olevat resurssit eli kapasiteetti ja niiden siirtymiseen tai muuttamiseen vaadittava aika (Black 2010). Lisäksi projektiympäristössä on tunnistettu tarve tuotannon master suunnitelmasta, jossa tarkastellaan varmistuneiden projektien kapasiteettitarvetta verrattuna kokonaiskapasiteettiin (Little *et al.* 2000). Testauksen kontekstissa tämä tarkoittaa organisaatiossa kaikkien testausta tarvitsevien tapahtumien yksilöimistä master suunnitelmaan.

Resursointihaasteeseen moniprojektiympäristössä on kehitetty useita eri toimintamalleja. Abrantes ja Figueiredon (2015) tutkimuksen mukaan toimintamalleja ovat esimerkiksi hierarkinen suunnittelu, resurssirajoitettu moniprojekti aikataulutusergelma, ketterät menetelmät ja kriittisen ketjun projektinhallinta. Koska

projektitoiminnassa projektien alussa tuotekehityksessä esiintyy huomattavaa epävarmuutta ja kompleksisuutta, ei ennalta pystytä varautumaan ja suunnittelemaan kaikkia resurssitarpeita.

Useimmissa Abrantes ja Figueredon (2015) malleissa esitetään resurssien suunnitteluun ja aikataulutukseen epävarmoissa ja kompleksissa ympäristöissä yhtenäistä resurssivarastoa tai resurssipuskuria pystyäkseen vastaamaan epävarmuudesta aiheutuviin muutoksiin. Testauksen kontekstissa olisi kuitenkin järkevää yhteisen resurssipuskurin sijasta varautua epävarmuuteen suunnittelemalla jokaisen resurssin tehokkaaksi käyttöasteeksi alempi määrä kuin on normaalisti totuttu (Thomke 2008). Tuotekehityksen oppimisen kannalta nopea reagointi tuotekehityksen testaustarpeeseen on merkittävää (Thomke 2008). Tällöin ylijäävä resursointi voitaisiin hyödyntää henkilökohtaisella tasolla esimerkiksi kriittisessä roolissa olevan testaustoiminnan kehittämiseen ja virtaviivaistamiseen, ihmisten koulutukseen sekä tarvittaessa hyödyntää vapaita resursseja yllättävien tilanteiden hallintaan. Tätä tukee myös Zennaro *et al.* (2019), jonka mukaan projektitoiminnassa ihmisresurssien monimuotoisuus ja osaamisen tulisi huomioida näiden suunnittelussa ja hyödyntämisessä.

Projektiliiketoiminnassa tuotteen kehitys, testaus ja valmistus ovat integraaleja osia koko tuotteen toimitusketjussa (Mello *et al.* 2017). Tällöin tuotannon ja tuotekehityksen kommunikaation ja informaation vaihto erityisesti tuotteen testausvaiheessa on merkittävässä roolissa (Toche *et al.* 2017). Ratkaisuna Tochen *et al.* (2017) mukaan yrityksen pitäisi hyödyntää parempaa integroitua tietojärjestelmää ja toimintamallia, joka sisältää tuen tuoterakenteen hallinnalle ja informaation vaihdolle kehityksen, testauksen ja valmistuksen välillä. Reid *et al.* (2019) on tutkimuksessaan tunnistanut, että liiketoimintaprosesseihin liittyvä informaatio ja sen virtaus on hyvin kompleksista, jolloin sitä ei pystytä täydellisesti informaatiojärjestelmillä hallitsemaan. Tällöin hiljaisen informaation siirtäminen tulisi hallita esimerkiksi resurssien liikkuvuudella. Testauksen osalta tämä voisi tarkoittaa esimerkiksi suunnitteluinsinöörien aktiivisempaa osallistumista testaamiseen ja vastaavasti testausinsinöörien läsnäoloa jo tuotteen suunnitteluvaiheessa. Reid *et al.* (2019) mukaan ihmisresurssien välisen informaationvaihdon kehittäminen on yksi tärkeimmistä osa-alueista projektiliiketoiminnan kontekstissa.

## 2.4 Synteesi

Teoreettisen viitekehyksen mukaisesti tutkimuksen kohdeorganisaatio toimii projektiliiketoimintaympäristössä, jossa projektit sisältävät usein paljon epävarmuutta,

projekteilla tuotetut ratkaisut ovat suuriarvoisia investointihyödykkeitä sekä teknisesti kompleksisia ja ne ovat suunniteltu sekä kustomoitu tiettyyn asiakastarpeeseen (Adrodegari *et al.* 2015; Foehr *et al.* 2015; Rahman & Shariff 2003; Willner *et al.* 2016; Zennaro *et al.* 2019). Liiketoiminnan ja tuotekehityksen prosessien kannalta projektiliiketoimintaympäristössä toimiminen vaatii joustavuutta, laadun rakentamista sisälle tuotteeseen ja kykyä integroida teknistä, organisatorista ja ympäristöllistä kompleksisuutta (Bosch-Rekvelde *et al.* 2011; Rahman & Shariff 2003).

Laatu määritellään usein asiakkaan subjektiiviseksi näkemykseksi siitä, täyttääkö tuote tai palvelu tarpeet ja toisaalta täyttääkö tuote tai palvelu tarpeet riittävän pitkään (Garvin 1987). Laatu tai laadukkuutta voidaan tutkia usealla tarkasteltavan kohteen ulottuvuudella joko objektiivisesti tai subjektiivisesti. Projektiliiketoiminnassa toimivan yrityksen on tärkeää hallita ja varmistaa tuotteen laatu jo aikaisessa vaiheessa tuotetta suunniteltaessa, koska mahdollisuus vaikuttaa laatuun myöhemmässä vaiheessa on pienempi suuren massatuotannon puuttuessa (Rahman & Shariff 2003). Yhtenä keinona tehdä laadun varmistusta on hyödyntää tuotetestausta, jossa tarkastellaan tuotteen tiettyä osaa ominaisuuksista valvotussa ympäristössä prototyypin avulla (Engel 2010). Toisaalta testauksen ainoa tarkoitus ei ole vain laadun varmistus, vaan myös työkalu oppia ja hallita epävarmuutta (Thomke 2008). Testauksen avulla pystytään hallitsemaan teknologista, tuotannollista, tarpeen ja markkinoiden epävarmuutta (Thomke 2008).

Projektiliiketoimintaympäristössä testauksen rooli on merkittävä sekä liiketoimintamallin luoman epävarmuuden että laadun varmistuksen myötä. Perinteisesti testaustoiminta nähdään syklisenä oppimisprosessina, joka koostuu suunnittelu, valmistelu, suoritus ja analysointivaiheista (Engel 2004; Thomke 2008). Kuitenkaan tutkimuksessa ei juuri tarkastella testaustoimintaa projektiliiketoiminnan tuotekehityksessä. Tutkimuksessa ei ole tunnistettu, mitä haasteita erityisesti projektiliiketoimintamalli asettaa testaukselle ja minkälaisilla prosesseilla näihin haasteisiin voitaisiin vastata. Ainoa projektitoimintaan ja testaukseen liittyvä haaste on tunnistettu Little *et al.* (2000) tutkimuksessa, jossa nostetaan esille kriittisten testausresurssien riittävyys kaikille eri vaiheissa toimiville projekteille. Rahman & Shariff (2003) jopa väittävät, että ainutkertaisissa projekteissa ei tuotekehityksessä käytetä prototyyppien testaamista vaan testaaminen toteutetaan vasta tuotteen asiakkaan toimintaympäristössä.

Yleisesti tutkimuksessa on tunnistettu, että aiemmin luodut prosessit eivät tue riittävästi kontekstin tuotekehitystoimintaa (Adrodegari *et al.* 2015; Rahman & Shariff 2003) ja puutteeseen on vastattu useilla tutkimuksilla, kuten esimerkiksi Mello *et al.* (2014) prosessilla suunnittelun sekä tuotannon integrointiin ja kontrollointiin tai Reid *et al.* (2019) prosessilla tarjoustun standardointiin ja prosessin laaduntarkkailuun sekä Ulonskan ja

Welon (2014) prosessilla tuoteportfolion hallintaan. Tutkimuksessa on kuitenkin todettu, että vaikka prosessimalleja on luotu, tiedosta prosessien soveltamisesta käytäntöön on puutetta (Mello *et al.* 2017).

## 3. TUTKIMUSMENETELMÄT

### 3.1 Laadullinen tapaustutkimus

Tämä diplomityö on luonteeltaan soveltava empiirinen tutkimus, jolla pyritään tuottamaan ratkaisuja ongelmiin jotka kohdistuvat tutkimuksen kohdeorganisaatioon. Diplomityö on toteutettu induktiivisella tutkimusotteella, jossa tavoitteena on uuden teorian luominen, havainnot, tulkinat sekä syvälinen ymmärrys (Saunders *et al.* 2009). Induktiivisesta otteesta johtuen, tutkimus toteutetaan laadullisena, joka yhdistetään usein induktiiviseen päättelyyn. Induktiivisessä päättelyssä yksittäisistä tapahtumista tehdään havaintoja, jotka yhdistetään laajemmaksi kokonaisuudeksi (Kylmä & Juvakka 2014). Laadullista tutkimuksen hyödyntämistä tämän diplomityön kontekstissa korostaa myös laadullisen menetettelytavan muut ominaispiirteet, kuten tavoitteena osallistujien näkökulman ymmärtäminen, luonnollisten olosuhteiden painottaminen ja tiedon kontekstiaalisuus, jotka tukevat tutkimuksen tavoitteiden täyttämistä.

Tutkijan ollessa osa diplomityön kohdeorganisaatiota, tutkimuksessa on hyväksytty tutkijan subjektiivinen vaikutus tutkimuksen tuloksiin ja sen asettamiin rajoituksiin tutkimuksen yleistettävyydessä. Diplomityön ajallisista resurssirajoitteista johtuen tutkimus on toteutettu poikittaistutkimuksena eli pyritty tarkastelemaan tiettyä kohtaa. On kuitenkin hyvä huomata tutkimuksen ajallinen kesto, noin puoli vuotta, jolloin tietyssä ilmiössä saattaa tapahtua kehitystä tutkimuksen aikana.

Diplomityön tutkimusstrategiaksi valittiin tapaustutkimus. Yin (2003) määrittelee tapaustutkimuksen empiiriseksi tiedusteluksi, joka tarkastelee nykyaikaista ilmiötä sen omassa todellisessa kontekstissaan, erityisesti kun ilmiön ja kontekstin väliset rajat eivät ole selvillä. Diplomityön näkökulmasta nykyaikaisella ilmiöllä tarkoitetaan toimintaa ja prosesseja, jotka liittyvät testaukseen. Ilmiön kontekstina toimii tutkimuksen kohdeorganisaatio. Tapaustutkimus on hyödyllinen tutkimusstrategia, kun halutaan kerätä rikasta ymmärrystä tutkimuksen kontekstista ja kohdeilmioistä sekä se tarjoaa mahdollisuuden tarkastella asioita yrityksen operatiivisella tasolla (Saunders *et al.* 2009). Diplomityön tavoitteena oli saada ymmärrystä nykyisestä testausprosessista kohdeorganisaatiossa, jolloin tutkimuksen tavoitteena on nimenomaan saavuttaa rikasta ymmärrystä sekä kohdeilmioistä että sen kontekstin vaikutuksista ilmiön toimintaan. Lisäksi diplomityön tavoitteena oli kehittää juuri operatiivisia toimia testauksen hallintaan. Saunders *et al.* (2009) mukaan tapaustutkimuksella on kyvykkyys vastata tutkimuskysymyksiin ”*miksi?*”, ”*mikä?*” ja ”*miten?*”, jolloin voidaan nähdä valinnan

soveltuvan diplomityön tutkimuskysymyksiin, jotka ovat muotoa ”mikä?” ja ”miten?”. Laadullisen tapaustutkimuksen valintaa tukee myös Kylmä ja Juvakka (2014) toteamalla, että laadullisen tutkimuksen ominaispiirteinä on vastata diplomityön tutkimuskysymyksissä käytettyihin kysymyksiin.

Tutkimuksen tarkasteltavana tapauksena toimii kohdeorganisaation testaustoiminta. Testaustoimintaan kohdeorganisaatiossa kuuluu sekä uuden tuotteen kehitysprosessiin liittyvä tuotetestaus, tuoteturvallisuustestaus että testaukseen vaadittavan testausympäristöt. Lisäksi tutkimuksessa sivutaan toimitusprojekteihin kuuluvaa asiakkaan tiloissa tapahtuvaa hyväksyntätestausta, koska teoreettisen viitekehyksen mukaisesti se on integraali osa elinkaarta kehitettäessä ainutkertaisia tuoteratkaisuja.

Testaustoiminnan lävitse menee useita eri tyyppisiä projekteja ja kehitysyksiköitä. Osa testauksessa olevista projekteista ovat itsenäisiä, täysin uuteen tuotteeseen tähtäviä projekteja, osa taas asiakasprojektiin sidonnaisia tuotemodifikaatioita tai parannuksia ja toisena ääripäänä testaustoiminnan piirissä on yksittäisiä ohjelmistokehitysyksiköitä, jotka vaativat kattavaa testausta. Edellisen perusteella voidaan todeta, että kohdeorganisaation useat eri sisäiset sidosryhmät, kuten ohjelmisto- ja automaatiokehitys, liiketoimintalinjat, toimitusprojektit ja palveluliiketoiminta, asettavat testaustoiminnalle useita eri vaatimuksia, joiden hallinta samanaikaisesti tuottaa haasteita.

### **3.2 Tiedonkeruumenetelmät**

Tapaustutkimuksessa voidaan käyttää useita eri tiedonkeruu menetelmiä sekä yhdessä että erikseen (Saunders *et al.* 2009). Saunders *et al.* (2009) mukaan soveltuvia menetelmiä ovat esimerkiksi haastattelut, havainnointi sekä sekundäärisien dokumenttien analyysi. Usein tutkimuksessa arvostellaan laadullisen tapaustutkimuksen validiteettia (Yin 2003), joten diplomityössä päätettiin hyödyntää useita laadullisen tutkimuksen tiedonkeruumenetelmiä.

Tässä tutkimuksessa käytettyjä menetelmiä ovat teemahaastattelut, osallistuva havainnointi sekä sekundäärin materiaalin analysointi. Monimenetelmäasetelman avulla tutkimuksessa saavutetaan triangulaatiota eli tarkastellaan tutkimuksen ilmiötä useasta eri suunnasta mahdollisimman kattavan kokonaiskuvan muodostamiseksi (Kylmä & Juvakka 2014). Triangulaation avulla voidaan vahvistaa tutkimuksen validiteettiä (Saunders *et al.* 2009).

### 3.2.1 Teemahaastattelut

Osana tutkimuksen tavoitteista on ymmärtää kohdeorganisaation henkilöiden toimintaa kohdeilmiossa eli prosessissa. Tällöin on hyödyllistä käyttää tiedonkeruumenetelmänä haastatteluja, koska tutkimuksessa ihmiset nähdään aktiivisina prosessin subjekteina, joille on annettava mahdollisuus tuoda esille itseään koskevia asioita kohdeilmiossa liittyen (Hirsjärvi & Hurme 2008). Tässä diplomityössä hyödynnettiin teemahaastattelua, jota käytetään laadullisen tutkimuksen aineistonkeruumenetelmänä, jossa tutkijalla on lista laajoista teemoista ja kysymyksistä tutkittavan aiheen ympäriltä (Saunders *et al.* 2009). Teemahaastattelussa on mahdollisuus lisäkysymyksille haastattelun yhteydessä sekä haastattelukysymykset ja niiden järjestys voivat riippua haastateltavan taustasta (Saunders *et al.* 2009).

Diplomityön kannalta teemahaastattelujen hyödyntäminen tiedonkeruumenetelmänä oli perusteltua, koska niitä käytetään usein tapaustutkimuksissa pyrittäessä ymmärtämään eri toimijoiden välisiä yhteyksiä toisiinsa (Saunders *et al.* 2009). Tutkimuksessa haastateltiin yhteensä 19 kertaa 18 eri henkilöä kohdeorganisaation eri toiminnoista ja eri organisaatiohierargian tasoilta. Tutkimuksen esikartoitushaastattelut on eritelty taulukossa 7 ja tutkimuksen varsinaiseen tiedonkeruuseen kohdennetut haastattelut esitelty taulukossa 8. Osassa esikartoitus haastatteluista ja teemahaastatteluista on samat henkilöt haastateltavina.

Taulukko 7. *Esikartoitus haastattelut*

<b>Päivämäärä</b>	<b>Nykyinen organisaatio ja positio</b>	<b>Kesto</b>
<b>7.10.2019</b>	Projektipalvelut, Projektipäällikkö	30 min
<b>4.11.2019</b>	Projektipalvelut, Työmaapäällikkö	30 min
<b>15.11.2019</b>	Projektipalvelut, Esimies	25 min
<b>21.11.2019</b>	Ohjelmisto ja automaatiokehitys, Testausinsinööri	30 min
<b>21.11.2019</b>	Liiketoimintalinja A, Automaatioinsinööri	29 min
<b>3.12.2019</b>	Projektipalvelut, Projektipäällikkö	55 min
<b>8.1.2020</b>	Ohjelmisto ja automaatiokehitys, Laatu ja prosessiva- taava	30 min (äänitetty)
<b>14.1.2020</b>	Liiketoimintalinja B, Tuotepäällikkö	35 min
<b>17.1.2020</b>	Ohjelmisto ja automaatiokehitys, Simulaatiokehitys esimies	30 min

Esikartoituksessa haastattelujen teemana olivat kohdeorganisaation testaustoiminta, testausprosessi ja testiympäristöjen käyttö. Esikartoituksessa pureuduttiin myös eri toimintojen rooleihin testauksessa, jotta tutkija sai kattavan ymmärryksen eri rooleista liittyen testaustoimintaan.

Taulukko 8. Teemahaastattelut

Päivämäärä	Nykyinen organisaatio ja positio	Kesto
18.2.2020	Projektipalvelut, Tuoteturvallisuus insinööri	55 min (kasvokkain, ei äänitetty)
11.3.2020	Ohjelmisto ja automaatiokehitys, Laatu ja prosessivaatava	57 min (kasvokkain)
17.3.2020	Ohjelmisto ja automaatiokehitys, Testausinsinööri	45 min
18.3.2020	Liiketoimintalinja B, Ohjelmisto- ja automaatiopäällikkö	50 min
19.3.2020	Liiketoimintalinja A, NPD projektipäällikkö	62 min
19.3.2020	Projektipalvelut, Projektipäällikkö	50 min
20.3.2020	Liiketoimintalinja A, Tuotepäällikkö	62 min
23.3.2020	Ohjelmisto ja automaatiokehitys, Ohjelmisto arkkitehti	45 min
24.3.2020	Projektipalvelut, Infrasuunnittelu	49 min
27.4.2020	Projektipalvelut, Työmaapäällikkö	45 min

Haastattelut ovat jaettu tukimuksessa esikartoitukseen ja varsinaiseen tiedokeruuseen. Kaikki haastattelut toteutettiin yksilöhaastatteluina ja haastatteluissa haastattelijana toimi diplomityön tekijä. Hirsjärven ja Hurmeen (2008) mukaan laadullisessa tutkimuksessa on normaalia, että tutkimuksen aluksi kartoitetaan tutkimusmahdollisuuksia ja mahdollisia tulevia haastateltavia. Esikartoitus toteutettiin vapaamuotoisena keskusteluna kasvokkain ilman keskustelujen nauhoittamista. Keskustelujen nauhoittamista ei koettu tarpeelliseksi, koska keskustelujen tavoitteena oli ohjata tutkijaa ainoastaan tutkimuksensa kanssa oikeaan suuntaan eikä varsinaisesti hyödyntää materiaalia tutkimuksen tulosten analyysissä.

Varsinaisella tiedonkeruuhaastatteluilla on pyritty ymmärtämään kohdeilmion eli testaustoiminnan ja –prosessin nykyistä tilaa sekä mahdollisia kehityskohteita. Tiedonkeruun osalta teemahaastattelun runko on esitettyä liitteessä A. Haastattelurunko on rakennettu noudatellen diplomityön rakennetta edeten tutkimuksessa vallitsevasta kontekstista tarkemmalle kohdeilmion tarkastelutasolle. Teemahaastattelut aloitettiin lämmittelevillä kysymyksillä haastateltavan taustasta, edeten tutkimuksen tavoitteisiin ja kysymyksiin. Taustoituksen jälkeen tarkasteltiin kohdeorganisaation tuotekehitystä projektiliiketoiminnassa edeten tarkemmin laatuun ja testaukseen. Yleisten kysymysten perään pyrittiin tunnistamaan haastateltavan kanssa nykyinen testausprosessi *post-mortem* –tyyppisesti. Lopuksi haastateltava sai avoimesti kertoa omia näkemyksiä toiminnan kehittämiseen.

Johtuen teemahaastattelun luonteesta, kaikkia kysymyksiä ei esitetty kaikille haastateltaville, vaan kysymyksiä esitettiin haastattelutilanteen virtauksen mukaisesti. Varsinaiset tiedonkeruuhaastattelut on pääosin toteutettu etäyhteydellä, johtuen diplomityön tekohetkellä vallinneesta maailmanlaajuisesta virusepidemiatilanteesta.



