Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

School of Engineering Science
Tuotantotalouden koulutusohjelma
Kustannusjohtaminen

Joonas Raassina

TUOTEKEHITYSVAIHEEN KUSTANNUSJOHTAMISEN KEHITTÄMINEN KONEPAJAYRITYKSESSÄ

Diplomityö
2018

Tarkastajat: Professori Timo Kärri
Yliopisto-opettaja Tiina Sinkkonen

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Paavo Hopponen

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Joonas Raassina

Työn nimi: Tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen kehittäminen konepajayrityksessä

Vuosi: 2018 **Paikka:** Joensuu

Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, School of Engineering Science, tuotantotalouden koulutusohjelma, kustannusjohtaminen

99 sivua, 28 kuvaa, 1 taulukko ja 5 liitettä

Tarkastajat: Professori Timo Kärri ja yliopisto-opettaja Tiina Sinkkonen

Hakusanat: tuotekehitys, kustannusjohtaminen, tavoitekustannuslaskenta, elinkaarilaskenta, modulaarisuus, Stage-Gate-malli, kustannusarviointi

Tässä diplomityössä kehitetään konepajayrityksen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamista niin, että yrityksessä kyettäisiin jatkossa tarkemmin arvioimaan ja johtamaan suunniteltavan tuotteen kustannuksia jo tuotekehitysvaiheessa.

Työssä sovelletaan konstruktiivista tutkimusotetta. Aineistona työssä käytetään alan teoreettista kirjallisuutta, kohdeyrityksen toimintamalleja ja kustannusdataa sekä kohdeyrityksen henkilöstön kanssa käytyjä keskusteluja.

Tuloksena esitetään suositukset tavoitekustannuslaskennan sekä elinkaarikannattavuuden laskennan kehittämiselle. Tavoitekustannuslaskennan kehittämissuosituksessa määritettiin kohdeyrityksen tuotekehitysprosessin vaiheisiin aktiviteetit, joiden avulla pystytään asettamaan järjestelmällisesti tavoitteita suunniteltavan tuotteen valmistuskustannuksille sekä arvioimaan tavoitteiden saavuttamista koko tuotekehitysprosessin ajan ja myös sen jo päätyttyä. Elinkaarikannattavuuden laskennan kehittämissuosituksessa määritetään puolestaan laskentamalli, jolla tuotteen kustannuksia ja tuottoja voidaan arvioida ja seurata koko tuotteen elinkaaren ajan.

ABSTRACT

Author: Joonas Raassina

Subject: Development of cost management for product development in an engineering workshop

Year: 2018 **Place:** Joensuu

Master's Thesis. Lappeenranta University of Technology, School of Engineering Science, Degree Programme in Industrial Engineering and Management, Cost Management

99 pages, 28 figures, 1 table and 5 appendixes

Examiners: Professor Timo Kärri and University Lecturer Tiina Sinkkonen

Keywords: product development, cost management, target costing, life cycle costing, modularity, Stage-Gate model, cost estimation

The objective of this thesis is to develop cost management for product development in an engineering workshop so that the case company would be able to estimate and manage the costs of the product to be developed already in the product development phase.

The constructive research approach is applied to this study. Theoretical literature, the case company's operations models and cost data, and discussions with the case company's personnel are used as research materials for this study.

As a result of this study, recommendations for the development of target costing and life cycle profitability costing are presented. In the recommendation for the development of target costing, activities were defined for each phase in the case company's product development process. These activities systematically help to set targets for the manufacturing costs of the product to be developed and assess target achievement through the product development process and after that as well. In the recommendation for the development of life cycle profitability costing, a costing model was created, which can be used to assess and monitor the costs and returns of a product through its life cycle.

ALKUSANAT

Haluan kiittää kohdeyritystä ja sen henkilökuntaa mahdollisuudesta diplomityön tekemiseen sekä avusta työn suorittamiseksi. Lisäksi haluan kiittää professori Timo Kärriä asiantuntevasta ohjauksesta ja neuvoista projektissa. Erityiskiitos kuuluu perheelleni ja läheisilleni, jotka ovat tukeneet minua koko opintopolkuni ajan.

Joensuussa 18.10.2018

Joonas Raassina

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO 6
1.1 Tausta 6
1.2 Tavoitteet ja rajaukset 7
1.3 Menetelmät ja aineisto 8
1.4 Työn rakenne 10
2 KUSTANNUSJOHTAMINEN TUOTEKEHITYKSESSÄ 11
2.1 Yleistä tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisesta 11
2.2 Tavoitekustannuslaskenta 17
2.3 Elinkaarenaikaiset tuotekustannukset ja niiden arviointi 29
2.4 Modulaarisuus 46
2.5 Stage-Gate-malli 50
2.6 Yhteenveto käsitellyistä tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmistä 58
3 TUOTEKEHITYSVAIHEEN KUSTANNUSJOHTAMISEN KEHITTÄMINEN KOHDEYRITYKSESSÄ 60
3.1 Yritysesittely 60
3.2 Laskennan nykytila 60
3.3 Tuotekehitysvaiheen tavoitekustannuslaskennan kehittäminen kohdeyrityksessä 64
3.4 Tuotekehitysvaiheen elinkaarikannattavuuslaskennan kehittäminen kohdeyrityksessä 76
3.5 Jatkokehitysehdotukset 81
4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO 84
LÄHTEET 89
LIITTEET 100

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Tämä diplomityö keskittyy kohdeyrityksen, suomalaisen konepajakonsernin, tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen kehittämiseen. Yrityksessä on viimeisten vuosien ajan aktiivisesti kehitetty tuotekehityksen ja tuotehallinnan prosesseja. Näiden kehitystoimien myötä yrityksessä on nähty yhä selvemmin tarve kehittää myös kustannusjohtamista. Tällä hetkellä yrityksellä ei ole järjestelmällistä ja koko tuotekehitysprosessin kattavaa toimintamallia tuotteen kustannusten ja kannattavuuden ennustamiseen ja arviointiin tuotekehitysvaiheessa. Järjestelmällisen toimintamallin puuttumisen seurauksena suunniteltujen tuotteiden kustannukset ovat käyneet ilmi vasta tuotannon käynnistyttyä, ja näiden tuotteiden kannattavuus on saattanut osoittautua ennakoitua heikommaksi. Yrityksen johto onkin asettanut tavoitteeksi, että kehitysvaiheessa olevien tuotteiden tulevia kustannuksia ja kannattavuuksia kyetään jatkossa ennustamaan tarkemmin ja johdonmukaisemmin. Kustannusten ja kannattavuuksien tarkastelun tulee johdon mukaan käsittää koko tuotteen elinkaari, sillä tuotteet aiheuttavat kohdeyritykselle kustannuksia valmistus- ja myyntivaiheen jälkeenkin esimerkiksi takuuvelvoitteiden vuoksi.

Tuotekehitystoiminnan haasteena on se, että tuotekehitysprosessi sitoo paljon rahaa, ennen kuin kehitettävä tuote voidaan lanseerata ja siihen kohdistuneet kehityspanokset alkavat tuottaa positiivista kassavirtaa. Lisäksi tuotekehitysprosessin tai lanseerausvaiheen aikana ei useinkaan tiedetä, kuinka markkinat ottavat tuotteen vastaan ja millainen sen myyntivolyymi tulee olemaan. (Suomala et al. 2011, s. 231) Tuotekustannusten varhaisen sitoutumisen vuoksi tuotekehitysvaiheessa on tarve tarkoituksenmukaisille kustannusarvioinnin ja -hallinnan toimenpiteille. Toisaalta perinteisesti kustannusarviointia on suoritettu vasta suunnitteluprosessin jälkeen, jolloin suurin osa mahdollisuuksista kustannusvähennyksiin on jo mennyt. Näin ollen kyky arvioida tuotekustannuksia

aikaisin tuotekehitysprosessissa on yritykselle hyödyllinen. (Weustink et al. 2000, s. 141-148)

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Diplomityön tavoitteena on kehittää kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamista niin, että yrityksessä kyetään arvioimaan ja ennustamaan tarkemmin ja järjestelmällisemmin suunniteltavien tuotteiden elinkaarikustannuksia jo niiden tuotekehitysvaiheessa. Tutkimuksen pääkysymys on seuraava: *Kuinka tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamista voidaan kehittää kohdeyrityksessä?* Pääkysymykseen liittyen tutkimuksessa käsitellään seuraavia osakysymyksiä:

- Mitä on tavoitekustannuslaskenta ja kuinka sitä voidaan soveltaa diplomityöprojektissa?
- Mitä on elinkaarilaskenta ja kuinka sitä voidaan soveltaa diplomityöprojektissa?
- Mitä menetelmiä on olemassa tuotekustannusten arvioimiseksi tuotekehitysvaiheessa ja mitä niistä voidaan soveltaa diplomityöprojektissa?

Diplomityössä esitettävät kehittämisehdotukset rajautuvat koskemaan kohdeyrityksen auto- ja teollisuusnosturiliiketoimintaa. Rajaus tehtiin, koska yrityksellä on useita tuotekategorioita ja niiden kaikkien käsittely ei olisi ollut mahdollista tämän diplomityön puitteissa. Toisaalta auto- ja teollisuusnostureiden merkitys koko kohdeyrityksen liiketoiminnalle on suuri, ja niihin keskittyvä kustannusjohtamisen kehittäminen tarjoaa hyvän lähtökohdan laajentaa kehittämistoimenpiteitä jatkossa myös yrityksen muihin tuotekategorioihin.

Työn empiirisessä osuudessa rajaudutaan tarkastelemaan kustannusten osalta välittömiä, suoraan lopputuotteelle kohdistettavissa olevia kustannuksia. Näin esimerkiksi yrityksen yleiset kiinteistökustannukset, energiakustannukset,

hallintokustannukset ja rahoituskustannukset jäävät tarkastelun ulkopuolelle. Rajaus tehtiin, jotta työssä esitetyt laskentamallit saatiin pidettyä riittävän yksinkertaisina suhteessa kohdeyrityksen tuotekehitysprosessin tarpeisiin ja resursseihin. Kustannustietojen luottamuksellisuuden takia laskentamalleja esittävissä kuvakaappauksissa ei esitetä todellisia kustannuksia.

1.3 Menetelmät ja aineisto

Olennainen osa tutkimuksen suorittamista on tutkimusotteen valinta. Kasanen et al. (1991, s. 313) mukaan tutkimusotteella viitataan tutkijan metodologisiin perusratkaisuihin, jotka liittyvät filosofisiin sitoumuksiin ja tutkimuksessa käytettyihin metodeihin. Neilimo ja Näsi (1980, s. 26-31) esittävät liiketaloudellisiin tutkimusotteisiin liittyen nelijakoisen typologian, johon sisältyvät käsiteanalyyttinen, päätöksentekometodologinen, toiminta-analyyttinen sekä nomoteettinen tutkimusote. Näiden ohella Kasanen et al. (1991, s. 301-327) tuovat esiin konstruktiivisen tutkimusotteen olemassaolon liiketaloustieteen kontekstissa. Tässä diplomityössä sovelletaan konstruktiivista tutkimusotetta.

Yleisesti ottaen konstruktiivisella tutkimuksella tarkoitetaan ongelmanratkaisua esimerkiksi mallin, kuvion, suunnitelman, organisaation tai koneen rakentamisen avulla. Liiketaloustieteessä konstruktioita ovat esimerkiksi uusi taloudellinen ohjausjärjestelmä tai uusi rahoitusinstrumentti. Kuvassa 1 havainnollistetaan konstruktiivisen tutkimuksen luonnetta; konstruktiivisen tutkimuksen osat ovat ongelman käytännön relevanssi, kytkentä teoriaan, ratkaisun käytännön toimivuus sekä ratkaisun teoreettinen uutuusarvo. Näitä elementtejä voidaan havaita määritelmässä, jonka mukaan

- konstruktiivinen tutkimus tuottaa innovatiivisen ja teoreettisesti perustellun ratkaisun käytännön kannalta relevanttiin ongelmaan
- konstruktiivisen tutkimuksen tuloksen on todettu toimivan käytännössä
- konstruktiivisen tutkimuksen tulos voidaan osoittaa mahdollisesti toimivaksi myöskin laajemmalti. (Kasanen et al. 1991, s. 301-316)

Tässä diplomityössä pyritään tuottamaan ratkaisu käytännön kannalta relevanttiin ongelmaan eli kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen kehittämiseen. Diplomityön teoreettisessa osuudessa esitetään laadittavan ratkaisun teoreettinen perusta. Tätä teoreettista perustaa ja kohdeyrityksen sisäistä informaatiota sekä toimintamalleja soveltamalla tässä tutkimuksessa pyritään löytämään innovatiivinen ratkaisu asetettuun tutkimusongelmaan. Esitetyllä ratkaisulla voidaan nähdä olevan myös teoreettista uutuusarvoa, sillä siinä yhdistellään ja sovelletaan kirjallisuudessa aiemmin esitettyjä teorioita kohdeyrityksen yksilölliseen ongelmaan. Toisaalta tässä diplomityössä esitetyt ratkaisut ovat vain kohdeyritykselle laadittuja suosituksia. Ne on laadittu juuri kohdeyrityksen tarpeisiin, ja niiden laatimista on edeltänyt huolellinen tutustuminen kohdeyrityksen nykytilaan ja haasteisiin. Kuitenkaan esitettyjä suosituksia ei tämän diplomityön puitteissa testata käytännössä vaan testaaminen jää kohdeyrityksessä toteutettavaksi jatkotoimenpiteeksi. Esitettyjä suosituksia voidaan testaamisen myötä jatkokehittää havaittujen kokemusten perusteella.

Kuva 1. Konstruktiivisen tutkimuksen osat (mukaillen Kasanen et al. 1991, s. 305-306)

Diplomityön teoreettisessa osuudessa aineistona käytetään pääasiallisesti kustannusjohtamisen alan tieteellisiä artikkeleita sekä oppikirjoja. Työn empiirisessä osuudessa keskeisenä aineistona puolestaan ovat kohdeyrityksen olemassa olevat toimintamallit ja -prosessit, yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä saatu data sekä työn kannalta keskeisten henkilöiden kanssa käydyt keskustelut.

1.4 Työn rakenne

Tämän diplomityön rakennetta havainnollistetaan kuvassa 2. Työ jakaantuu kahteen päälukuun, teoreettiseen ja empiiriseen osuuteen. Luvussa 2 käsitellään kirjallisuudessa esitettyä teoriaa tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisesta. Luku alkaa tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen yleisesittelyllä. Tämän jälkeen esitellään tarkemmin diplomityön kannalta keskeiset tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmät. Näitä menetelmiä ovat tavoitekustannuslaskenta, elinkaarilaskenta, modulaarisuus sekä Stage-Gate-malli.

Luvussa 3 puolestaan kuvataan diplomityön empiiristä tutkimusta. Luku alkaa kohdeyrityksen ja sen liiketoiminnan yleisesittelyllä. Tämän jälkeen kuvaillaan kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen lähtötilannetta ennen tutkimuksen alkua. Tätä seuraa tutkimuksessa kohdeyrityksen tarpeisiin laadittujen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen kehityssuositusten esittely. Suositukset käsittävät kohdeyrityksen tavoitekustannuslaskennan sekä elinkaarikannattavuuden laskennan kehittämisen. Luvun lopuksi esitetään tutkimukseen liittyviä jatkokehitysehdotuksia. Diplomityön teoreettista ja empiiristä osuutta seuraa luku 4, jossa esitetään diplomityön johtopäätökset ja yhteenveto.

Kuva 2. Diplomityön eteneminen

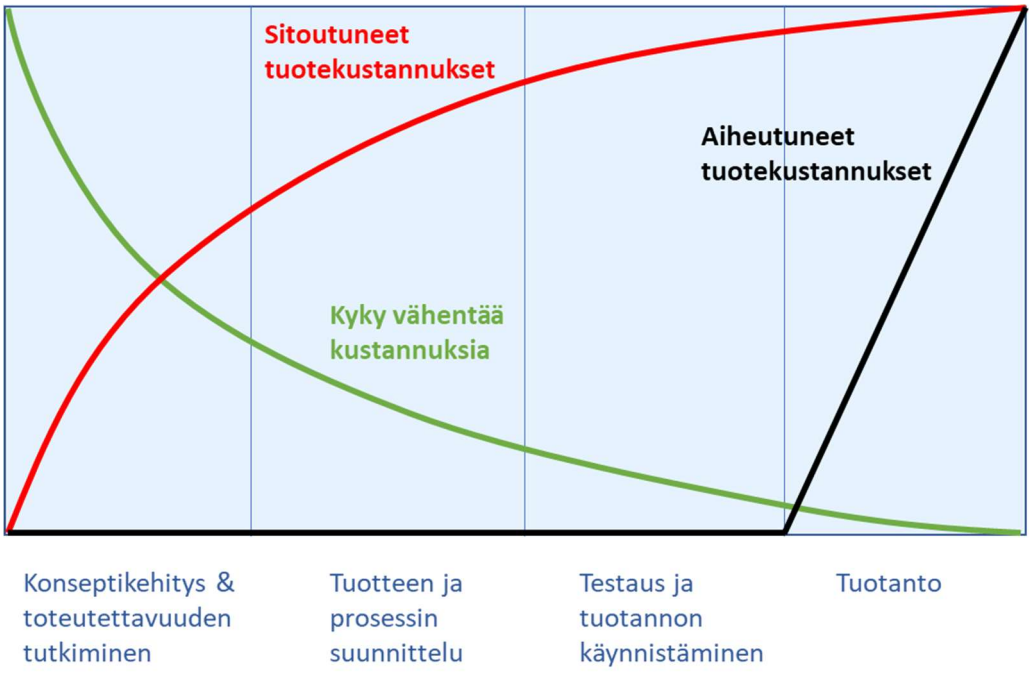
2 KUSTANNUSJOHTAMINEN TUOTEKEHITYKSESSÄ

2.1 Yleistä tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisesta

Tuotekehitys voidaan määritellä joukoksi toimintoja, jotka ulottuvat markkinoilla olevan mahdollisuuden havaitsemisesta tuotteen tuotantoon, myyntiin ja toimittamiseen (Ulrich & Eppinger 2012, s. 2). Laajemman määrittelyn mukaan uuden tuotteen kehittäminen (new product development) sisältää yrityksen toimintoja, jotka johtavat ajan mittaan uusien tai muuttuneiden markkinoille tuotujen tuotteiden virtaan. Näitä ovat mahdollisuuksien luominen, niiden valinta sekä niiden muuntaminen tuotteisiksi ja palveluiksi, joita tarjotaan asiakkaille sekä itse tuotekehitystoiminnoissa tapahtuvien parannusten vakiinnuttaminen. (Loch & Kavadias 2008, s. 3) Kustannusjohtaminen taas viittaa toimintoihin, joita yrityksen johto ryhtyy tekemään käyttääkseen resursseja tavalla, joka lisää tuotteen arvoa asiakkaille ja saavuttaa organisaation tavoitteet. Kustannusjohtamisessa ei olekaan kyse ainoastaan kustannusten vähentämisestä vaan siihen sisältyy myös päätöksenteko uusien kustannustekijöiden luomisesta esimerkiksi asiakastyytyväisyyden tai laadun parantamiseksi ja uusien tuotteiden kehittämiseksi tavoitteena lisätä liikevaihtoa ja tuottoa. Myös päätökset uusille markkinoille menemisestä, uusien organisationaalisten prosessien käyttöönotosta sekä tuotesuunnitteluiden muuttamisesta ovat kustannusjohtamiseen kuuluvia päätöksiä. (Datar & Rajan 2017, s. 3) Toisaalta kustannusjohtamisen voidaan nähdä olevan kohdistettua ja systemaattista kustannusten ohjailua. Pyrkimys on vaikuttaa tuotteiden, prosessien sekä resurssien kustannuksiin käyttämällä konkreettisia mittareita niin, että yritys saavuttaa asianmukaisen menestyksen ja sen kilpailulliset vahvuudet parantuvat jatkossa. (Franz & Kajüter 1997) Näiden määritelmien perusteella kustannusjohtamisen ja tuotekehityksen välillä voidaan nähdä selvä yhteys; uuden tuotteen kehittäminen on yritykseltä paitsi prosessi myös merkittävä taloudellinen panostus, jonka tavoitteena on kilpailullisen ja taloudellisen menestyksen parantaminen. Ehrlenspiel et al. (2007, s. 2) mukaan kustannusjohtaminen on välttämätön lisä innovatiivisten ja suorituskykyisten tuotteiden kehityksessä. Yhdenkään yrityksen kohdalla selviytyminen ei ole

mahdollista ainoastaan vähentämällä kustannuksia tai toisaalta tekemällä tuote liian kalliiksi ylisuunnittelemalla (overengineering).

Kustannusjohtamisen merkitys nimenomaan tuotekehitysvaiheessa on olennainen. Tyypillisesti tuotteen konseptin ja arkkitehtuurin suunnitteluun perustuen sitoutuu 60-70 prosenttia tuotteen kustannuksista tai elinkaarikustannuksista. Siihen ajankohtaan mennessä, kun tuote on suunniteltu ja sen valmistusprosessi on kehitetty, on puolestaan sitoutunut 85-90 prosenttia tuotteen kustannuksista tai elinkaarikustannuksista. Mahdolliset toiminnot, jotka liittyvät valmistusprosessiin, automaatioon sekä yleis- ja hallintokustannuksiin vaikuttavat ainoastaan jäljellä oleviin 10-15 prosenttiin tuotteen kustannuksista. (Crow 2016) Näitä säännönmukaisuuksia havainnollistetaan kuvassa 3.