Etäyhteydellä toteutettuja haastatteluja voidaan pitää puhelinhaastatteluiden kaltaisina tilanteina, joista puuttuvat keskustelun näkyvät vihjeet, jotka tarjoavat haastattelun kontekstin (Hirsjärvi & Hurme 2008). Etäyhteydellä toteutettu haastattelu ei ole optimaalinen vaihtoehto laajojen teemahaastatteluiden tekemiseen (Hirsjärvi & Hurme 2008), mutta tutkimuksen aikataulun, tilanteessa käynnissä olevien rajoitteiden ja resurssien rajoitteissa ainut vaihtoehto. Haastatteluiden luotettavuutta on pyritty parantamaan antamalla haastateltaville ennakoon tietoa haastattelun teemoista, nauhoittamalla haastattelut sekä antamalla haastateltavalle mahdollisuus tarkistaa haastattelun litteraatio mahdollisten väärinymmärryksien poistamiseksi. Haastattelun nauhoittaminen mahdollistaa haastattelun sujuvuuden, luontevuuden ja vapautuneisuuden ilman haastattelijan kirjoittamisen aiheuttamia katkoja (Hirsjärvi & Hurme 2008). Jokaiselta haastateltavalta kysyttiin lupa haastattelu tallentamiseen.

Haastatteluiden otos on toteutettu harkinnanvaraisella näytteellä. Harkinnanvarainen näyte tarkoittaa haastateltavien valintaa sillä perusteella, kuka tietää tutkittavasta ilmiöstä parhaiten kohdeorganisaatiossa (Hirsjärvi & Hurme 2008). Harkinnanvaraiseen otantaan päädyttiin diplomityössä, koska tutkimuksen tavoitteena ei ollut laaja tilastollinen yleistettävyys vaan pyrkimys ymmärtää ilmiötä syvällisemmin. Harkinnanvaraisella otoksella pystytään saavuttamaan jo muutamaa henkilöä haastattelemalla merkittävää tietoa (Hirsjärvi & Hurme 2008). Harkinnanvaraisen otannan mahdollisesti aiheuttamaa systemaattista virhettä tutkimustuloksissa on pyritty vähentämään haastattelemalla kattavasti eri henkilöitä jokaisesta kohdeorganisaation toiminnoista.

### **3.2.2 Havainnointi**

Saunders *et al.* (2009) mukaan, mikäli tutkimuskysymykset ja tavoitteet liittyvät ihmisten toimintaan, ilmeinen tiedonkeruumenetelmä on havainnointi. Tutkijan ollessa osa tutkimuksen kohdeorganisaatiota, tutkimuksessa on käytetty osallistuvaa havainnointia. Osallistuvalla havainnoinnilla tarkoitetaan laadullista tiedonkeruumenetelmää, jossa tutkija on osana tutkimusasetelmaa pyrkimällä ymmärtämään todellisissa tilanteissa esiintyviä nyansseja havaintojen avulla (Saunders *et al.* 2009). Tässä diplomityössä havainnointia käytettiin pääasiassa erilaisten tapaamisten havainnointiin. Havainnot tallennettiin tutkimuspäiväkirjaan palaverin päivämäärän ja tarkoituksen perusteella. Tutkimuksen tuloksissa hyödynnetyt tapaamiset ovat esitettynä taulukossa 9. Havainnoinnissa pyrittiin löytämään toistuvuuksia, teemahaastattelun tuloksia tukevia löydöksiä ja taustaymmärrystä kohdeorganisaation kontekstiin.

Taulukko 9. *Havainnointipäiväkirja*

<b>Päivä- määrä</b>	<b>Tapaamisen tarkoitus</b>	<b>Osallistujien lukumäärä</b>	<b>Kesto</b>
16.12.2020	Testausresurssien varaus ja kalenterointi	11	60 min
14.1.2020	Testausresurssien varaus ja kalenterointi	12	60 min
17.1.2020	Diplomityön tavoitteiden asetanta	2	60 min
20.1.2020	Testikone status	4	60 min
23.1.2020	Diplomityö aloituspalaveri	3	90 min
28.1.2020	Testausresurssien varaus ja kalenterointi	7	32 min
31.1.2020	Ohjelmistokehitys audit, viikkotapaaminen	4	55 min
3.2.2020	Ohjelmistokehitys audit	5	60 min
7.2.2020	Ohjelmistokehitys audit, viikkotapaaminen	4	60 min
14.2.2020	Ohjelmistokehitys audit, viikkotapaaminen	5	58 min
21.2.2020	Ohjelmistokehitys audit, viikkotapaaminen	5	50 min
28.2.2020	Ohjelmistokehitys audit, viikkotapaaminen	5	60 min
11.3.2020	Workshop, Testaus ja SRS-prosessi	20	95 min
13.3.2020	Ohjelmistokehitys audit, viikkotapaaminen	6	60 min
24.4.2020	Testausympäristöhaasteet	6	55 min
28.4.2020	Prototyypin ylläpito	2	25 min
29.4.2020	Prototyypin päivitys ja ylläpito	2	28 min
6.5.2020	Prototyypin päivitysten hallinta	6	45 min
8.5.2020	Prototyypin päivitysten hallinta	2	15 min
11.5.2020	Prototyypin ohjelmiston hallinta	3	30 min
12.5.2020	Prototyypin muutosten hankinnat	3	35 min
13.5.2020	Prototyypin ohjelmiston hallinta	4	33 min
19.5.2020	Prototyypin ohjelmiston hallinta	2	21 min
20.5.2020	Prototyypin muutosten hallinta	6	32 min
26.5.2020	Muutostenhallintaprosessin pilotointi	8	35 min
27.5.2020	Muutostenhallintatyökalun päivitys	2	150 min
28.5.2020	Prototyypin ohjelmiston hallinta	2	15 min

Havainnointipäiväkirjaa täydennettiin tutkimuksessa sekä tapaamisten aikana että tapaamisten jälkeen. Johtuen tutkijan aktiivisesta roolista tapaamisissa, havaintojen kirjaamisen täsmällisyys ja laadukkuus saattoi vaihdella eri tapaamisien välillä, koska keskustelujen virratessa havaintojen seuraaminen ja kirjaaminen samanaikaisesti oli toisinaan haastavaa. Taulukosta 9 nähdään, että tutkija on ollut osallisena useissa erilaisissa kohdeorganisaation operatiiviseen toimintaan liittyvissä tapaamisissa. Osa tapaamisista oli kohdistettu suoraan diplomityön aihepiiriin ja toisaalta osa tapaamisista käsitteli ainoastaan osittain diplomityön aihepiiriä.

### 3.3 Muu empiirinen materiaali

Primäärisen tiedonkeruun lisäksi diplomityössä on hyödynnetty kohdeorganisaatiossa tuotettua tallennettua informaatiota eri tietolähteistä. Tutkimuksessa hyödynnetyt sekundäärisen materiaalin lähteet on esitetty taulukossa 10. Sekundääristä materiaalia

voidaan Saunders *et al.* (2009) mukaan hyödyntää täydentämään tai tukemaan primäärisestä tutkimusmateriaalista tehtyjä päätelmiä.

Taulukko 10. *Sekundäärisen tutkimusmateriaalin lähteet*

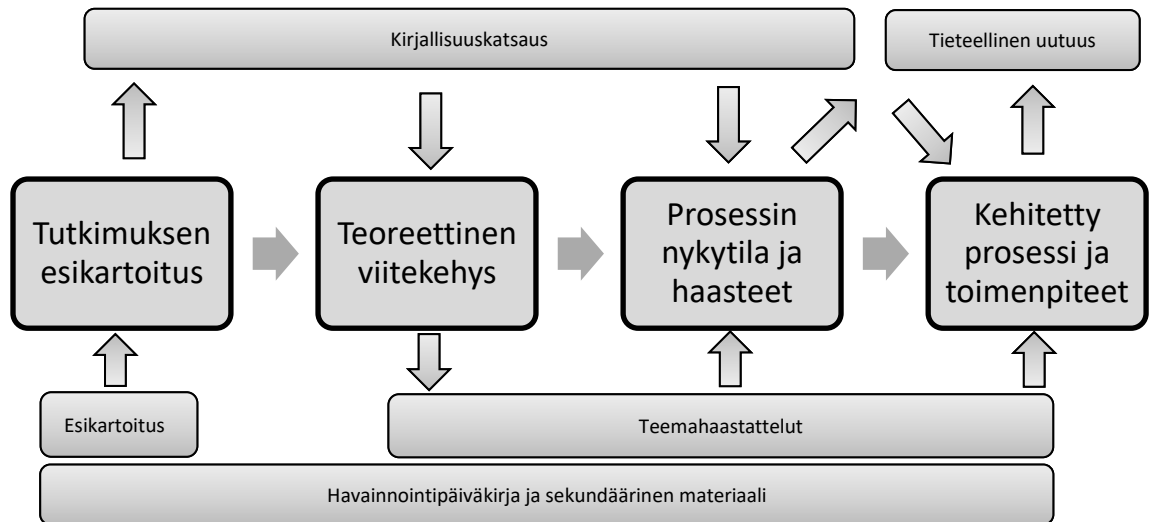
Informaation lähde	Informaation muoto
<b>Organisaation rakenteet ja prosessit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• NPD-, ohjelmistokehitys- ja testausprosessit</li> <li>• Organisaatorakenne</li> </ul>	Prosessikaaviot ja –selitykset kohdeorganisaation järjestelmästä sekä presentaatiot pilvipalvelusta
<b>Tapaamisten muistiot ja sähköpostikeskustelut</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Testauksen tunnistetut haasteet</li> <li>• Testaamisen suunnittelu</li> </ul>	Kokousmuistiot pilvipalvelusta, sähköpostiketjut, presentaatiot
<b>Raportointityökalut</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuotekehityksen hallinta</li> <li>• Testauksen dokumentointi</li> </ul>	Kohdeorganisaation käyttämät tietojärjestelmät

Sekundääristä materiaalia voidaan Saunders *et al.* (2009) mukaan hyödyntää täydentämään sekä tukemaan primäärisestä tutkimusmateriaalista tehtyjä päätelmiä. Sekundäärisen informaation lähteinä diplomityössä käytettiin taulukon 10 mukaisesti organisaation eri tietojärjestelmiä, kuten informaation hallintajärjestelmää, pilvipalveluissa olevia kokousmuistioita, sähköpostikeskusteluja ja varsinaiseen tuotekehitykseen sekä testaukseen liittyviä tietojärjestelmiä.

### 3.4 Tutkimusprosessi ja tulosten analyysi

Diplomityön tutkimusprosessi voidaan nähdä jakaantuvan kuvan 13 mukaisesti neljään vaiheeseen: tutkimuksen esikartoitukseen, teoreettiseen viitekehityksen tarkasteluun, ensimmäisen tutkimuskysymyksen tarkasteluun eli prosessin nykytilaan sekä tutkimuksen toisen tutkimuskysymyksen tarkasteluun eli kehitettyyn testausprosessiin ja toimenpiteisiin.

Esikartoituksen avulla tutkimuksen laajuus pystyttiin rajaamaan siten, että oli mahdollisuus keskittyä liiketoiminnan kannalta relevanttiin aiheeseen ja toisaalta tutkimuksen resurssien kannalta riittävän rajattuun kokonaisuuteen. Esikartoitushaastatteluita ei äänitetty eikä myöskään litteroitu, vaan analyysi tutkimuksen kohdentamiseksi toteutettiin perustuen keskusteluissa muodostettuihin muistiinpanoihin. Esikartoituksessa pyrittiin saamaan näkemystä tutkimuksen aiheeseen eri organisaation toiminnoista sekä toimihenkilö- että johtotasolta. Esikartoituksen pohjalta luotiin tutkimussuunnitelma, jonka perusteella pystyttiin määrittämään teoreettinen viitekehitys ohjaamaan tutkimuksen empiriaa.



**Kuva 13. Tutkimusprosessi**

Kuvassa 13 tutkimuksen empiirinen osuus on kuvattuna prosessin alapuolella ja teoreettinen osuus kuvan yläreunassa. Kirjallisuuskatsauksen avulla pystyttiin rakentamaan tutkimukseen soveltuva teoreettinen viitekehys, jonka pohjalta luotiin teemahaastatteluun soveltuvat teema-alueet. Havainnointipäiväkirjaa sekä sekundäärimateriaalia hyödynnettiin koko tutkimusprosessin ajan, tutkimuksen esikartoitusvaiheessa ymmärryksen luomiseen kontekstista ja loppuvaiheessa tutkimustulosten tukemiseen ja triangulaatioon.

Tutkimustulosten analyysi on toteutettu sisällön analyysinä. Haastatteluista ja havainnoinnista kerätty materiaali on tallennettu yhteen tiedostoon, jossa materiaali on jaoteltu teemoittain. Analyysissa on painotettu erityisesti eri teemojen toistuvuutta sekä erilaisten syy-seuraussuhteita kuvaavia tarinoita. Haastatteluissa hyödynnettiin ”*post-mortem*” tarkastelua, jossa prosessia ja haasteita on pyritty tunnistamaan haastateltavan kanssa tarkastelemalla aiempia jo toteutuneita tuotekehitystilanteita. *Post-Mortem* –analyysia on hyödynnetty esimerkiksi Reid *et al.* (2019) tutkimuksessa projektitoiminnan prosesseista.

Analyysia ohjaamaan tutkimuksessa on valittu Checklandin (1981) luoma SSM-analyysimenetelmä (*Soft Systems Methodology*), jonka tarkoituksena on kehittää ymmärrys tosielämän kompleksisesta tilanteesta ja sen puutteista verrattuna haluttuun ideaalitalanteeseen. SSM-analyysimenetelmää on hyödynnetty esimerkiksi Mello *et al.* (2017) tutkimuksessa projektiliiketoimintakontekstissa. SSM-analyysissä luodaan aluksi rikas kuva nykyisestä tilanteesta, tunnistetaan tilanteeseen liittyvät toimijat, prosessit sekä ympäristölliset rajoitteet, luodaan tavoitteellinen prosessi ja lopuksi vertaillaan nykytilanteen eroa tavoitteelliseen prosessiin sekä kommunikoidaan tarvittavat muutokset.

Nykytilan kuvaus ja haasteet on luotu pääosin haivainnointipäiväkirjan ja teemahaastattelujen pohjalta. Nykytilan kuvauksessa on painotettu haastattelun eri teemoissa esiintyviä toistuvia havaintoja. Lisäksi nykytilan kuvaukseen on otettu mukaan useita nykytilaa kuvaavia yksittäisiä haastateltavan kertomia tarinoita aiemmista projekteista, koska ne kuvasivat tutkijan näkemyksen mukaan olennaisesti haasteita nykyisessä toimintamallissa. Jokaiselle yksittäiselle tarinalle on kuitenkin pyritty löytämään tukea sekä haivainnointipäiväkirjasta ja sekundäärisestä materiaalista.

Diplomityössä esitetyt kehitysehdotukset kohdeorganisaatiolle pohjautuvat sekä empiiriseen materiaaliin että teoreettiseen viitekehukseen. Jokaisessa teemahaastattelussa haastattelun lopuksi haastateltava sai antaa avoimesti omia näkemyksiä siitä, kuinka toimintaa tulisi kehittää. Haastatteluissa toistuvien haasteiden ja kehitysehdotuksien pohjalta tutkittiin teoreettista viitekehystä mahdollisista valmiista ratkaisuista tiettyihin toiminnan haasteisiin. Osa kehitysehdotuksista on jalostettu suoraan aiemman tutkimuksen pohjalta, jossa on havaittu vastaavia haasteita. Kehitysehdotuksista testausympäristön hallintaa on pilotoitu yhdellä testattavalla koneella, jolloin pystyttiin arvioimaan mallin toimivuutta käytäntöön.

## 4. TUTKIMUKSEN TULOKSET

### 4.1 Projektiliiketoiminta ja prosessit

Laajassa tarkastelussa testaus on olennaista huomioida jo tuotekehityksen tarpeen tunnistamisessa. Kohdeorganisaation kontekstissa tuotekehitystarve on usein hyvin asiakaslähtöistä, mutta tuotekehitystä tehdään myös itsenäisesti. Toimitusprojektin myyntivaiheessa markkinoinnin ja myynnin lisäksi asiakaskontaktissa on mukana useita eri henkilöitä organisaation lähes kaikista toiminnoista, koska projektit ovat luonteeltaan hyvin kompleksisia. Suunniteltaessa ratkaisua asiakkaalle, kokonaisuuden luonnissa hyödynnetään usein sekä vanhoja jo kehitettyjä ratkaisuja että tehdään uuden tuotteen kehitystä. Testauksen kannalta olennaista on ymmärtää tuotteen toiminnallisuuden ylläpito, kuten eräs tuotelinjan henkilöistä sen totesi:

*”Kuinka paljon meillä on panostusta siihen, että kun tuote kehittyy niin sitä varmistellaan jatkuvasti, että sekin toimii vai onko se niin että luotamme siihen meidän päässä testauksessa, että kun on jossakin työpöytäympäristössä käyty läpi niin sitten se on toimiva siellä asiakasympäristössä.”*

Kun tarve uuden tuotteen kehitykselle on tunnistettu, tuotehallinnassa käynnistetään tarpeen jaottelu kehitettäviksi kokonaisuuksiksi tuotteen moduulien perusteella. Kohdeorganisaatiossa oli käynnistetty tuotteiden ja ratkaisujen modularisointiohjelma, joka nousi esille neljässä haastatteluista positiivisena asiana. Usein isommat kokonaisuudet jakautuvat kohdeorganisaatiossa tuotekehitysprojekteiksi, mutta on hyvä huomata, että paljon tuotekehitystä tapahtuu myös varsinaisten kehitysprojektien ulkopuolella.

*”En ole laskenut, mutta ehkä jopa yli puolet softatyöstä jonka tuotelinja teettää tilaustyönä softa ja automaatiossa niin ei ole tuotekehitysprojektia mukana.”*

Perinteinen tuotekehitysprojekti nähtiin pääosin hyödylliseksi erityisesti silloin, kun kehitettävään kokonaisuuteen liittyi sekä laitteistopuolen että ohjelmistopuolen kehitystä. Toisaalta kahdessa haastattelussa kyseenalaistettiin tuotekehitysprojektien hyödyllisyys yrityksen liiketoiminnan kannalta, koska projektien epäjatkuvuus nähtiin ongelmallisena tuotekehityksen ja jopa toimitusprojektien kannalta.

*”Tuotekehitys on projektina tosi vaikea tehdä, maailma muuttuu ja tulee kokoajan uusia vaatimuksia... . Tuntuu, että mennään aina sen taakse kun projekti on auki*

*niin mitään ei voida tehdä kun kaikkea ei ole saatu valmiiksi vaikka 90% olisikin valmiina.”*

Tuotekehitysprojekteissa kohdeorganisaatiolla on käytössä perinteinen *stage-gate* tyyppinen uuden tuotteen kehitysprosessi (NPD). Toisaalta ohjelmisto- ja automaatiokehitystoiminto on kehittänyt toimintaansa ketteriin menetelmiin suuntautuvaksi, jossa toimintaa ohjataan lyhyellä ja pitkällä tähtäimellä.

*”... ketteristä menetelmistä poimittu ajatus, että on jatkuva suunnittelu lyhyelle ja pitkälle tähtäimelle ja asioita priorisoidaan ei sen mukaan mitä satuttiin priorisoimaan projektin määrittelyssä vaan miten asiakastarpeet muuttuu, miten kapasiteetti muuttuu. Jatkuvaa iteratiivista kehitystä ja suunnittelua. Suunnitelmat päivittyy tasaisin väliajoin. SW & automaatiossa ei ole asioita jotka alkaa ja päättyy, vaan jatkuvaa kehitystä joita priorisoidaan kulloisenkin tarpeen mukaan.”*

Erityyppiset toimintatavat eri kohdeorganisaation toiminnoissa aiheuttavat kuitenkin epätietoisuutta, josta erään haastateltavan mukaan kumpuaa useita ongelmia.

*”Eli se ristiriita, että riippuen missä päin organisaatiossa oot ni se ristiriita kun ei olla vielä siellä missä halutaan olla ja eri puolilla organisaatiota muutos on edennyt eri tahtia eikä olla synkronoinnissa, perustavalaatusin ongelma, josta kumpuaa hyvinkin eri taseisia ongelmia.”*

Haastateltavan näkemystä tukee myös havaintopäiväkirja, jossa on maininta ulkoisen konsulttiyrityksen tekemästä auditista. Konsulttiyrityksen havaintojen perusteella ohjelmisto- ja automaatiokehitysyksikkö nojaa vahvasti tuoteperustaiseen toimintatapaan kun taas muun kohdeorganisaation toimintaa ohjaa vahvasti projektitavoitteet. Eri toimintojen välisten toimintaparistiriitojen lisäksi kolmessa haastatteluista tunnistettiin myös toimintojen sisäisten prosessikäytäntöjen välillä eroavaisuuksia. Erään haastateltavan mukaan perinteisen tuotekehitysprosessin soveltamisessa annetaan projektipäällikölle mahdollisuus hallita projektia usealla tavalla ja projektin eteneminen onkin hyvin riippuvaista yksilöstä ja yksilön saamasta ohjauksesta projektin omistajilta. Tuotekehitysprojektit ovat usein ajallisesti hyvin pitkiä prosesseja, joissa pyritään jo projektin suunnitteluvaiheessa hyvin tarkasti määrittämään projektin aikataulu tunti- ja päivätasolla ja sitoutumaan resursseihin.

*”Itsessään kun luodaan projektipläniä, tunti ja päivämäärien tasolla koitetaan jo työpaketit muodostaa joihin suunnitellaan jo testausslotteja, missä yhteensaatettaisiin softaa ja hardista. Nimiäkin koitettiin projektisuunnitelmaan listata jo silloin puoltatoista vuotta eteenpäin. Silloin valitin, että ei ole mitään järkeä puolentoistavuoden päähän päivämääriä ja tuntiarvioita tehdä, jotkut teki*

*jopa kolmevuotta eteenpäin. Huvitti katsoa sitä, että näinkö tämä menee, että kolme vuotta eteenpäin koitetaan aavistaa hyvinkin tarkalla tasolla.”*

Kohdeorganisaation toimintatapana nähtiin, että pyritään suunnittelemaan resurssien osalta hyvin tarkasti, mutta resurssiomistajien sitoutuminen suunnitelmiin ja toistaalta suunnitelmien muuttuminen radikaalista aiheuttavat haasteita.

*”Kun projektia lähdetään suorittamaan siinä G2 päätöksessä, niin tyypillisesti pitäisi olla resurssiomistajilta hyväksyntä että joo tämä on hyvä, että meiltä löytyy resurssit. ... Testauksen osalta niin muistan, että esimerkiksi testauksen esimiehen kanssa istuin palaverin, jossa käytiin projektisuunnitelmaa läpi ja esittelin, että täällä on vaikka puoleksi vuodeksi kahdelle kaverille testattavaa. Vastaus oli että joojoo hyvä on ja sittenkun lähdetään suorittamaan niin meillähän kuukaudessa voi elää aikataulut jo paljon... .”*

Tutkimuksessa tuli myös esille, että yrityksen tarjoamat tuotteet ja ratkaisut ovat ajansaatossa muuttuneet, mutta lähes kaikki haastateltavista koki, että nykyiset toimintatavat ja prosessit eivät tue muutosta. Toimitettavien ratkaisujen osalta muutokseksi tunnistettiin se, että ennen tuotteet tai ratkaisut olivat valmiita kun toimitusprojekti suljettiin, mutta nykyään lisääntyvässä määrin toimitus asiakkaalle on jatkuva suhde, kuten haastateltava sen totesi:

*”Kyllähän tuotteet ovat jalostuneet hyvin paljon eteenpäin ja varsinkin softan osalta se on aikailla mitä asiakkaidenkin kanssa koitetaan hakea, että se mitä yleensä tehdään toimitusprojektissa niin se on se ensimmäinen iteraatio ja sitten ne tulee kehittymään.”*

Erään haastateltavan mukaan kompleksisuus ja eri kehitysyksiköiden sidosteisuus tuo nykyisessä toimintamallissa huomattavia haasteita:

*”... meillä on myös päällekkäisiä toimitusprojekteja ja tuotekehitysprojekteja, jotka tekee vähän samaa asiaa kokoajan ja kuitenkin projektit menee päällekkäin ja limittäin ja niillä on riippuvuussuhteet keskenään yksi tekee jotakin ja toinen tekee samaan asiaan lisää.”*

Lainauksessa haastateltava kuvaa hyvin kohdeorganisaation tuotekehityksen kompleksisuutta, jossa esiintyy paljon riippuvuuksia eri projektien, tuotteiden ja organisaation toimintojen välillä. Kasvanut kompleksisuus on aiheuttanut sen, että kohdeorganisaatiossa ydinosaminen on jakautunut laajemmalle, jolloin yksittäiset henkilöt eivät pysty enää hallitsemaan kokonaisuuksia:



*”Meillä on ehkä joku päivä ollut niitä supersankareita, jotka ovat ymmärtäneet melkein ja käsittäneet koko järjestelmän, että kuinka tämä toimii ja pitänyt käsissä sitä miten tuote menee eteenpäin. ... on tehty paljon erilaisia järjestelmiä eri osaluille niin ei meillä siellä loppupäässä voi olla sellaisia supersankareita että yksi kaveri hallitsisi kaikki järjestelmät. Pitäisi tulla valmiimmin käyttöönotettavia järjestelmiä eikä niin että siinä joku vanha tapa riittää että meillä on 1-2 superkaveria jotka kyllä tietää kaikista kaiken ne menee saitille ja laittaa hommat pystyyn.”*

Ratkaisujen monimutkaistuesssa kohdeorganisaatiossa on huomattu, että toteutukseen vaadittavan ajan ja resurssien tarvetta aliarvioidaan. Useissa haastatteluissa tunnistettiin, että kompleksisuuden aliarviointi johti heikkoon käsitykseen tarvittavasta testausmäärästä, jolloin kun testaus tuli ajankohtaiseksi, testaukseen ei oltu varauduttu, sille oli varattu liian vähän resursseja tai aikaa ja tällöin koko projekti myöhästyi.

## **4.2 Laatu ja testaus**

Haastatteluiden perusteella laadun määritelmä tunnistettiin haastavaksi. Useissa haastatteluissa laatu määriteltiin tuotteeseen sisältyväksi elementiksi, joka rakentuu jokaisesta tuotekehityksen toimenpiteestä. Ohjelmistokehityksessä laadun kriteerit olivat selvemmin määriteltävissä, kun kolmessa haastatteluista tulkittiin, että ohjelmiston laatua voidaan mitata vikaraporttien esiintyvyydellä. Yleisesti laatu määriteltiin siten, että tuote vastaa sille annettua erittelyä siten, että se ei tee mitään ylimääräistä. Haastatteluiden perusteella laatu nähtiin enemmän tuotteeseen liittyvänä teknisenä elementtinä eikä niinkään asiakaslähtöisenä laadun ulottuvuutena. Eräs haastateltavista näki, että yrityksessä on tuotteen eri osien valmistuksen laadunhallintaa, mutta kukaan ei vastaa koko tuotteen laatu prosessista alusta loppuun.

Viimeaikoina kohdeorganisaatiossa on käyty keskustelua laadusta, mutta osan haastateltavien mielestä laadusta ja laadun kriteereistä voitaisiin myös keskustella enemmän. Erityisesti haastateltavien mielestä keskustelua puuttui siitä, mikä on tiettyyn projektiin tai tilanteeseen vaadittava laadun taso ja miten se varmistetaan.

*”Laadun osalta ei ole aktiivisesti keskusteltu. Mikä on se taso mihin halutaan testaamisella vastata, kaikki mahdolliset skenaariot vai projektikohtainen lähestymistapa, mikä on missäkin projektissa olennaista testata, vai perusteellisempi tuotetestaus. Puuttuu päätöksentekijä ja kriteeristö, mikä määrittää riittävän laadun. Joissakin projekteissa voitaisiin mennä tarkasti laatu*

*edellä ja toisissa taas aikataulu olennaisempaa. Näkemys laadusta tällähetkellä organisaatiossa hyvin yksilöllinen”*

Erityisesti tuotekehityksessä, joka liittyy suoraan toimitusprojekteihin, kiire on vallitseva elementti, jossa ei käytännön syistä jää hirveästi aikaa panostaa laatuun. Laadun kannalta ongelmalliseksi nähtiin myös se, että toisinaan tuotekehitysprosessissa sivuutetaan konseptointivaihe, jolloin prosessissa siirrytään suoraan kehitykseen ja tällöin mahdollisuus vaikuttaa tuotteen laatuun on enää rajallisempi. Lähes kaikissa haastatteluista nousi esille, että riskienhallinta on olennainen osa laatua ja sen hallintaa. Kuitenkin viidessä haastatteluista tunnistettiin, että riskienhallintaa on tehty liian vähän tai ei juuri ollenkaan, kuten eräs haastateltavista sen totesi:

*”Meillä tuotekehitysprojehtin käynnistysvaiheessa tehdään jonkunlainen riskikartoitus, mutta käytännössä puolentunnin pohdinta, enemmän mihin luokkaan projekti kuuluu, voitaisiin käyttää projektinhallinnassa enemmän työkaluna, paljon mahdollisuuksia, ei oikeasti panosteta vaikka raporteista löytyy riskikartoitukset, enemmänkin silmänlumetta.”*

Laatuun ja riskienhallintaan liittyen lähes kaikissa haastatteluissa esille nousi ongelmaksi se, että esiintyi epätietoisuutta siitä, mitä pitäisi testata, missä vaiheessa ja missä testausympäristöllä sekä missä laajuudessa. Tuotekehitysprojehteissa tunnistettiin, että testauksen suunnittelu kokonaisen tuotteen osalta jää ainakin osittain projektipäällikön vastuulle, jolla ei välttämättä ole kuitenkaan osaamista tai kokemusta testauksen suunnittelusta ja toteutuksesta.

*”Testausta suunniteltaisi niin, että se olisi tehokasta ja järkevää ja sitä skouppausta että millä tasolla kannattaa testata. Eikä niin, että se jäisi puhtaasti projektipäällikön ja osaalueiden omistajien ongelmaksi, vaan sillä olisi jokaiselle tuotekehitysprojehtille eräänlainen testipläni muodostettu omistajan toimesta jolla on tavallaan ymmärrys myös muodostaa ja sitä kautta se laatukin saataisiin siihen nostettua vahvemmin esille. Toki meillä osa varmaan projektipäälliköistä on kyvykkäämpiä miettimään testausta, mutta ei se niin saisi olla. Meillä pitäisi olla järjestelmällinen eräänlainen itegrointi tai testauspläni ja sille yksi selkeä omistaja.”*

Testauksen määrittelyyn liittyen epäselvyyttä esiintyi myös siinä, onko tietty testaus tuotteeseen vai toimitusprojektiin liittyvää testausta. Toimitusprojektien näkökulmasta haastatellut henkilöt totesivat, että liian vähän tapahtuu testausta varsinaisen tuotteen osalta ja vastuu tuotteen testaamisesta siirtyy toimitusprojektille, joka taas nostaa projektin kustannuksia.

Ohjelmistokehityksen sisällä automatisoidut testausympäristöt nähtiin toimivina ja erittäin tärkeinä. Lisäksi tuoteturvallisuuteen liittyvä validointi-testausprosessi (SRS) nähtiin yhdeksässä kymmenestä haastattelusta positiivisena ja hyvin kehittyneenä toimintamallina. Useissa haastatteluissa tyydyttiin kuitenkin puhumaan vain joko ohjelmisto- tai laitteistokehitystestauksesta, mutta siirryttäessä keskustelmaan ohjelmiston sekä laitteiston testauksesta yhdessä todettiin, että tilanne on jonkin verran monimutkaisempi. Tätä havaintoa tukee eräs haastateltava toteamalla:

*”Ongelma on, että yksittäinen EPIC voi testata erittäinkin hyvin ja samoin myös yksittäinen SRS testaus saatetaan tehdä aika hyvinkin, mutta kun kaikki SRS ja EPIC muutokset lyödään yhteen pinnoon ja samaan vielä vähän konemuutoksia, kukaan ei katso sen testauksen yli ja pahimmillaan yhteisvaikutukset että jokin ei toimikkaan, ei ole mahdollisesti hallinnassa.”*

Yhdistettyyn testaukseen hyvänä työkaluna nähtiin viime vuosina enemmän kohdeorganisaatiossa huomiota saanut *HIL*-simulaatiotestaus, jonka avulla päästään tehokkaasti suorittamaan testausta ilman todellisia fyysisiä prototyyppejä. *HIL*-simulaatioympäristöt ovat kuitenkin kohdeorganisaatiossa vielä melko tuore investointi ja niiden käyttö testaukseen ei ole välttämättä vielä riittävän maturoitunutta.

Fyysisen testausympäristön käytössä kohdeorganisaatiossa kumpuaa useita ongelmia. Voimakkaimmin testausympäristön haasteista nousi esille kriittisten resurssien rajallisuus. Eräs haastateltava totesi, että pyrkii välttämään tarvetta fyysiselle testausympäristölle, koska tämä asettuu usein pullonkaulaksi tuotekehityskokonaisuuden valmistumisen näkökulmasta. Toisaalta havainnointipäiväkirjan mukaan ongelma on myös siinä, että ohjelmistokehitysyksiköihin ei sisällytetä hyväksyntätestausta, jolloin tiettyyn kehitysyksikköön varatut resurssit vapautetaan seuraavaan kehitettävään yksikköön ennen kuin ollaan riittävällä tasolla varmistuttu kokonaisuuden laadusta. Tilanne aiheuttaa sen, että jos kehitetyssä ohjelmistoyksikössä havaitaan virhe myöhemmässä vaiheessa, virheen korjaukseen ei ole saatavilla henkilöstöresurssia nopealla aikataululla. Tilanne johtaa laatureklamaatioihin ja viivästyksiin asiakasprojekteilla.

Testausresurssien käytön tehostamiseksi organisaatiossa on otettu käyttöön kontrolloitu ja keskitetty toimintatapa resurssien aikataulutukseen ja priorisointiin. Useiden sähköpostiketjujen perusteella kontrolloitu tapa kuitenkin nähdään osassa organisaation toiminnoista liian jäykkänä ja byrokraattisena pystytäkseen vastaamaan joustavasti nopeasti muuttuviin testaustarpeisiin.

Kriittisten resurssien aikataulutuksen lisäksi haasteeksi nousi myös testausympäristön laiteresurssien ylläpito. Ylläpidossa haasteita tuottaa erityisesti eri suunnitteluosa-alueiden eriaikainen valmistuminen, epäselvät omistajuudet ja vastuualueet sekä informaatiokatkokset. Nykyistä toimintamallia kuvaa hyvin eräs haastateltava toteamalla:

*”Aikaisemmin testaus toiminnan koordinointi on puuttunut, ollut itseohjautuva. Kaverit itse sumplinu. Toiminut niin kauan kun se touhu ollut riittävän lepposaa. Kun nähdään että joitain tiettyjä asioita myöhästyy aika reilusti niin silloin syntyy myös konflikteja. ... , pelkään että konflikteja tulee tapahtumaan, ei ehkä aikataulut kohtaa ja samalla katoaa myös testikoneiden hallinta. Ei kohta tiedetä missä jamassa koneet on ja mitä komponentteja sinne on asennettu. Voi aiheuttaa yllätyksiä suunnittelussa kun tehdään oletuksien varassa ja käykin ilmi että todellinen tuotteen rakenne on jotain muuta.”*

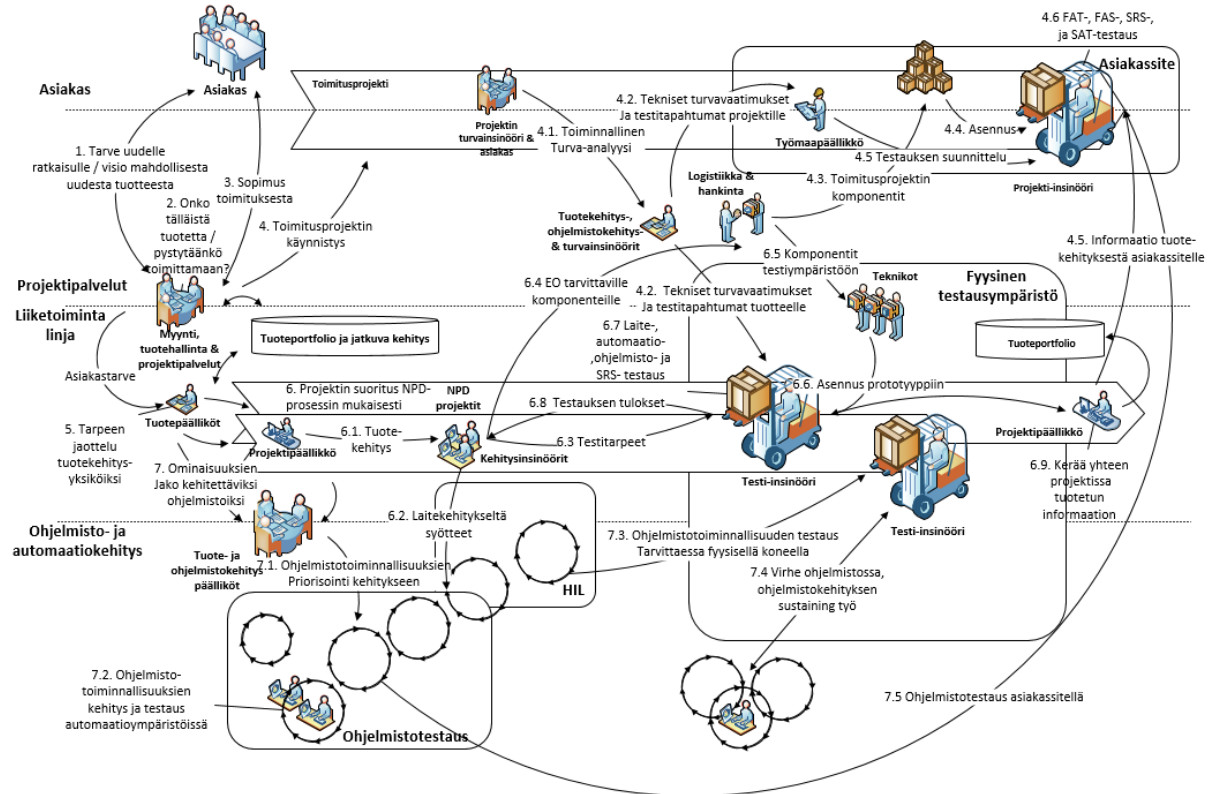
Erityisesti tuotannon näkökulmasta ongelmalliseksi nousi eri alisysteemikokonaisuuksien eriaikainen valmistuminen, jolloin kokoonpano saatettiin aloittaa vaikka kaikki osakokonaisuudet eivät olleetkaan valmiita. Tämä aiheutti prototyypin asennuksen viivästymistä ja edelleen kokonaisen projektin viivästymistä. Lisäksi huomattiin kerrannaisvaikutukset muiden samaa testausresurssia vaativien projektien osalta, jotka eivät päässeet aloittamaan testausta suunnitellussa aikataulussa edellisen projektin johdosta.

### 4.3 Testausprosessin rikas kuvaus ja tilanteen määrittely

Tutkimuksen empiirisessä osiossa tarkoituksena on ymmärtää laajemmassa mittakaavassa testauksessa vaikuttavat toimijat ja haasteita aiheuttavat tekijät syy-seuraussuhteineen rikkaan prosessikuvausten avulla. Kuvassa 14 on esitettyä empiirisen materiaalin pohjalta luotu kuvaus testausprosessin nykytilasta. Rikkaan kuvan tukemiseksi on muodostettu SSM-menetelmää noudattaen haastatteluiden ja havaintojen pohjalta CATWOE-määritelmä. Määritelmä koostuu systeemin asiakkaan (C, Customer), toimijoiden (A, Actor), systeemiin vaikuttavien prosessien (T, Transformation process), prosessin omistaja (O, Owner) ja ympäristöllisten rajoitusten (E, Environmental constraints) tunnistamisesta (Mello et al. 2017).

Kuvauksessa ei ole kaikkia eri toimintoja ja aktiviteetteja, vaan siinä on pyritty tuomaan esille testauksen kannalta olennaisimmat yksityiskohdat. Kuvauksesta nähdään, että eri testausaktiviteettien riippuvuus useista eri toimijoista on huomattava, jolloin testausprosessia eli tutkimuksen tapausta ei voida tarkastella irrallaan tutkimuksen kontekstista eli yrityksen liiketoimintamallista projektiympäristössä. Kuvauksessa ei

tarkastella post-mortem tyylisesti yhtä yksittäistä projektia vaan siinä on pyritty tuomaan esille kaikki laajassa ja kompleksessa mittakaavassa esiin tulevat testauksen kannalta olennaiset tapahtumat. Kuvausta pienemmät, esimerkiksi yksittäiset ja irralliset tuotekehitysyksiköt toteuttavat osittain kuvauksesta esiin tulevia riippuvuuksia.



**Kuva 14. Rikas kuvaus prosessin nykytilasta**

Tarkasteltaessa rikasta nykytilan kuvausta, huomataan, että prosessissa tapahtuu testausta useassa eri vaiheessa. Riippumatta testauksen muodosta tai vaiheesta, kaiken kuvassa 14 esitetyn toiminnan tavoitteena on pyrkiä vastaamaan asiakastarpeeseen. Tämän perusteella voidaan todeta, että prosessin **asiakkaana** toimii toimitusprojektin asiakas. Suppeammassa tarkastelussa kaikki tuotekehitykseen liittyvän testauksen asiakkaana toimii liiketoimintalinja, joka joko suorittaa testauksen itse tai tilaavat ohjelmistokehityksen ja –testauksen ohjelmisto- ja automaatiokehitystoiminnolta.