Kuva 3. Kustannusten sitoutuminen ja aiheutuminen tuotteen kehitys- ja tuotantovaiheissa (mukaillen Crow 2016)

Yrityksen tekniset suunnitteluosastot (tuotekehitys ja tuotannonsuunnittelu) asettavat keskimäärin 90 prosenttia tuotekustannuksista. Huomionarvoista on valtavan suuri ero tuotekehitysosaston vastuussa tuotteen kustannusten

muodostumisesta ja osaston itse luomissa kustannuksissa, jotka ovat keskimäärin noin kahdeksasosa tuotteen kokonaiskustannuksista. Tuotteen kokonaiskustannusten vähentämiseksi ei olekaan järkeä vähentää tuotekehityshenkilökuntaa. Sen sijaan tulisi muodostaa ryhmä ammattitaitoista tuotekehityshenkilökuntaa, jotka kattavat omat kustannuksensa moninkertaisesti hyödyntämällä kustannusjohtamisen keinoja. Yrityksen suurimmat kustannukset taas toteutuvat tuotantovaiheessa ja materiaalihankinnoissa. Tuotanto ja hankintatoimi tulisi olla integroitu suunnittelu- ja kehitystyöhön heti alussa, sillä osatuotannon ja kokoonpanoprosessien optimointi on tehokkainta tuotteen suunnitteluvaiheessa. Näin tietotaito ja yrityskohtaiset teknologiset rajoitteet sisällytetään tuotekehitysprosessiin. (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 12-13)

Tuotekustannusten merkittävä sitoutuminen tuotekehitysvaiheessa ja toisaalta tuotekehitysvaiheeseen liittyvät epävarmuustekijät voidaan nähdä huomattavina haasteina tuotekehitysvaiheessa ja sen kustannusjohtamisessa. Iansiti (1998, s. 4) esittää, että siinä vaiheessa, kun organisaatio on sitoutunut tulevan tuotteen konseptiin, suurin osa mahdollisuuksista muutoksiin ja parannuksiin projektissa on poissa. Esimerkiksi, jos tuote on vaikea valmistaa tai sopimaton haluttuun käyttötarkoitukseen, projekti ajautuu ongelmiin – huolimatta siitä, kuinka hyvin integroitunut projektitiimi on tai kuinka vaikutusvaltainen projektin johtaja on. Bescherer (2007, s. 15) taas toteaa, että vaikka innovaatiotoiminnan varhaisimmat vaiheet antavat loistavan mahdollisuuden parantaa kokonaisvaltaista innovaatiotehokkuutta, kun ideoita voidaan muuttaa korkealaatuisiksi ehdotuksiksi ja suunnitelmiksi, kääntöpuolena on, että epävarmuudet ovat korkeampia näissä innovaation ja suunnittelun varhaisissa vaiheissa.

Tuotekustannusten sitoutumisen ja epävarmuuden ohella tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamiseen voidaan liittää useita muitakin haasteita. Ehrlenspiel et al. (2007, s. 21-22) jaottelevat tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamiseen liittyvät ongelmat kolmeen luokkaan: johtaminen, informaation saatavuus sekä menetelmien ja työkalujen käyttö.

Johtamiseen liittyviä ongelmia ovat henkilöstöjohtaminen, organisaation konfiguroiminen sekä työntekijäkapasiteetin suunnittelu. Yrityksen menestys riippuu pitkälti sen työntekijöiden laadusta sekä motivaatiosta, ja henkilöstöjohtamisen tehtävänä onkin täyttää jokainen työtehtävä sopivilla työntekijöillä. Lisäksi henkilöstöjohtamisen tulee kyetä mahdollisimman hyvin hyödyntämään käytettävissä olevan henkilöstön kyvyt ja tarjota heille inspiraatiota. Organisaation konfiguroimisella taas viitataan siirtymään perinteisestä, laajasti hierarkkisesta organisaatiosta kohti tuotelähtöistä organisaatiorakennetta tai matriisiorganisaatiota. Hierarkkisen organisaatiorakenteen on havaittu vaikeuttavan organisaation osastojen välistä epämuodollista viestintää, joka on välttämätöntä monimutkaisten teknisten järjestelmien kehittämisessä ja tuotannossa. Lisäksi markkinointi-, tuotekehitys- ja tuotanto-osastojen tiukka erottelu vaikeuttaa niiden työntekijöiden työskentelyä, jotka kaikki työskentelevät saman tehtävän parissa. Nämä ongelmat vaikeuttavat tehokkaan kustannusjohtamisen toteuttamista suunnittelu- ja kehitysvaiheessa. Vahvemmin tuoteorientoituneessa organisaatiorakenteessa eri erikoisalojen työntekijät on asetettu samaan määriteltyyn tuotekehitystiimiin ja he työskentelevät fyysisesti samassa paikassa, mikä parantaa organisaation sisäistä tiedonkulkua. Organisaatiorakenteen ohella kustannusjohtamiseen tähtäävien toimenpiteiden tärkeänä tavoitteena on luoda kustannusongelmista haaste yrityksen jokaiselle yksittäiselle työntekijälle. Tuotekehitysvaiheen kustannusjohtaminen vaatii myös työntekijäkapasiteetin suunnittelua, sillä kustannushallinnan menetelmien suunnittelu ja toteuttaminen lisäävät työntekijöiden ajankäyttöä. Tämä lisätyöaika tulee olla ennakkoon suunniteltu ja asiaankuuluvien työntekijöiden käytettävissä. (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 22-25)

Informaation saatavuuteen liittyviä haasteita ovat kommunikaation parantaminen, kustannusinformaation valmistelu ja esittäminen sekä tuotekehitysinsinöörien kouluttaminen. Nämä kolme tekijää pyrkivät kehittämään kustannustietoisuutta yrityksessä. Useimmissa yrityksissä kustannustenhallinnan, tuotannon ja hankintatoimen henkilöstö, jolla on paras osaaminen kustannuksiin liittyen, osallistuu vain vähän, jos lainkaan, tuotekehitysprosessiin. Toisaalta

tuotekehitysinsinööreillä ei useinkaan ole tarkkaa tietoa kustannuksista, sillä kustannukset on pidetty useissa yrityksissä viime vuosiin saakka salassa. Yleisen avoimuuden ja yhteistyön ilmapiirin kehittäminen yrityksessä onkin tärkeä askel edistettäessä kustannustehokkaiden tuotteiden kehittämistä. Kustannusinformaation esittämiseen liittyvä keskeinen haaste on se, että erityisesti tuotekehityksen alkuvaiheessa kustannuksia on vaikeaa arvioida luotettavasti. Kustannusten arviointi tuotekehitysprosessin aikana on kuitenkin olennaista, jotta mahdolliset poikkeamat määritetyistä kustannustavoitteista havaitaan ja niihin voidaan puuttua. Kustannusten arviointia käsitellään tarkemmin luvussa 2.3. Tuotekehitysinsinöörien kouluttamista taas vaaditaan, sillä perinteisesti heillä on vain vähän tietämystä kustannuksista. Tietämystä koskevat vaatimukset vaihtelevat riippuen henkilön vastuualueesta. Tiettyyn yksityiskohtaan erikoistuneen suunnittelijan tulisi tietää ne kustannuslajit, jotka vaikuttavat valmistuskustannuksiin ja kuinka ne saattavat muuttua suunnittelun aikana. Sen sijaan suunnitteluryhmän johtajan tulisi ymmärtää laajemmin erilaisia kustannuslaskennan tyyppejä, kannattavuutta ja elinkaarikustannuksia. (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 25-104)

Menetelmien ja työkalujen käyttöön liittyvänä ongelmana on se, että vaikka vuosien mittaan on kehitetty monia tehokkaita kustannusjohtamisen menetelmiä, vain muutamat niistä on tosiasiallisesti otettu yleiseen käyttöön teollisuudessa. Näiden menetelmien tuntemuksessa esiintyy vakavia puutteita, ja useimmiten hyödynnetään lähinnä muodissa olevia menetelmiä. Menetelmien käyttöönotto on myös usein sattumanvaraista, eikä kontekstia, jossa menetelmää tulisi soveltaa, täysin ymmärretä. Epäonnistumiset ovatkin ilmeisiä, mikä vuorostaan lisää vastustusta näitä menetelmiä kohtaan. Menetelmät tuleekin valita juuri yrityksen tarpeisiin pohjautuen ja sovittaa kuhunkin tilanteeseen. Käyttäjien tulee myös saada asianmukaista tukea tutustuessaan menetelmiin, sillä ne opitaan koulutuksen ja käytännön myötä. (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 26-27)

Tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen toimintoihin liittyy myös useita keskinäisiä riippuvuuksia ja siten valintatilanteita (trade-off), joita täytyy

ymmärtää. Ensinnäkin tuotekehityskustannukset ja uuden tuotteen yksikkökustannukset saattavat vaikuttaa toisiinsa. Matalampien yksikkökustannusten saavuttaminen saattaa aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia tuotekehitystyön lisääntymisen myötä. Toinen valintatilanne voi syntyä siinä, johdetaanko tuotteen yksikkökustannusta tuotteen kehitysvaiheessa vai johdetaanko yksikkökustannusta jälkikäteen tuotteen valmistusvaiheessa. Mahdollisuuksia kustannusjohtamisen toimenpiteiden suorittamiselle tuotteen kehitysvaiheessa voivat rajoittaa esimerkiksi tuotekehitysprosessin läpimenoajalle asetetut vaatimukset. Kolmanneksi kustannusten johtaminen liittyy kokonaisuutena myös tuotteen muiden ominaisuuksien hallintaan. Tähän liittyvät valintatilanteet tuotteen yksikkökustannusten, tuotekehityskustannusten, markkinoilletuontiajan, toiminnallisuuden sekä suorituskyvyn välillä. Neljäs valintatilanne saattaa syntyä, kun useita tuotekehitysprojekteja suoritetaan samanaikaisesti. Tällöin resurssien käyttäminen yhteen projektiin saattaa johtaa siihen, että resursseja kulutetaan vähemmän muihin projekteihin. (Wouters & Morales 2014, s. 264-265)

Kuten ylempänä todettiin, tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamiseen on useita menetelmiä. Tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmät voidaan yleisesti määritellä muodollisiksi proseduureiksi ja järjestelmiksi, joita käytetään tuotekehitykseen liittyvien organisationaalisten toimintojen suunnitteluun ja raportointiin (Wouters & Morales 2014, s. 262). Kirjallisuudessa listauksia erilaisista tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmistä ovat esittäneet ainakin Ehrlenspiel et al. (2007, s. 65-67), Wouters ja Morales (2014, s. 266-267) sekä Wouters et al. (2016, s. 142-143). Diplomityön aiheesta ja rajauksesta johtuen työssä rajaudutaan tarkastelemaan neljää työn empiirisen osuuden kannalta keskeisintä menetelmää: tavoitekustannuslaskenta (luku 2.2), elinkaarilaskenta (luku 2.3), modulaarinen suunnittelu (luku 2.4) sekä Stage-Gate-malli (luku 2.5). Menetelmät on valittu niin, että ne tukevat työn empiirisessä osuudessa kohdeyritykselle laadittuja kehityssuosituksia ja toisaalta kytkeytyvät kohdeyrityksen valmiiksi soveltamiin toimintamalleihin.

2.2 Tavoitekustannuslaskenta

Tavoitekustannuslaskenta (target costing) on työkalu tuotekehityksen aikana tapahtuvaan kustannustenhallintaan (Filomena et al. 2005, s. 12). Se sai alkunsa 1960-luvulla Japanissa mutta tuli laajempaan tietoisuuteen japanilaisten yritysten merkittävänä kilpailutekijänä vasta 1980-luvulla. Sittemmin monet suuryritykset niin Pohjois-Amerikassa kuin Euroopassakin ovat pyrkineet ottamaan tavoitekustannuslaskennan käyttöön kasvattaakseen kilpailukykyään. Laajan käytön myötä tavoitekustannuslaskennasta on syntynyt useita variaatioita. (Feil et al. 2004, s. 10)

Tavoitekustannuslaskennan konseptin laajuus voidaan havaita myös sitä koskevien erilaisten määritelmien suuresta lukumäärästä (Feil et al. 2004, s. 11-12). Cooper ja Slagmulder (1997, s. 5-10) määrittelevät tavoitekustannuslaskennan olevan jäsentynyt lähestymistapa sen kustannuksen määrittämiseksi, jolla tuote tulee valmistaa, jotta tuotteen elinkaaren aikana saavutetaan haluttu kannattavuustaso, kun tuotetta myydään sen ennakoidulla myyntihinnalla. Määritelmä liittyy Cooperin ja Slagmulderin esittämään yrityksen selviytymiskolmion konseptiin, johon kuuluu kolme ulottuvuutta: toiminnallisuus, kustannus/hinta ja laatu. Ainoastaan tuotteilla, jotka toteuttavat näiden kolmen ulottuvuuden suhteen asiakkaan vaatimukset, on mahdollisuus menestyä.

Tavoitekustannuslaskennan taustalla on seuraava yhtälö:

$$Tavoitekustannus = tavoitemyyntihinta - tavoiteltu\ katetuotto \quad (1)$$

Tämä sinänsä yksinkertainen ajatus kätkee kuitenkin taakseen varsin monimutkaisen käytännön. (Cooper & Slagmulder 1997, s. 85) Tämä käy ilmi tavoitekustannuslaskennan prosessin kuvauksessa, joka on esitetty jäljempänä.

Tavoitekustannuslaskenta voidaan myös määritellä prosessina, jossa asetetaan tavoitekustannus tuotteille aikaisessa tuotekehitysvaiheessa ja tuetaan tämän

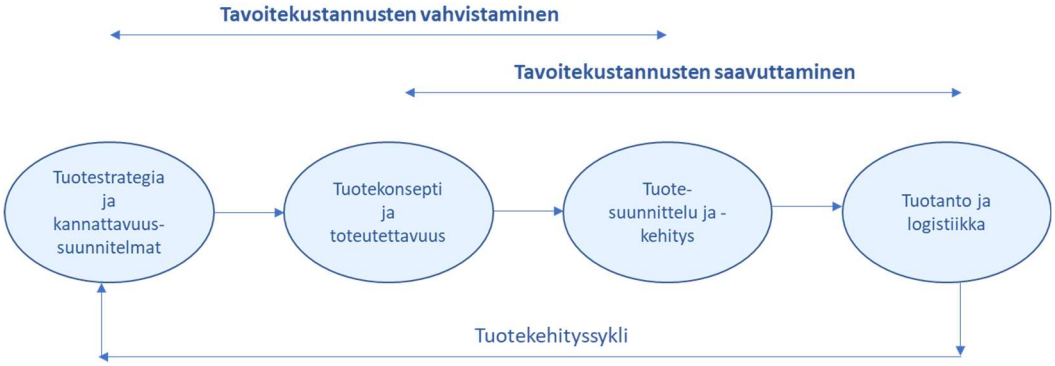
tavoitekustannuksen saavuttamista tuotekehitysprosessin aikana tarjoamalla tavoitekustannusinformaatiota tuotekehitystiimille. Informaation tarkoituksena on motivoida tuotekehitystiimiä toteuttamaan uusien tuotteiden kustannusjohtamista varmistaen markkinoille tuotavien tuotteiden kannattavuus. (Everaert et al. 2006, s. 238) Edellä esitetty määritelmä korostaa tavoitekustannuslaskennan asemoitumista tuotekehitysvaiheeseen. Toisaalta Shank ja Fisher (1999, s. 74-75) esittävät, että ei ole olemassa käsitteellistä perustetta sille, etteikö tavoitekustannuslaskennan metodologiaa voitaisi soveltaa myös jo olemassa oleviin tuotteisiin. Heidän mukaansa tavoitekustannuslaskentaa voidaan soveltaa tuotteen elinkaarella myös valmistusvaiheissa ja monilla teollisuudenaloilla myöhempänä tuotteen elinkaarta suoritettu tavoitekustannuslaskenta saattaa yhä tuoda lisäarvoa. Myös Ansari et al. (1997, s. 11) toteavat tavoitekustannuslaskennan soveltavan kustannusjohtamista läpi tuotteen elinkaaren. Kato (1993, s. 36) taas esittää, että tavoitekustannuslaskenta ei oikeastaan ole kustannuslaskennan muoto vaan enemmänkin kokonaisvaltainen ohjelma kustannusten vähentämiseksi, joka alkaa jo ennen kuin yrityksellä on suunnitelmia uudesta tuotteesta.

Kaksi kirjallisuudessa usein siteerattua tavoitekustannuslaskennan mallia ovat Cooperin ja Slagmulderin (1997, s. 71-162; 1999, s. 23-33) sekä Ansari et al. (1997, s. 20-28) esittämät mallit. Cooper ja Slagmulder jakavat tavoitekustannuslaskennan prosessin kolmeen elementtiin, jotka ovat markkinalähtöinen kustannuslaskenta, tuotetason tavoitekustannuslaskenta sekä komponenttitason tavoitekustannuslaskenta. Nämä vaiheet on esitetty kuvassa 4.

Kuva 4. Tavoitekustannuslaskennan elementit (mukaillen Cooper & Slagmulder 1999, s. 24)

Ansari et al. taas jakavat tavoitekustannuslaskennan prosessin kahteen päävaiheeseen, jotka ovat tavoitekustannusten vahvistaminen sekä

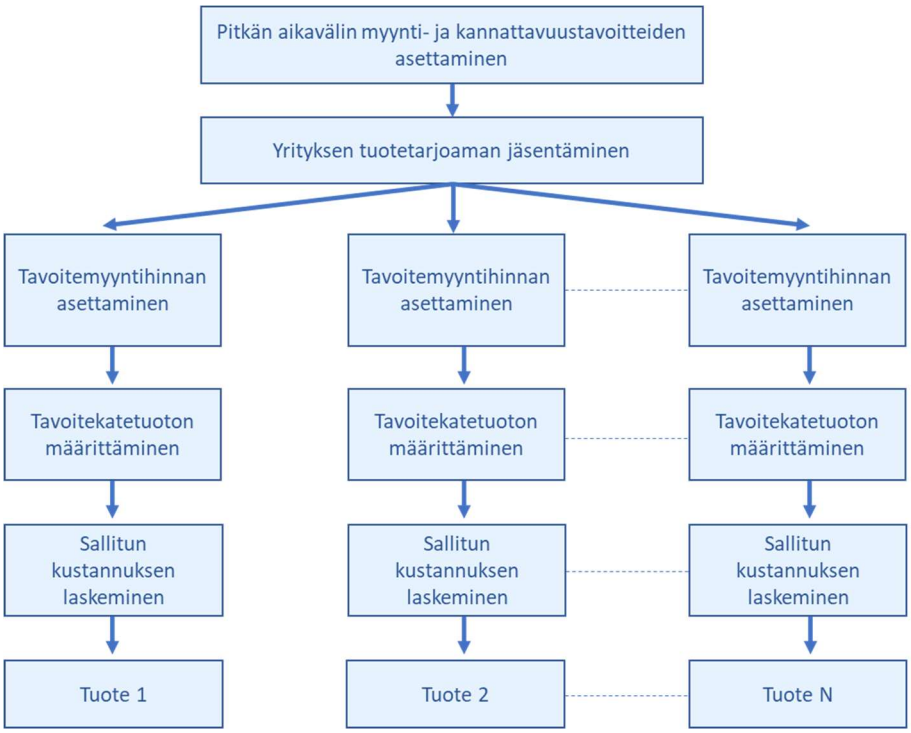
tavoitekustannusten saavuttaminen. Nämä vaiheet ja niiden sitoutuminen tuotekehityssykliin on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Tavoitekustannuslaskennan prosessi ja sen sitoutuminen tuotekehityssykliin (mukaillen Ansari et al. 1997, s. 24)

Cooper ja Slagmulder (1997, s. 87-106; 1999, s. 24-27) jakavat markkinalähtöisen kustannuslaskennan edelleen viiteen vaiheeseen, jotka on esitetty kuvassa 6. Ensimmäisessä vaiheessa asetetaan yrityksen pitkän aikavälin myynti- ja kannattavuustavoitteet. Toisessa vaiheessa jäsennetään yrityksen tuotetarjoama niin, että tarjoama tyydyttää mahdollisimman monta asiakasta mutta ei kuitenkaan sisällä niin paljon tuotteita, että se olisi asiakkaalle vaikea hahmottaa. Kolmannessa vaiheessa asetetaan tuotteen tavoitemyyntihinta. Hinnanasetantaa ohjaa asiakkaan kokema arvo; hinnoittelussa tulee tunnistaa, millaista arvoa asiakas kokee tuotteesta suhteessa edeltäviin tuotteisiin sekä kilpaileviin tuotteisiin. Neljännessä vaiheessa määritellään tuotteen tavoiteltu katetuotto, missä tavoitteena taas on varmistaa yrityksen pitkän aikavälin kannattavuussuunnitelman toteutuminen. Markkinalähtöisen kustannuslaskennan viimeisessä vaiheessa, tuotteen sallitun kustannuksen (allowable cost) laskennassa, määritetään yksinkertaisesti aiemmissa vaiheissa määriteltyjen tavoitemyyntihinnan sekä tavoitekatetuoton erotus. Tässä vaiheessa yrityksen tulee ymmärtää kaksi kriittistä asiaa. Ensinnäkin, sallittu kustannus perustuu realistisiin, pitkän aikavälin kannattavuustavoitteisiin heijastellen näin yrityksen suhteellista kilpailullista asemaa. Näin ollen sallittu kustannus ei ole vertailukohta, jota yritys voisi käyttää verratessaan itseään kilpailijoihinsa. Jos sallittujen kustannusten halutaan toimivan vertailukohtana,

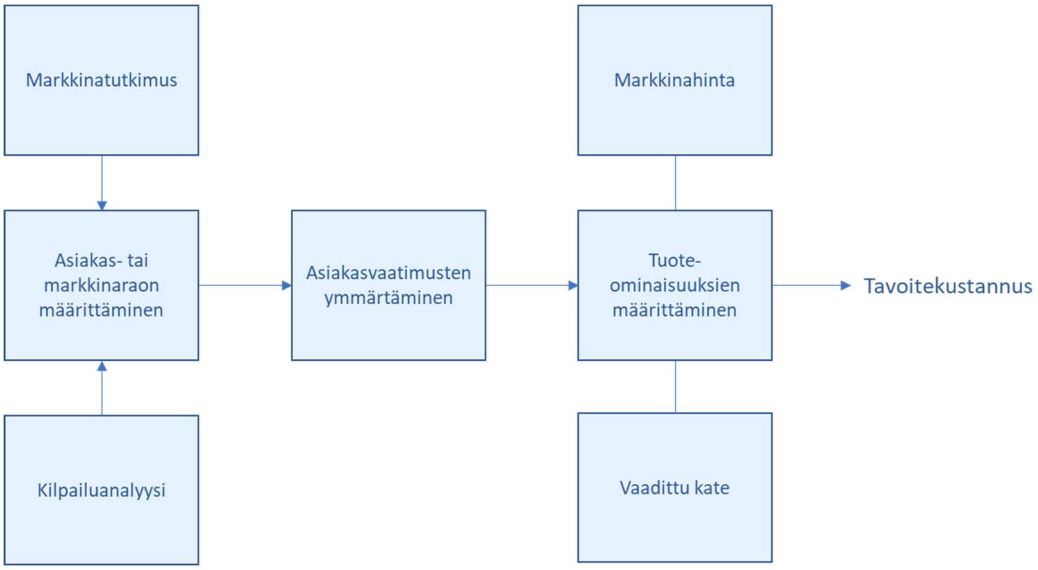
tavoitekatetuotot tulisi asettaa niin, että ne heijastelevat tehokkaimman kilpailijan kyvykkyyksiä. Toisekseen, sallittu kustannus ei ota huomioon sitä, kuinka kykeneviä yrityksen tuotesuunnittelijat tai tavarantoimittajat ovat vähentämään kustannuksia. Tämän seurauksena yritys ei välttämättä pysty tuotesuunnittelu- ja tuotantovaiheessa todella saavuttamaan sallittuja kustannuksia.



Kuva 6. Markkinalähtöisen kustannuslaskennan vaiheet (mukaillen Cooper & Slagmulder 1999, s. 25)

Markkinalähtöistä kustannuslaskentaa vastaa Ansari et al. (1997, s. 24-25) mallissa pitkälti mallin ensimmäinen vaihe, tavoitekustannusten vahvistaminen, joka on esitetty kuvassa 7. Tavoitekustannusten vahvistaminen jakautuu edelleen seitsemään päätoimintoon. Markkinatutkimus tarjoaa tietoa asiakkaiden vielä tunnistamattomista tarpeista. Tätä tutkimusta käytetään määrittelemään markkinarako, jota yritys voi hyödyntää. Kilpailuanalyysissä taas tarkastellaan markkinoilla olevia kilpailijoiden tuotteita, asiakkaiden mielipiteitä näistä tuotteista sekä kilpailijoiden mahdollisia reaktioita yrityksen uusiin tuotejulkaisuihin. Markkinatutkimusta ja kilpailuanalyysiä seuraa asiakas- tai markkinaraon määrittäminen, joka viittaa markkina- ja kilpailijainformaation analysointiin.

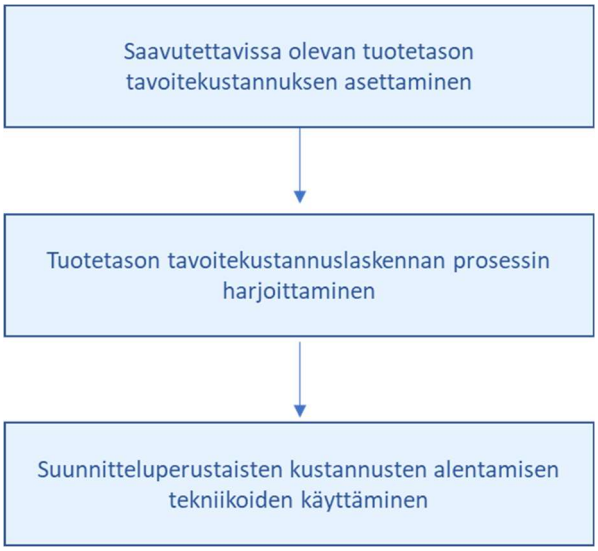
Analyysiä käytetään päätettäessä, mitä asiakassegmenttiä tavoitellaan. Seuraava päätoiminto on asiakasvaatimusten ymmärtäminen. Asiakasvaatimukset sisältävät asiakkailta tulevaa, tuotteisiin liittyvää tietoa. Asiakkailta pyydetään jatkuvaa palautetta, jota hyödynnetään asiakasvaatimusten täyttämisessä. Viides päätoiminto on tuoteominaisuuksien määrittäminen. Tuoteominaisuuksia määritettäessä asetetaan erikoisvaatimuksia tuotteen ominaisuuksille ja niiden suorituskyvylle, kuten luotettavuudelle, korjaustarpeelle ja korjauksen helppoudelle. Tuoteominaisuuksien määrittämiseen ovat sidoksissa kuudes ja seitsemän päätoiminto, markkinahinnan ja vaaditun katteen määrittäminen. Markkinahinta on sellainen hinta, joka on asiakkaiden näkökulmasta hyväksyttävä ja kestää kilpailua. Vaadittu kate taas tyypillisesti määritellään liikevoittoprosenttina (return on sales). Liikevoittoprosentissa tulee ottaa huomioon yrityksen pitkäaikaiset kannattavuussuunnitelmat ja haluttu pääoman tuotto.



Kuva 7. Tavoitekustannusten vahvistaminen (mukaillen Ansari et al. 1997, s. 25)

Markkinalähtöistä kustannuslaskentaa seuraa Cooperin ja Slagmulderin (1999, s. 27-30) mallissa tuotetason tavoitekustannuslaskenta, joka jakautuu edelleen kolmeen askeleeseen. Nämä askeleet on esitetty kuvassa 8. Ensimmäisessä askeleessa asetetaan saavutettavissa oleva tuotetason tavoitekustannus. Tuotetason tavoitekustannus saadaan vähentämällä nykyisestä kustannuksesta tavoiteltu kustannusvähennys. Nykyisellä kustannuksella viitataan kustannukseen, joka

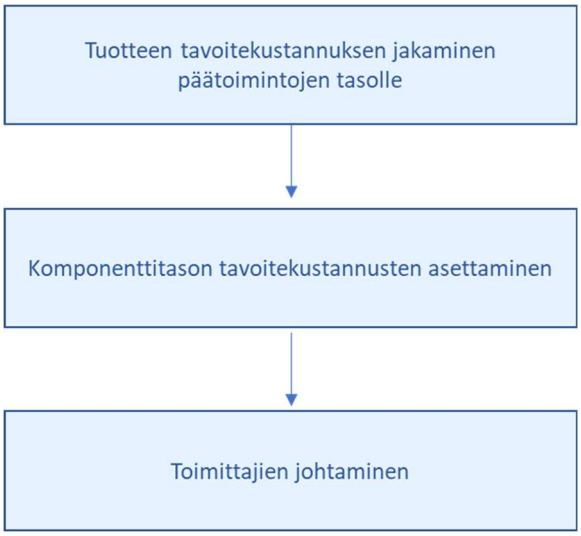
saadaan määrittämällä, paljonko uuden tuotteen valmistaminen maksaisi tämänhetkisillä valmistuskustannuksilla, olettaen, että mihinkään toimiin kustannusten vähentämiseksi ei ole ryhdytty. Tavoiteltu kustannusvähennys puolestaan saadaan vähentämällä nykyisestä kustannuksesta tuotteen sallittu kustannus. Osa tuotteen kustannusvähennystavoitteesta voi olla mahdotonta saavuttaa; tätä saavuttamatonta osaa kutsutaan strategiseksi kustannusvähentämisen haasteeksi ja se saadaan vähentämällä tuotetason tavoitekustannuksesta sallittu kustannus. Strateginen kustannusvähentämisen haaste tunnistaa kannattavuusvajeen, joka ilmenee, kun tuotesuunnittelijat eivät kykene saavuttamaan sallittua kustannusta. Tämä viestittää, että yrityksen tehokkuus ei ole kilpailullisten olosuhteiden vaatimalla tasolla. Tuotetason tavoitekustannuslaskennan toisessa askeleessa alkaa varsinainen tuotetason tavoitekustannuslaskennan prosessin harjoittaminen. Tässä askeleessa suunnitellaan tuote niin, että se voidaan valmistaa määritellyllä tavoitekustannuksella. Suunnittelutyötä ohjaa tavoitekustannuslaskennan pääsääntö, jonka mukaan asetettua tavoitekustannusta ei saa koskaan ylittää. Suunnittelujohtajan ja hänen esimiestensä on jatkuvasti seurattava suunniteltavan tuotteen kustannuskehitystä, jotta yritys voi tehdä mahdollisia korjaavia toimenpiteitä niin aikaisin kuin mahdollista ja varmistaa, ettei tavoitekustannusta ylitetä. Kolmas askel tuotetason tavoitekustannuslaskennassa on suunnitteluperustaisten kustannusten alentamisen tekniikoiden käyttäminen tuotteen kustannusten alentamiseksi tavoitetasolle. Näitä tekniikoita ovat esimerkiksi arvoanalyysi (Value Engineering), Design for Manufacture and Assembly -menetelmä (DFMA) sekä Quality Function Deployment -menetelmä (QFD). Arvoanalyysi on monitieteellinen lähestymistapa tuotesuunnitteluun, jossa pyrkimyksenä on asiakasarvon maksimointi kasvattamalla toiminnallisuutta ja laatua vähentäen samalla kustannuksia. DFMA puolestaan keskittyy vähentämään kustannuksia auttamalla suunnittelijoita luomaan tuotteita, jotka ovat aikaisempaa helpommin kokoonpantavissa tai valmistettavissa. QFD taas tarjoaa jäsentyneen menetelmän asiakasvaatimusten huomioimiseksi suunnitteluprosessissa.



Kuva 8. Tuotetason tavoitekustannuslaskenta (mukaillen Cooper & Slagmulder 1999, s. 27)

Kolmantena ja viimeisenä elementtinä Cooperin ja Slagmulderin (1999, s. 30-33) mallissa on komponenttitason tavoitekustannuslaskenta, joka jakaantuu kolmeen askeleeseen. Nämä on esitetty kuvassa 9. Ensimmäisessä askeleessa tuotetason tavoitekustannus jaetaan tuotteen päätoimintojen tasolle. Päätoiminnot ovat osakokonaisuuksia, jotka rakentavat tuotteen toiminnallisuutta, kuten moottori, voimansiirto tai jäähdytysjärjestelmä. Päätoimintojen tunnistamisen myötä suunnitteluprosessi voidaan jakaa itsenäisiin tehtäviin. Johtava suunnittelija, joka yleensä vastaa uuden tuotteen suunnitteluprosessin koordinoinnista, on vastuussa tavoitekustannuksen asettamisesta kullekin päätoiminnolle. Tavoitekustannusten määrittäminen voi perustua historiatietoon kustannusvähentämisen asteesta tai vaihtoehtoisesti markkina-analyysiin, jossa voidaan esimerkiksi arvioida asiakkaan halukkuutta maksaa jostain tietystä tuotteen ominaisuudesta. Toisessa askeleessa asetetaan tavoitekustannukset komponenteille. Tyypillisesti kunkin päätoiminnon suunnittelusta vastaava tiimi jakaa päätoiminnon tavoitekustannuksen komponenttitasolle. Tavoitteena on asettaa hankintahinta jokaiselle yrityksen ulkopuolelta hankitulle komponentille. Kolmas askel on tavarantoimittajien johtaminen. Toimittajien johtaminen on keskeistä, sillä yhtenä tavoitekustannuslaskennan periaatteena on kilpailun asettaman kustannuspaineen siirtäminen toimittajille. Toimittajien johtamisessa kaksi pääasiallista näkökulmaa

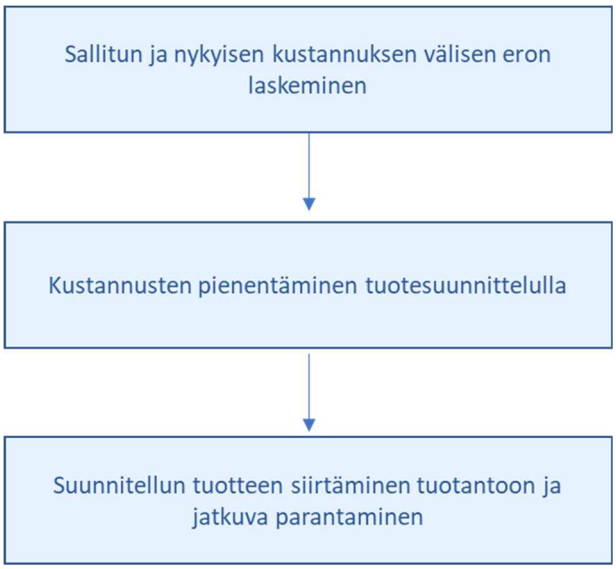
ovat toimittajien valinta sekä toimittajien luovuuden palkitseminen. Kunkin komponentin toimittaja pyritään valitsemaan niin, että komponentin kohdalla päästään sille asetettuun tavoitekustannukseen. Monet yritykset myös käyttävät kannustimia palkitakseen toimittajiaan kustannusten alentamiseen liittyvistä innovaatioista. Yritykset johtavat ja palkitsevat aktiivisesti toimittajiaan varmistaakseen, että ne pysyvät tehokkaina ja innovatiivisina.



Kuva 9. Komponenttitason tavoitekustannuslaskenta (mukaillen Cooper & Slagmulder 1999, s. 30)

Tuote- ja komponenttitason tavoitekustannuslaskentaa vastaa Ansari et al. (1997, s. 26-28) mallissa sen toinen vaihe, tavoitekustannusten saavuttaminen. Tavoitekustannusten saavuttaminen koostuu kolmesta askeleesta, jotka on esitetty kuvassa 10. Ensimmäinen vaihe on tuotteen sallitun kustannuksen ja nykyisen kustannuksen välisen eron laskeminen. Kuten Cooper ja Slagmulder, myös Ansari et al. määrittelevät nykyisen kustannuksen arviona siitä kustannuksesta, jonka tuotteen valmistaminen nykyisillä kustannustekijöillä tai -malleilla aiheuttaisi. Sallitun kustannuksen ja nykyisen kustannuksen välinen ero voidaan myös jaotella tuotteen elinkaarelle ja arvoketjulle. Elinkaaritarkastelussa tuotteen kokonaiskustannukset jaotellaan tuotteen elinkaaren vaiheisiin, kuten tuotekehitykseen, valmistukseen, jakeluun, huoltoon, yleiseen tuotetukeen sekä tuotteen hävittämiseen. Arvoketjuanalyysi puolestaan jaottelee kustannukset sen

mukaan, ovatko ne aiheutuneet yrityksen omasta toiminnasta vai arvoketjun jäsenten, kuten tavarantoimittajien, jälleenmyyjien tai kierrättäjien, toiminnasta. Toinen askel on kustannusten pienentäminen tuotesuunnittelulla. Tässä vaiheessa on olennaista tarkastella, kuinka tuotteen suunnittelu vaikuttaa kaikkiin niihin kustannuksiin, jotka liittyvät tuotteeseen alkaen tuotteen perustamisesta ja päättyen sen lopulliseen hävittämiseen. Suunnittelun myötä tapahtuva kustannusten vähentäminen vaatii rekursiivista ongelmanratkaisua, jonka myötä voidaan poistaa tarve korjata suunnitteluvirheitä valmistuksen jo alettua. Cooperin ja Slagmulderin tavoin myös Ansari et al. esittävät, että kustannuslähtöisen suunnittelun apuna voidaan käyttää erilaisia menetelmiä, kuten kustannus- ja arvoanalyysiä. Viimeinen askel tavoitekustannusten saavuttamisessa on suunnitellun tuotteen siirtäminen tuotantoon ja jatkuvan parantamisen suorittaminen. Nämä toiminnot keskittyvät tuotteen ja tuotantoprosessin parantamiseen sisältäen vaiheita kuten hukan poistaminen ja saannon parantaminen esimerkiksi raaka-aineista sekä muita tehokkuutta lisääviä toimenpiteitä. Tuotannon alettua voidaan myös verrata toteutuneita kustannuksia tavoitekustannuksiin, mikä auttaa yritystä aikanaan seuraavien tuotesukupolvien suunnittelussa.



Kuva 10. Tavoitekustannusten saavuttaminen (mukaillen Ansari et al. 1997, s. 26)

Edellä esitettyjen mallien ohella kirjallisuudessa on esitetty useita muitakin tavoitekustannuslaskennan malleja (esimerkiksi Andersen 1998, s. 3; Ellram 1999,

s. 16; Gagne & Discenza 1995, s. 17; Monden & Hamada 1991, s. 20). Nämä kuitenkin noudattelevat pitkälti samoja periaatteita kuin edellä esitetyt tavoitekustannuslaskennan mallit, joten niitä ei tämän työn puitteissa käsitellä syvällisemmin.

Tavoitekustannuslaskennasta on kirjallisuudessa teorian ohella runsaasti myös empiiriseen tutkimukseen pohjautuvaa aineistoa. Tutkittaessa tavoitekustannuslaskennan hyödyntämistä 180 japanilaisessa valmistustoimintaa harjoittavassa pörssiyhtiössä kävi ilmi, että tärkein syy yrityksille tavoitekustannuslaskennan käyttöönottoon oli kustannusten alentaminen. Muita havaittuja syitä olivat laadun varmistaminen, uusien tuotteiden oikea-aikainen julkaisu markkinoille sekä asiakkaita houkuttelevien tuotteiden kehittäminen. (Tani et. 1994, s. 67-81) Sama tulos havaittiin tutkittaessa tavoitekustannuslaskennan käyttöä 32 hollantilaisessa valmistustoimintaa harjoittavassa pörssiyhtiössä (Dekker & Smidt 2003, s. 300-301). Ellram (2000, s. 41-42) puolestaan tutki tavoitekustannuslaskennan käyttöä 11 yrityksessä eri toimialoilta, kuten valmistustoiminnasta ja palvelusektorilta. Hänen tutkimuksensa nimeää tavoitekustannuslaskennan käyttöönotolle syiksi kustannusten alentamisen ohella kustannusten paljastamisen ja ymmärtämisen, jatkuvan parantamisen ja kilpailukyvyn, parantuneen kommunikaation, eri sidosryhmien, kuten hankintatoimen ja toimittajien, varhaisen osallistumisen sekä parantuneen tuotesuunnittelun ja kustannusvastuun.

Kirjallisuus sisältää myös tutkimusta tavoitekustannuslaskennan eduista ja rajoitteista. Edellä mainitut neljä syytä, joiden perusteella yritykset ottavat tavoitekustannuslaskennan käyttöön, eli kustannusten alentaminen, laadun varmistaminen, uusien tuotteiden oikea-aikainen julkaisu sekä asiakkaita houkuttelevien tuotteiden kehittäminen, voidaan nähdä myös tavoitekustannuslaskennan yrityksille tuottamiksi eduiksi (Dekker & Smidt 2003, s. 300-302). Lisäksi tavoitekustannuslaskennasta voi koitua yritykselle seuraavia hyötyjä: optimaalisen arvolupauksen toimittaminen loppuasiakkaalle, tuotevalikoiman monimutkaisuuden minimoiminen, tarkoituksenmukaisten tuote-

ja prosessiteknologioiden valitseminen, suunnitteluprosessissa vastaan tulevien ongelmien määrän vähentäminen innovaatioprosessin myöhäisemmissä vaiheissa sekä kustannusylitysten karsiminen (Laseter 1998, s. 22). Laboratorio-olosuhteissa tehdyn tutkimuksen perusteella kustannustavoitteiden asettaminen tuotesuunnitteluvaiheessa johtaa tuotekustannusten alenemiseen. Tämä kuitenkin edellyttää, että suunnitteluinsinöörien aikapaine on matala. Korkeassa aikapaineessa tavoitekustannusten asettaminen ei johda tuotekustannusten pienentymiseen mutta pidentää tuotekehitykseen kuluvaa aikaa. (Everaert & Bruggeman 2002, s. 1339-1346) Myös japanilaisia valmistusteollisuuden pörssiyhtiöitä koskevassa tutkimuksessa havaittiin, että mitä tiukempia tavoitekustannuslaskennan metodeja käytetään, sitä paremmin tavoitekustannus saavutetaan. On kuitenkin erittäin tärkeää tunnistaa tarkoituksenmukainen aste tavoitekatetuoton ja tavoitekustannusten tiukkuudelle. Tietty tiukkuuden taso parantaa suorituskykyä tietyissä tilanteissa, kun taas toisenlaisissa olosuhteissa se heikentää suorituskykyä. (Akter et al. 2004, s. 1-20)

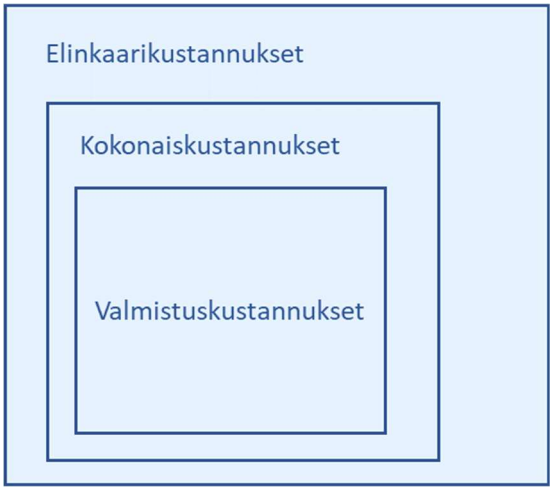
Tavoitekustannuslaskentaan ja sen käyttöön sisältyy myös haasteita ja rajoitteita. Tavoitekustannuslaskenta voi johtaa liialliseen markkinoiden segmentointiin yrityksissä, pidempiin tuotekehitysaikoihin, työntekijöiden loppuun palamiseen, organisationaaliseen konfliktiin sekä voimistuneisiin ongelmiin tavarantoimittajien kanssa kustannuspaineiden kohdistuessa myös heihin (Kato et al. 1995, s. 39-51). Näiden lisäksi tavoitekustannuslaskennan ongelmakohtia voivat olla tavarantoimittajien rajoitettu itsenäisyys, ympäristöllisten ongelmien laiminlyöminen sekä kuluttajien oikukkaan ostokäyttäytymisen edistäminen (Kato 1991, s. 8-15). Tavoitekustannuslaskenta ei välttämättä ole paras toimintamalli projekteissa, joissa teknologia, tuotekehitysaika tai asiakastarpeet ovat tuotteen menestyksen kannalta kriittisempiä kuin kustannukset. Korkean teknologian teollisuudenaloilla tavoitekustannuslaskennalle on seuraavia rajoitteita: keskittyminen liikaa kustannusajureihin tuottoajureiden sijaan, liiallinen ajankulutus, liiallinen lineaarisuus ja byrokraattisuus sekä liiallinen yksityiskohtaisuus. Tuottoajurit viittaavat esimerkiksi tuotekehitysaikaan, teknologiaan ja asiakastarpeiden ymmärtämiseen, jotka ovat korkean teknologian

teollisuudenaloilla paljon olennaisempia kuin tuotekustannusajurit. Tavoitekustannuslaskentaa käytettäessä tuotekehitystiimin huomio siirtyy tuotekustannuksiin ja on näin pois kriittisistä menestystekijöistä. Tavoitekustannuslaskennan suorittaminen myös vaatii muodollisia toimintoja esimerkiksi asiakastarpeiden arvioimiseksi sekä tavoitekustannusten määrittämiseksi ja saavuttamiseksi. Nämä vaiheet myös iteroituvat useita kertoja, minkä myötä tuotekehitysprosessista tulee liian byrokraattinen ja lineaarinen sellaisille tuotekehitysprojekteille, joissa kustannus ei ole pääajuri. (Davila & Wouters 2004, s. 13-15) Kee (2010, s. 211) taas esittää tavoitekustannuslaskennan puutteeksi sen, että menetelmä ei sisällytä pääomakustannuksia tuotannollisiin päätöksiin. Hänen mukaansa perinteinen tavoitekustannuslaskennan malli systemaattisesti aliarvioi investoitujen varojen aiheuttaman kustannuksen ja toisaalta yliarvioi kassaperusteisten tuotantoresurssien kustannukset. Perinteinen tavoitekustannuslaskenta saattaakin johtaa hyväksymään tuotteet, joiden nettonykyarvo on negatiivinen ja hylkäämään tuotteet, joiden nettonykyarvo on positiivinen.