Tuotekehitysprojekteissa testauksen **toimijoina** haastatteluiden mukaan ovat kohdeorganisaation kaikki eri toiminnot. Tuotelinjatestauksen asiakkaana on myös testauksen toimeenpanija ja suorittaja mikäli kyseessä ei ole puhdas ohjelmistokehitys. Ohjelmisto- ja automaatiokehitys vastaa testauksessa ohjelmistoyksiköiden kehityksestä ja testaamisesta, mutta ei yksiköiden kokonaisuuksien hallinnasta. Projektipalvelut ylläpitävät fyysistä testausympäristöä ja vastavat testausympäristön koneiden

korjauksesta ja huollosta. Lisäksi projektipalvelut tukee tuotekehitystä muilla tavoin, kuten tuoteturvallisuusanalyysillä, projektien resursseina sekä logistiikan ja hankinnan osalta.

Rikkaassa kuvauksessa testaukseen liittyvät **pääprosessit** ovat toimitusprojektin prosessi, toimitusprojektiin liittyvä tuoteturvallisuusprosessi (*SRS*), tuotehallinta- ja tuotekehitysprosessi (*NPD*) sekä ohjelmistokehitysprosessi (*EPIC*). Toimitusprojektin kontekstissa suoritetaan ratkaisun käyttöönottestaukset kuten tehdashyväksyntätestit (*FAT*) sekä systeemin turvallisuustestit (*SRS*) ja systeemin asiakkaalla tehtävät (*FAS*) hyväksyntätestit (*SAT*). Tuotekehitysprosessissa on omat vaiheensa sekä konseptien testaamiselle, että varsinaisen tuotteen testaamiselle. Ohjelmistokehityksessä testaus koostuu yksikkö-, systeemi-, integraatio- ja simulaatiotesteistä, joita sovelletaan jokaiseen tilanteeseen kehitysyksikön vaatimalla tavalla.

Testaamisen **tarkoitus** nähtiin haastatteluissa välineenä tehdä laadunvarmistusta eli mahdollisuutena validoida tuotekehityksessä tuotetut ratkaisut, jotta ne vastaavat standardeja ja ovat valmistettavissa sekä toiminnallisia. Haastatteluiden perusteella testaamisen **omistajana** toimivat liiketoimintalinjat, jotka omistavat myös tuoteratkaisut. **Ympäristöllisinä rajoitteina** haastatteluissa esille nousi erityisesti sekä henkilö- että laiteresurssit.

#### 4.4 Tunnistetut haasteet testausprosessissa

Empiirisen aineiston perusteella pystyttiin tunnistamaan useita testaustoimintaa liittyviä haasteita. Haastatteluissa ja havainnointipäiväkirjassa tunnistettuja toistuvia teemoja ovat taulukon 11 mukaisesti ratkaisun kompleksisuuden aliarviointi, resursseista aiheutuvat rajoitteet, epäselvät omistajuuden ja vastuun luovutukset prosessissa sekä informaatio ja kommunikaatiokatkokset. Taulukossa on tarkasteltu lisäksi haasteiden esiintymistiheyttä sekä haastatteluissa, että havaintopäiväkirjassa.

Taulukko 11. *Toistuvat haasteet empiirisessä aineistossa*

Haaste	Esiintyminen haastatteluissa	Esiintyminen havaintopäiväkirjassa	Esiintymisen yhteensä
Resurssointi ja resurssien rajoitteet	6	8	14
Epäselvät roolit ja vastuun luovutukset prosesseissa	6	6	12
Informaatiokatkokset	7	2	9
Siiloutuminen	5	1	6
Kompleksisuuden aliarviointi	4	1	5

Taulukosta 11 nähdään, että voimakkaimpana haasteena testauksen osalta nousi esiin resurssointi ja niiden aiheuttamat rajoitteet. Haasteena resurssoinnilla ja resurssien rajoitteilla tarkoitetaan tuotekehitykseen ja testaukseen liittyviä sekä henkilöstö- että laiteresursseja. Taulukossa 12 on tarkasteltu resurssoinnin haasteita laajemmassa mittakaavassa rikkaan kuvauksen pohjalta. Taulukon vaihe viittaa kuvassa 14 esitettyihin vaiheisiin. Jokaista haastetta kuvaamaan on taulukkoon nostettu lainaus haastatteluista, jolla on pyritty tuomaan esille haasteen ilmentyminen.

Taulukko 12. *Resurssoinnin haasteet prosessissa*

Vaihe	Selitys	Lainaus
4.2	Resurssirajoitteet	<i>"Näissä testicasejen määrittelyissä ollaan todella paljon perässä ja nyt on palkattu viime tingassa tai vähän myöhässä lisää porukkaa kun on huomattu tämä."</i>
6.7	Kilpailu testausresursseista	<i>"Ongelmana, että kaikissa näissä vaiheissa niin tuotekehitys kuin toimitusprojekteissakin taistellaan näistä samoista resursseista ja siinä vaiheessa johdon puolelta tulee prioriteettimääritys ja toiset jää jalkoihin, ihan luonnollista, että tehdään tärkeitä asioita ensin. Esimerkkiprojektissakin kävi niin, että HW oli noin puolivuotta ennen valmiina kuin softa kerittiin tekemään ja nyt sitten on ongelmaksi tullut se, että toiminnallisuutta ei päästä kunnolla testaamaan koska testausresurssit ovat rajalliset ja siinävaiheessa kun testaukseen rupesi löytymään resursseja niin softakaverit oli vapautettu muihin tehtäviin ja tällöin prosessin eteneminen ontuu."</i>
7.3	Resurssien vähyys, heikko valmistautuminen	<i>"... joskus vielä parivuotta nähtiin asia myös niinkin kun mennään enemmän sieltä softakehittäjän tietokoneelta sinne oikean koneen elämään niin siellä tulee sen oikean elämän mukanaakin niitä oikean elämän haasteita, jonka takia ei ole aina haluttu aikatauluttaa sitä oikean koneen testaustakaan siihen softatyön tekemiseen"</i>  <i>"Oikealla koneella testaamista olen pyrkinyt välttämään tai kieltämään ottamasta mukaan EPICiin, koska se luo siihen vaan pullonkaulan. Meillähän on vain yksi kone, tyypillisesti varattu johonkin muuhun ja sen käyttäminen on yleensä kankeeta ja vaikeeta. Säämeet sinne niin yleensä ensimmäinen päivä menee vaan ihmetteilyyn."</i>

Resurssoinnin haasteet esiintyivät erityisesti henkilöstöresurssien osalta tuotekehityksessä, kun kehitykseen vaaditaan samanaikaista panosta useilta eri kehitystoiminnoilta. Myös testauslaitteiston osalta rajoitteet nousivat esille kuten eräs haastateltava koki, että testilaitteelta ei ollut saatavilla tarvittavaa kapasiteettia riittävän testauksen suorittamiseksi, jolloin pyrittiin välttämään tarvetta testaukseen.

Taulukon 11 mukaisesti yli 10 havaintoa keräsi myös epäselvät roolit ja vastuiden luovutukset liiketoimintaprosesseissa. Taulukossa 13 on tarkasteltu testausprosessin haasteita roolien näkökulmasta ja kuvattu haasteita lainauksilla teemahaastatteluista. Taulukon vaihe viittaa kuvan 14 rikkaaseen kuvaukseen.

Taulukko 13. *Epäselvistä vastuista aiheutuvat haasteet prosessissa*

Vaihe	Selitys	Lainaus
4.5	Epäselvyys tarvittavista testeistä	"..., projektipäällikkö saa hirveän kasan testicaseja ja muita ja rupee mieltiin, että kuikahan tää paketti pitäisi saada kasaan tälle projektille."
6	Prosessin toteuttaminen riippuvainen yksilöstä / tukee enemmän perinteistä laitekemistä	"Tällä hetkellä on tuotekehitysprojekteja, jotka ovat vähän sen näköisiä mitä on tuotekehitysprojektien vetäjiäkin."  "Meillä prosessi mahdollistaa monella tavalla toimimisen, mutta sitten se on siitä tavasta kiinni, että kuinka sitä toteutetaan ja miten meillä on se aktiivinen ohjausryhmä sille työlle."  "Se on pikkasen meillä se haaste että vaikka meillä on ihan hyvä se NPD-prosessille sapluuna, mutta se on vähän tehty sillä kannalla joka tukee ihan sitä perus koneen kehitystä..."  "Mielenkiintoinen peluri mikä on välissä on NPD projektit, nimenomaan tyypillisesti vahvasti projekteja jotka on aikasemmin budjetointitavoista johtuen tyypillisesti yhden kalenterivuoden kestäviä ja projektin aikataulus ei ole mennyt aikataulutarpeen mukaan vaan budjetointisyklin mukaan. Lähtökohtaisesti ei reflektoi asiakastarpeeseen vaan budjetointitarpeeseen. Projekteja jotka alkaa ja loppuu, puuttuu jatkuvuus."
6.3	Ei formaalia testausproseduuria laitekehityksessä	"Laitepuolen testaus enemmänkin villilänsi. ... tuntuma, että se on aika suunnittelija kohtaista, pyörii pajalla ja testikentällä ihmettelemässä asioita."
6.6	Epäselvä ohjeistus, että mitä pannaan täytäntöön	"... tuotekehitykseen liittyvät laitemuutokset pitäisi suunnitellusti tehdä, tällä hetkellä suunnittelu vain vapauttaa EO:n ja jäävät vain odottamaan, että joku tekee jotakin"

Useassa haastattelussa haastateltavan toimesta nousi esille, että heikosti määritellyt tai vanhentuneet prosessit aiheuttivat haasteita työntekijöiden keskuudessa vastuunjaossa. Tällöin koettiin, että vastuu jostakin tietyistä tehtävistä "putosi" aina eri roolien väliin ja tehtävälle ei löytynyt vastuuhenkilöä. Roolitukset ja vastuut luovutuksessa nousivat esille voimakkaasti myös havainnointipäiväkirjassa, jossa ohjelmistokehitystä auditoinut konsulttiyritys teki saman havainnon. Konsulttiyrityksen haastattelujen perusteella haasteita on erityisesti ohjelmistokehityksen ja projektitoimituksen välisissä luovutuksissa. Roolitus ja vastuiden epäselvyys nousi esille myös testausympäristöjen ylläpitoon ja muutoksiin liittyen. Muutokset testausympäristössä liittyvät voimakkaasti myös taulukossa 14 esiteltyihin informaatiokatkoksista aiheutuviin haasteisiin.



Taulukko 14. Informaatiokatkoksista aiheutuvat haasteet prosessissa

Vaihe	Selitys	Lainaus
4.6	Päällekkäisiä testejä, informaatio katkokset	"Tämän hetkisen prosessin mukaan tehdään ensin ne turvatestit ja sitten ne operatiiviset testit erikseen. ... Niin se, että meillä on iso saitti ja meillä on esimerkiksi portteja vaikka 50 ja se että mennään ensin jokaiselle portille testaan joku anturin toiminta erikseen että toimiiko tämä anturi nyt ja yritetään antaa sille jotain häiriötä. Käydään kaikki 50 porttia läpi. Sitten otetaan toiminnalliset testit jolloin henkilö takaisin sille ensimmäiselle portille mistä aloitti ja ajaa toiminnallisen sekvenssin jolla se portti ajetaan auki ja kiinni kun samalla testillä voitaisiin tehdä se turvapuolen testi."
6.2	Osastojen välinen kommunikointi	"... tuotekehityksen alkuvaiheessa on sellaista pientä muna-kana ongelmaa, että softakehitys ei monesti halua käynnistyä ennenkuin HW on tehty varsin valmiiksi ja päätetty minkälaista rautaa käytetään. HW haluttaisiin monesti palautetta ohjelmistopuolelta että miten se toiminnallisuus halutaan toteuttaa, että millaista laitetta tarvitaan softan kannalta."
6.4	Heikko muutostiedotteiden laatu	"EO:iden laatu heikko, parantamalla voitaisiin kehittää hankintaa, asennusta, projektijohtoa, selkeyttää toimintaa ja saada testikoneet kuntoon aikataulussa."
7.5	Informaatiokatkokset	"Tällä hetkellä projektien testaus ja vaiheet näkymättömissä, se on se huonopuoli vaikka mäkin teen paljon testejä ... ja samat testit menee saitille, ei mitään näkyvyyttä siitä, että mitä ongelmia heille (saitille) on tullu ja saattaa painia kauan jonkun asian kanssa ja sitten vasta kysyy. Pitäisi olla matala kynnyksellä että projekti tulee testajilta ja kehittäjiltä kysyy nopeemmin ja täten pystyttäisiin tukeen paremmin."

Taulukon 14 mukaisesti informaatiokatkoksista aiheutuvat haasteet johtuvat pääosin sekä puutteellisesta kommunikoinnista toimintojen välillä että heikoista informaatiojärjestelmistä. Heikko kommunikointi toimintojen välillä nähtiin johtuvan siiloutumisesta ja tällöin tehdään osittain päällekkäistä ja turhaa työtä kuten vaiheessa 4.6. kuvattu tai tekeminen ei ala kun kommunikaatiota ei esiinny, kuten vaiheessa 6.2. Siiloutumisesta aiheutuneita haasteita on kuvattu tarkemmin taulukossa 15.

Taulukko 15. Siiloutumisesta aiheutuvat haasteet prosessissa

Vaihe	Selitys	Lainaus
6.5	Hankintojen seuraaminen, oletukset	"... tuotekehityksessä EO:t voivat olla varsin monimutkaisia ja laajojakin kokonaisuuksia ja niistä on vaikeakin välillä tunnistaa mitä materiaalihankintojakin pitäisi käynnistää. Keskeistä olisi suunnittelun ja materiaalihallinnan kommunikaatio. En sanoisi että puuttuu, mutta ei parhaalla mahdollisella tolalla."
7.4	Työn epäjatkuvuus	"Esimerkkiprojektissa yhdellä EPICillä saatiin ajaa sitä toiminnallisuutta ihan vapaasti, mutta sitten se vaati varmaan kymmenen EPICiä että saatiin se integroitua osaksi meidän automaatiotuotetta ja tavallaan tekeen sitä poikkeushallintaa. Se ei ole vapaastiohjautuva kone vaan osa sitä muuta operaatiota."  "Testauksen suurin kompastuskivi on, että meillä on kolme erillistä ryhmää, jotka eivät toimi keskenään: projektit, tuotehallinta & Sw&automaatio. Tämä on näkyvä ongelma, suunnitelmaa testaukseen ei ole tehty yhdessä, päällekkäistä työtä ja kaikki tekee omaansa eikä suunnitellusti."

Siiloutuminen eri toimintojen välillä on tunnistettu kohdeorganisaatiossa yleiseksi ongelmaksi. Kuten aiemmin todettua siiloutuminen liittyy vahvasti kommunikaation puutteeseen, mutta siitä aiheutuu myös muita haasteita, kuten oletuksia, työn epäjatkuvuutta ja hajautuneita toimintamalleja. Taulukossa 16 on kompleksisuuden aliarvioinnista aiheutuvia haasteita. Kompleksisuuden aliarviointia esiintyy erityisesti

testaustoiminnan alkuvaiheissa, jolloin aliarvioinnista kumpuavat haasteet kumuloituvat prosessin loppuvaiheille.

Taulukko 16. Kompleksisuuden aliarviointi

Vaihe	Selitys	Lainaus
1	Asiakastarvetta ei ennakoida riittävästi	"Haaste ollut oikeastaan kokoajan, että tuotetta kehitetään juuri asiakasprojektiin ja se on perussy tähän reaktiiviseen malliin. Eli me myydään projekteja ja käytännössä ei hirveesti ennakoida sitä tarvetta."  "...ollaan 4-5 vuotta lobattu asiakkaalle, että näin hienoja toiminnallisuuksia voitaisiin tehdä ja sitten kun se tuli speksinä ulos ja nyt se useamman vuoden lobbaustyö on tehtävä (kehitettävä) periaatteessa 2-3 vuodessa."
3	Liian tekninen asiakasspekifikaatio	"Osittain ollaan varmaan syyllysty siihen, että kun meillä ei ole ollut sitä valmista tuotetta tarjota, niin asiakas on sitten speksannut oman tuotteen ja tavallaan me ollaan sen speksin kanssa naimisissa ja sitten neuvotellaan niistä pilkuista ja pisteistä, voisiko tämä olla näin tai näin."
5	Aliarvioidaan ratkaisun kompleksisuus	"Monesti on sekin, että kun uutta lähdetään tekemään niin tyypillisesti aliarvioidaan ne asiat ja konkretisoituu sitten se, että tarvitaan sitä testiaikaa enemmän tai tuote itsessään on paljon monimutkaisempi ja sille olisi pitänyt luoda paljon syvällisemmät testisuunnitelmat."  "... jatkuvasti jäädään toimitusprojekteissa jälkeen, kun ei olla myyntivaiheessa osattu tunnistaa kaikkea sitä aikaa mikä kehitykseen tarvitaan."  "... aloitetaan turvallisuusvaatimuksien lävitse käyminen PLC-insinöörin kanssa, joka sanoi että ei tarvitse tehdä kun muutamat testit. PLC-insinööri lähti talosta, jatketaan vaatimusten tulkitsemista ja huomataan, että ihan hirveesti testattavaa ja tarvitaan paljon enemmän testicaseja."
6.1	Puutteellinen konseptointi	"Aikataulupainesyistä me ollaan jo aika monta kertaa oltu siinä tilanteessa, että ratkaisu on jo myyty ja siellä alkaa se toimitusprojektiikin painamaan päälle. Tavallaan me ei tehdä sitä tuotekehitystä isommissakaan stepeissä sillä tavalla, että ensin tehtäisiin eräänlainen nopea konsepti ja koeponnistettaisiin, että onko tässä mitään järkeä ja otettaisiin oppia sekä muokattaisiin sitä mitä lähdetään kehittämään. Se on käytännön asioista johtuen NPDprosessikin ohjautunut siihen suuntaan, että samantien ollaan tekemässä sitä tuotetta vaikka se prosessi konseptointia tukeekin."  "Pieniä asiat mihin pääsee tuotekehityksessä vaikuttamaan, jotka liittyvät asiakasprojekteihin, usein speksi, aikataulu ja kustannuksetkin jo määritetty valmiiksi. Ei jää paljoa aikaa erilaisten ratkaisujen miettimiseen, lähtötilanteessa päätetään joku ratkaisu ja menään sitten pitkälti yhden kortin varassa."
7	Epäonnistuminen ominaisuuksien jakamisessa ohjelmistokomponenteiksi	"Aikaisemmin ja saattaa joku vieläkin syyllysty siihen, että yhteensaattava työ on pilkottu useampaan eri EPICiin, jolloin on se riski että silloin ei tule edes sitä softatuotosta testattua yhdessä. Käy niin, että tuli neljältä eri tiimiltä tämä tuotos, että me tarvitaan jatkotestaus että se tulee testattua."
7.2	Testaustarpeiden tunnistaminen	"Siinä on parannettavaa selkeästi jos ajatellaan EPIC, että mitä testataan missäkin ja mikä on riittävästi testattu."  "Aiemmin se on ollut vähän, että ehkä tarvii (testausta) ja sitten se menee, jos ajatellaan ihan työohjauksen kannalta niin on EPICin aikana mennyt niin, että oho huomataan, että pitää mennä takapihalla testaamaan ja sitten ollaan huomattu että ei olla varattu sieltä ihmisiä tai oikeata konetta. Silloin kaikki viivästyy."

Esiteltyjen haasteiden perusteella voidaan todeta, että laiminlyönnit tai aliarvioinnit prosessin alkuvaiheessa tuottavat haasteita erityisesti prosessin suoritusvaiheissa eli testauksen täytöntöönpanossa, koska rajatuilla resursseilla pitäisi toteuttaa asioita, joita ei ole kunnolla valmisteltu.

## 4.5 Testaamisen kehityskohteet

Nykytilan selvittämisen lisäksi teemahaastatteluissa käsiteltiin käytännön kehitysmahdollisuuksia testaustoimintaan. Haastattelujen pohjalta voimakkaimmin kehitysehdotuksista nousi esille testiympäristön laitehallinnan parantaminen, riskienhallinnan hyödyntäminen testaamisessa sekä keskitetty testaushallinta ”*testimanagement*”. Havainnointipäiväkirjassa kehityskohteina huomiota saivat voimakkaimmin testiympäristön laitehallinta ja keskitetty testaushallinta. Taulukossa esitettynä 17 kehityskohteiden ilmentyminen sekä haastatteluissa että havainnointipäiväkirjassa.

Taulukko 17. Testaustoiminnan kehityskohteet empiirisestä materiaalista

Kehityskohde		Esiintyminen haastatteluissa	Esiintyminen havainnointipäiväkirjassa	Esiintymisen yhteensä
Testiympäristön laitehallinta		4	6	10
Keskitetty testaushallinta		3	3	6
Riskienhallinta testauksessa		4	-	4
Testauksen läpinäkyvyys, ” <i>pipeline</i> ”		2	2	4
Tuotteen tai yksikön hyväksyntätestausvaihe		2	2	4

Testiympäristön laitehallinnassa voimakkaasti nousi esille, että laitteilla pitäisi olla tietty projektipäällikkö, joka vastaa laitteiden ylläpidosta ja niihin tehtävistä muutoksista. Laitteilla on useita eri käyttäjiä ja useat eri projektit tarvitsevat eri tyyppisiä muutoksia laitteisiin samanaikaisesti, jolloin laitteiden hallinta menetetään ja saatetaan päätyä tekemään muutoksia, joka rikkoo laitteen tai estää laitteen käytön tietyissä testeissä.

Toinen vahvasti esille noussut kehityskohde oli keskitetty testaushallinta, jossa vastuu testauksen suunnittelusta, ohjaamisesta ja seuraamisesta keskitettäisiin jollekin tietylle organisaation taholle, kuten eräs haastateltavista asiaa kuvailee lainauksessa:

*”Testausta suunniteltaisi niin, että se olisi tehokasta ja järkevää ja sitä skouppausta että millä tasolla kannattaa testata. Eikä niin, että se jäisi puhtaasti projektipäällikön ja osalueiden omistajien ongelmaksi, vaan sillä olisi jokaiselle tuotekehitysprojektille eräänlainen testipläni muodostettu omistajan toimesta jolla on tavallaan ymmärrys myös muodostaa ja sitä kautta se laatuakin saataisiin siihen nostettua vahvemmin esille. ... Meillä pitäisi olla järjestelmällinen eräänlainen itegrointi tai testauspläni ja sille yksi selkeä omistaja.”*

Keskitetyn testaushallinnan lisäksi neljän haastateltavan mukaan testaamisen ohjaamiseen ja priorisointiin voitaisiin käyttää enemmän riskienhallintaa. Riskienhallinnan avulla testaamisessa pystyttäisiin keskustelemaan siitä, minkälaisia riskejä ollaan valmiita ottamaan ja mitkä riskeistä tulisi pienentää testaamisen avulla. Keskitetty testaushallinta ja toisaalta myös riskienhallinta nähtiin osassa haastatteluista mahdollisuutena tuoda toimintaan myös läpinäkyvyyttä, jolloin pystyttäisiin korostamaan sen merkitystä toimitusprojektien laadukkuudelle.

## 5. POHDINTA

### 5.1 Tulosten tarkastelu

Haastatteluiden ja havainnointipäiväkirjan perusteella suurimpia haasteita kohdeorganisaation testaustoiminnassa ovat resurssointi ja resurssien rajoitteet, epäselvät roolit ja vastuun luovutukset prosesseissa, informaatiokatkokset, siiloutuminen sekä kompleksisuuden aliarviointi. Näistä haasteista aiemmin projektiliiketoiminnan tutkimuksessa on tunnistettu lähes kaikki.

Little *et al.* (2000) tutkimuksen mukaan kriittisten testausresurssien suunnittelu ja käyttö on tunnistettu projektitoiminnan ongelmalliseksi, koska tutkimuksen mukaan useat eri vaiheissa olevat projektit kilpailevat näistä samoista resursseista. Empiirisen materiaalin perusteella haaste vastaa tutkimuksen kohdeorganisaatiossa esiintyvää haastetta. Informaatiokatkokset nousevat esille Toche *et al.* (2017) tutkimuksessa, jonka mukaan testauksessa saavutettu informaatiota ei pystytä riittävällä tasolla hyödyntämään tuotteen kehityksessä johtuen soveltumattomista informaatiojärjestelmistä. Soveltumattomat informaatiojärjestelmät testauksen kontekstissa eivät nousseet voimakkaasti esille tässä tutkimuksessa, mutta se saattaa olla osa syytä informaatiokatkoksiin. Eräs haastateltava totesi, että organisaatiossa on käytössä tarvittavat informaatiojärjestelmät, mutta niitä ei käytetä oikein tai riittävällä tasolla.

Siiloutuminen on tunnistettu haasteeksi sekä Thomken (2008) että Mello *et al.* (2014) tutkimuksissa testauksen rajapinnoilla sekä suunnitteluun että tuotantoon. Mello *et al.* (2017) tutkimuksen mukaan siiloutuminen projektiliiketoiminnassa johtuu rajapintojen kontrolloinnin puutteesta, jolloin eri toimintojen yhteistyö heikentyy, koska toimintatavat eroavat toisistaan ja tavoitellaan osaoptimointia kokonaisuuden kustannuksella. Siiloutuminen voidaan nähdä myös tässä tutkimuksessa johtuvan eri toimintojen välisistä toimintatapaeroavaisuuksista, koska kolmen haastateltavan näkemyksen mukaan toimintamallit eroavat toisistaan ja aiheuttavat useita haasteita. Konkreettisimpana esimerkkinä testaukseen liittyen tästä on erään haastateltavan mukaan se, että toimitusprojektit ja toisaalta kehitettävät tuotteet kilpailevat samasta testauskapasiteetista vaikka molemmat yksiköt kehittäisivät samaan aikaan samaa ratkaisua, toinen projektille ja toinen tuotteelle.

Ratkaisujen monimutkaistuessa kohdeorganisaatiossa on huomattu, että toteutukseen vaadittavan ajan ja resurssien tarvetta aliarvioidaan. Bosch-Rekveltdt *et al.* (2011) mukaan kompleksisuuden aliarviointi ja toisaalta kompleksisuuden lisääntyminen ovat

yleisimpiä syitä projektien myöhästymiseen. Kompleksisuuden lisääntyminen projektiliiketoiminnassa johtuu Bosch-Rekvelde *et al.* (2011) mukaan projektien koon suurentumisesta, teknisestä monimutkaistumisesta, globalisaatiosta ja tiukemmasta aikataulutuksesta. Kompleksisuuden aliarviointi taas on Bosch-Rekvelde *et al.* (2011) mukaan seurausta yritysten heikoista kyvystä käsitellä kompleksisuutta. Heikko kyky johtuu osaamisen ja prosessien puutteesta.

Empiirisen tutkimusmateriaalin perusteella kohdeorganisaatioissa on käytössä eräänlainen hybridimalli uuden tuotteen kehitykseen, jossa ohjelmistokehitys tapahtuu ketterin menetelmin, kun taas laitteistokehityksessä suositaan perinteisiä ”stage-gate” menetelmiä. Organisaatioissa ei olla kuitenkaan tarkemmin tutkittu näiden prosessien yhteensopivuutta ja käytännön soveltamista projektiliiketoimintakontekstiin, jolloin toimintamallit aiheuttavat epätietoisuutta. Cooperin (2016) mukaan hybridimallin käyttö saattaisi olla hyödyllistä erityisesti tilanteissa, joissa on sekä laitteisto- että ohjelmistokehitystä, koska se tukee kokonaistuotteen eri osa-alueiden integrointia. Tämän perusteella, kohdeorganisaation toimintamallissa on potentiaalia, mutta sen soveltamista käytäntöön pitäisi tutkia konkreettisemmin. Cooperin ja Sommerin (2016) mukaan hybridimallin toimivuutta fyysisten tuotteiden kehitykseen ei ole kuitenkaan vielä paljon tutkittu, joten valmiita käytännön sovelluksia ei ole vielä saatavilla. Taulukossa 18 on vertailtu teoreettisessa viitekehityksessä tunnistettua testausprosessia kohdeorganisaation nykyiseen prosessiin SSM-menetelmän mukaisesti.

Taulukko 18. Kirjallisuudesta tunnistetun testausprosessin vertailu nykyiseen toimintamalliin

Testausprosessimalli kirjallisuudesta (kuva 12, Black 2004; Engel 2010; Ulrich & Eppinger 2012)	Esiintyykö organisaation nykyisessä toimintamallissa?	Selitys
1. Testauksen kontentin tunnistus	Esiintyy	
2. Laaturiskien tunnistus	Ei tai osittain	Tuotekehityksessä riskienhallinta riippuvainen projektista ja sen vetäjästä. Osittain myös ”silmän lumetta”. Toimitusprojektien osalta riskienhallintaa tehdään, joissa mukana myös asiakas (OHA), mutta kehittämisen varaa.
3. Resurssien arviointi	Esiintyy, haasteita	Testaamiseen tarvittavia resursseja pyritään hyvin tarkastikin arvioimaan suunnitteluvaiheessa, mutta suunnitelmien ylläpidossa haasteita muuttuvien tilanteiden vuoksi
4. Testaussuunnitelma	Esiintyy, haasteita	Testaussuunnitelman teko liikaa projektipäällikön tai tuoteomistajan vastuulla, jolla ei välttämättä kokemusta testaamisesta. Ohjelmistokehityksessä soveltuvat suunnitelmat

<b>Testausprosessimalli kirjallisuudesta</b> (kuva 12, Black 2004; Engel 2010; Ulrich & Eppinger 2012)	<b>Esiintyykö organisaation nykyisessä toimintamallissa?</b>	<b>Selitys</b>
5. Resurssien varaus ja aikataulutus	Esiintyy, haasteita	Aiemmin ei formaalia tapaa hallita resursseja, kehittynyt ja tullut näkyväksi tutkimuksen aikana. Varauksissa sitoutuminen aikatauluihin ja toisaalta rajalliset resurssit tuottavat haasteita.
6. Riskien valinta joita testataan	Ei tai osittain	Tuoteturvallisuuden osalta toteutuu (SRS), tuotekehityksen osalta ei juurikaan.
7. Testausympäristön valinta ja menetelmät	Esiintyy, mutta haasteita	Ohjelmistokehityksen osalta selkeätä, SRS-prosessin osalta kehitetään jatkuvasti, tuotekehityksen ja toimituksien välillä haasteita.
8. Testitapahtumien luonti	Esiintyy	Ohjelmistokehityksessä ja tuoteturvallisuudessa selkeätä, mutta resurssien vajeusta. Laitteista puolella ei formaaleja mentelmiä.
9. Hankinnan toteutus	Esiintyy, mutta haasteita	Puutetta kommunikaatiossa ja informaation kullussa suunnittelun ja hankinnan välissä. Perustuu oletuksiin pientavaran osalta.
10. Testauskohteen vapautus	Ei hallinnassa	Testauskohteen vapautus tapahtuu useassa osassa, kokonaisuus ei hallinnassa
11. Testausympäristön rakennus	Esiintyy, mutta ei hallinnassa	Testausympäristön rakennuksen hallinta ei ole kenenkään hallinnassa
12. Testauksen suoritus	Esiintyy	Vikatilanteissa korjaustuki saattaa viivästyä, puute osaamisessa
13. Testatulosten tallennus	Esiintyy osittain	Ohjelmisto ja tuoteturvassa formaalein menetelmin, laitteistokehityksessä toiminta informaaliimpaa
14. Virheiden raportointi	Esiintyy	Ohjelmisto ja tuoteturvassa formaalit menetelmät.
15. Kokonaisuuden arviointi	Esiintyy osittain	Tuottaa usein haasteita
16. Oppiminen	Esiintyy, kehitettävää	Ei menetelmää hyödyntää informaatiota, joka tunnustetaan kehitettävän kokonaisuuden ulkopuoliseksi ongelmaksi.
17. Korjaavat toimenpiteet	Esiintyy tuotteen osalta, ei prosessien osalta	Prosessien haasteet usein tunnustetaan, mutta niiden korjaamiseen ei välttämättä löydy halua tai resursseja

Taulukon vertailun perusteella nousee esille, että tutkimuksen kohdeorganisaatiolla on kehitettävää testaustoiminnassa kolmessa laajemmassa kokonaisuudessa, jotta testausprosessi tukisi paremmin prosessin ja tuotteen laadukkuutta. Suurimpana puutteellisena kokonaisuutena esiintyy riskienhallinta. Riskienhallinta ja siinä esiintyvät prioriteetit tulisi olla lähtökohta testaustoiminnan ohjaamiselle. Kokonaisvaltainen riskienhallinta nähtiin myös teemahaastattelujen perusteella testausta kehittävänä.

Toisena kehitettävänä kokonaisuutena on kokonais kuvan ja informaation parantaminen testaamisessa, jolla pystyttäisiin siirtämään testauksella hankittua informaatiota

paremmin päätöksenteon tueksi. Tähän ratkaisuna voisi olla myös haastatteluissa esille tullut keskitetty testaushallinta, jolla on kyky hahmottaa testauksen kokonaiskuva ja luoda ympärille tarvittavat informaatiojärjestelmät. Erään haastateltavan mukaan mahdollisuus informaation siirtoon kompleksisessa ympäristössä olisi myös resurssien joustava käyttö koko tuotteen kehityskaarella, jolloin myös testauksessa esiintyviä resurssirajoitteita pystyttäisiin purkamaan.

Kolmantena merkittävänä kehityskohtena on testausympäristön ja testausvälineiden muutostenhallinta. Ilman riittävää muutostenhallintaa, ei pystytä käytössä olevia testausresursseja hyödyntämään luotettavasti ja riittävällä tasolla. Kehityskohteen merkitys nousee enemmän empiirisen materiaalin kuin teoreettisen viitekehyksen pohjalta. Ulrich ja Eppingerin (2012) kirjassa on maininta testausympäristön rakentamisesta, mutta tutkimuksesta ei yleisesti löydy tietoa testausympäristön hallinnasta projektitoimintaympäristössä.

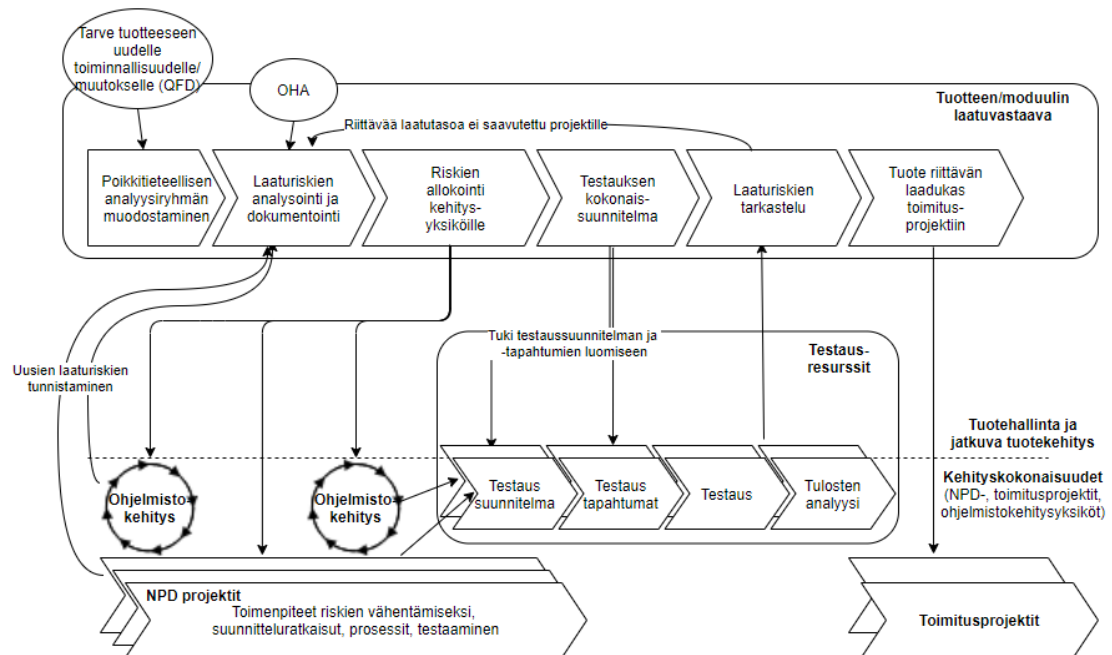
## 5.2 Testaustarpeiden tunnistus riskienhallinnalla

Haastattelujen ja havainnointipäiväkirjan perusteella tutkimuksessa tunnistettiin, että organisaatiolla on haasteita tunnistaa testaustarpeita riittävän ajoissa ja toisaalta suunnitelmissa on taipumusta aliarvioida testaukseen tarvittavaa aikaa ja resursseja. Lisäksi haastatteluista nousi esille, että organisaatiossa tehdään paljon päällekkäistä työtä testauksen osalta, eikä yhtenäistä suunnitelmaa testaukseen löydy. Yhtenä haasteena on myös ollut tuotteiden keskeneräisyys. Ratkaisuna esitettiin haasteisiin on analyyttinen laaturiskeihin perustuva testaustarpeiden tunnistus ja priorisointi (Black 2011). Kirjallisuuden lisäksi riskienhallinta nousi voimakkaasti esille myös teemahaastatteluissa.

Tällä hetkellä testausta ohjaa osittain organisaatiossa tuoteturvallisuusprosessi (SRS), jossa hyödynnetään riskienhallintaa ohjaamaan tuoteturvallisuutta ja testaus on tässä prosessissa väline pienentää ja todentaa riskien vaikutus. Kuitenkin tuoteturvallisuusprosessi on ainoastaan yksi osa tuotteiden kehitystä, jolloin riskienhallintaa tulisi hyödyntää kokonaisvaltaisemmin organisaatiossa kaikkien testaustarpeiden ohjaamiseen. Foehr *et al.* (2015) tutkimuksessa on tunnistettu, että projektiympäristössä juuri toimintojen ja prosessien integrointi on olennaista. Vaikka tämän ratkaisuehdotuksen kontekstissa riskienhallinnalla pyritään ohjaamaan integroidusti testausta, sen avulla tuotekehityksessä on mahdollisuutta löytää uusia innovatiivisia ratkaisuja, jolloin välttämättä varsinaista testaustoimintaa jokaisen riskin pienentämiseen ei välttämättä edes tarvita (Lorenzi & Ferreira 2017).



FMEA riskienhallintamentelmän hyödynnettävyys on todennettu tämän tutkimuksen kontekstia vastaavassa projektitoiminnassa Lorenzin & Ferreiran (2017) empiirisessä tapaustutkimuksessa, jossa menetelmää sovellettiin teollisuuden automaattioratkaisuja toteuttavassa yrityksessä. Kohdeorganisaatiolla on pyrkimyksenä modularisaation avulla asiakkaalle valmiimpiin integroituihin tuoteratkaisuihin, joten FMEA-menetelmää tulisi hyödyntää jatkuvana tuotteiden riskienhallinnan toimintatapana, eikä ainoastaan projektikohtaisena työkaluna. Tuotemodulaariosta huolimatta ainutkertaisessa projektiliiketoiminnassa yrityksen pitää pystyä vastaamaan tehokkaammin kustomoituun asiakastarpeeseen (Ulonska & Welo 2014). Tällöin asiakasvaatimusten systematisointi ja uudelleen käyttäminen parantaa yrityksen kykyä vastata asiakastarpeeseen (Mello *et al.* 2017). Asiakasvaatimusten systematisointiin voidaan hyödyntää *QFD*-menetelmää, jonka tarpeellisuus on tunnistettu Mello *et al.* (2017) tutkimuksessa. Laatu työkalujen liittymistä tuotekehitys- ja testaustoimintaan on tarkasteltu kuvan 15 viitekehyksessä.



**Kuva 15.** Viitekehys laaturiskienhallinnalle projektiliiketoiminnassa

Kuvassa 15 on esitetty viitekehys kohdeorganisaatiolle laaturiskien ja testauksen hallintaan. Viitekehys lähtee liikkeelle tarpeen tunnistamisesta systemaattisella *QFD*-menetelmällä. Systemaattisen menetelmän avulla pystytään uudelleenkäyttämään jo aiemmin kehitettyjä ratkaisuja (Mello *et al.* 2017), joka kokonaiskuvassa vähentää yrityksen testaustarvetta. Viitekehyksessä on tuotteen tai tuotemoduulin laatu vastaava, joka vastaa laaturiskienhallintaprosessista ja ylläpidosta. FMEA-menetelmän mukaisesti vastaava muodostaa poikkitoiminnollisen analyysiryhmän, joka toimii tietyn tuotteen tai moduulin omistajina ja vastaa sen laadusta (Black 2011). Analyysiryhmä suorittaa

analyysin tuotteeseen kehitettävän muutoksen vaikutuksista ja arvioi riskienhallinnan mukaisesti riskin toteutumisen todennäköisyyden, toteutumisen vaikutuksen ja saa tällöin prioriteetin jokaiselle riskille (Sower 2011). Analyysin perusteella riskit allokoidaan tuotekehitysyksiköihin eli yksittäisiin ohjelmistokehitysyksiköihin sekä tuotekehitysprojekteihin. Allokoinnin myötä jokaiselle riskille nimetään omistaja, jolloin ei aiheudu epäselvyyttä siitä, että minkä toiminnon pitäisi vastata mistäkin riskistä. Projektityöympäristössä on tunnistettu, että riskien vastuiden ja omistajuuden nimeäminen on erittäin tärkeä osa prosessia (Farris *et al.* 2007).

Tuotekehityksessä luodaan keinot pienentää riskiä sallitulle tasolle esimerkiksi suunnitteluratkaisujen, prosessien tai testaamisen avulla (Sower 2011). Lisäksi kehityksen yhteydessä voidaan tunnistaa uusia laatu uhkaavia riskejä, jolloin ne dokumentoidaan ja analyysiryhmä arvioi niiden vaikutuksen sekä allokoi riskit. Mikäli kehitettävä yksikkö tarvitsee testausta simulaatio- tai fyysisessä ympäristössä, testaukselle luodaan testaus suunnitelmat ja testaus tapahtumat testaushenkilöstön toimesta. Tukena suunnitelmissa toimii sekä tuotteen laatuomistajat että tuotekehitysyksikön jäsenet. Priorisaatio testausresursseissa tapahtuu laaturiskien ja projektiriskien prioriteettien pohjalta, jossa tarkastellaan sekä laadun että aikataulun välistä vuorovaikutusta.