Swenson et al. (2003, s. 17) esittävät tavoitekustannuslaskennan otetun käyttöön erityisesti aloilla, joille on ominaista intensiivinen kilpailu, laajat toimitusketjut sekä suhteellisen pitkät tuotekehityssyklit. Hibbets et al. (2003, s. 75-76) puolestaan esittävät tavoitekustannuslaskentaa hyödyntäviä yrityksiä koskevan tutkimuksensa perusteella, että tavoitekustannuslaskentaa käyttävät yritykset toimivat voimakkaasti kilpaillussa ympäristössä ja että tuotedifferointistrategiaa käyttävät yritykset toteuttavat tavoitekustannuslaskentaa todennäköisemmin kuin muita kilpailullisia strategioita, kuten kustannusjohtajuutta tai haastajastrategiaa, käyttävät yritykset. Dekkerin ja Smidtin (2003, s. 303) tekemä tutkimus puolestaan osoittaa, että tavoitekustannuslaskentaa hyödyntävät yritykset toimivat useimmiten ympäristöissä, joille on ominaista voimakkaan kilpailun ohella myös epävarmuus. Toisaalta Ax et al. (2008, s. 16-30) kyseenalaistavat positiivisen korrelaation toimintaympäristön havaitun epävarmuuden ja tavoitekustannuslaskennan käytön välillä perustuen kyselytutkimukseensa, joka kohdistui ruotsalaisiin valmistusteollisuuden yrityksiin.

2.3 Elinkaarenaikaiset tuotekustannukset ja niiden arviointi

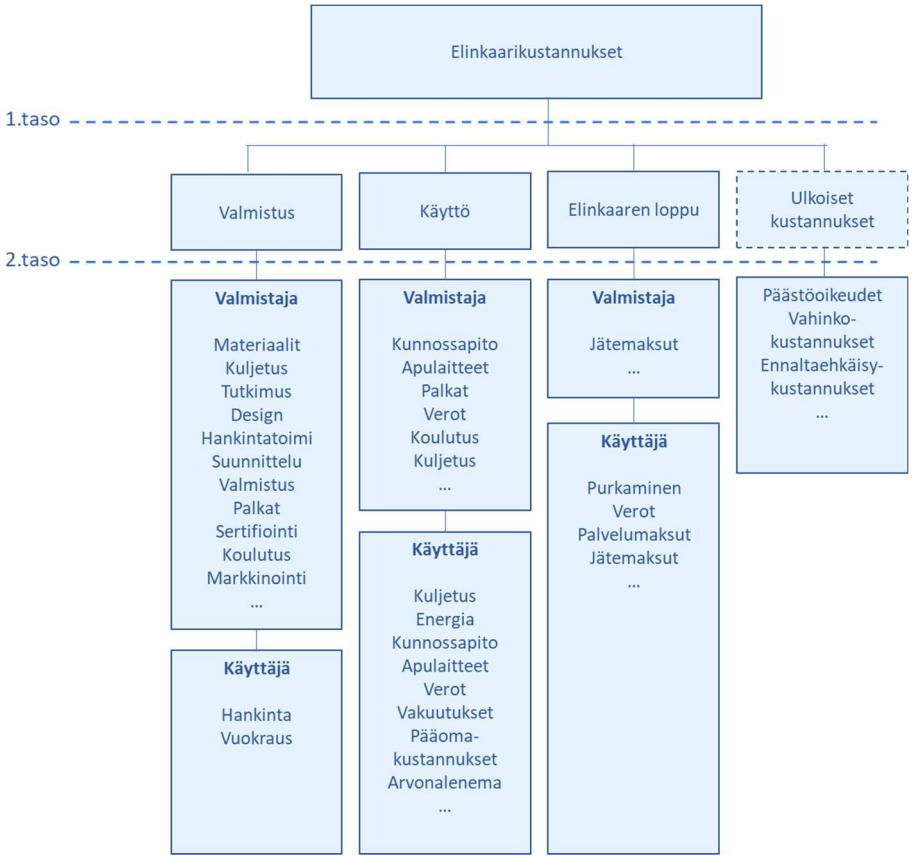
Valmistettavan tuotteen kustannukset voidaan jaotella kolmeen luokkaan: valmistuskustannuksiin, kokonaiskustannuksiin sekä elinkaarikustannuksiin. Tämä luokittelu on esitetty kuvassa 11. Valmistuskustannukset ovat kustannuksia, jotka aiheutuvat itse valmistusprosessista. Pääasiassa nämä ovat materiaali- ja tuotantokustannuksia. Valmistuskustannusten ohella on olemassa kustannuksia, joita ei voida suoraan kohdistaa tuotteen valmistukseen, kuten hallintokustannukset. Nämä yhdessä valmistuskustannusten kanssa muodostavat kokonaiskustannukset. Kokonaiskustannukset puolestaan ovat osa tuotteen elinkaarikustannuksia. (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 5)



Kuva 11. Valmistettavan tuotteen kustannusten luokittelu (mukaillen Ehrlenspiel et al. 2007, s. 6)

Elinkaarikustannukset ovat tuotteen käyttäjälle aiheutuvia kustannuksia. Ne ovat tuotteen hankinnan, käytön ja hävittämisen kustannusten summa. (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 5) Toisaalta elinkaarikustannukset voidaan määritellä niiden kustannusten yhteissummaksi, jotka aiheutuvat tuotteeseen liittyvästä suunnittelusta, tutkimuksesta ja kehityksestä, investoinneista, tuotteen käytöstä, kunnossapidosta, käytöstä poistamisesta sekä tuotteeseen sen elinkaarella liittyvistä tukitoimista (Farr 2011, s. 2). Tarkasteltaessa näitä kahta määritelmää voidaan havaita, että

Ehrlenspiel et al. rajaavat määritelmänsä koskemaan tuotteen käyttäjälle aiheutuvia kustannuksia siinä missä Farr huomioi myös tuotteen valmistajalle aiheutuvat kustannukset. Voidaankin todeta elinkaarikustannusten määritelmän olevan riippuvainen siitä, kenen näkökulmasta elinkaarikustannuksia tarkastellaan. Emblemsvåg (2003, s. 16-17) esittää, että termiä elinkaari voidaan tarkastella tuotteen valmistajan ja käyttäjän näkökulmien lisäksi markkinoinnin näkökulmasta sekä yhteiskunnallisesta näkökulmasta. Markkinoinnin näkökulma koostuu neljästä vaiheesta, jotka ovat tuotteen esittely, kasvu, kypsyys sekä lasku. Yhteiskunnallinen näkökulma puolestaan liittyy niihin toimintoihin ja kustannuksiin, jotka jäävät yhteiskunnan harteille. Näitä voivat olla esimerkiksi tuotteen hävittäminen sekä ulkoisvaikutukset, kuten tuotteen valmistamisesta ja käytöstä aiheutuneet saasteet. Rödger et al. (2017, s. 378-384) tarkastelevat elinkaarikustannuksia tuotteen valmistajan ja käyttäjän näkökulmista. Heidän tarkastelunsa jakautuu kahdelle tasolle, joista ensimmäinen koostuu kolmesta elinkaaren vaiheesta: valmistus, käyttö sekä elinkaaren loppu. Lisäksi ensimmäiselle tasolle sisältyvät ulkoiset kustannukset, jotka liittyvät pääasiallisesti tuotteen ympäristövaikutuksiin, kuten päästöoikeuksiin, vahinkoihin sekä ennaltaehkäisyyn. Toisella tasolla on puolestaan esitetty kussakin elinkaaren vaiheessa tuotteen valmistajalle ja käyttäjälle aiheutuvia kustannuksia. Rödger et al. mukaan tuotteen valmistajan päätavoitteena on analysoida jokaista kustannusta yksityiskohtaisesti tuotteen valmistusvaiheessa, kun taas tuotteen käyttäjän kohdalla päähuomio keskittyy tuotteen käytöstä aiheutuviin kustannuksiin. Rödger et al. tarkastelu on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Tuotteen elinkaarikustannukset valmistajan ja käyttäjän näkökulmista (mukaillen Rödger et al. 2017, s. 384)

Alting (1993, s. 1-17) puolestaan esittää tuotteen synnyttävän elinkaarellaan kustannuksia kolmelle taholle: valmistavalle yritykselle, tuotteen käyttäjälle sekä yhteiskunnalle. Valmistavalle yritykselle aiheutuvat kustannukset kohdistuvat tuotteen suunnittelu-, tuotanto- sekä käyttövaiheisiin. Tuotteen käyttäjälle kustannuksia aiheutuu tuotteen käyttö- ja hävittämisvaiheessa. Yhteiskunnalle kustannuksia taas aiheutuu tuotteen tuotanto-, käyttö- sekä hävittämisvaiheissa. Altingin tarkastelu on esitetty taulukossa 1. Tässä diplomityössä keskitytään tarkastelemaan elinkaarikustannuksia erityisesti tuotteen valmistajan näkökulmasta.

Taulukko 1. Tuotteen elinkaarella esiintyvät kustannuserät valmistajan, käyttäjän ja yhteiskunnan näkökulmista (mukaillen Alting 1993, s. 1-17)

	Kustannukset valmistajalle	Kustannukset käyttäjälle	Kustannukset yhteiskunnalle
Suunnittelu	Markkinoiden tunnistaminen Tuotekehitys		
Tuotanto	Materiaalit Energia Toimitilat Palkat		Jätteet Saasteet Terveysvahingot
Käyttö	Kuljetus Varastointi Jätteet Tuotteiden rikkoutuminen Takuut	Kuljetus Varastointi Energia Materiaalit Kunnossapito	Jätteet Saasteet Terveysvahingot
Hävittäminen / Kierrättäminen		Hävitys- ja kierrätysmaksut	Jätteet Hävittäminen Saasteet Terveysvahingot

Elinkaarikustannuksiin liittyy läheisesti käsite elinkaarilaskenta (life-cycle costing). Elinkaarilaskennan käsitteestä esiintyy kirjallisuudessa useita määritelmiä. Henn (1993, s. 184) määrittelee elinkaarilaskennan olevan tekniikka, jota enimmäkseen julkishallinto ja suuret yritykset käyttävät hankkiessaan esimerkiksi pääomahyödykkeitä ja laitteistoja. Elinkaarilaskenta pyrkii tyypillisesti optimoimaan tuotteen elinaikaisen kustannustehokkuuden. Elinkaarilaskennan kustannusmallit sisältävät tavanomaisesti kustannusarvioita liittyen tuotteen suunnitteluun, materiaalien hankintaan, tuotantoon, jakeluun, koulutukseen, käyttöön sekä asiakastukeen. Sen sijaan kustannusmalleihin ei yleensä sisälly tuotteen hävittämiseen liittyviä kustannuksia ja harvoin, jos koskaan, ulkoisiin ympäristövaikutuksiin liittyviä kustannuksia. Rödger et al. (2017, s. 373-398) puolestaan jakavat elinkaarilaskennan kolmeen luokkaan: tavanomaiseen elinkaarilaskentaan, ympäristölliseen elinkaarilaskentaan sekä yhteiskunnalliseen elinkaarilaskentaan. Tavanomainen elinkaarilaskenta rajoittuu tarkastelemaan tuotteen elinkaarta yhden arvoketjun osapuolen, usein tuotteen käyttäjän, näkökulmasta. Toisaalta tavanomainen elinkaarilaskenta voidaan tehdä myös valmistajan näkökulmasta. Tällöin elinkaarikustannuksia tarkastellaan keskittyen erityisesti tuotteen valmistusvaiheeseen ja tarvittaessa elinkaaren loppupäähän. Tavanomaisessa elinkaarilaskennassa otetaan huomioon vain sisäiset kustannukset

eli kustannukset, jotka aiheutuvat tarkasteltavalle toimijalle, kuten tuotteen valmistajalle tai käyttäjälle. Sen sijaan ulkoisia kustannuksia, kuten tuotteen valmistuksen ja käytön aiheuttamia kustannuksia ympäristölle tai yhteiskunnalle, ei huomioida tavanomaisessa elinkaarilaskennassa. Ympäristöllisessä ja yhteiskunnallisessa elinkaarilaskennassa taas otetaan huomioon kaikki tuotteen elinkaareen liittyvät toimijat, ja tarkasteluun sisällytetään myös elinkaaren loppu, kuten tuotteen hävitys ja kierrätys, joka useissa tapauksissa jää yhteiskunnan vastuulle. Tämän diplomityön empiirisen osuuden luonteen vuoksi jäljempänä keskitytään tarkastelemaan tavanomaista elinkaarilaskentaa ja ympäristöllinen sekä yhteiskunnallinen näkökulma jätetään tarkastelun ulkopuolelle.

Kustannusten ohella elinkaarilaskennassa voidaan huomioida myös tuotot. Keskeisiä ongelmia tuottojen lisäämisessä elinkaarianalyysiin ei ole, kunhan analyysiä tehdessä on selvää, kuinka tuottojen lisääminen toteutetaan. Usein tuotot jätetään pois analyysistä käytännöllisistä syistä, esimerkiksi jos tuotot ovat lähes identtiset vertailtavissa tuotteissa tai jos ne ovat hyvin pieniä kustannuksiin verrattuna. (Hunkeler et al. 2008, s. 19) Päätöksenteon tukemiseksi tuottojen sisällyttäminen elinkaarianalyysiin on jossain tilanteissa välttämätöntä. Esimerkiksi jonkin tuotteen ominaisuuden kohdalla voi olla tarpeellista arvioida ominaisuuden valmistamisen aiheuttamia ylimääräisiä kustannuksia suhteessa ominaisuuden vaikutukseen myyntituottoihin. (Rödger et al. 2017, s. 376)

Knauer ja Möslang (2018, s. 188-215) esittävät elinkaarilaskentaan liittyvän seuraavia hyötyjä: kustannustietoisuuden vahvistuminen, kustannusajureiden tunnistamisen parantuminen, kustannusläpinäkyvyyden kehittyminen, päätösten kannalta relevantin informaation parantuminen, kustannusvähennykset, liiallisen suunnittelutyön vähentyminen sekä muutos hinnoittelukäytännöissä tuotteesta myyntivaiheen jälkeen seuraavien kustannusten, kuten takuukustannusten, kattamiseksi. Kustannusvähennykset ovat seurausta suorituskykyyn liittyvästä optimoinnista, johon elinkaarilaskennan oletetaan johtavan. Liiallisen suunnittelutyön vähentyminen on puolestaan seurausta elinkaarilaskentaan liittyvästä vahvasta keskittymisestä tuotteen suunnitteluvaiheessa tehtäviin

valintoihin, joista seuraa niin suoria kustannuksia kuin tuotteen elinkaaren myöhemmissä vaiheessa aiheutuvia kustannuksia.

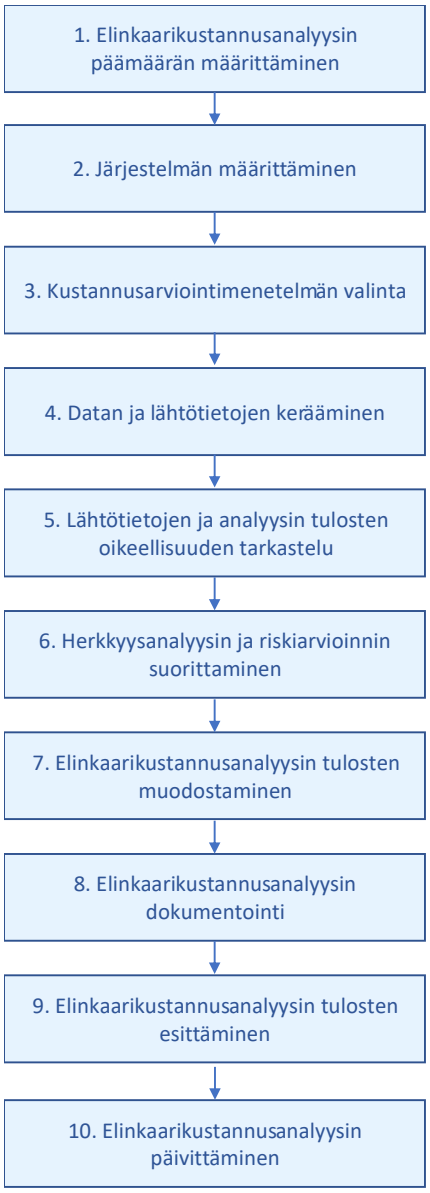
Hyödyistään huolimatta elinkaarilaskentaan liittyy myös rajoitteita ja ongelmia. Barringer ja Weber (1996, s. 5-7) esittävät elinkaarilaskennan rajoitteiden liittyvän esimerkiksi menetelmän ja sen antamien arvioiden tarkkuuteen, menetelmän vaatimaan datamäärään ja datan hankkimisen aiheuttamiin kustannuksiin sekä elinkaarilaskennan kustannusmallien kalibrointitarpeeseen. Elinkaarilaskentaa käytettäessä on myös laadittava skenaarioita esimerkiksi siitä, kuinka monta vuotta tuote kestää käytössä, kuinka monta kappaletta sitä valmistetaan ja myydään sekä kuinka tuotteessa esiintyvät vauriot ilmenevät. Näiden skenaarioiden laatiminen vaatii usein laajoja ekstrapolointeja. Myös Dhillon (2010, s. 33) näkee elinkaarilaskennan heikkouksiksi, että menetelmä kuluttaa paljon aikaa, on kallis, tiedon tarkkuus on kyseenalainen ja datan hankinta analyysiä varten on työlästä. Edellä mainittujen rajoitteiden ohella Lindholm ja Suomala (2005, s. 289) esittävät elinkaarilaskennan ongelmiksi sen konseptin tuntemattomuuden, menetelmän hyötyihin liittyvän epävarmuuden sekä joidenkin tahojen näkemyksen, jonka mukaan elinkaarilaskenta ei ole tärkeää. Elinkaarilaskennan käytännön soveltamiseen liittyvinä ongelmina Lindholm ja Suomala taas esittävät dataan liittyvien rajoitteiden ohella esimerkiksi yhtenäisten käytäntöjen puutteen, vaikeudet määritellä joitain kustannustekijöistä sekä epävarmuustekijöiden olemassaolon.

Elinkaarilaskennan käytännön toteuttamiseen liittyen on olemassa runsaasti menetelmiä ja näkemyksiä. Elinkaarilaskentaa käsittelevässä kirjallisuudessa on monimuotoinen ja mahdollisesti hämmentävä määrä tekniikoita ja sovelluksia elinkaarilaskennasta. Joissain yhteyksissä elinkaarilaskennan voidaan tulkita olevan vain hieman laajennettu sovellus tekniikan alan taloudellisista standardiperiaatteista. Toisaalta joissakin tapauksissa elinkaarilaskentaan sisältyy monimutkaisia matemaattisia ohjelmointitekniikoita. (Christensen et al. 2005, s. 252) Kuitenkaan yksikään elinkaarilaskennan malli ei ole noussut teollisuudessa standardin asemaan. Syitä standardimallin puuttumiselle voivat olla käyttäjien

erilaiset mieltymykset, luonteeltaan vaihtelevat ongelmat sekä monien erilaisten kustannustiedon keräämisjärjestelmien olemassaolo. (Dhillon 2010, s. 43) Huolimatta elinkaarilaskennan konseptin laajuudesta kirjallisuudessa esitetään yleistäviä malleja elinkaarilaskennan toteuttamisesta. Tällaisia malleja ovat esittäneet esimerkiksi Harvey (1976, s. 343-347), Kaufman (1969, s. 16-31; 1970, s. 21-28), Coe (1981, s. 564-569) sekä Greene ja Shaw (1990, s. 1209-1216).

Greenen ja Shaw'n (1990, s. 1209-1216) malli elinkaarikustannusanalyysin laatimiseksi sisältää 10 vaihetta. Malli esitetään kuvassa 13. Mallin ensimmäisenä vaiheena on elinkaarikustannusanalyysin päämäärän määrittäminen. Elinkaarikustannusanalyysin päämääränä voi olla esimerkiksi kahden erilaisen vaihtoehdon keskinäinen vertaaminen, kustannustehokkuuden analysointi tai kustannus-hyötyanalyysi. Mallin toinen vaihe on järjestelmän määrittäminen. Tässä vaiheessa tulee määritellä kustannusanalyysin kohteena oleva järjestelmä, joka voi olla esimerkiksi laite tai ohjelmisto. Järjestelmän määrittely sisältää tietoja liittyen esimerkiksi järjestelmän suorituskykyyn ja tekniikkaan sekä järjestelmän elinkaaren vaiheiden pituuksiin. Haasteena toisessa vaiheessa on se, että analysoitavaan järjestelmään liittyvät tiedot saattavat olla tässä vaiheessa puutteellisia, jos esimerkiksi järjestelmän suunnittelu on vielä kesken. Määrittelyssä voidaan hyödyntää vastaavia olemassa olevia järjestelmiä, dokumentteja sekä keskusteluja eri ihmisten kanssa. Kolmannessa vaiheessa valitaan sopiva kustannusarviointimenetelmä. Kustannusarviointimenetelmän valintaan vaikuttaa järjestelmästä saatavilla olevan datan määrä. Suunnittelu- ja tuotekehitysvaiheessa järjestelmästä saattaa olla saatavilla vain rajallinen määrä tietoa, ja tuotantovaiheessa taas saatavilla voi olla riittävästi tietoa yksityiskohtaistenkin kustannusarviointimenetelmien käyttämiseksi. Erilaisia menetelmiä kustannusarvioiden tekemiseen kuvataan tarkemmin jäljempänä. Neljännessä vaiheessa kerätään data ja lähtötiedot elinkaarikustannusanalyysiä varten. Tämä vaihe vaatii pitkäjänteisyyttä, sillä tarvittavan informaation kerääminen voi olla haastavaa. Se, millaista informaatiota tarvitaan, riippuu käytetystä kustannusarviointimenetelmästä. Viidennessä vaiheessa tarkastellaan elinkaarikustannusanalyysin lähtötietojen ja tulosten oikeellisuutta. Analyysin

tekijän tulee tarkistaa, että lähtötiedot ja tulokset ovat johdonmukaisia, virheettömiä, valideja ja täydellisiä varmistaakseen, ettei analyysi sisällä virheellistä informaatiota eikä mitään vaadittua informaatiota ole jäänyt puuttumaan analyysistä.