Testauksen kokonaissuunnitelmassa tuodaan esille kaikki tulevat testaus tarpeet, jolloin pystytään hahmottamaan tarvittava testaus kapasiteetti. Kokonaissuunnitelman avulla on mahdollista ennakoita testausresursseja sekä tarvittaessa lisätä niitä. Jokaisen tuotemoduulin kokonaissuunnitelma yhdistetään muiden moduulien suunnitelmiin, jolloin pystytään ymmärtämään mahdolliset riippuvuudet ja päällekkäisyydet testaamisessa. Testaus suunnitelmassa pidetään yllä myös mahdollisia tuotekehityksessä tulleiden pienen prioriteetin testaus tarpeita, jolloin näitä voidaan suorittaa, kun testauksessa on vapaata kapasiteettia.

Testauksen suorituksen jälkeen tehdään testaus tulosten analyysi, jonka perusteella tulkitaan tuotteen tai moduulin valmiutta asiakas projektille. Mikäli tuote ei vastaa asiakas projektille asetettuja laatu kriteereitä, voidaan prosessi palauttaa riskien analyysivaiheeseen, jotta pystytään parantamaan tuotteen laatua. Asiakas projektin riittävälle tuotteen laadulle ei ole yleisiä kriteereitä, vaan laatua tarkastellaan jokaisen asiakkaan kohdalla erikseen ja punnitaan laadun, kustannusten sekä aikataulun tasapainoa. Laaturiskientarkastelulla voidaan ymmärtää koko tuotemoduulin laadukkuus, jolloin ei synny riskiä eri alisysteemien yhteensopimattomuudesta tai eriaikaisuudesta. Eri alisysteemien ja informaation integraatio on tunnistettu tärkeäksi huomion aiheeksi tilauksesta suunnitteluun liiketoiminnassa Reid *et al.* (2019) ja Foehr

*et al.* (2015) tutkimuksissa. Liitteessä B on esitelty viitekehuksesta sovellettu kohdeorganisaation toimintamalliin soveltuva tarkempi prosessikuvaus.

Kuvan 15 viitekehys antaa mahdollisuuden sekä prosessin tuotosten että itse prosessin laadukkuuden mittaamiseen. Kun laadun riskit dokumentoidaan, voidaan prosessin eri vaiheissa mitata sitä, kuinka hyvin prosessilla pystytään vastaamaan riskeihin. Ohjelmistokehityksessä pystytään mittaamaan ohjelmistovirheiden lisäksi myös kehitystoimien vaikutusta tuotemoduulin koko laadukkuuteen ja toisaalta testaamisessa pystytään mittaamaan sen kykyä vaikuttaa laaturiskeihin (Black 2011). Mittaamalla eri toimintojen vaikutusta tuotteen laadukkuuteen, voidaan organisaatiossa viestiä laajemmin eri toimien vaikutusta kokonaisratkaisuihin ja tällöin välttämään toiminnassa esiintyvää osaoptimointia. Lisäksi laadun riskienhallintajärjestelmää ja organisaation kykyä tuottaa laatua pystytään mittaamaan toimitusprojektien näkökulmasta, jossa arvioidaan asiakkaalta saatua palautetta ratkaisun laadukkuudesta.

Kuvassa 15 esitetyssä viitekehyksessä yhdistetään sekä haastatteluista kerättyjä kehitystoimia että teoreettisessa viitekehyksessä tunnistettuja toimivia menetelmiä. Viitekehysten avulla organisaation on mahdollista järjestelmällisesti hallita tuotteisiin liittyviä laaturiskejä, joka selkeyttää myös testaustoimintaa. Testaustoiminnan hallinta keskittyy, jolloin saavutetaan läpinäkyvyys testauksen vaikutuksiin organisaation menestyksen kannalta. Eritelty malli selkeyttää myös haasteena olleita vastuita ja roolituksia, koska perinteisen riskienhallinnan mukaisesti jokaiselle riskille annetaan omistaja. Viitekehysten mukaisesti, uusi toimintamalli tuo laaturiskien tarkasteluportin, jossa arvioidaan kokonaisuuden valmiutta asiakasprojektille. Tämä vastaa empiirisestä materiaalista noususta ehdotusta hyväksyntätestauksesta ohjelmistokehityksessä.

Käytännön kannalta kuvassa esitetty malli lisää toiminnan alussa tuotekehityksen työmäärää, mutta johtaa lopulta laadukkaampiin ja valmiimpiin tuoteratkaisuihin asiakkaalle. Testaustoiminnan kannalta malli luo toimintaan selkeyttä ja ennakoitavuutta, joskin saattaa lisätä työmäärää myös testaamisessa. Testaaminen ja sen suunnittelu tapahtuu kuitenkin tuotteen elinkaarella aiemmin edelliseen verrattuna, jolloin päätöksenteon tueksi hankittavaa informaatiota pystytään hyödyntämään tehokkaammin ja näin ollen parantamaan toimitusprojektien kannattavuutta.

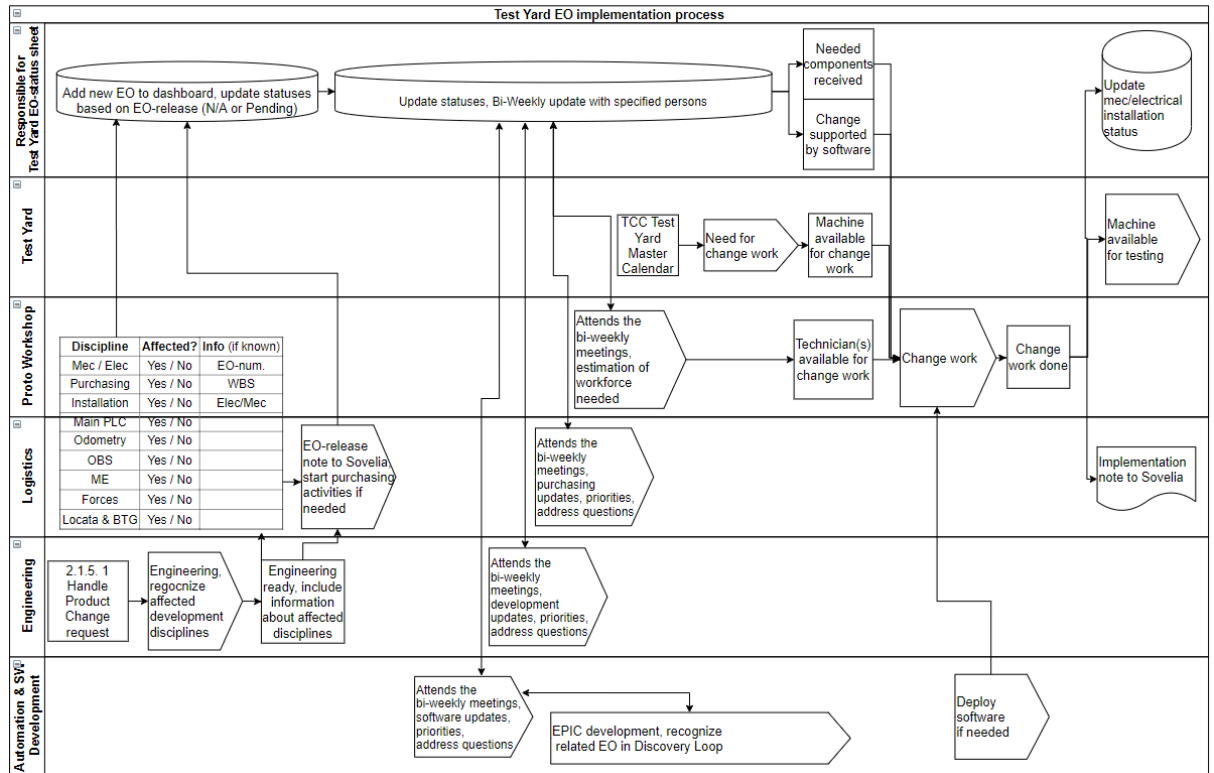
### **5.3 Muutostenhallinta testausympäristössä**

Aiemmassa projektiliiketoimintaympäristön tutkimuksessa on tunnistettu tämän tutkimuksen empiirisen osion kanssa yhteneväisiä haasteita suunnittelun ja tuotannon yhteistoiminnassa. Suunnittelun ja tuotannon välisen yhteiset haasteet johtuvat Mello

*et al.* (2014) mukaan laajasta tuoterakenteesta, huomattavista tuotemuutoksista, eri suunnittelutoiminnoista, riittämättömästä suunnitteluinformaatiosta sekä tuotannon ja suunnittelun välisen integraation puuttumisesta. Tämän tutkimuksen kontekstissa vastaavat suunnittelun ja tuotannon väliset haasteet esiintyvät vastaavina testausympäristön muutostenhallinnassa. Tarve testausympäristön samanaikaisille muutoksille syntyy useista eri tuotekehitysyksiköistä, jolloin muutostenhallinta on merkittävässä roolissa, jotta testausympäristö pystytään pitämään toimintakunnossa.

Mello *et al.* (2017) tutkimuksessa on löydetty, että suunnittelun ja tuotannon välisiä haasteita pystytään vähentämään lisäämällä koordinaatiota suunnittelun, hankinnan ja tuotannon yhteistoimintaan. Tutkimuksen mukaan tätä pystytään parantamaan integroimalla suunnittelun ja tuotannon toimintaa ja prosesseja sekä laajentamalla IT-järjestelmien käyttöä. Havainnointipäiväkirjan mukaan kohdeorganisaatiossa suunnittelu- ja tuotehallintatyökalut tukevat enemmän perinteistä tuotekehitystä, mutta ei integroi tähän muita osa-alueita kuten hankintaa ja tuontantoa. Muutostenhallintajärjestelmä toimii toimitusprojekteissa, koska tarve muutoksille syntyy yleensä yhden projektin sisällä. Yhteisessä testausympäristössä tarpeita muutoksille ajaa useat eri projektit ja pienemmät ohjelmistokehityskokonaisuudet, jolloin eri kehityskokonaisuuksien muutokset eivät ole tuettuja järjestelmässä.

Kuvassa 16 on tarkasteltu testausympäristön muutostenhallintaprosessia. Luotuun prosessiin on lisätty viite kohdeorganisaation aiemaan suunnittelun muutostenhallintaprosessi, jolla ohjataan laitteistopuolen tuotekehityksen muutoksia. Luotu prosessi on muodostettu tukemaan muutostenhallintaa erityisesti testausympäristössä, jossa muutostarpeita syntyy usealta eri näkökannalta. Olennaista prosessissa on tunnistaa mahdollisen tulevan muutoksen vaikutus muihin kohdeorganisaation toimintoihin.



**Kuva 16. Muutostenhallinta testausympäristössä (tarkempi kuva liitteessä C)**

Kuvan 16 prosessi lähtee liikkeelle suunnittelusta. Prosessin tärkein idea on tunnistaa testausympäristössä tietyn muutoksen aiheuttama vaikutus testattavan kohteen muihin sidosryhmiin jo ennen testaus- tai muutoskohteen vapautusta. Tällöin pystytään ennakoimaan mahdolliset tarpeet ja välttymään ”ad-hoc” ratkaisuilta. Blackin (2011) mukaan testauskohteen selkeä vapautus on yksi tärkeimmistä testauksen onnistumiseen liittyvistä tekijöistä. Kohdeorganisaatiossa varsinainen testauskohteen vapautus ja hallinta puuttuu lähes täysin, koska jokainen suunnitteluyksikkö vapauttaa muutoksen oma-aikaisesti kun työ saadaan valmiiksi. Tällöin, kun testauksessa yritetään testata jotakin kokonaisuutta, saatetaan huomata, että jokin alisysteemeistä ei vielä tuekkaan muutosta tai testaamista.

Kun muutos on hyväksytty ja vapautettu, se tallennetaan testausympäristön muutostenhallintatyökaluun, joka on esitetty kuvassa 17. Muutostenhallintatyökalussa tarkastelun yksikkönä on yksittäinen testikone tai prototyyppi, jota käytetään testaamiseen useassa eri projektissa. Työkalussa seurataan tarvittavia muutostoimenpiteitä muilta kohdeorganisaation toiminnoilta tietyn muutoksen täytäntöönpanemiseksi. Muutostyökalu on rakennettu yksinkertaisesti taulukkoon, joka on jaettu eri toimintojen edustajien kesken. Työkalu itsessään ei korjaa muutostenhallinnan haasteita, vaan prosessin mukaisesti muutoksia tarkastellaan tasaisin väliajoin eri osa-alueiden edustajien läsnäollessa. Tapaamisissa tarkastellaan

uudet muutostarpeet, niiden vaikutukset eri toimintoihin sekä vaihdetaan informaatiota hankinnan, resurssien, prioriteettien ja aikataulun osalta.

EO-Number	Info	Purchasing (including parts received to stock = completed)	Mechanical Installation	Electrical Installation	Main PLC		Odometry PLC		On Board Safety PLC		ME	
					Status	Supported version number	Status	Supported version number	Status	Supported version number	Status	Supported version number
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		Software Ready		N/A		N/A	
EO-1000000		Pending	Pending	Pending	N/A		N/A		Software Reac		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	N/A	N/A	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		Software Reac		Software Read	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Pending	Pending	Pending	N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		Software Ready		Software Reac		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		Software Pend	This is plan B, not	Software Penc	This is plan B, not	N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		Software Reac		N/A	
EO-1000000		Completed	Completed	Completed	N/A		Software Ready		N/A		N/A	

**Kuva 17. Työkalu muutostenhallintaan (tarkempi kuva liitteessä D)**

Kuvan 17 työkalu on yksinkertaistamisen ja saavutettavuuden vuoksi toteutettu kohdeorganisaation pilvipalvelussa olevaan taulukkotyökaluun. Ideaalissa tilanteessa testausympäristön muutostenhallintatyökalu olisi integraali osa organisaation muita suunnittelutyökaluja, mutta tällä hetkellä muutoksen toteuttaminen ei ollut mahdollista. Lisäksi yksinkertaisen taulukkotyökalun etuna on, että jokaisella kohdeorganisaatiossa on pääsy taulukon tietoihin, eikä ole tarvetta erillisille tunnuksille muihin järjestelmiin. Tulevaisuudessa organisaatiossa muutostenhallinta voidaan kehittää osaksi jotain jo käytössä olevaa työkalua.

Työkalun pienimpänä tarkastelun yksikkönä on julkaistu muutostiedoitteen tunnus, jossa on linkki muutostiedoitteeseen. Tämän jälkeen työkalussa on lyhyt kuvaus muutoksesta, julkaisupäivämäärä sekä seuranta sille, milloin muutos on toteutunut. Julkaisu- ja toteutumispäivämäärien avulla pystytään mittaamaan kuvassa 16 esitetyn prosessin nopeutta. Informaation jälkeen työkalussa seurataan hankinnan, asennuksen ja eri ohjelmistokokonaisuuksien tilaa tietyn muutostiedotteen kannalta. Näin saadaan käsitys siitä, mitkä muutoksista on toteutettavissa ja milloin sekä kaikille toimijoille näkyväksi mitkä toiminnot on otettava huomioon muutosta tehdessä. Mello *et al.* (2017) tutkimuksen mukaisesti työkalussa integroidaan tietoa sekä tuotannosta, hankinnasta että tuotekehityksen eri yksiköistä. Taulukon etuna on, että siihen pystytään tallentamaan tietoa kommentteina, jolloin aiemmin sähköpostein tai informaalein käytäväkeskusteluihin sovitut asiat voidaan tuoda eksplisiittisesti kaikkien nähtäville. Yhteinen työkalu tuo läpinäkyvyyttä toimintaan, joka on yksi edellytys toimivalla prosessille projektiliiketoiminnassa (Rahman & Shariff 2003).

Työkalun avulla pystytään manuaalisesti hallitsemaan projektiliiketoiminnassa esiintyvää teknistä kompleksisuutta. Työkalun avulla on mahdollisuus verrata Toche *et*

*al.* (2017) ”*as-tested*” ja ”*as-build*” rakenne-eroja, jolloin ymmärretään paremmin testaamisen kattavuus todellisesta käyttöympäristöstä. Tässä työkalussa tarkastellaan ainoastaan laitteiston ja ohjelmiston välistä vuorovaikutusta, mutta kohdeorganisaation kontekstissa olennaista olisi myös ymmärtää eri ohjelmistokokonaisuuksien vuorovaikutus testaamisessa ja näiden versioiden rakenne-erot.

Lisäksi ehdotettu prosessi parantaa testausympäristön osalta kommunikaatiota, joka taas pienentää organisatorista kompleksisuutta. Prosessissa tuodaan säännöllisillä palaverilla keskustelemaan useamman eri toiminnon edustajia testausympäristön haasteista, jolloin eri toimijoiden on mahdollista ymmärtää muissa osa-alueissa esiintyviä haasteita ja yrittää ratkoa näitä yhdessä. Prosessi ei kuitenkaan ole riittävä testaamiseen liittyvän hiljaisen tiedon siirtymiseen koko tuotteen elinkaarella.

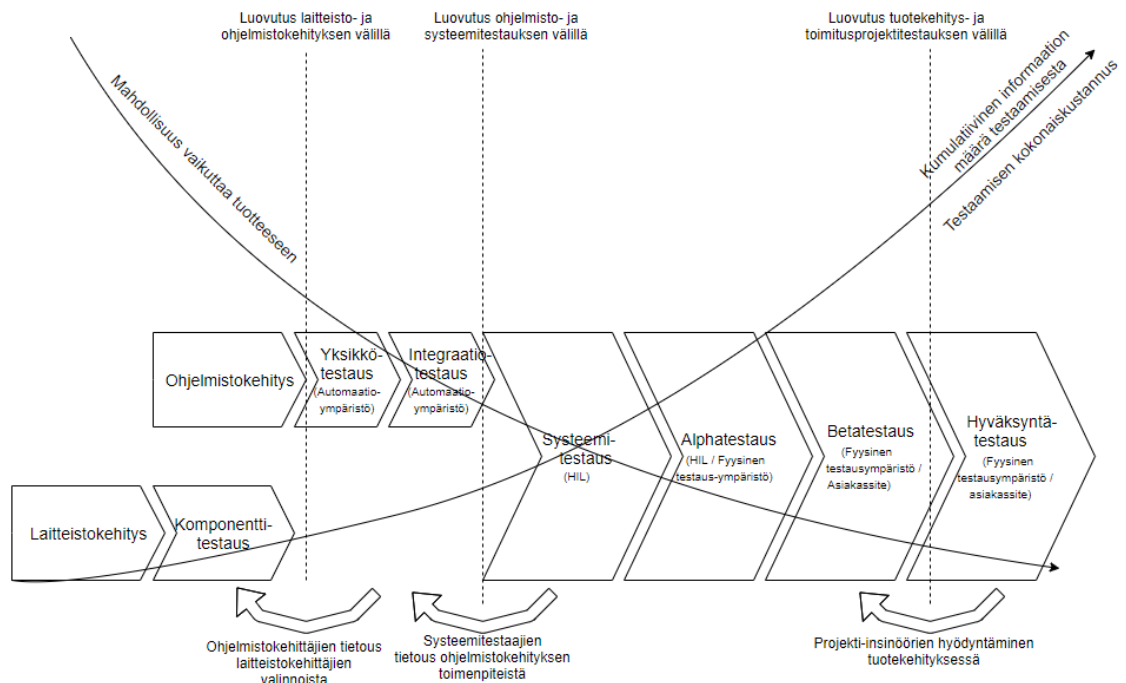
Kuvissa 16 ja 17 esitettyjä prosessia ja työkalua pilotoitiin yhdellä testilaitteella kohdeorganisaation testausympäristössä. Työkalua ja prosessia kehitettiin yhdessä eri sisäisen sidosryhmien kanssa, kuten suunnittelun, tuotekehityksen, hankinnan, logistiikan ja projektitoimituksen edustajien kanssa. Havainnointipäiväkirjan mukaan malli otettiin vastaan pääosin positiivisena, toimintaa selkeyttävänä toimintatapana. Toimintatapa tulisi laajentaa hyödynnettäväksi kaikille testiympäristön laitteille ja infrastruktuurille, jotta ympäristöä pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti.

## 5.4 Työnkierto testaustoiminnassa

Testaamisen nykytilan selvityksen mukaan testausprosessissa tapahtuu useita toimintojen välisiä luovutuksia, joissa esiintyy informaation ja vastuiden katkeamista. Testauksen päätarkoituksena on luoda informaatiota päätöksenteon tueksi (Thomke 2007; Porter 2004), joten tällöin informaation katkeaminen prosessin luovutusasteissa heikentää huomattavasti testaamisesta saatavaa hyötyä. Luovutuksissa tapahtuviin ongelmiin liittyen kohdeorganisaatiossa on jo aiemmin tunnistettu toimintojen välistä siiloutumista, jossa päädytään osaoptimointiin kokonaistavoitteen kustannuksella. Myös tutkimuksessa on tunnistettu yhtenä haasteena eri toimintojen välisten rajapintojen hallinta testaamisessa (Thomke 2008).

Tutkimuksen kontekstissa kohdeorganisaation toimiessa projektiliiketoimintaympäristössä eri suunnitteluprosessin, testauksen, valmistuksen ja toimitusprojektin vaiheet ovat läheisesti toisiinsa sitoutuneita osia tuotteen toimitusketjussa (Mello *et al.* 2017). Mello *et al.* (2017) ja Toche *et al.* (2017) tutkimuksien mukaan yhteistoimintaa pystytään parantamaan koko toimitusketjua paremmin tukevien

IT-järjestelmien avulla. IT-järjestelmien paremmalla tuella ja integroinnilla on varmasti huomattava merkitys informaation saatavuuteen, mutta huomioon tulee ottaa myös hiljaisen tiedon siirtymisen merkitys liiketoiminnassa. Testaustoiminnassa eri tason ja menetelmien testejä tehdään tuotteen toimitusketjun aikana huomattavia määriä ja kumuloituneen informaation saaminen toimitusketjun loppupäähän on olennaista erityisesti projektiliiketoiminnassa. Erään haastateltavan näkemyksen mukaan, hyödyntämällä voimakkaammin poikkitieteellisiä resursseja tuotteen kehityksen elinkaarella hyödyttäisi se kohdeorganisaatiota huomattavasti, koska ratkaisujen monimutkaistuu myös organisaation ydinosaaminen jakaantuu laajemmalle toimija joukolla. Kuvassa 18 on tarkasteltu tuotteen toimitusketjua testauksen näkökulmasta ja eri resurssien hyödyntämistä ja joustavuutta siinä.



**Kuva 18. Testaus tuotteen toimitusketjussa**

Kuten kuvasta 18 nähdään, otollisin mahdollisuus vaikuttaa tuotteeseen on toimitusketjun alkupäässä eli tuotteen konseptoinnissa tai kehityksen alkuvaiheessa, koska myöhäisen vaiheen ongelmat saattavat olla yli 100 kertaa kalliimpia kuin aikaisen vaiheen ongelmat (Thomke 2008). Toisaalta toimitusketjun loppupäässä testaamisesta kertynyt informaatio on suurimmillaan ja vastaavasti testaamisen kustannukset kasvavat mitä lähemmäs testaamisessa mennään fyysistä konetta ja asiakasta. Ilmiön myötä testaamiseen käytettäviä resursseja tulisi painottaa enemmän tuotteen alkupäähän, jolloin testaamisessa tuotettuun informaation on parempi mahdollisuus reagoida ja toisaalta pystytään ehkäisemään kustannuksiltaan raskaampia myöhäisen vaiheen muutoksia.



Hyödyntämällä testausresurssien käyttöä eri rajapintojen molemmilla puolilla saadaan siirrettyä testaamisessa olennaista informaatiota, jotta testaamistoiminta olisi mahdollisimman sujuvaa. Esimerkiksi toimitusprojekteissa toimivia projekti-insinöörejä tulisi hyödyntää osittain jo aikaisemmin tuotekehityksessä, koska heillä on todennäköisesti paras informaatio siitä, että minkälaisia haasteita testaamisen osalta kohdataan asiakasrajapinnassa. Näin ollen kuilu tuotekehityksen ja toimitusprojektin välillä pienenee ja ymmärretään paremmin asiakkaan vaatimuksia. Toisaalta tuoteosaaminen siirtyy projekti-insinöörien mukana myös paremmin asiakasrajapintaan, kun on ollut mukana aktiivisemmin jo kehitysvaiheessa. Lisäksi raja-aidat eri toimintojen välillä pienevät, kun tehdään yhteistyötä paremman lopputuloksen saavuttamiseksi.

Simulaatio- ja fyysisen testausympäristön testausinsinöörejä tulisi ottaa mukaan aikaisemmin yksikkö- ja komponenttikehitysvaiheeseen, jolloin heille syntyy ymmärrys tavoiteltavasta toiminnosta ja vastaavasti pystyvät viemään informaatiota arvoketjun myöhemmästä vaiheesta kehitykseen. Kun testaajalla on informaatiota jo kehitysvaiheessa tehdyistä toimenpiteistä, on hänellä paremmat mahdollisuudet suunnitella ja suorittaa onnistunut testaus ja toisaalta helpompi kommunikoida testauksen tulokset takaisin tuotekehitykseen.

Thomken (2008) mukaan testaaminen on oppimisprosessi. Kuvan 18 mallia hyödyntämällä organisaatiossa tapahtuu oppimista tuotteen eri osa-alueista ja hyödyntämällä eri toimintojen resursseja joustavasti testauksessa, pystytään viimeisin tuoteinformaatio jalkauttamaan tuotteen arvoketjussa sekä ylä- että alavirtaan. Monipuolisten henkilöresurssien joustavalla hyödyntämisellä pystytään myös vastaamaan testaamisessa esiintyvään resurssien rajallisuuteen. Malli hyödyttää siis sekä testauksen sujuvuutta että oppimista koko organisaatiossa.

## 6. PÄÄTELMÄT

### 6.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Tässä diplomityössä tutkittiin tuotekehitystestausta projektiliiketoimintaympäristössä. Tutkimuksen tavoitteina oli tunnistaa kohdeorganisaation tuotekehitystestauksen nykytila ja määrittää ongelmakohdat nykyisessä testausprosessissa sekä kehittää soveltuva testausprosessi ja toimenpiteet, joilla testaustoiminnan laatua voidaan parantaa. Tavoitteisiin pyrittiin vastaamaan seuraavilla tutkimuskysymyksillä:

*RQ1: Mikä on kohdeorganisaation testausprosessin nykytila ja mitä haasteita siihen liittyy?*

*RQ2: Miten kohdeorganisaation pitäisi hallita testausprosessia tilauksesta suunnitteluun projektiliiketoimintaympäristössä, jotta se mahdollistaisi toiminnan laadun?*

Kohdeorganisaation testausprosessin nykytila on kuvattu kuvassa 14. Kuvaus on muodostettu haastatteluiden, havainnointipäiväkirjan ja sekundäärisen materiaalin pohjalta, joka pyrkii kuvaamaan tuotetestaamisen koko elinkaarta aina tarpeen synnystä tuotteen luovuttamiseen asiakkaalle. Kuvauksessa on eritelty organisaation eri toiminnot ja niiden tekemät toimenpiteet prosessissa, jotta ymmärrettäisiin tilanteessa esiintyvää organisatorista kompleksisuutta. Liiketoiminnan perustuessa kompleksisten ratkaisujen toimittamiseen projekteilla, nykytilan kuvauksessakin näkyy testaukseen liittyvä kompleksisuus, joka ilmenee eri vaiheiden useina syötteinä ja riippuvuussuhteina. Aiemmassa tutkimuksessa on tunnistettu, että kompleksisuus syntyy projektiliiketoimintaa laajemmin tarkasteltaessa yleistyvistä epävarmuustekijöistä, kuten projektien muuttumisesta megaprojekteiksi, digitalisaatiosta, poikkitieteellistymisestä, globalisaatiosta ja tiukentuvasta lainsäädännöstä (Foehr *et al.* 2015). Kaikki mainitut epävarmuustekijät olivat vaikuttamina myös tämän tutkimuksen kohdeorganisaatiossa.

Voimakkaimmin nykytilaa kuvaavia haasteita ovat resurssirajoitteet, epäselvät roolit ja vastuut prosessissa, informaatiokatkokset, siiloutuminen sekä kompleksisuuden aliarviointi. Haasteista resurssien rajoitteet, informaatiokatkokset ja kompleksisuuden aliarviointi on tunnistettu projektiliiketoiminnassa aiemmin esimerkiksi Bosch-Rekvelde *et al.* (2011), Mello *et al.* (2017) ja Little *et al.* (2000) empiirisissä tutkimuksissa. Epäselvät roolit ja vastuut testausprosessissa sekä siiloutuminen ovat tunnistettuja haasteita testausta käsittelevässä kirjallisuudessa (Thomke 2008). Haasteita on tarkasteltu tarkemmin nykytilan kuvauksen pohjalta taulukoissa 12 - 16.

Verrattaessa tunnistettua testausprosessia teoreettisessa viitekehyksessä rakennettuun prosessimalliin, löydettiin kolme osa-aluetta, joilla toimintaa tulisi parantaa. Ensimmäinen kehitettävistä osa-alueista on laaturiskienhallinnan ottaminen osaksi testausprosessia. Riskienhallinta nähtiin teemahaastatteluidenkin perusteella suositeltavaksi vaihtoehdoksi ohjata testaustoimintaa ympäristössä, jossa esiintyy paljon teknistä kompleksisuutta, tapahtuu jatkuvasti muutoksia ja testaukseen käytettävät resurssit ovat rajalliset. Toisena kehitettäväksi osa-alueeksi tutkimuksessa tunnistettiin kokonaiskuvan ja informaation siirron kehittäminen testaamisessa, jolla pystyttäisiin siirtämään testauksella hankittua informaatiota paremmin päätöksenteon tueksi. Kolmantena kehitettävänä alueena erityisesti kohdeorganisaation kontekstissa tunnistettiin testausympäristön hallinta.

Havaittujen kolmen laajemman kehityskohteen pohjalta kohdeorganisaatiolle muodostettiin kolme operatiivista toimintaa parantavaa prosessia, joiden perusteella testausprosessia tulisi hallita. Ensimmäinen prosesseista koskee testaustoiminnan hallintaa keskitetysti riskienhallinnan menetelmin. Kirjallisuuden perusteella testausta ja sen rajapintoja tuotantoon sekä tuotekehitykseen tulisi hallita keskitetysti (Black 2010; Toche 2007) ja kontrolloidusti (Mello *et al.* 2017), jotta testauksessa hankittava informaatio on hyödynnettävissä tehokkaasti päätöksenteon tueksi.

Cooperin ja Sommarin (2016) mukaan tuotekehityksen prosessimallia, jossa yhdistetään sekä perinteinen vesiputousmalli että ketteriin menetelmiin perustuva spiraalinen malli, voitaisiin hyödyntää tehokkaasti ympäristössä, jossa kehitettävään tuotteeseen liittyy sekä fyysisiä että ohjelmistollisia ominaisuuksia. Hybridimallin soveltuvuutta käytäntöön ei kuitenkaan ole juurikaan tutkittu. Tässä tutkimuksessa tunnistettiin, että kohdeorganisaatio hyödyntää sekä perinteisiä että ketteriä menetelmiä tuotekehitykseen, mutta näiden yhteensopivuutta ei ole kuitenkaan operatiivisella tasolla tarkasteltu. Diplomityössä esitetty riskienhallintaan perustuva testaushallintaprosessi yhdistää molempia menetelmiä ja tuo esille kuinka näiden tuotekehitysmenetelmien käytännön integraatio on operatiivisella tasolla toteutettavissa. Näkemystä testauksen hyödyntämiselle spiraalisten ja perinteisten mallien integraatiossa tukee myös Cooperin (2011) kirja uuden tuotteen kehityksestä, jonka perusteella testaus on eri mallien yhdistävä tekijä. Prosessien integraatio nähtiin olennaiseksi tutkimuksen alaksi projektiliiketoiminnassa esimerkiksi Foehr *et al.* (2017) tutkimuksessa. Lisäksi diplomityön tulokset täydentävät aiemmassa tutkimuksessa ollutta puutetta hybridimallin käytännön sovelluksista.

Testausympäristön hallinta nousi esille voimakkaasti tutkimuksen empiirisestä materiaalista, mutta aiemmassa tutkimuksessa se ei näyttäydä merkittävänä

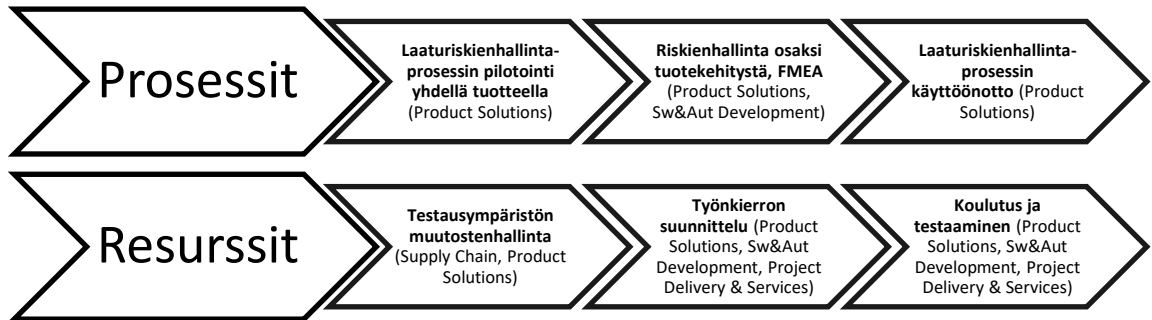
kehityskohteena. Tämä saattaa johtua siitä, että testausta projektiliiketoiminnassa ei ole yleisesti juurikaan tutkittu. Aiemmassa tutkimuksessa jopa väitetään, että tuotekehitystestausta ei projektiliiketoiminnan kontekstissa tehdä (Rahman & Shariff 2003). Testaustutkimus painottuu pääosin fyysisten hyödykkeiden saralla massatuotannossa tapahtuvaan tuotekehitystestaukseen ja ohjelmistokehityksessä tapahtuvaan testaukseen, jossa testausympäristön fyysiset vaatimukset ovat erilaiset.

Projektiliiketoiminnassa suurien investointihyödykkeiden tuotekehitystestauksen asettamat tarpeet testausympäristölle tulevat useista samanaikaisista projekteista, jolloin yhteisessä testausympäristössä muutostenhallinnan rooli korostuu. Joten huolimatta aiemmasta tutkimuksesta, voidaan todeta, että testausympäristön muutostenhallintaprosessin ja -työkalun käyttöönotto on olennainen kehityskohde kohdeorganisaatiolle. Lisäksi testausympäristön hallinta parantaa kohdeorganisaation kykyä ymmärtää testauksessa hyödynnettävien laitteiden vastaavuutta tuotekehityksessä olevien tuotteiden rakenteeseen. Toche *et al.* (2017) ovat tunnistaneeet tutkimuksessaan tämän yhdeksi olennaiseksi kehityskohteeksi testaustoiminnalle. Prosessia ja työkalua rakennettiin sekä pilotoitiin kohdeorganisaatiossa yhdellä testilaitteella ja ne todettiin toimiviksi ratkaisuiksi.

Viimeisimpänä kehitystoimenpiteenä tutkimuksessa esitetään viitekehys testauksen hyödyntämiselle organisaation oppimisessa. Rajalliset resurssit ja toisaalta informaatiokatkokset tunnistettiin haasteiksi sekä aiemmassa projektiliiketoiminnan ja testaamisen tutkimuksessa että empiirisessä materiaalissa. Viitekehystä toteuttamalla pystytään siis tehokkaasti kouluttamaan kohdeorganisaation henkilöstöä ja taas toisaalta purkamaan testaukseen syntyvää työkuormaa. Lisäksi henkilöstö tuotteen eri elinkaaren vaiheista tuo informaatiota testaamiseen esimerkiksi asiakasrajapinnasta. Resurssien joustava käyttö testaamisessa poistaa lisäksi informaatiokatkoksia hiljaisen tiedon siirrossa, pienentää toimintojen välistä siiloutumista ja tuo läpinäkyvyyttä testaustoimintaan. Thomke (2008) tukee viitekehysten toteuttamista toteamalla, että testaaminen on oppimisprosessi, jolloin tuoteosaaminen siirtyy testaamisen myötä kaikille testaamiseen osallistuneille.

## 6.2 Käytännön suositukset

Tutkimuksen käytännön suositukset ovat jaettu kahteen kehitettävään toimintavirtaan: prosesseihin ja resursseihin. Proseissa käyttöönotetaan laaturiskienhallintaprosessi ja resursseissa kehitetään sekä henkilöstö- että laiteresurssien käyttöä testaamisessa. Kuvassa 19 on esitettyä toteutussuunnitelma kehitysehdotuksista kohdeorganisaatiolle.



**Kuva 19. Toteutussuunnitelma kohdeorganisaatiolle**

Kuvan mukaisesti kehitysehdotuksen toimeenpanoa voidaan suorittaa samanaikaisesti sekä prosessien että resurssien osalta. Toteutussuunnitelmassa on esitetty mahdolliset toimeenpanevat toiminnot kohdeorganisaatiossa. Prosesseissa ensimmäinen tärkeä tehtävä on testata ja todentaa laaturiskienhallintaprosessi pilotoimalla käyttöönottoa esimerkiksi yhdellä uudella tuotteen toiminnallisuudella. Seuraavaksi käyttöönotettavaksi tulee laajempi kokonaisuus, jossa riskienhallintamenetelmä otetaan osaksi tuotekehitystä. Viimeisenä prosessivirrassa käyttöönotetaan laaturiskienhallintaprosessi ja yhdistetään prosessitestauksen ohjaamiseen.

Resurssivirrassa nopein tapa saada konkreettista kehitystä on ottaa käyttöön keskitetty testausympäristön muutostenhallinta kaikille ympäristön laite- ja infrastruktuuriresursseille. Muutostenhallintaprosessi ja työkalu on tässä tutkimuksessa pilotoitu, joten toimintamalli voidaan soveltaen laajentaa myös muille ympäristön laitteille. Suurempi kokonaisuus resurssivirrassa on työnkierron suunnittelu ja toteutus siten, että testaamisessa ja muissa tuotekehityksen vaiheissa hyödynnetään kattavasti kohdeorganisaation eri liiketoimintaosa-alueiden henkilöstöresursseja.

Laajemmassa mittakaavassa tarkasteltaessa laaturiskienhallintaprosessi ja työnkierron toteuttaminen testaamisessa on mahdollista soveltaen ottaa käyttöön muissakin teollisuusalan organisaatioissa, joissa esiintyy voimakasta teknistä, organisatorista ja ympäristöllistä kompleksisuutta. Testausympäristön muutostenhallintaprosessi ja – työkalu on suunniteltu tarkemmin kohdeorganisaation tarpeisiin ja tällöin sen laajamittainen käyttöönotto muissa yrityksissä ei välttämättä ole mahdollista.

### 6.3 Tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti

Reliabiliteetilla tarkoitetaan tutkimuksen luotettavuutta. Saunders *et al.* (2009) mukaan tutkimuksen reliabiliteettia voidaan tarkastella kolmen kysymyksen avulla:

- ”Missä määrin datan keruumenetelmä tuottaa yhdenmukaisia tuloksia?”
- ”Tekisikö muut tutkijat samankaltaisia havaintoja?”
- ”Onko datasta tehdyt päätelmät läpinäkyviä?”

Ensimmäinen kysymyksistä tarkastelee siis tutkimuksen menetelmävalintojen sopivuutta tähän tutkimustilanteeseen. Tässä tutkimuksessa tiedonkeruumenetelmiksi valittiin teemahaastattelut, osallistuva havainnointi ja muu kohdeorganisaation järjestelmistä saatava sekundäärinen materiaali. Teemahaastattelut ja osallistuva havainnointi ovat laadullisia tiedonkeruumenetelmiä, jonka tarkoituksena on saada syvälinen kuvaus ja ymmärrys ilmiöstä ihmisen näkökulmasta (Saunders *et al.* 2009). Menetelmävalinnat voidaan nähdä siis perusteltuina tähän diplomityöhön koska, tutkimuksen tavoitteena oli saada syvälistä ymmärrystä testaustoiminnan haasteista ja kehityskohteista kohdeorganisaatiossa. Lisäksi monimenetelmävalinnan myötä tutkimuksen tuloksiin on pyritty tuomaan triangulaatiota, joka lisää Saunders *et al.* (2009) mukaan tutkimuksen luotettavuutta.

Toinen kysymyksistä käsittelee tulosten toistettavuutta samasta aineistosta muiden tutkijoiden näkökulmasta. Hirsjärven ja Hurmeen (2008) mukaan tämä on kuitenkin haastavaa, koska on epätodennäköistä, että kaksi eri henkilöä päätyvät täsmälleen samaan lopputulokseen tulkitsemalla kolmannen osapuolen sanomaa. Tässä diplomityössä tutkimustuloksista tehty analyysi on toteutettu ainoastaan tutkijan toimesta, jolloin tutkijan henkilökohtaiset kokemukset ja läsnäolo kohdeorganisaatiossa vaikuttavat voimakkaasti tutkimuksen reliabiliteettiin. Reliabiliteettia toistettavuuden näkökulmasta on kuitenkin pyritty parantamaan antamalla haastateltaville mahdollisuus tutustua ja kommentoida haastattelun litteraatiota ja siitä tehtyjä johtopäätöksiä. Hirsjärven ja Hurmeen (2008) mukaan tämä on yksi keino vahvistaa tutkimuksen luotettavuutta. Lisäksi diplomityössä on pyritty kuvaamaan tutkimuksen teko ja tehdyt valinnat mahdollisimman tarkasti, jotta muiden tutkijoiden olisi mahdollisuus ymmärtää tutkimusprosessi ja tehdyt löydökset.

Kolmas Saunders *et al.* (2009) reliabiliteetin kysymyksistä käsittelee tutkimuksen tulosten analyysin luotettavuutta. Tässä diplomityössä on pyritty tuomaan läpinäkyvyys aineistoon ja analyysiin käyttämällä useita teemahaastatteluista poimittuja lainauksia ja yhdistämällä nämä tulosten käsittelyyn ja pohdintaan. Lisäksi diplomityössä on tulosten

analyysiin hyödynnetty Checklandin (1981) luomaa SSM-analyysimenetelmää, jota on käytetty vastaavassa projektiliiketoimintaympäristön tutkimuksessa.