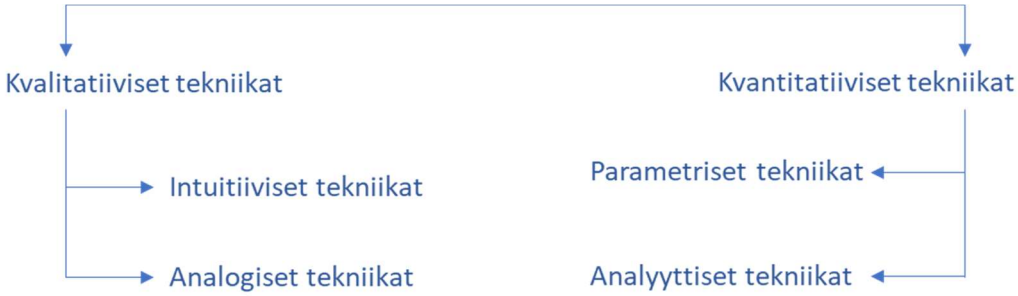
Kuva 13. Malli elinkaarikustannusanalyysin laatimiseksi (mukaillen Greene & Shaw 1990, s. 1209-1216)

Greenen ja Shaw'n (1990, s. 1209-1216) mallin kuudennessa vaiheessa suoritetaan herkkyysanalyysi ja riskiarviointi. Elinkaarikustannusanalyysiin liittyvien riskien

ja epävarmuuksien arviointi on olennaista, sillä elinkaarikustannusanalyysi on käytännössä ennusteiden tekemistä ja kaikki arviot elinkaarikustannuksista ovat oikeastaan arvioita kustannusten vaihteluvälistä. Erityisesti herkkyysanalyysiä tulee tehdä niiden analyysin lähtötietojen kanssa, joilla on suuri todennäköisyys vaikuttaa kustannuksiin. Seitsemännessä vaiheessa muodostetaan elinkaarikustannusanalyysin tulokset. Tässä vaiheessa tulee laatia taulukoita, kuvaajia ja muita esityksiä, jotka antavat kuvan elinkaarikustannusanalyysin tärkeimmistä tuloksista. Tämän jälkeen tuloksia tulee analysoida ja esimerkiksi tunnistaa tekijät, jotka merkittävästi nostavat tai laskevat elinkaarikustannuksia sekä tarve mahdollisesti diskontata saatuja tuloksia. Tässä vaiheessa on toivottavaa, että analyysistä käy perustellusti ilmi, mikä päätösvaihtoehto tai vaihtoehtojen joukko on kaikkein paras. Jos parasta vaihtoehtoa tai vaihtoehtoja ei kyetä ilmaisemaan, saatetaan mallissa joutua palaamaan edeltäviin vaiheisiin. Kahdeksannessa vaiheessa elinkaarikustannusanalyysi dokumentoidaan. Tämä vaihe on olennainen, sillä ilman kunnon dokumentointia analyysiä varten tehty työ menee hukkaan. Dokumentaation tulee sisältää muun muassa kaikki analyysissä käytetyt pääperiaatteet, oletukset, menetelmät ja mallit. Lisäksi dokumentaatiossa tulee analysoida tuloksia sekä esittää johtopäätökset ja suositukset. Yhdeksännessä vaiheessa esitetään elinkaarikustannusanalyysin tulokset. Käytännössä tämä tarkoittaa ymmärrettävän tiivistelmän esittämistä dokumentoidusta analyysistä erilaisille yleisöille. Mallin kymmenes ja viimeinen vaihe on elinkaarikustannusanalyysin päivittäminen. Päivittämistä vaaditaan, kun analyysin kohteena olevan järjestelmän määrittely ja suunnittelu tarkentuu. Muita syitä analyysin päivitystarpeeseen voivat olla muutokset rahoituksessa, järjestelmän suorituskyvyssä sekä teknisissä ja aikataulullisissa seikoissa.

Varsinaiseen elinkaarenaikaiseen kustannusarviointiin on olemassa lukuisia metodeja. Niazi et al. (2006, s. 563-575) esittävät varsin kattavan kustannusarviointimenetelmien luokittelun, johon myös kirjallisuudessa usein viitataan. Luokittelussa kustannusarviointimenetelmät jaetaan kahteen pääluokkaan: kvalitatiivisiin ja kvantitatiivisiin. Luokittelu on esitetty kuvassa 14. Niazi et al. ohella myös esimerkiksi Layer et al. (2004, s. 502-503) jaottelevat

kustannusarviointimenetelmät kvalitatiivisiin ja kvantitatiivisiin. Kvalitatiiviset kustannusarviointimenetelmät pohjautuvat pääosin vertailevaan analyysiin uuden tuotteen ja aiemmin valmistettujen tuotteiden välillä. Analyysin tuloksena pyritään tunnistamaan samankaltaisuudet uuden tuotteen ja aiemmin valmistettujen tuotteiden välillä, ja näiden tunnistettujen samankaltaisuuksien ansiosta uuden tuotteen kustannusarviossa voidaan hyödyntää historiatietoa, eikä kustannusarviota tarvitse lähteä tekemään tyhjästä. Tässä mielessä aiempi suunnitteluun ja valmistukseen liittyvä data tai arvioijan aiempi kokemus voivat tarjota käyttökelpoista apua luotaessa luotettavia kustannusarvioita. Yleisesti ottaen kvalitatiiviset tekniikat auttavat laatimaan karkeita kustannusarvioita suunnittelun hahmotusvaiheen aikana. (Niazi et al. 2006, s. 563)



Kuva 14. Kustannusarviointimenetelmien pääluokat (mukaillen Niazi et al. 2006, s. 564)

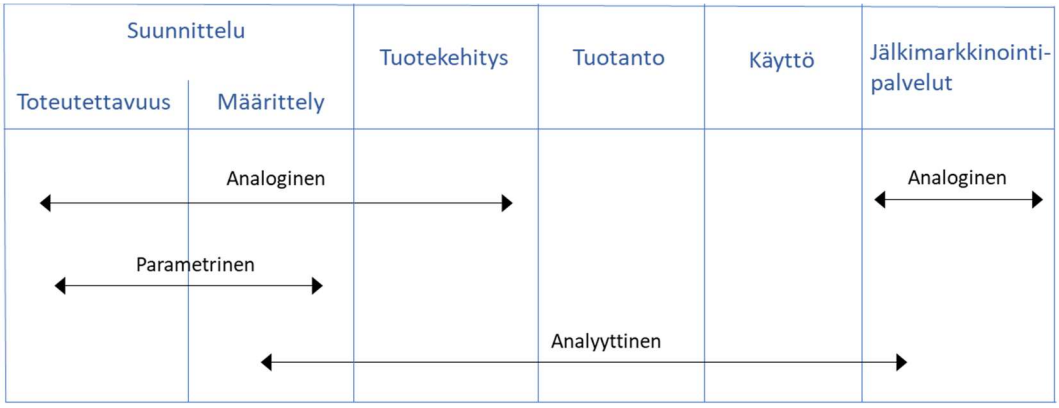
Niazi et al. (2006, s. 563-567) jakavat kvalitatiiviset menetelmät edelleen intuitiivisiin sekä analogisiin menetelmiin. Intuitiivisissa menetelmissä hyödynnetään alan asiantuntijan tietämystä kustannusarvioiden luomiseksi osille ja kokoonpanoille. Tämä tietämys voi olla säilötty sääntöjen, arvioiden tai päätöspuiden muodossa esimerkiksi tietokannassa, auttaen loppukäyttäjää päätöksentekoprosessissa ja kustannusarvioiden valmistelussa. Analogiset menetelmät puolestaan käyttävät samankaltaisuuden kriteeriä ja perustavat kustannusarvioinnin esimerkiksi regressioanalyysiin tai neuroverkkoihin. Analogisia menetelmiä käsitellään tarkemmin jäljempänä.

Niazi et al. (2006, s. 563-564) määrittelevät kvantitatiivisten kustannusarviointimenetelmien puolestaan perustuvan yksityiskohtaiseen analyysiin tuotteen suunnittelusta, sen ominaisuuksista sekä niitä vastaavista valmistusprosesseista sen sijaan, että luotettaisiin historiadataan tai arvioijan tietämykseen. Kvantitatiivisissa menetelmissä kustannukset lasketaan joko käyttämällä analyyttista funktiota, joka koostuu tietyistä, erilaisia tuotteen parametrejä edustavista muuttujista tai niiden perusyksiköiden summaa, jotka edustavat erilaisia tuotteen kokonaistuotantosyklin aikana kulutettuja resursseja. Vaikka nämä menetelmät voivat tarjota tarkkoja tuloksia, niiden käyttö rajoittuu normaalisti tuotesuunnitteluprosessin loppuvaiheisiin, sillä ne vaativat taustalleen yksityiskohtaisen tuotesuunnittelun. Niazi et al. jakavat kvantitatiiviset menetelmät edelleen analyyttisiin sekä parametrisiin tekniikoihin. Analyyttisissä menetelmissä tuote jaetaan perusyksiköihin, operaatioihin ja toimintoihin. Nämä edustavat erilaisia tuotantoprosessin aikana kulutettuja resursseja ja ilmaisevat kustannukset kaikkien näiden komponenttien summana. Parametristen mallien johtamisessa puolestaan sovelletaan tilastollisia menetelmiä ja niissä kustannus esitetään osamuuttujien funktiona. Parametrisia menetelmiä käsitellään tarkemmin jäljempänä.

Hueber et al. (2016, s. 1-2) kuitenkin näkevät Niazi et al. esittämän kategorisoinnin kaltaisen laajan tarkastelun ongelmaksi sen, että voi olla haastavaa sovittaa mitään olemassa olevaa kustannusarviointimallia ainoastaan yhteen kategoriaan. Hueber et al. esittävät yksinkertaisemman kustannusarviointimenetelmien luokittelun, joka koostuu kolmesta ryhmästä: analogiset kustannusarviointimenetelmät, parametriset kustannusarviointimenetelmät sekä analyyttiset kustannusarviointimenetelmät. Hueber et al. mukaan useimmat olemassa olevista kustannusarviointimalleista voidaan liittää suoraan yhteen näistä kolmesta ryhmästä tai vaihtoehtoisesti nähdä kahden tai kaikkien kolmen ryhmän yhdistelmänä. Hueber et al. ohella myös Farr (2011, s. 5-7) esittää vastaavan kolmiosaisen jaottelun.

Mitään edellä esitetyistä kustannusarviointimenetelmistä ei voida käyttää tuotteen koko elinkaaren ajan vaan jotkin menetelmät ovat parempia kuin toiset kontekstista

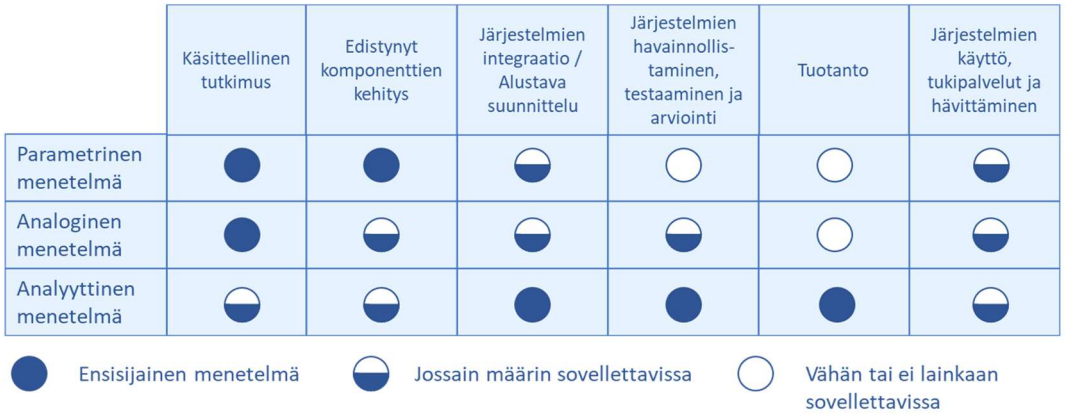
riippuen (Duverlie & Castelain 1999, s. 895). Kustannusarviointimenetelmää valittaessa onkin huomioitava se tuotteen elinkaaren vaihe, jossa kustannusarviota tehdään. Chauvet (1993) jakaa esityksessään edellä esitetyt kolme kustannusarviointimenetelmää, analogisen, parametrisen sekä analyyttisen menetelmän, tuotteen elinkaaren vaiheille. Tämä jaottelu on esitetty kuvassa 15. Chauvet'n esittämän jaottelun mukaan analogista menetelmää voidaan soveltaa tuotteen suunnittelu- ja kehitysvaiheissa sekä toisaalta jälkimarkkinointipalveluiden kustannusarvioinnissa. Parametristä menetelmää voidaan soveltaa tuotteen suunnitteluvaiheessa. Analyyttistä menetelmää taas voidaan käyttää tuotesuunnitteluun kuuluvasta määrittelyvaiheesta soveltuvin osin aina jälkimarkkinointipalveluiden kustannusarviointiin saakka.



Kuva 15. Analogisen, parametrisen sekä analyyttisen kustannusarviointimenetelmän hyödynnettävyys tuotteen elinkaarella (mukaillen Chauvet 1993)

Myös Farr (2011, s. 6) esittää vastaavanlaisen taulukon, jossa edellä esitetyt kolme kustannusarviointimenetelmää on jaoteltu tuotteen elinkaaren vaiheille liittyen erityisesti erilaisten järjestelmien suunnitteluun. Tämä jaottelu on esitetty kuvassa 16. Farrin esittämä jaottelu pohjautuu Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruushallintovirasto NASA:n (2008, s. 1–27 - 1–57) esittämään jaotteluun. Farrin esittämän jaottelun mukaan parametrinen kustannusarviointi on pääasiallinen menetelmä varhaiseen tuotekehitysvaiheeseen kuuluvassa käsitteellisessä tutkimuksessa (conceptual exploration) sekä edistyneessä komponenttien

kehityksessä. Parametrista menetelmää voidaan lisäksi jossain määrin soveltaa järjestelmien integraatiossa ja alustavassa suunnittelussa sekä järjestelmän elinkaaren jälkipuolella järjestelmän käytössä, tukipalveluissa ja hävityksessä. Analoginen menetelmä taas on parametrisen menetelmän ohella pääasiallinen menetelmä käsitteellisessä tutkimuksessa. Lisäksi sitä voidaan soveltaa edistyneessä komponenttien kehityksessä, järjestelmien integraatiossa ja alustavassa suunnittelussa, järjestelmien havainnollistamisessa, testaamisessa ja arvioinnissa sekä järjestelmän elinkaaren jälkipuolella järjestelmän käytössä, tukipalveluissa sekä hävityksessä. Yksityiskohtainen analyyttinen kustannusestimointi taas on pääasiallinen menetelmä järjestelmien integraatiossa ja alustavassa suunnittelussa, järjestelmien havainnollistamisessa, testaamisessa ja arvioinnissa sekä tuotantovaiheessa. Analyyttistä menetelmää voidaan jossain määrin soveltaa myös kaikissa muissa elinkaaren vaiheissa.



Kuva 16. Analogisen, parametrisen sekä analyyttisen kustannusarviointimenetelmän hyödynnettävyys tuotteen elinkaarella (mukaillen Farr 2011, s. 6)

Kuten sekä Chauvet'n että Farrin esittämistä taulukoista havaitaan, parhaiten tuotekehityksen alkuvaiheisiin soveltuvat analoginen ja parametrinen kustannustenarviointimenetelmä. Myös Crow (2016) esittää, että nämä kaksi menetelmää soveltuvat kustannusarviointiin juuri varhaisessa tuotekehitysvaiheessa. Analogista ja parametristä menetelmää hyödynnetään tämän

diplomityön empiirisessä osuudessa, minkä vuoksi nämä kaksi menetelmää esitellään seuraavaksi yksityiskohtaisemmin.

Roy (2003, s. 8-9) esittää analogisen kustannusarviointimenetelmän hyödyntävän tuotteiden samankaltaisuutta. Epäsuora oletus taustalla on, että samanlaisilla tuotteilla on samanlaiset kustannukset. Paikkansapitävä ja käyttökelpoinen kustannusarvio voidaan saavuttaa vertaamalla tuotteita ja ottamalla huomioon niiden eroavaisuudet. Analoginen menetelmä vaatii keinoja sekä tuotteiden välisten samankaltaisuuksien että erojen tunnistamiseen. Näitä keinoja voivat olla kokemuksen tai menneitä tuotteita koskevien tietokantojen käyttäminen. NASA (2008, s. 1–31) esittää analogisen menetelmän vahvuuksiksi sen perustumisen todelliseen historialliseen kustannusdataan, nopeuden, helpon ymmärrettävyyden sekä tarkkuuden huolimatta vähäisistä poikkeamista analogiaan eli vertailun kohteena olevaan tuotteeseen. Curran et al. (2004, s. 511) taas esittävät analogisen menetelmän eduiksi ymmärrettävän syy-seuraussuhteen sekä analyyttistä menetelmää helpomman sovellettavuuden. Toisaalta analogisen menetelmän soveltamiseen liittyy myös haasteita. NASA (2008, s. 1–31) esittää analogisen menetelmän heikkouksiksi nojautumisen yksittäiseen datapisteeseen, vaikeuden tunnistaa soveltuvia analogioita, tiedon normalisoinnin tarpeen tarkkuuden varmistamiseksi sekä nojaamisen ekstrapolaatioon tai asiantuntija-arvioihin, jotta aiempien vastaavien tuotteiden kustannusdata saadaan sopeutettua arvioitaviin tuotteisiin. Curran et al. (2004, s. 511) taas esittävät analogisen menetelmän heikkoutena sen, että menetelmä vaatii toimiakseen tarkoituksenmukaisen vertailukohdan, oleellista ja yksityiskohtaista dataa sekä asiantuntijatietämystä. Näiden ohella Cavalieri et al. (2004, s. 168) esittävät analogiseen menetelmään liittyvänä ongelmana sen, kuinka samankaltaisuuden astetta vanhojen tuotteiden ja uuden, arvioitavan tuotteen välillä voidaan mitata ja toisaalta, kuinka sisällyttää arvioon teknologisen kehityksen sekä kontekstitekijöiden vaikutukset.

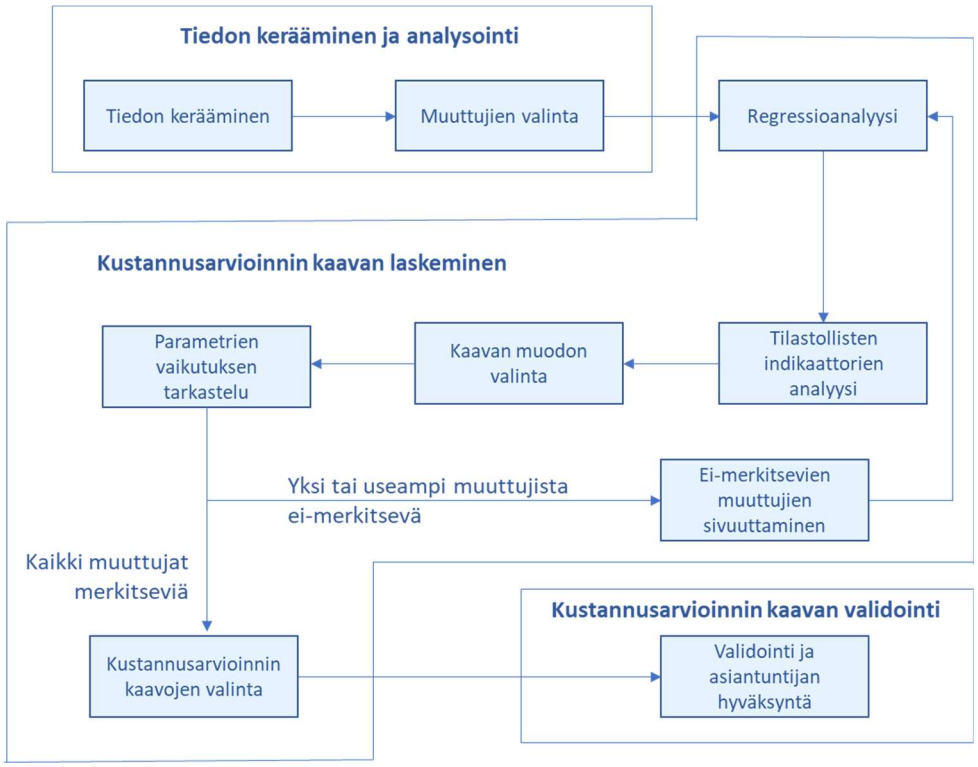
Duverlie ja Castelain (1999, s. 896) määrittelevät parametrisen kustannusarvioinnin menetelmänä, jossa hyödynnetään tietämystä tuotteen fyysisistä ominaisarvoista tai parametreista, kuten massasta, tilavuudesta sekä sisään- ja ulostulojen määrästä.

Parametrinen kustannusarviointi mahdollistaakin johtaa tuotetta kuvaavista teknisistä arvoista taloudellista dataa. AFITEP (1995) tunnistaa parametrisesta kustannusarvioinnista kolme tyyppiä: asteikkomenetelmä, tilastolliset mallit sekä kustannusarvioinnin kaavat. Saman jaottelun esittävät myös Farineau et al. (2001, s. 81). Duverlien ja Castelainin (1999, s. 896) mukaan asteikkomenetelmässä määritetään tuotteen tai sen toiminnon merkittävin tekninen parametri. Tämä parametri mahdollistaa suhteen määrittämisen teknisen ominaisuuden ja sen kustannuksen välille, esimerkiksi euroa / millilitra tai euroa / kilogramma. Kustannusarvio toteutetaan tällöin käyttämällä analogiana jo valmistettuja tuotteita, minkä johdosta tämä menetelmä sijoittuu analogisen ja parametrisen kustannusarvioinnin välimaastoon. Farineau et al. (2001, s. 81) näkevät tämän menetelmän haittapuoleksi oletuksen siitä, että tarkasteltavan parametrin ja lopputuotteen välinen suhde on puhtaasti lineaarinen, eikä olosuhteisiin liittyviä tekijöitä, kuten tuotantovolyymiä, huomioida.