Saunders *et al.* (2009) mukaan tutkimuksen validiudella tarkoitetaan tutkimustulosten oikeellisuutta, eli vastaako tulokset tutkimuskysymyksiin siten kuin ne johtopäätöksissä esitetään. Tässä tutkimuksessa haastetta validiuteen aiheutti oikean käsitteistön määrittely ja käyttö. Tämän vuoksi tutkimuksessa on teoreettisessa viitekehyksessä tehty käsiteanalyysiä aiemman kirjallisuuden pohjalta, jotta pystyttiin määrittämään kohdeorganisaation toimintamalli ja kohdeilmiö. Toinen validiteettia uhkaava tekijä on tutkimuksen sisäinen validius. Tässä diplomityössä on tutkittu kompleksista tapausta, jossa on pyritty analyysin avulla ymmärtämään kausaalisia syy-seuraussuhteita. On kuitenkin mahdollista, että väitetyt syy-seuraussuhteet eivät täysin pidä paikkaansa, vaan tapahtumiin on voinut vaikuttaa erilaiset historialliset tekijät (Hirsjärvi & Hurme 2008). Tässä yhteydessä on hyvä huomata, että vaikka tutkimus toteutettiin poikittaistutkimuksena, niin tiedonkeruu ajoittui useammalle kuukaudelle, jolloin ajallinen vaikutus voi olla huomattava tutkimuksen lopputuloksiin. Lisäksi diplomityön aikana kohdeorganisaatiossa tapahtui voimakkaita organisaatiomuutoksia, jolloin tutkimuksessa esitetyt kehitystoimenpiteet eivät välttämättä ole täysin valideja nykytilanteeseen. Tutkimuksessa on kuitenkin hyväksytty ilmiön kontekstiaalisuus, jolloin tässä diplomityössä kausaliitteihin vaikuttavat tekijät hyväksytään olevan luonnollinen osa tutkimusta.

Kolmas validiuteen vaikuttava tekijä on tutkimuksen ulkoinen validius. Ulkoisella validiudella tarkoitetaan tutkimuksen ja sen tuloksien yleistettävyyttä laajempaan kontekstiin. Saunders *et al.* (2009) mukaan erityisesti tapaustutkimuksessa tulosten yleistettävyys laajempaan kontekstiin on usein heikko ja täten myös tämän tutkimuksen tuloksien käyttämiseen muissa ympäristöissä täytyy suhtautua kriittisesti. Täytyy kuitenkin muistaa, että tutkimuksen tavoitteena ei ollut luoda laajempaa teoriaa, vaan syventyä tarkasti kohdeilmiöön organisaatiossa, joten voidaan todeta, että tutkimuksen tulokset ovat valididit diplomityössä esitetyssä kontekstissa. Lisäksi pohdinnassa tuotiin esille, että kohdeilmiön haasteet vertautuivat voimakkaasti aiempaan projektiliiketoiminnan tutkimukseen, joten voidaan nähdä, että myös muut tutkimuksen tulokset saattavat olla jollain tasolla sovellettavissa myös muihin vastaavassa liiketoimintaympäristössä toimiviin organisaatioihin.

## 6.4 Mahdollisuudet jatkotutkimukselle

Tutkimuksen myötä on löytynyt muutama jatkotutkimusta vaativa aihealue. Ensimmäinen jatkotutkimusmahdollisuus olisi laajemmin tarkastella tuotekehitystestausta, haasteita ja vaatimuksia projektiliiketoiminnassa. Osana tämän diplomityön löydöksiä huomattiin, että testausta projektiliiketoiminnassa ei ole juurikaan tutkittu erityisesti voimakkaasti pääomaa sitovien investointihyödykkeiden kehityksen osa-alueella. Aiemmasta tutkimuksesta löytyi jopa väitteitä siitä, että testausta ei suoritettaisi ollenkaan tuotekehitysvaiheessa sen kalleuden vuoksi, mutta toisaalta testaus voisi olla avain kilpailuetuun ja kustannuksien alennukseen epävarmoissa ja kompleksisissa projekteissa.

Toinen jatkotutkimusmahdollisuus on riskienhallinnan käyttö testaamisen ohjaamiseen projektiliiketoiminnassa. Riskienhallinta on yleisesti projektitutkimuksessa todettu päteväksi menetelmäksi projektien johtamiseen kompleksisessa ympäristössä. Lisäksi riskienhallinta on todettu testaustoiminnan ohjausmekanismiksi erityisesti ohjelmistokehitysympäristössä. Jatkotutkimuksena tulisikin tarkastella riskienhallinnan sovellettavuutta testauksenhallintaan erityisesti teollisessa projektiliiketoimintaympäristössä. Tutkimuksessa voitaisiin myös tarkastella tarkemmin tässä tutkimuksessa esitetyn laaturiskienhallinnan viitekehityksen toimivuutta käytännössä.

Kolmantena jatkotutkimuksen aihealueena tutkimuksessa nousi esille testaamisen hyödyntäminen tuotekehitysprosessien integroijana. Diplomityössä muodostettiin viitekehitys ja prosessimalli testaamisen hallinnalle, jossa integroitii kohdeorganisaatioissa käytössä olevat perinteiset tuotekehitysmenetelmät ja ketterät menetelmät, jotta testaustoiminta olisi sujuvampaa ja päällekkäiseltä työltä vältyttäisiin. Lisäksi aiemmassa tuotekehitysprosessitutkimuksessa on todettu, että hybridimallin soveltamisesta operatiiviselle tasolle puuttuu vielä tutkimusta, joten tämä tukee myös tarvetta tutkia aihetta tarkemmin käytännön tasolla.

Viimeisenä diplomityössä esiin tullut jatkotutkimuksen mahdollisuus on tutkia testaustoiminnan hyödyntämistä organisaation koulutuksessa. Testauksen päätavoitteena tulisi olla kehityksen aikainen oppiminen eikä niinkään tuotekehityksen päättävä vaihe (Thomke 2008). Jatkotutkimuksena tulisikin tutkia, miten testaamista pystyttäisiin organisaatioissa laajemmin hyödyntämään koulutuksen välineenä ja onko siitä saatavissa kattavaa hyötyä. Kuten tutkimuksessa todettua, teorian perusteella hyödyn pitäisi olla molemmin puolinen, sekä testausta hyödyttävä että henkilöstön oppimista kehittävä.



# LÄHTEET

- Abrantes, R. & Figueiredo, J., 2015. Resource management process framework for dynamic NPD portfolios. *International Journal of Project Management*, 33(6), s. 1274-1288.
- Adrodegari, F., Bacchetti, A., Pinto, R., Pirola, F. & Zanardini, M., 2015. Engineer-to-order (ETO) production planning and control: an empirical framework for machinery-building companies. *Production Planning & Control*, 26(11), s. 910-932.
- Artto, K. & Kujala, J., 2008. Project business as a research field. *International Journal of Managing Projects in Business*, 1(4), s. 469-497.
- Artto, K.A., Martinsuo, M. & Kujala, J., 2006. *Projektiliiketoiminta*. Helsinki: WSOY.
- Artto, K.A. & Wikström, K., 2005. What is project business? *International Journal of Project Management*, 23(5), s. 343-353.
- Black, R., 2004. *Critical testing processes: plan, prepare, perform, perfect*. Boston, MA: Addison-Wesley.
- Black, R., 2011. *Managing the Testing Process Practical Tools and Techniques for Managing Hardware and Software Testing*. 3. ed. Chichester: Wiley.
- Bosch-Rekveltdt, M., Jongkind, Y., Mooi, H., Bakker, H. & Verbraeck, A., 2011. Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 29(6), s. 728-739.
- Caron, F. & Fiore, A., 1995. Engineer to order' companies: how to integrate manufacturing and innovative processes. *International Journal of Project Management*, 13(5), s. 313-319.
- Checkland, P., 1981. *Systems thinking, systems practice*. Chichester: Wiley.
- Cooper, R.G., 2016. Agile-Stage-Gate Hybrids: The Next Stage for Product Development Blending Agile and Stage-Gate methods can provide flexibility, speed, and improved communication in new-product development. *Research-Technology Management*, 59(1), s. 21-29.
- Cooper, R.G., 2011. *Winning at new products creating value through innovation*. 4 ed. New York: Basic Books.
- Cooper, R.G., Edgett, S.J. & Kleinschmidt, E.J., 2004. Benchmarking Best NPD Practices-III. *Research-Technology Management*, 47(6), s. 43-55.
- Cooper, R.G. & Kleinschmidt, E.J., 1991. New Product Processes at Leading Industrial Firms. *Industrial Marketing Management*, 20, s. 137-147
- Cooper, R.G. & Sommer, A.F., 2016. The Agile-Stage-Gate Hybrid Model: A Promising New Approach and a New Research Opportunity. *Journal of Product Innovation Management*, 33(5), pp. 513-526.
- Davenport, T., 2005. The Coming Commoditization of Processes. *Harvard Business Review*, 83(6), s. 101-108.
- Engel, A., 2010. *Verification, validation, and testing of engineered systems*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

- Engwall, M. & Jerbrant, A., 2003. The resource allocation syndrome: the prime challenge of multi-project management? *International Journal of Project Management*, 21 (6), s. 403–409.
- Erat, S. & Kavadias, S., 2008 Sequential Testing of Product Designs: Implications for Learning. *Management Science*, 54 (5), s. 956–968.
- Farris, J. A., Van Aken, E. M., Letens, G., Ellis, K. P. & Boyland, J., 2007. A Structured Approach for Assessing the Effectiveness of Engineering Design Tools in New Product Development. *Engineering Management Journal*, 19 (2), s. 31–39.
- Foehr, M., Gepp, M. & Vollmar, J., 2015. Challenges of system integration in the engineer-to-order business. *Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 41, s.73-79.
- Ford, S. & Despeisse, M., 2016. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 137 (C), s.1573–1587.
- Garvin, D., 1987. Competing on the eight dimensions of quality. *Harvard Business Review*, 65, s. 101-109.
- Gosling, J. & Naim, M.M., 2009. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. *International Journal of Production Economics*, 122(2), s. 741-754.
- Hellström, M. & Wikström, K., 2005. Project business concepts based on modularity – improved manoeuvrability through unstable structures. *International Journal of Project Management*, 23(5), s. 392-397.
- Henard, D.H. & McFadyen, M.A., 2012. Resource Dedication and New Product Performance: A Resource-Based View. *Journal of Product Innovation Management*, 29(2), s. 193-204.
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H., 2008. Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.
- Hobday, M., Davies, A. & Prencipe, A., 2005. Systems integration: a core capability of the modern corporation. *Industrial and Corporate Change*, 14(6), s. 1109-1143.
- Koopman, P. & Wagner, M., 2016. Challenges in Autonomous Vehicle Testing and Validation. *SAE International Journal of Transportation Safety*, 4 (1), s. 15–24.
- Kumar, S. & Wellbrock, J., 2009. Improved new product development through enhanced design architecture for engineer-to-order companies. *International Journal of Production Research*, 47(15), s. 4235-4254.
- Kylmä, J. & Juvakka, T., 2014. Laadullinen terveystutkimus. Helsinki: Edita.
- Little, D., Rollins, R., Peck, M. & Porter, J.K., 2000. Integrated planning and scheduling in the engineer-to-order sector. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 13(6), s. 545-554.
- Lorenzi, C. I. & Ferreira, J. C. E., 2018. Failure mapping using FMEA and A3 in engineering to order product development. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 35 (7), s. 1399–1422.
- Martinsuo, M. & Blomqvist, M., 2010. Prosessien mallintaminen osana toiminnan kehittämistä. *Opetusmoniste 2, Tampereen teknillinen yliopisto*.
- Mello, M. H., Gosling, J., Naim, M., Strandhagen, J. O. & Brett, P. O., 2017. Improving coordination in an engineer-to-order supply chain using a soft systems approach. *Production Planning & Control*, 28 (2), s. 89–107.

- Mello, M. H., Strandhagen, J. O. & Alfnes, E., 2015. The role of coordination in avoiding project delays in an engineer-to-order supply chain. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 26 (3), s. 429–454.
- Porter, A., 2004. *Accelerated Testing and Validation*. Burlington: Newnes.
- Rahman Abdul Rahim, A. & Shariff Nabi Baksh, M., 2003. The need for a new product development framework for engineer-to-order products. *European Journal of Innovation Management*, 6(3), s. 182-196.
- Reid, I., Bamford, D. & Ismail, H., 2019. Reconciling engineer-to-order uncertainty by supporting front-end decision-making. *International Journal of Production Research*, 57(21), s. 6856-6874.
- Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A., 2009 *Research methods for business students*. 5. ed. Harlow: Prentice Hall.
- Shane, S.A., 2014. *Technology strategy for managers and entrepreneurs*. 1. ed. Upper Saddle River (NJ): Pearson/Prentice Hall.
- Shenhar, A.J., 1998. From theory to practice: toward a typology of project-management styles. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 45(1), s. 33-48.
- Sower, V.E., 2011. *Essentials of quality: with cases and experiential exercises*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Thomke, S., 1998. Managing Experimentation in the Design of New Products. *Management Science*, 44(6), s. 743-762.
- Thomke, S., 2008. Chapter 15 - Learning by experimentation: Prototyping and testing. *Handbook of New Product Development Management*, s. 401–420.
- Toche, B., Mcorley, G., Pellerin, R. & Fortin, C., 2017. A framework to support collaboration during prototyping and testing. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 10 (4), s. 348–374.
- Ulonska, S. & Welo, T., 2014. Product portfolio map: a visual tool for supporting product variant discovery and structuring. *Advances in Manufacturing*, 2(2), s. 179-191.
- Ulrich, K.T. & Eppinger, S.D., 2012. *Product design and development*. 5. ed. New York, NY: McGraw-Hill Irwin.
- Unger, D. & Eppinger, S., 2011. Improving product development process design: a method for managing information flows, risks, and iterations. *Journal of Engineering Design*, 22(10), s. 689-699.
- Willner, O., Powell, D., Gerschberger, M. & Schönsleben, P., 2016. Exploring the archetypes of engineer-to-order: an empirical analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(3), s. 242-264.
- Yang, K. & El-Haik, B., 2003. *Design for Six Sigma: a roadmap for product development*. New York: McGraw-Hill.
- Yin, R. K., 2003. *Applications of case study research*. 2. ed. Thousand Oaks: Sage.
- Zennaro, I., Finco, S., Battini, D. & Persona, A., 2019. Big size highly customised product manufacturing systems: a literature review and future research agenda. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), s. 5362-5385.

Zhang, Z.G., Kim, I., Springer, M., Cai, G. & Yu, Y., 2013. Dynamic pooling of make-to-stock and make-to-order operations. *International Journal of Production Economics*, 144(1), s. 44-56.

# LIITE A: TEEMAHAASTATTELURUNKO

## Haastattelurunko

### 1. Yksityisyys

- Kysy lupa äänittää, ainoastaan tutkimuksen tekijän muistin tueksi, ei jaeta muille osapuolille. Poistetaan analyysin valmistuttua.
- Haastattelun tulokset käsitellään nimettömänä tutkimuksessa -> Nimiä ei mainita työssä

### 2. Tutkimuksen tausta

#### Tutkijan tausta

#### Tavoitteet:

1. Tunnistaa kohdeorganisaation tuotekehitystestauksen nykytila sekä määrittää ongelmakohdat nykyisessä testausprosessissa
2. Kehittää kohdeorganisaatiolle soveltuva testausprosessi ja toimenpiteet, joilla toiminnan laatua voidaan parantaa

#### Tutkimuskysymykset:

RQ1: Mikä on case organisaation testausprosessin nykytila ja mitä ongelmia siihen liittyy?

RQ2: Miten yrityksen pitäisi hallita testausprosessia projektiliiketoimintaympäristössä, jotta se mahdollistaisi toiminnan laadun?

#### Muuta käytännöstä:

Haastattelut toteutetaan teemahaastatteluina, eli haastatteluissa keskitytään tiettyihin teemoihin laajoilla kysymyksillä ja tarkoituksena saada syvää ymmärrystä laadullisen analyysin avulla

### 3. Haastateltavan tausta

- Nimi
- Tiimi
- Nykyinen positio, vastuut
- Nopea kertaus työhistoriasta yrityksessä

### 4. Tuotekehitys toimitus- ja kehitysprojekteissa sekä niiden kompleksisuudesta

Tavoitteena ymmärtää toimitus- ja tuotekehitysprojektien mahdollisesta sidonnaisuudesta, tuotekehitysprosesseista niissä

- Mistä syntyy tarve tuotekehitykselle? Lähde asiakas vai teknologia?
- Lähtekö tuotekehitys aina tyhjästä vai käytetäänkö pohjana jotain moduuleita? Puhutaanko yrityksessä tuotteiden modularisaatiosta?
- Mitä eri prosessimalleja tuotekehityksessä käytetään? Vaikuttaako projektin lähtökohta? Yleiskatsaus tuotekehitysprosessiin, mistä vaiheista se koostuu?
- Seurataanko ja mitataanko tuotekehitysprosesseja yrityksessä? Jos, niin millä mittareilla?
- Toimitusprojektin vaikutus kehitysprojektin tavoitteisiin? (Laajuus, aikataulu, kustannukset)

## 5. Laatu ja testaus

Tavoitteena ymmärtää yrityksen nykyistä testaustoimintaa

- Mitä on laatu tuotekehityksessä?
- Kuka määrittää tarvittavan laadun tason?
- Mitkä ovat mielestäsi syyt testaustoiminnalle yrityksessä? Mikä on sen tuottama lisäarvo? Millä tavoin se tuottaa lisäarvoa?
- Mitä eri testausmuotoja yrityksessä on?
- Kuka tai mikä taho on testauksen asiakas? Voiko olla useita asiakkaita?
- Mikä tai kuka määrittää, että mitä testataan?
- Mikä on riittävä laatu testauksesta, milloin ollaan tyytyväisiä testauksen lopputulokseen? Onko laatukriteereitä määritetty? Laatukriteerit eri testausvaiheiden välillä?
- Mitataanko testausta jollain tavalla? Millä mittareilla?
- Milloin vastuu siirtyy tuotekehityksestä, testaustiimille ja edelleen toimitusprojektille?

## 6. Nykyinen testausprosessi?

Tavoitteena tunnistaa nykyinen testausprosessi alusta loppuun haastateltavan näkökulmasta.

- Esimerkkiprojekti ja sen taustat
  - Projektin koko
  - Tarvittavat suunnitteluresurssit

- Projektin tavoitteet (oliko tavoitteet esitetty selvästi?)
- Projektin kompleksisuus (teknologinen uutuus, sidosryhmät, ympäristölliset vaikuttimet, sidonnaisuus muihin projekteihin)
- Selitätkö minkä vaiheiden läpi projekti kului testauksen näkökulmasta (nopea katsaus kaikista vaiheista, haastattelija kirjoittaa ylös taululle)
- Vaihekohtainen tarkastelu
  - Syötteet vaiheelle
  - Vaiheen tuotokset
  - Vaiheen resurssit, kuka teki ja mitä? Syntyikö resurssirajoitteita tai pullonkauloja?
  - Tarvittava informaatio muista prosesseista/vaiheista, miten informaatio liikkui?
  - Minne vaiheessa saavutettu informaatio talletettiin?
  - Mitä ongelmia vaiheessa havaittiin?
  - Syntyikö silmukoita/ takaisin kytkentöjä?
- Yhteenveto projektista
  - Onko projektista saatua informaatiota hyödyntämään muissa projekteissa vai pitääkö testaus tehdä aina uudelleen?
  - Mitä ongelmia havaitisit testaukseen liittyen projektissa? Mistä nämä ongelmat mahdollisesti johtuivat?
  - Mitä oppeja tulee mieleen, mitä oltaisiin voitu tehdä paremmin?

## 7. Kehitys ehdotukset prosessiin ja testaustoimintaan

Tavoitteena hankkia haastateltavan näkemyksiä kehityskohteista prosessissa ja toiminnassa.

## 8. Muuta lisättävää?







# LIITE D: TYÖKALU MUUTOSTENHALLINTAAN

EO-Number	Info	Purchasing (including parts received to stock)	Mechanical Installation	Electrical Installation	Main PLC Status	Supported version number	Odometry PLC Status	Supported version number	On Board Safety PLC Status	Supported version number	ME Status	Supported version number	Status	Supported version number
EO-1111111		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111112		Completed	Completed	Completed	N/A		Software Ready	11110	N/A		N/A		N/A	
EO-1111113		Pending	Pending	Pending	N/A		N/A		Software Ready		N/A		N/A	
EO-1111114		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111115		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111116		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111117		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111118		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111119		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111120		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111121		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111122		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111123		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111124		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111125		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111126		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111127		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111128		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111129		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111130		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111131		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111132		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111133		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111134		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111135		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111136		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111137		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111138		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111139		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111140		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111141		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111142		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111143		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111144		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111145		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111146		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111147		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111148		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111149		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	
EO-1111150		Completed	Completed	Completed	N/A		N/A		N/A		N/A		N/A	