Duverlien ja Castelainin (1999, s. 896) mukaan tilastolliset mallit taas rakennetaan pohjautuen joukkoon tilastollisia suhteita, joiden oletetaan olevan universaaleja. Tilastollisen suhteen löytämiseksi joukko tuotteen toteuttamiseksi vaadittuja toimintoja jaetaan erilaisiin alueisiin ja kustakin näistä tehdään matemaattisen kaavan objekti. Malli koostuu kolmesta datatyypistä, jotka ovat tekniset määrittelyt, suhteet, jotka yhdistävät datan joihinkin välivaiheen tai lopullisiin muuttujiin sekä vakiot. Duverlie ja Castelain kuitenkin huomauttavat, että vaikka tilastollisten suhteiden oletetaan olevan universaaleja, käytännössä täysin universaaleja malleja ei ole olemassa.

Duverlie ja Castelain (1999, s. 896) määrittelevät kustannusarvioinnin kaavan (cost estimation formula, CEF) yksinkertaiseksi matemaattiseksi suhteeksi, joka yhdistää tuotteen kustannuksen rajoitettuun määrään tuotteen määrittteleviä teknisiä parametrejä. Useat muut kirjallisuuslähteet, esimerkiksi Curran et al. (2004, s. 507-510), Roy (2003, s. 4-5), Eck et al. (2008, s. 1–6 -1–12) sekä NASA (2008, s. 1–27 - 1–30), käyttävät vastaavasta menetelmästä nimitystä kustannusarvioinnin suhde (cost estimation relationship, CER). Eck et al. (2008, s. 3–2) määrittelevät

kustannusarvioinnin suhteen olevan matemaattinen ilmaisu, joka kuvaa, kuinka arvot tai muutokset riippuvassa muuttujassa juontuvat osittain arvoista tai muutoksista yhdessä tai useammissa riippumattomissa muuttujissa. Kustannusarvioinnin suhde määrittelee suhteen riippuvan ja riippumattomien muuttujien välillä ja kuvaa sen käyttäytymistä. Tämän diplomityön empiirisessä osuudessa hyödynnetään CEF/CER-menetelmää, joten menetelmä kuvataan seuraavaksi yksityiskohtaisesti. Farineau et al. (2001, s. 81-84) esittävät kustannusarvioinnin kaavan luomiseksi menetelmän, joka on esitetty kuvassa 17. Menetelmä jakaantuu kolmeen vaiheeseen, jotka ovat tiedon kerääminen ja analysointi, kustannusarvioinnin kaavan laskeminen sekä kustannusarvioinnin kaavan validointi. Nämä erilaiset vaiheet vaativat matemaattisia työkaluja, kuten menetelmiä data-analyysiin ja regressiomenetelmiä.



Kuva 17. Menetelmä kustannusarvioinnin kaavan luomiseksi (mukaillen Farineau et al. 2001, s. 82)

Farineau et al. (2001, s. 81-84) esittävät tiedon keräämisen ja analysoinnin olevan tärkein vaihe kustannusarvioinnin kaavan luomisessa, sillä valmiin kaavan laatu ja

tarkkuus riippuvat suuresti tiedon keräämisen ja analysoinnin onnistumisesta. Tiedon kerääminen ja analysointi jakaantuvat kahteen välivaiheeseen, jotka ovat tiedon kerääminen sekä muuttujien valinta. Tiedonkeruuvaiheessa kootaan mahdollisimman suuri määrä informaatiota liittyen kohteeseen, jonka kustannuksia pyritään arvioimaan luotavan kaavan avulla. Tämä informaatio jakaantuu tyypillisesti kahteen luokkaan: Osa informaatiosta sisältyy tuotteita ja niiden osia koskeviin tietokantoihin, joihin perustuen varsinainen kustannusarvioinnin kaava määritetään. On tärkeää varmistaa, että tämä data on homogeenistä, sitä on riittävä määrä, se on virheetöntä ja tarkasteltu läpi huolellisesti. Tietokannoista saatavan informaation lisäksi kerätään teknistä dataa koskien esimerkiksi tuotantomenetelmiä sekä valmistustoimintaan liittyviä ohjeistuksia. Tämä informaatio koskee myös menetelmiä ja laskentasääntöjä, joita ammattilaiset käyttävät taloudellisessa arvioinnissa. Kustannusarviointiin osallistuvien henkilöiden on välttämätöntä opiskella tuotteeseen liittyviä tuotantoprosesseja etukäteen, jotta heillä on suhteellisen selkeä kuva prosessien organisoinnista ja luonteesta. Näin voidaan välttää tai tunnistaa kaikki poikkeavuudet, joita voi ilmetä lasketuissa malleissa. Yleisesti ottaen tiedonkeräämisvaihe koostuu tilastollisen sekä historiallisen datan kokoamisesta, ja tämä data muodostaa viitedokumentaation, joka vaaditaan kustannusarvioinnin kaavan arvioimiseksi. Viitedokumentaatiota täydennetään yrityksessä olevalla erikoistietämyksellä, joka on peräisin kokemuksesta sekä kumuloituneista liiketoiminnan tuloksista. Toisessa välivaiheessa, muuttujien valinnassa, taas käytetään erilaisia data-analyysin työkaluja tunnistamaan erilaisten kustannustekijöiden, erilaisten osaperheiden tai tiettyjen osien suhteellista painoarvoa. Tähän tarkoitukseen voidaan soveltaa erilaisia luokittelevia tilastollisia menetelmiä.

Metodologian toiseen vaiheeseen, kustannusarvioinnin kaavan laskemiseen, sisältyy useita välivaiheita. Toinen vaihe alkaa regressioanalyysillä, jolla kustannusarvioinnin kaava määritetään. (Farineau et al. 2001, s. 81-84) Regressioanalyysi on tilastollinen menetelmä, jolla haetaan parasta mahdollista selittävien (riippumattomien) muuttujien yhdistelmää ennustettaessa yhtä selitettävää (riippuvaa) muuttujaa. Selittäviä muuttujia voi olla yksi tai useita.

(Heikkilä 2014, s. 222-235) Regressioanalyysiä seuraa tilastollisten indikaattorien analyysi sekä regressioyhtälön muodon valinta. Regressioyhtälö voi olla muodoltaan lineaarinen tai ei-lineaarinen. Esimerkkejä ei-lineaarisista muodoista ovat potenssiin pohjautuvat, eksponentiaaliset sekä logaritmiset mallit. Regressioyhtälön muodon valinnan jälkeen seuraa kustannusarvioinnin kaavan sisältämien parametrien vaikutuksen tarkastelu. Jos kaikki muuttujat kaavassa ovat merkitseviä, kaava voidaan viedä eteenpäin validoitavaksi ja hyväksyttäväksi. Toisaalta, jos yksi tai useampi muuttuja kaavassa ei ole merkitsevä, ei-merkitsevät muuttujat tulee sivuuttaa ja tämän jälkeen suorittaa regressioyhtälön eli kustannusarvioinnin kaavan laskeminen uudelleen. (Farineau et al. 2001, s. 81-84)

Kun kustannusarvioinnin kaava on saavuttanut lopullisen muotonsa, siirrytään menetelmän kolmanteen vaiheeseen, jossa kaava validoidaan ja hyväksytetään asiantuntijalla. Kaavan laatua, relevanttiutta sekä sovellettavuutta voidaan arvioida erilaisilla tilastollisilla testeillä. (Farineau et al. 2001, s. 81-84) Tässä diplomityöprojektissa laaditun parametrisen laskentamallin regressioyhtälön luotettavuutta arvioidaan selitysasteella (R Square eli R^2). Selitysaste kuvaa, kuinka suuri osa selitettävän muuttujan vaihteluista voidaan selittää yhteisesti kaikkien selittävien muuttujien avulla. Jos regressioyhtälöä halutaan käyttää ennusteiden laatimiseen selitettävälle muuttujalle, selitysasteen tulee olla korkea, vähintään noin 60 %. (Heikkilä 2014, s. 235)

2.4 Modulaarisuus

Termille modulaarisuus on lukuisia määritelmiä. Esimerkiksi Salvador (2007, s. 219-240) löysi tutkimuksessaan yli 40 erilaista määritelmää tuotemodulaarisuudelle. Schilling (2000, s. 312) esittää modulaarisuuden olevan jatkumo, joka kuvaa sitä astetta, missä määrin järjestelmän komponentteja voidaan erottaa ja yhdistellä uudelleen. Modulaarisuus viittaa komponenttien välisen liitännän tai kytkennän tiiviyteen sekä siihen, missä määrin järjestelmäarkkitehtuurin ”säännöt” sallivat tai estävät komponenttien sekoittamisen ja yhdistelyn. Schillingin mukaan lähes kaikki järjestelmät ovat

jossain määrin modulaarisia, sillä kaikille järjestelmille on tyypillistä jonkinasteiset liitännät komponenttien välillä ja vain harvoissa järjestelmissä on komponentteja, jotka ovat täysin erottamattomia ja joita ei voida yhdistellä uudelleen.

Modulaarisuuteen liittyy käsite massaräätälöinti (mass customization). Tiihonen ja Felfernig (2017, s. 1-2) määrittelevät massaräätälöinnin olevan nykyaikainen tuotantoparadigma, jossa pyrkimyksenä on tuottaa yksilöllistettyjä, suuresti vaihtelevia tuotteita lähes massatuotannon kustannuksin. Massaräätälöinti tuo joustavuutta tapaan, jolla asiakkaat voivat määritellä yksilöllisiä tarpeitaan. Toisaalta menetelmä kohdistaa haasteita tuotantoprosesseille, joista täytyy luoda joustavampia ja vakaampia. Duray et al. (2000, s. 611) mukaan massaräätälöinnissä tuotteita rakennetaan asiakkaan määrittelyn mukaisesti käyttäen modulaarisia komponentteja mittakaavaetujen saavuttamiseksi. Ro et al. (2007, s. 172) taas esittävät massaräätälöinnin edellyttävän tuotemodulaarisuutta ja modulaarisuuden etujen todennäköisesti realisoituvan juuri siirryttäessä käyttämään massaräätälöintiä. Modulaarisuuden ja massaräätälöinnin välillä voidaan näiden esitysten perusteella nähdä tiivis yhteys.

Mukherjee et al. (2009, s. 892-893) esittävät neljä massaräätälöintiin liittyvää tuotantotyyppiä: varasto-ohjautuva tuotanto (Make to Stock, MTS), tilauksesta kokoonpano (Assemble to Order, ATO), tilauksesta valmistus (Make to Order, MTO) sekä tilauksesta suunnittelu (Engineer to Order, ETO). Tässä diplomityössä rajaudutaan työn empiirisen osuuden luonteen vuoksi tarkastelemaan tilauksesta kokoonpano -menetelmää sekä siihen liittyvää tilauksesta konfigurointi -menetelmää (Configure to Order, CTO).

Atan et al. (2017, s. 866-867) esittävät tilauksesta kokoonpano -järjestelmien koostuvan useista komponenteista, jotka usein ovat monimutkaisia alikokoonpanoja, sekä useista lopputuotteista. Tietojärjestelmä pitää kirjaa komponenttivarastosta, ja komponentit kootaan lopputuotteiksi sen jälkeen, kun tieto asiakkaan tilauksesta on vastaanotettu. Valmistuksen kokonaisprosessi koostuu kahdesta vaiheesta, jotka ovat komponenttien hankinta tai tuotanto sekä

kokoonpano. Tilauksesta kokoonpano -menetelmän etuna on, että yritykset voivat lyhentää asiakastoimitusten vasteaikoja pitämällä komponenttivarastoja. Lisäksi lopputuotteiden lopullisen kokoonpanon viivästyttäminen mahdollistaa yritysten yhdistää komponenttivarastoja ja vähentää useiden lopputuotteiden tarjoamisesta aiheutuvia kustannuksia. Tilauksesta kokoonpano -järjestelmien haasteena taas on se, että niitä on vaikea analysoida ja johtaa. Elhafsi et al. (2015, s. 718-735) mukaan syitä tähän vaikeuteen ovat komponenttikysynnän korrelaatio, komponenttien hankinnan ja tuotannon epäsymmetriset läpimenoajat sekä kysynnän tyydyttämisen riippuvuus komponenttien saatavuudesta.

Chen-Ritzo et al. (2010, s. 57) mukaan tilauksesta konfigurointi -menetelmä on tilauksesta kokoonpano -menetelmän ilmentymä. Tilauksesta konfigurointi -menetelmässä tuotteet kasataan modulaarisista komponenteista perustuen asiakkaan tarpeisiin. Asiakas voi valita kustakin komponentista määrän, joka sisällytetään hänen tilaamaansa lopputuotteeseen. Samankaltaisia tuotekonfiguraatioita saatetaan koota tuoteryhmiksi, sillä mahdollisten tuotekonfiguraatioiden määrä saattaa olla äärimmäisen suuri. Cao et al. (2003, s. 1417-1418) mukaan tilauksesta konfigurointi -menetelmä jakaantuu kahteen vaiheeseen: rakentamiseen ja täydentämiseen. Rakennusvaiheessa tuotteen komponentit hankitaan, testataan ja kasataan. Valmiit komponentit varastoidaan odottamaan lopputuotteiden kokoonpanoa. Täydennysvaihe taas perustuu tilauksesta valmistus -menetelmään. Tämä tarkoittaa, että lopputuotteita ei varastoida vaan tuotteen loppukokoonpano alkaa vasta kun asiakkaan tilaus tuotteesta on vastaanotettu. Tilauksesta konfigurointi -menetelmä toimii erityisen hyvin silloin, kun ajan ja resurssien käyttö loppukokoonpanovaiheessa on huomattavasti vähäisempää kuin komponenttien valmistuksessa sekä hankinnassa ja kun eri lopputuotteet käyttävät useita samoja komponentteja. Cao et al. esittää tilauksesta konfigurointi -menetelmän olevan ideaalinen liiketoiminnan prosessimalli, joka tarjoaa etuja sekä massaräätälöinnistä että massatuotannosta. Cheng et al. (2002, s. 2) mukaan varaston pitäminen komponenttitasolla mahdollistaa tilauksesta konfigurointi -menetelmässä nopean vastaamisen asiakastilauksiin. Lisäksi tilauksesta konfigurointi -menetelmässä tuotteen

loppukokoonpanon viivästyttäminen asiakastilauksen saapumiseen mahdollistaa korkean tason joustavuuden tuotevalikoiman suhteen sekä tehostaa komponenttivaraston käyttöä.

Wouters ja Stadtherr (2018, s. 54-86) esittävät kolme modulaarisuuteen liittyvää tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmää: komponenttiyhteensopivuus, modulaarinen suunnittelu sekä tuotealustat. Nämä ovat menetelmiä teknisten suunnittelupäätösten koordinoimiseksi tuotekehitysvaiheessa ulottuen koko tuoteportfolioon pyrkimyksenä vähentää kokonaiskustannuksia tai maksimoida yrityksen kokonaistuotto. Mirchandani ja Mishra (2002, s. 199) määrittelevät komponenttiyhteensopivuuden viittaavan valmistusympäristöön, jossa kaksi tai sitä useammat tuotteet käyttävät kokoonpanoissaan samoja komponentteja. Wouters ja Stadtherr (2018, s. 54-86) puolestaan määrittelevät komponenttiyhteensopivuuden olevan vaatimus käyttää jo kehitettyjä komponentteja muokkaamatta niitä tuotekehitysprosessissa. Tällä pyritään kasvattamaan uudelleenkäytettävien osien määrää.

Wouters ja Morales (2014, s. 267) määrittelevät modulaarisen suunnittelun menetelmäksi, jossa tuotteita suunnitellaan niin, että laaja valikoima lopputuotteita voidaan valmistaa käyttämällä rajallista määrää moduuleita, jotka yhdistetään erilaisilla osilla ja muilla moduuleilla. Wouters ja Stadtherr (2018, s. 54-86) puolestaan määrittelevät modulaarisen suunnittelun arkkitehtuurisena ja strategisena suunnittelufilosofiana, jossa yritys voi erottaa ja yhdistää uudelleen komponentteja tuoteperheen sisällä tai tuotteiden välillä. Tekninen käyttöönotto mahdollistuu moduulien toiminnallisen itsenäisyyden ja standardisoitujen rajapintojen myötä. Vaikka komponenttiyhteensopivuuden tavoin myös modulaarinen suunnittelu pyrkii edistämään saman komponentin käyttöä useissa lopputuotteissa, ovat nämä silti kaksi erillistä menetelmää. Modulaarisen suunnittelun ja moduulien välisten rajapintojen hyödyntämisen mahdollisuudet riippuvat valmistettavan lopputuotteen tyypistä. Standardisoitujen rajapintojen käyttöönottaminen voi olla helpompaa suunniteltaessa ohjelmistoja tai yksinkertaisia fyysisiä tuotteita kuten huonekaluja. Sen sijaan monimutkaisissa

fyysisissä tuotteissa, kuten autossa, mahdollisuuksia standardisoitujen rajapintojen käyttöönottoon on vähemmän monien fyysisten ja tilallisten rajoitteiden vuoksi. Persson ja Åhlström (2006, s. 1201-1209) esittävät, että modulaarisuutta koskeva kirjallisuus on rajautunut käsittelemään enimmäkseen melko yksinkertaisia tuotteita ja monimutkaisten tuotteiden modularisointiin liittyy omanlaisia haasteita. Persson ja Åhlström esittävät monimutkaisten tuotteiden modularisointiin liittyvinä haasteina esimerkiksi modularisointiprosessin koordinoinnin sekä tarkoituksenmukaisen modulaarisuuden asteen määrittämisen, joka on olennaista, sillä monimutkaisen tuotteen arkkitehtuurista ei voida tehdä täysin modulaarista.

Tuotealustan Wouters ja Stadtherr (2018, s. 54-86) puolestaan määrittelevät sellaisen yleisen teknisen perustan määrittelyksi, josta johdetaan suuri määrä tuotteita erilaisilla suorituskykyominaisuuksilla. Esimerkiksi monet autonvalmistajat luovat tuotealustoja, josta sitten johdetaan useita erilaisia automalleja. Robertson ja Ulrich (1998, s. 20) määrittelevät termin alusta joukkona ominaisuuksia, jotka joukko tuotteita jakaa. Nämä ominaisuudet voidaan jakaa neljään kategoriaan: komponentit, prosessit, tietämys sekä ihmiset ja suhteet. Yhdistettynä nämä ominaisuudet muodostavat tuotealustan. Wouters ja Morales (2014, s. 330) esittävät tuotealustojen olevan komponenttiyhteensopivuutta sekä modulaarista suunnittelua syvällisempi kustannusjohtamisen menetelmä, sillä siinä tuotearkkitehtuuri kehitetään alusta alkaen useiden erilaisten lopputuotteiden joukkoa ja niiden tulevia sukupolvia varten.

2.5 Stage-Gate-malli

Stage-Gate-malli on koko tuotteen suunnitteluprosessin kattava viitekehys. Cooperin (1990, s. 44) mukaan Stage-Gate on konseptuaalinen ja toiminnallinen malli uuden tuotteen viemisestä ideasta julkaisuun saakka. Sen avulla voidaan johtaa uuden tuotteen kehitysprosessia prosessin tehokkuuden parantamiseksi. Stage-Gate-malli on käsitteellisesti melko yksinkertainen, mutta erilaisten malliin liittyvien lähestymistapojen suunnittelu ja operationalisointi on selvästi monimutkaisempaa. Wouters ja Morales (2014, s. 266) puolestaan esittävät, että

Stage-Gate on menetelmä, jossa tuotteen suunnittelua arvioidaan erilaisista näkökulmista kunkin tuotekehityksen vaiheen päättymisen jälkeen. Näkökulmat liittyvät tavoitteisiin ja päämääriin, jotka on muodostettu tuotekehitysprosessin alussa (esimerkiksi toiminnallisuus, suorituskyky, tuotekustannus, projektin läpimenoaika, kehityskustannus), ja ne saattavat johtaa uudistuksiin suunnittelussa sekä tarkennuksiin suunnitelmissa.

Cooperin (1990, s. 45-46) mukaan Stage-Gate-menetelmissä tiedostetaan, että tuoteinnovaatio on prosessi ja muiden prosessien tavoin myös innovaatioprosessia voidaan johtaa. Stage-Gate-menetelmissä sovelletaankin prosessijohtamisen menetelmiä tähän innovaatioprosessiin. Stage-Gaten ideana on jakaa innovaatioprosessi ennalta määriteltyyn joukkoon vaiheita (stage). Vaiheet koostuvat ryhmästä määrättyjä, toisiinsa liittyviä ja usein rinnakkaisia toimintoja. Kutakin vaihetta edeltää portti (gate). Porttien tehtävänä on valvoa tuotekehitysprosessia – pitkälti samalla tavoin kuin laadunvalvontapisteet valvovat tuotantoprosessia. Jokaiselle portille on ominaista joukko syötteitä (input), joukko vaatimuksia portin läpäisemiseksi sekä portin tuotos. Syötteet ovat suoritteita, jotka projektin johtaja toimittaa porttia varten. Portin läpäisyvaatimukset ovat asioita, joiden perusteella projektia arvioidaan, toisin sanoen vaatimuksia, jotka projektin täytyy läpäistä portissa, jotta tuotekehitysprojektissa voidaan siirtyä eteenpäin. Portin tuotokset ovat portissa tehtäviä päätöksiä koskien esimerkiksi tuotekehitysprojektin jatkamista, keskeyttämistä tai lopettamista sekä toimintasuunnitelman hyväksymistä tuotekehitysprosessin seuraavaa vaihetta varten. Tuotekehitysprosessin porteissa toimivat kokeneet päälliköt, jotka ovat niin sanottuja ”portinvartijoita”. Tämä portinvartijaryhmä on tyypillisesti monialainen, ja sen jäsenillä on tarpeeksi toimivaltaa, jotta he voivat hyväksyä projektille sen tarvitsemia resursseja. Projektin johtaja puolestaan ohjaa tuotekehitysprojektia eteenpäin vaiheiden ja porttien läpi. Hän tiedostaa vaatimukset seuraavan portin läpäisemiseksi, ja organisoi tiimin, jonka tehtävänä on täyttää nämä vaatimukset.

Cooper (1990, s. 45-53) esittää artikkelissaan esimerkin tyypillisestä Stage-Gate-mallista. Hänen mukaansa yksittäisten yritysten lähestymistavat Stage-Gate-malliin

saattavat paperilla vaikuttaa uniikeilta. Käytännössä erilaiset Stage-Gate-lähestymistavat ovat kuitenkin yllättävän samanlaisia. Cooperin esittämä malli koostuu viidestä portista, viidestä vaiheesta sekä ideoinnista ja jälkiarvioinnista. Malli on esitetty kuvassa 18.

Kuva 18. Tyypillinen Stage-Gate-malli (mukaillen Cooper 1990, s. 44-54)

Cooperin (1990, s. 45-53) esittämässä tyypillisessä Stage-Gate-mallissa uuden tuotteen kehitysprosessi alkaa uudesta tuoteideasta, joka toimitetaan ensimmäiseen porttiin, nimeltään alustava seulonta. Ensimmäisessä portissa tehdään ensimmäinen päätös resurssien sitomisesta projektiin; toisin sanoen tuotekehitysprojekti syntyy tässä pisteessä. Tässä portissa projektiin kohdistetaan joukko kriteerejä, joita sen on täytettävä. Nämä kriteerit auttavat kohdistamaan keskustelua ja arvioimaan projekteja seulontavaiheessa. Varsinaista tuotekehitystä mallissa edeltää kaksi

vaihetta, alustava arviointi sekä määrittely. Alustavassa arvioinnissa laaditaan tuotteen markkinoita koskeva arvio, jonka päämääränä on määrittää markkinoiden koko, markkinapotentiaali sekä tuotteen todennäköinen vastaanotto markkinoilla. Markkinoiden arvioimisen ohella suoritetaan alustava teknillinen arviointi, jonka päämääränä on arvioida tuotteen toteutettavuutta tuotekehityksen ja valmistuksen näkökulmista sekä näihin toimintoihin liittyviä suoritusaikoja ja -kustannuksia. Alustavaa arviointia seuraa toinen portti, nimeltään toinen seulonta. Tässä portissa projekti uudelleenarvioidaan ensimmäisessä vaiheessa kerätyn informaation valossa. Lisäksi arvioidaan projektin taloudellista tuottoa nopealla ja yksinkertaisella taloudellisella laskelmalla, kuten takaisinmaksuajalla. Määrittelyvaiheessa puolestaan määritellään projekti selkeästi ja tehdään projektiin liittyen markkinatutkimusta, jonka tavoitteena on määritellä ”voittava” uusi tuote. Vaiheessa suoritettava yksityiskohtainen tekninen arviointi taas keskittyy projektin toteutettavuuteen. Toisin sanoen asiakkaan tarpeet ja toiveet tulee muuntaa teknisesti ja taloudellisesti toteuttamiskelpoisiksi ratkaisuiksi. Määrittelyvaiheen lopuksi toteutetaan yksityiskohtainen taloudellinen analyysi, jossa tyypillisesti arvioidaan projektin diskontattuja kassavirtoja täydennettynä herkkyysanalyysillä. Määrittelyvaihetta seuraa kolmas portti, nimeltään päätös liiketoimintahankkeesta. Tämä portti on viimeinen piste, jossa projekti voidaan keskeyttää ennen kuin siihen aletaan kohdistaa huomattavia taloudellisia resursseja. Päätös liiketoimintahankkeesta -portissa arvioidaan projektia sekä edellisessä vaiheessa suoritettuja toimintoja, varmistaen, että toiminnot on suoritettu laadukkaasti ja niiden tulokset ovat projektin kannalta positiivisia. Lisäksi tässä portissa varmistetaan, että projektiryhmä on saavuttanut yksimielisyyden projektin avainasioista, kuten kohdemarkkinan määrittelystä ja halutuista tuoteominaisuuksista.

Cooperin (1990, s. 45-53) esittämässä Stage-Gate-mallissa varsinainen tuotekehitys alkaa vaiheessa kolme, jossa tuotteen kehittämisen ohella kehitetään yksityiskohtaisia suunnitelmia tuotteen testaamisesta, markkinoinnista sekä liiketoiminnoista. Projektista laaditaan myös päivitetty taloudellinen analyysi ja mahdolliset juridiset, kuten patentteihin ja tekijänoikeuksiin, liittyvät ongelmat

ratkaistaan. Kolmannen vaiheen jälkeen seuraa vielä kaksi porttia ja kaksi vaihetta. Neljäs portti on nimeltään kehityksen jälkeinen arviointi. Tässä portissa tarkastellaan projektin etenemistä, tuotteen ja projektin potentiaalia sekä arvioidaan projektin taloudellista kannattavuutta perustuen päivitettyyn kannattavuusanalyysiin, jonka taustalla on uutta ja täsmällisempää dataa. Lisäksi neljännessä portissa hyväksytään testaus- tai validointisuunnitelmat seuraavaa eli neljättä vaihetta varten. Neljännessä vaiheessa, validoinnissa, testataan projektin kokonaisvaltaista toteuttamiskelpoisuutta. Arviointi käsittää itse tuotteen, tuotantoprosessin, asiakkaiden vastaanoton sekä projektin taloudellisen kannattavuuden. Toteuttamiskelpoisuuden arvioimiseksi suoritetaan joukko erilaisia toimenpiteitä, kuten yrityksen sisäiset tuotetestit, käyttäjä- tai kenttäkokeet, koetuotanto, markkinatestit, koemyynnit sekä päivitetty taloudellinen analyysi. Neljättä vaihetta seuraa viides ja viimeinen portti, nimeltään kaupallistamista edeltävä päätöksenteko. Viides portti on viimeinen mahdollisuus keskeyttää tai lopettaa projekti, ja se keskittyy tarkastelemaan neljännessä vaiheessa suoritettujen toimintojen laatua ja niiden tuloksia. Kaupallistamispäätöksen kannalta keskeisiä ovat myös projektiin liittyvät taloudelliset ennusteet. Lisäksi viidennessä portissa arvioidaan ja hyväksytään projektin liiketoiminta- ja markkinointisuunnitelmat, jotka otetaan käyttöön viidennessä ja viimeisessä vaiheessa, kaupallistamisessa. Tuotteen kaupallistamisen jälkeen uuden tuotteen kehitysprojekti päättyy. Tällöin projektitiimi lakkautetaan ja tuotteesta tulee tavanomainen tuote yrityksen tuotelinjassa. Tässä kohtaa tuotteen ja projektin suorituskykyä arvioidaan vertaamalla viimeisintä dataa tuotteen myynnistä, kustannuksista, tuotoista ja ajoituksesta projektin aikana tehtyihin ennusteisiin. Lopuksi suoritetaan jälkiarviointi, jossa arvioidaan kriittisesti projektin vahvuudet ja heikkoudet, se, mitä projektista voidaan oppia sekä mitä voidaan tehdä seuraavassa projektissa paremmin.

Vaikka edellä esitetty malli onkin tyyppiesimerkki Stage-Gate-prosessista, Cooperin (1990, s. 53) mukaan kaikki projektit eivät käy läpi kaikkia mallin vaiheita. Yleensä projektit voidaan kokonsa mukaan jakaa ainakin kahteen tai

kolmeen kategoriaan ulottuen pienistä, yksittäiseen asiakasvaatimukseen vastaavista projekteista aina suuriin projekteihin, jotka aiheuttavat merkittäviä kustannuseriä. Kullekin projektityypille määritellään soveltuva ”reitti”, jonka mukaisesti ne etenevät tuotekehitysprosessin läpi.

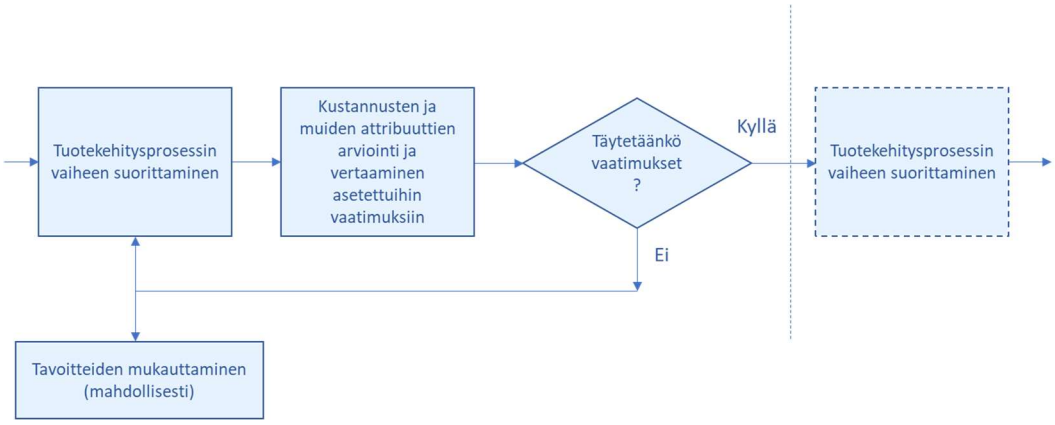
Cooper (1990, s. 47-51) listaa useita Stage-Gate-mallin hyötyjä. Ensinnäkin Stage-Gate-malli parantaa tuotekehitysprosessin laatua. Mallissa ennalta määriteltyjen porttien olemassaolo varmistaa, että yksikään tuotekehitysprosessin kannalta kriittinen toiminto ei jää huomiotta. Toimittaessa Stage-Gate-mallin mukaisesti tuotteen kehitystä koskeva toimintasuunnitelma hyväksytään jokaisessa portissa ja seuraavassa portissa vaadittavat suoritteet on selkeästi määritelty. Näin tuotekehitysprosessi suoritetaan täydellisenä, eikä siinä ole laiminlyöntejä tai aukkoja. Stage-Gate-malli on myös vahvasti markkinaorientoitunut. Mallissa markkinoihin liittyvät toiminnot, jotka tuotekehityksessä usein sivuutetaan tai suoritetaan heikosti, on ”sisäänrakennettu” tuotekehitysprosessiin. Mikäli markkinoihin liittyviä toimintoja, kuten käyttäjien tarpeita koskevaa tutkimusta, konseptitestejä, kilpailuanalyysiä ja markkinointisuunnitelman laatimista, ei ole suoritettu, tuotekehitysprojekti ei läpäise portteja eikä näin edisty. Markkinoihin liittyvien toimintojen ohella myös varsinaista tuotekehitystä edeltävät tuotekehitysprosessin vaiheet, kuten määrittely, jäävät tuotekehitysprosesseissa usein vähemmälle huomiolle. Varsinaista tuotekehitystä edeltävät vaiheet ovat kuitenkin tärkeitä, sillä niiden suorittaminen vähentää tuotekehitykseen kuluvaa aikaa ja kasvattaa todennäköisyyttä tuotteen menestymiselle. Stage-Gate-mallissa yleensä yksi tai kaksi vaihetta on omistettu varsinaista tuotekehitystä edeltäville toimenpiteille. Jos näitä valmistelevia toimenpiteitä ei ole suoritettu huolella tai tehty lainkaan, projekti ei voi edetä varsinaiseen tuotekehitysvaiheeseen. Stage-Gate-mallin etuna voidaan nähdä myös sen toimintojen rinnakkaisuus. Käytännössä rinnakkaisuus tarkoittaa, että kussakin mallin vaiheessa useita toimintoja suoritetaan yhtä aikaa ja useat yrityksen eri funktiot osallistuvat niihin. Rinnakkaisuuden hyöty verrattuna toimintojen peräkkäiseen suorittamiseen on ajankäyttö; määrättynä ajanjaksona tehdään enemmän töitä ja saadaan enemmän aikaiseksi. Näiden ohella Stage-Gate-menetelmän vahvuutena voidaan nähdä siihen

sisältyvä projektin arviointi, joka useissa tuotekehitysprojekteissa on puutteellista. Stage-Gate-menetelmässä tuotekehitysprojektia koskevat arvioinnit tapahtuvat ennalta määritellysti porteissa ja ovat näin menetelmässä ”sisäänrakennettuna”. Tuotekehitysprojekti ei voi edetä seuraavaan vaiheeseen ennen kuin arviointi on suoritettu, sillä se on edellytys portin läpäisemiselle. Lisäksi Cooper esittää Stage-Gate-menetelmän tarjoavan ”tiekartan” (road map) projektin johtajalle ja projektitiimille. Menetelmää sovellettaessa projektitiimin jäsenet voivat selkeästi nähdä, missä kohtaa projekti on menossa, mitkä sen tavoitteet ovat ja mitä projektissa on seuraavaksi tehtävä. Stage-Gate-menetelmän kuvauksessa kuhunkin vaiheeseen on myös määritelty suositellut toimenpiteet. Yksikään näistä toimenpiteistä ei ole pakollinen, sillä kukin tuotekehitysprojekti on yksilöllinen, mutta suositukset antavat projektin johtajalle käsityksen siitä, mitkä toimenpiteet olisi järkevää ottaa huomioon kussakin vaiheessa.

Hyödyistään huolimatta Stage-Gate-menetelmä on saanut osakseen myös kritiikkiä. Becker (2006, s. 2-5) listaa Stage-Gate-menetelmän prosesseihin liittyvinä ongelmina esimerkiksi niiden hitauden ja korkeat yleiskustannukset. Lisäksi menetelmä saattaa painottaa enemmän muotoseikkoja kuin todellisuudessa olennaisia asioita ja kohdella kaikkia projekteja ja tuotteita samalla tavalla ottamatta riittävästi huomioon niiden yksilöllisiä eroja. Näiden ohella Stage-Gate-menetelmää on Beckerin mukaan kritisoitu siitä, että se tappaa innovoinnin edistämällä riittämättömästi ideointiin liittyviä toimia ja kohtelee kaikkia esille tulevia vaihtoehtoja ja valintoja kertaluonteisina (one off) päätöksinä. Toisaalta Becker esittää, että useimmat kohdatuista ongelmista johtuvat tosiasiassa itse Stage-Gate-menetelmän sijaan menetelmän puutteellisesta toteuttamisesta. Sethi ja Iqbal (2008, s. 130) puolestaan esittävät, että Stage-Gate-menetelmä saattaa aiheuttaa haittaa kehitettäessä täysin uudenlaisia tuotteita. Syynä tähän on porteissa tapahtuva tiukka kontrollointi, joka vähentää tuotekehitysprojektin joustavuutta ja vaikeuttaa täysin uudenlaisten tuotteiden kehittämistä verrattuna inkrementaalisten tuotteiden kehittämiseen. Lisäksi tiukat kriteerit porteissa tapahtuville arvioinneille ja siitä seuraava joustamattomuus eivät ole tarkoituksenmukaisia, mikäli yrityksen teknologinen toimintaympäristö on turbulentti. Turbulentissa toimintaympäristössä

uutta teknistä informaatiota voi tulla esiin äkillisesti tuotekehitysprojektin aikana ja tämän informaation hyödyntäminen vaatii joustavuutta täysin uudenlaisia tuotteita kehitettäessä.

Vaikka Stage-Gate on kokonaisvaltainen malli tuotteen koko kehitysvaiheen johtamiseen, sitä voidaan hyödyntää myös erityisesti kustannusjohtamisen näkökulmasta. Wouters et al. (2016, s. 146-149) esittävät, että tavoitekustannuslaskenta tulee nähdä laajemmin Stage-Gate-mallin tai toisen tuotekehitysvaiheen menetelmän, tuotekehityssuppiloiden (funnels), kontekstissa. Kuvassa 19 havainnollistetaan tavoitekustannuslaskentaa osana Stage-Gate-menetelmää. Stage-Gate-menetelmän porteissa arvioidaan tuotteen toiminnallisuuden ja suorituskyvyn ohella myös tuotteen ja tuotekehitysprosessin arvioituja kustannuksia verrattuna asetettuihin tavoitteisiin. Jos tuotekustannuksen arvioidaan ylittävän sille asetetun tavoitteen, on tuotteen uudelleensuunnittelu tarpeen. Joissain tapauksissa joudutaan myös mukauttamaan aiemmin asetettuja tavoitteita. (Wouters et al. 2016, s. 146-149)



Kuva 19. Tavoitekustannuslaskenta osana Stage-Gate-menetelmää (mukaillen Wouters et al. 2016, s. 147)

Ibusuki (2005, s. IT41-IT44) esittää artikkelissaan, kuinka Stage-Gate-menetelmää hyödynnetään kustannusjohtamisessa suuressa autoteollisuusyrityksessä. Artikkeli myös listaa kustannusjohtamisen kannalta olennaisia menestystekijöitä Stage-Gate-menetelmässä. Ensimmäinen menestystekijöistä on vahva kustannussuunnittelu, joka on aktiivinen tekijä tuotekehitysprosessissa. Toinen menetystekijä on

tuotesuunnittelun toteuttaminen moniammatillisissa tiimeissä, jotka sisältävät henkilöitä niin suunnittelu-, hankinta- kuin talousosastoilta. Yhteistyö mahdollistaa tiedonvaihdon kustannusvähennyksien toteuttamiseksi. Kolmas menestystekijä on talousosaston osallistuminen. Talousosaston rooli on toimittaa informaatiota, joka ohjaa kustannussuunnittelun aktiviteetteja. Neljäs menestystekijä on työkalujen ja tekniikoiden käyttäminen kustannusten vähentämiseksi. Näihin tekniikoihin lukeutuvat esimerkiksi edellä esitetyt DFMA, QFD ja modulaarisuus. Toisaalta Alpenberg et al. (2016, s. 23-53) esittävät, että tavoitekustannuslaskennan yhdistäminen Stage-Gate-menetelmään saattaa asettaa nämä kaksi menetelmää konfliktiin keskenään. Syynä tälle konfliktille on se, että tavoitekustannuslaskenta ja Stage-Gate-menetelmä ovat luonteeltaan erilaisia; Stage-Gate-menetelmä on vaiheittainen ja tiukka siinä missä tavoitekustannuslaskenta on iteratiivista ja monitoiminnallista.

2.6 Yhteenveto käsitellyistä tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmistä

Edellä esitettyjä tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmiä, tavoitekustannuslaskentaa, elinkaarilaskentaa, modulaarista suunnittelua sekä Stage-Gate-menetelmää, voidaan tarkastella kokonaisuutena kuvassa 20 esitetyn ryhmittelyn myötä. Tässä ryhmittelyssä menetelmät jaotellaan sen mukaan, missä laajuudessa ne käsittelevät tarkasteltavia tuotteita ja niiden kustannuksia. Työssä esitetyistä menetelmistä tavoitekustannuslaskenta, elinkaarilaskenta sekä Stage-Gate-menetelmä keskittyvät tarkastelemaan yksittäistä tuotetta. Wouters ja Morales (2014, s. 264) esittävät, että yksittäiseen tuotteeseen keskittyvissä menetelmissä lähtökohtana on tarkka ymmärrys kustannustavoitteista, toteutuneiden kustannusten tiukka seuranta sekä kustannusvähennysten vahva korostaminen kustannustavoitteiden saavuttamiseksi. Tämä on tyypillistä erityisesti tavoitekustannuslaskennassa. Toisaalta tavoitekustannuslaskennan tarkasteluala on rajallinen, sillä yksittäisessä tuotekehitysprojektissa tehdyt valinnat vaikuttavat yrityksen tuotteiden jaettuihin kustannuksiin, jotka koskevat esimerkiksi logistiikkaa, asiakaspalvelua ja laatua. Kuitenkaan tavoitekustannuslaskennan

malleissa niitä ei tyypillisesti huomioida. Elinkaarilaskenta ja Stage-Gate-menetelmä huomioivat sen sijaan laajemmin tuotteen elinkaarella aiheutuvia kustannuksia.

Tarkastelevat kustannukset	**Tuotteen valmistuksen yksikkökustannukset**	Tavoitekustannuslaskenta	
	Tuotteen kaikki kustannukset	Elinkaarilaskenta Stage Gate -menetelmä	Komponenttiyhteensopivuus Modulaarinen suunnittelu Tuotealustat
		Yksittäinen tuote	**Tuotteiden muodostama portfolio**
		Tarkasteltavat tuotteet	

Kuva 20. Diplomityössä esitettyjen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmien ryhmittely (mukaillen Wouters & Morales 2014, s. 263)

Modulaariseen suunnitteluun liittyvät tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmät, komponenttiyhteensopivuus, modulaarinen suunnittelu sekä tuotealustat, taas keskittyvät yksittäisen tuotteen sijaan usean tuotteen muodostamaan portfolioon. Näissä menetelmissä koordinoidaan erillisissä tuotekehitysprojekteissa tehtyjä valintoja. Näitä menetelmiä käytettäessä päämääränä on johtaa organisaation kokonaiskustannuksia mutta seurauksena yksittäisen tuotteen kustannus saattaa jopa nousta. (Wouters & Morales 2014, s. 264)

3 TUOTEKEHITYSVAIHEEN KUSTANNUSJOHTAMISEN KEHITTÄMINEN KOHDEYRITYKSESSÄ

3.1 Yritysesittely

Kesla Oyj on vuonna 1960 perustettu konepajakonserni. Sen päätoimipaikka on Joensuu ja muita toimipaikkoja ovat Kesälahti sekä Ilomantsi. Lisäksi yrityksellä on myyntikonttori Appenweierissä Saksassa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2017 oli 42,7 miljoonaa euroa, ja työntekijöitä tilikauden 2017 lopussa yrityksellä oli 234. Kesla on vahvasti vientivetoinen yritys, ja vuonna 2017 yli 60 % yrityksen liikevaihdosta tuli viennistä. Yrityksen tuotteita viedään 35 eri maahan ympäri maailman. (Kesla 2018a; Kesla 2018c, s. 2-3)

Keslan valmistamat tuotteet voidaan jakaa kuuteen eri kategoriaan, jotka ovat hakkurit, metsäkonenosturit, harvesterikourat, traktorin metsävarusteet, kahmarit sekä auto- ja teollisuusnosturit. Tuotteita käytetään esimerkiksi puunkorjuussa, metsäteollisuudessa, energiantuotannossa, kierrätysteollisuudessa, satamissa ja aluksissa. Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan auto- ja teollisuusnostureita. Keslan auto- ja teollisuusnosturiperhe käsittää useita erikokoisia ja -tehoisia nostureita, jotka on suunniteltu esimerkiksi puun, romumetallin, jätteiden sekä erilaisten biomassojen käsittelyyn. Varsinaisten nostureiden ohella yritys tarjoaa nostureihinsa runsaasti erilaisia lisävarusteita, kuten hallintalaitteita, hyttejä, ohjausjärjestelmiä, kahmareita, vaakoja ja tukijalkoja. (Kesla 2016, s. 1-22; Kesla 2018b)

3.2 Laskennan nykytila

Kohdeyrityksessä on tehty viime vuosina runsaasti tuotekehitykseen ja tuotehallintaan liittyvää kehitystyötä. Vuonna 2010 yrityksessä aloitettiin siirtymä Configure to Order -tuotantomenetelmään (CTO), johon liittyvää teoriaa on esitetty kappaleessa 2.4. Kohdeyrityksen CTO-prosessi lähtee liikkeelle asiakastarpeen määrittämisestä. Asiakastarpeen perusteella asiakkaalle annetaan tarjous tarpeet

täyttävästä tuotekonfiguraatiosta. Joissain tapauksissa yrityksen vakiotuotteet eivät täysin vastaa asiakastarpeisiin. Tällöin voidaan tutkia mahdollisuutta tilauksesta suunnittelu -menetelmän (ETO) soveltamiseen, jossa olemassa olevan tuotemallin pohjalta suunnitellaan asiakkaan yksilöllisiin tarpeisiin räätälöity tuote. Mikäli ETO-suunnittelua vaativan tuotteen valmistaminen nähdään kannattavaksi, asiakkaalle laaditaan vakiotuotteen tavoin tarjous tarpeet täyttävästä tuotekonfiguraatiosta. Mikäli asiakkaalle tehty tarjous johtaa tilaukseen, aloitetaan tuotteen valmistusprosessi. Valmistusprosessin yksityiskohdat riippuvat siitä, onko kyseessä vakiotuote vai ETO-suunnittelua vaativa tuote. Vakiotuotteen kohdalla siirrytään suoraan valmistamaan tuotetta määritellyn konfiguraation mukaisesti. Valmis tuote toimitetaan asiakkaalle. ETO-suunnittelua vaativan tuotteen kohdalla taas suoritetaan ensin tarvittava tuotekehitys- ja suunnittelutyö. Tämän jälkeen laaditaan tuotesuunnittelun pohjalta uudet tuoterakenteet, varastotiedot ja ostetaan alihankkijoilta tarvittavat komponentit. Näiden toimenpiteiden jälkeen siirrytään tuotteen valmistamiseen ja toimitukseen.

Vaikka kohdeyrityksen valmistamat nosturimallit perustuvat modulaarisiin tuoterakenteisiin, luvussa 2.4 esitettyjä modulaarisuuteen liittyviä tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmiä ei kuitenkaan sovelleta tällä hetkellä järjestelmällisesti yrityksessä. Komponenttiyhteensopivuuteen liittyen tuotesuunnittelijat pyrkivät oman harkintansa mukaan hyödyntämään jo olemassa olevia osia ja komponentteja uusien tuotteiden suunnittelussa. Kuitenkaan mitään järjestelmällisiä rajoitteita tai vaatimuksia komponenttien uudelleenkäyttöön liittyen ei kohdeyrityksessä tällä hetkellä sovelleta. Kohdeyrityksessä toteutetaan myös modulaarista suunnittelua, mutta tässä päämääränä on lähinnä moduulien suunnittelu kulloinkin suunnittelussa olevaan nosturimalliin. Sen sijaan yrityksessä ei ole ohjeistusta järjestelmälliselle samojen moduulien hyödyntämiselle eri tuotteiden kesken. Samoja moduuleita käytetään jossain määrin tälläkin hetkellä eri tuotteiden kesken, mutta yrityksessä nähdään, että modulaarista suunnittelua voitaisiin hyödyntää nykyistä laajemmin.

Vuoden 2018 alussa yrityksessä otettiin käyttöön uusi tuotekehityksen prosessimalli, joka pohjautuu kappaleessa 2.5 esitettyyn Stage-Gate-malliin. Uusi prosessimalli koostuu kuudesta vaiheesta sekä neljästä portista. Nämä on esitetty kuvassa 21.

Kuva 21. Kohdeyrityksen käyttämä tuotekehityksen prosessimalli

Prosessimallin ensimmäinen vaihe on seulonta, joka keskittyy mahdollisiin uusiin tuotteisiin liittyviin tarpeisiin ja ideoihin. Seulonnassa keskitytään järjestelmällisesti keräämään näitä tarpeita ja ideoita sekä analysoimaan niitä. Lupaavat tarpeet ja ideat etenevät seuraavaan vaiheeseen, joka on nimeltään esiselvitys. Esiselvitysvaiheessa keskeiset tuotokset ovat teknisen sekä kaupallisen potentiaalin arviointi ja suunnittelun lähtötietojen määrittäminen. Esiselvitysvaiheen jälkeen seuraa portti 1, jossa arvioidaan suunniteltavan tuotteen käyttötarkoitusta, kaupallista potentiaalia, teknistä toteutettavuutta sekä projektinhallintaan liittyviä seikkoja, kuten aikataulua ja projektin laajuutta.

Mikäli tuotekehitysprojekti läpäisee portin 1, se etenee vaiheeseen nimeltä esisuunnittelu. Esisuunnitteluvaiheen keskeisiä tuotoksia ovat tuotteen 3D-luonnos, varianttisuunnitelma sekä tuoteriskien arviointi. Esisuunnitteluvaiheen jälkeen projekti etenee porttiin 2. Tässä portissa arvioidaan esisuunnitteluvaiheen tuotosten pohjalta, onko projektilla valmiuksia jatkaa prosessissa seuraavaan vaiheeseen. Portissa 2 tarkastellaan myös esisuunnittelun tuottamien tietojen pohjalta tuotteen arvioituja kustannuksia ja verrataan niitä asetettuun tavoitekustannukseen. Lisäksi tässä portissa tehdään IPR-tarkastus, jossa arvioidaan tuotteen kehittämiseksi ja valmistamiseksi mahdollisesti tarvittavia aineettoman omaisuuden oikeuksia.

Mikäli projekti läpäisee portin 2, se siirtyy varsinaiseen suunnitteluvaiheeseen. Tämän vaiheen tuotoksia ovat esimerkiksi tuotteen piirustukset, lujuuslaskelmat, varaosakuvat, 3D-mallit, sähkökaaviot ja käyttöohje. Lisäksi laaditaan tuotteen

valmistettavuutta ja kokoonpantavuutta arvioiva DFMA-analyysi. Suunnitteluvaiheesta projekti siirtyy porttiin 3, jossa varmistetaan, että tarvittavat suunnittelutyöt, kuten piirustukset, lujuuslaskelmat ja varaosakuvat, on tehty ja ne ovat asianmukaisia. Lisäksi portissa 3 arvioidaan seuraavan vaiheen, eli testauksen, aikataulua, katselmointikäytäntöä, testaussuunnitelmaa sekä tuotteen myyntivalmisteluiden tilaa.

Mikäli projekti läpäisee portin 3, se siirtyy testausvaiheeseen. Tässä vaiheessa valmistetaan yksi tai useampi prototyyppi kenttätestejä varten. Testeistä saadun palautteen pohjalta tuotesuunnitteluun tehdään asianmukaiset parannukset. Prototyyppien testaamisen ohella testausvaiheessa luodaan tuotteelle tuotanto-, myynti- ja ylläpitovalmius, annetaan tuotekoulutusta yrityksen myynti-, tuotanto- ja jälkimarkkinointiorganisaatioille sekä viimeistellään tuotesuunnittelu-dokumentaatio. Testausvaiheesta projekti siirtyy porttiin 4. Portti 4 on prosessimallin viimeinen portti ja sen läpäistyään tuote on valmis myyntiin ja tuotantoon. Portissa 4 varmistetaan, että tuotteella on tuotanto-, myynti- ja ylläpitovalmius, yrityksen eri organisaatioille on annettu riittävä koulutus tuotteeseen liittyen ja tuotesuunnitteludokumentaatio on asianmukainen. Läpäistyään portin 4 tuote siirtyy tuotantoon sekä myyntiin, ja samalla tuotekehitysprojekti päättyy.

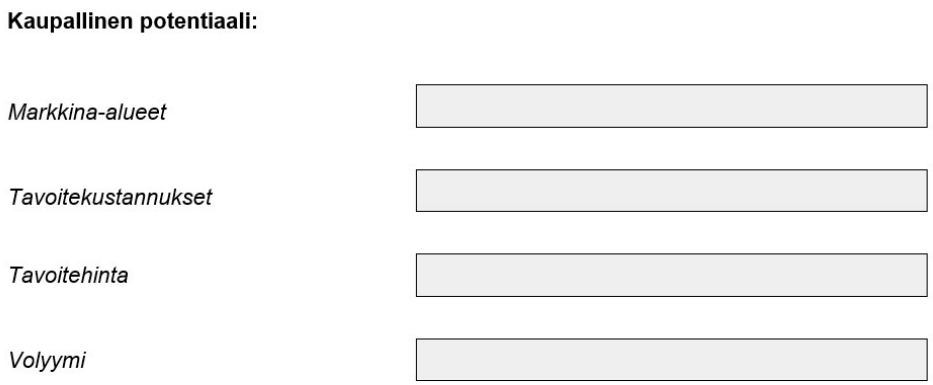
Vaikka edellä esitetty prosessimalli tarjoaakin selkeän ja johdonmukaisen tavan tuotekehitysprojektin läpiviemiseksi, siinä tapahtuva suunniteltavan tuotteen kustannusten, kannattavuuden sekä kaupallisen potentiaalin arviointi on varsin rajallista. Tähänkin saakka tuotekehityksen projektitiimit ovat jokaisessa tuotekehitysprosessin vaiheessa pyrkineet huomioimaan kustannukset ja laatimaan kustannustehokkaita ratkaisuja. Kuitenkin määrätty ja johdonmukainen kustannus- ja kannattavuusarviointi rajoittuu yrityksen tämänhetkisessä tuotekehitysprosessissa prosessin alkupuolelle. Kustannus- ja kannattavuusarvioinnin vajavaisuuden seurauksena useissa tapauksissa uusien tuotteiden kustannukset ovat paljastuneet yritykselle vasta tuotannon käynnistyttyä, ja näiden tuotteiden kannattavuus on saattanut osoittautua selvästi heikommaksi

kuin tuotekehityksen aikana ennakoitiin. Yrityksen johto onkin asettanut tavoitteeksi tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen kehittämisen niin, että tuotekehitysprosessissa olevien tuotteiden tulevia kustannuksia ja kannattavuuksia kyetään arvioimaan ja hallitsemaan tarkemmin ja johdonmukaisemmin. Lisäksi tuotekehitysvaiheessa tapahtuvan kustannus- ja kannattavuusarvioinnin ulottuvuutta tulee johdon mukaan laajentaa niin, että siinä huomioidaan tuotteen koko elinkaaren ajalta syntyvät tuotot ja kustannukset. Näin voidaan luotettavammin arvioida, millä ajanjaksolla tuote kattaa siihen kohdistetut panostukset, kuten tuotekehityskustannukset.

Perehtymällä kohdeyrityksen laskennan nykytilaan sekä yrityksen johdon esittämiin kehittämistavoitteisiin ja vertaamalla näitä kirjallisuudessa esitettyihin tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen menetelmiin tutkija tunnisti kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen keskeisiksi kehittämiskohteiksi tavoitekustannuslaskennan ja toisaalta elinkaarikannattavuuden laskennan kehittämisen. Kohdeyrityksen tavoitekustannuslaskennan kehittämistä kuvataan kappaleessa 3.3 ja elinkaarikannattavuuden laskennan kehittämistä kappaleessa 3.4.

3.3 Tuotekehitysvaiheen tavoitekustannuslaskennan kehittäminen kohdeyrityksessä

Tällä hetkellä järjestelmällistä tuotekehitysvaiheen tavoitekustannuslaskentaa suoritetaan kohdeyrityksessä tuotekehitysprosessin vaiheissa esiselvitys ja esisuunnittelu sekä niitä seuraavissa porteissa. Esiselvitysvaiheessa arvioidaan tuotteen kaupallista potentiaalia, ja tässä arviossa määritellään tuotteen markkina-alueet, tavoitekustannukset, tavoitehinta sekä arvioidaan myyntivolyymia. Näitä tekijöitä arvioidaan esiselvitysvaihetta seuraavassa portissa 1 ja ne myös kirjataan ylös portin tarkastuslistaan. Portin 1 tarkastuslista Kaupallinen potentiaali -osion osalta on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Portin 1 tarkastuslistan Kaupallinen potentiaali -osio

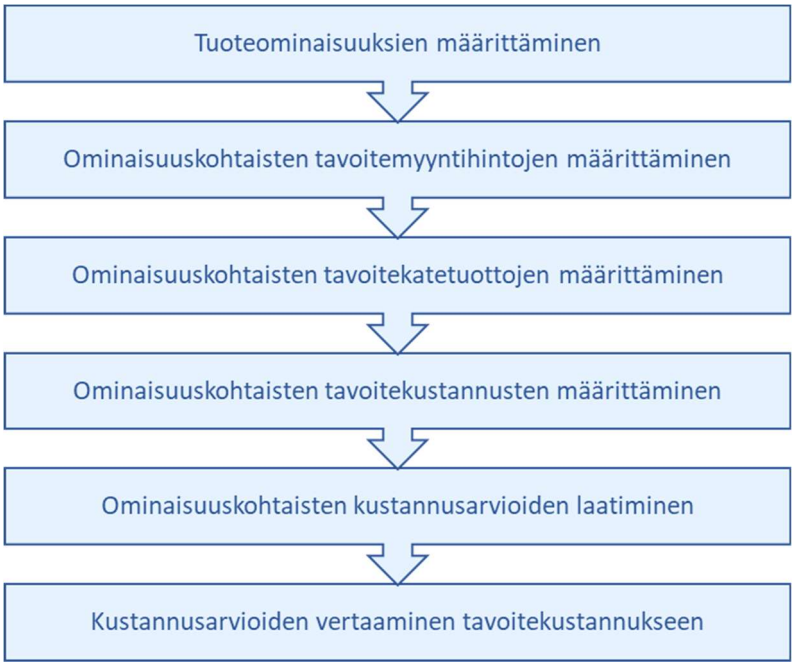
Esisuunnitteluvaiheessa taas laaditaan arvio tuotekustannuksesta alustavan tuotesuunnittelun perusteella. Tätä arviota tarkastellaan esisuunnittelua seuraavassa portissa 2, ja tuotteen arvioitu kustannus sekä tuotteelle asetettu tavoitekustannus kirjataan ylös portin tarkastuslistaan. Portin 2 tarkastuslista Kustannusanalyysi-osion osalta on esitetty kuvassa 23.

Kuva 23. Portin 2 tarkastuslistan Kustannusanalyysi-osio

Keskeinen ongelma kohdeyrityksen tämänhetkisessä tuotekehitysvaiheen tavoitekustannuslaskennassa on sen rajoittuminen pitkälti tuotekehitysprosessin alkupäähän, esiselvitykseen ja esisuunnitteluun. Kustannuksia pyritään arvioimaan tuotekehitysprosessin myöhemmissäkin vaiheissa, mutta näiden arvioiden

tekemiseen ei ole olemassa järjestelmällistä toimintamallia, vaan kustannusarvioiden muoto, ajankohta ja laajuus ovat määräytyneet projektitiimin jäsenten subjektiivisten arvioiden perusteella. Tavoite- ja arviokustannuksia ei myöskään kirjata ylös enää porttien 3 ja 4 tarkastuslistoihin. Toinen nykyisen tavoitekustannuslaskennan ongelma on sen yksinkertaisuus. Esiselvitys- ja esisuunnitteluvaiheissa määritellään tavoite- ja tuotekustannuksille vain yksittäiset arvot. Kuitenkin auto- ja teollisuusnostureiden kohdalla kustakin tuotemallista on olemassa useita erilaisia variaatioita ja kuhunkin tuotemalliin on olemassa myös monia lisävarusteita. Näin ollen uutta nosturimallia suunniteltaessa kuvien 22 ja 23 tarkastuslistojen yksittäiset arvot arvioidulle kustannukselle ja tavoitekustannukselle eivät anna riittävän laajaa kuvaa nosturin eri variaatioiden kustannuksista.

Suositus kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen tavoitekustannuslaskennan kehittämiseksi laadittiin määrittämällä päivitetyt tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit kuhunkin kohdeyrityksen nykyisen tuotekehitysprosessin vaiheeseen esiselvitysvaiheesta alkaen. Lisäksi kunkin vaiheen aktiviteeteille määriteltiin omistaja eli osasto, joka on päävastuussa aktiviteettien toteuttamisesta. Omistajuuden määrittämisen myötä vastuut ja roolit ovat selkeät kaikille tuotekehitysprosessiin osallistuville ja todennäköisyys tavoitekustannuslaskentaan liittyviin organisationaalisiin ongelmiin pienenee. Suositellut tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit tuotekehitysprosessin esiselvitysvaiheessa on esitetty kuvassa 24.



Kuva 24. Suositellut tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit esiselvitysvaiheessa

Esiselvitysvaiheessa tavoitekustannuslaskennan kehittämissuositus pitää sisällään kuusi aktiviteettia, ja niiden omistaja on yrityksen liiketoimintajohto. Ensimmäisenä on tuoteominaisuuksien määrittäminen, joka jo nykyisellään kuuluu esiselvitysvaiheeseen. Käytännössä tuoteominaisuuksien määrittäminen tapahtuu laatimalla tuotteelle ominaisuusmallitaulukko, jossa esitetään tuotteen variaatiot ja lisävarusteet. Esimerkki ominaisuusmallitaulukosta on esitetty liitteessä 1. Ominaisuusmallitaulukkoa päivitetään tuotekehitysprosessin mittaan ja myös tuotteen tuotantovaiheessa esimerkiksi tuoterakenteiden muuttuessa. Seuraavat kolme aktiviteettia ovat ominaisuuskohtaisten tavoitemyyntihintojen, tavoitekatetuottojen sekä tavoitekustannusten määrittäminen. Käytännössä kohdeyrityksen nosturiliiketoiminnan johtaja ja tuotepäälliköt määrittelevät kullekin tuoteominaisuudelle tavoitemyyntihinnan ja -katteen. Ominaisuuskohtainen tavoitekustannus saadaan tavoitemyyntihinnan ja tavoitekatetuoton erotuksesta.

Tavoitearvojen määrittämisen jälkeen seuraa viides aktiviteetti, ominaisuuskohtaisten kustannusarvioiden laatiminen. Tässä aktiviteetissa projektitiimi luo arvion kunkin tuoteominaisuuden kustannuksista.

Kustannusarviointia varten diplomityöprojektissa luotiin kaksi Excel-pohjaista laskentamallia, joista toinen perustuu analogiseen ja toinen parametriseen kustannusarviointimenetelmään. Analogiseen kustannusarviointimenetelmään perustuvassa Excel-mallissa esitetään kohdeyrityksen nykyisten nosturimallien ominaisuuskohtaisia valmistuskustannuksia perustuen ominaisuusmallitaulukkoon. Valmistuskustannukset sisältävät materiaali- sekä työkustannukset. Kuvakaappaus laskentamallista on esitetty liitteessä 2. Laskentamalli rakennettiin täydentämällä nykyisten nosturimallien ominaisuusmallitaulukoita yrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä saadulla kustannusdatalla. Käytännössä laskentamalli hakee tuotannonohjausjärjestelmän tietokannasta tiedon kuhunkin ominaisuusmallitaulukon ominaisuuteen liittyvistä keskimääräisistä valmistuskustannuksista. Laskentamalli avustaa tuotekehitystiimiä analogisten kustannusarvioiden tekemisessä. Analoginen kustannustenarviointimenetelmä soveltuu nostureiden tuotekehitykseen, sillä tuotekehityksessä ei yleensä lähdetä suunnittelemaan nosturia täysin tyhjästä vaan otetaan lähtökohdaksi soveltuvat nykyiset nosturimallit, joiden pohjalle uutta nosturimallia lähdetään suunnittelemaan. Näin ollen suunniteltavissa nostureissa on yhtäläisyyksiä tuotannossa oleviin nostureihin ja olemassa olevaa kustannusdataa voidaan hyödyntää tuotesuunnittelussa. Toisaalta laskentamalli ei suoraan pysty ennustamaan suunniteltavien tuotteiden kustannuksia, varsinkaan jos suunniteltava tuote eroaa ominaisuuksiltaan tai teknisiltä ratkaisuiltaan merkittävästi kohdeyrityksen nykyisistä tuotteista. Tuotekehitystiimin onkin subjektiivisesti arvioitava, kuinka lähellä kehitettävän tuotteen kukin ominaisuus on valmistuksessa olevien nosturimallien ominaisuuksia selvittääkseen, missä määrin tuotannossa olevien nostureiden kustannusdataa voidaan käyttää suunniteltavan tuotteen kustannusten arviointiin.

Toinen Excel-pohjainen kustannusarviointiin suunniteltu laskentamalli perustuu parametriseen kustannusarviointimenetelmään. Laadittaessa parametrista laskentamallia mukailtiin soveltuvin osin luvussa 2.3 esitettyä Farineau et. kuvaamaa menetelmää kustannusarvioinnin kaavan luomiseksi. Laskentamallin laatiminen aloitettiin keräämällä dataa ja valitsemalla soveltuvat muuttujat. Data

kerättiin kohdeyrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä sekä nostureiden teknisistä määrityksistä. Laskentamalli keskittyy arvioimaan yksittäisen nosturimallin eri variaatioiden kustannuksia sen rungon eli ydinkomponenttien osalta. Näitä ydinkomponentteja ovat nosturin puomisto, kääntölaite sekä rungon kokoonpanossa välttämättömät varusteluosat. Sen sijaan parametrisen laskentamallin tarkastelun ulkopuolelle jätettiin muut nosturin komponentit, kuten ohjausjärjestelmät ja lisävarusteet. Syynä rajaukseen on se, että nosturin rungon ominaisuuksia voidaan selkeästi kuvata kolmella teknisellä parametrillä. Nämä ovat nostomomentti, ulottuvuus sekä jatkeiden määrä. Nosturin muita komponentteja kuvaamaan ei voida helposti määrittää yhteisiä teknisiä parametrejä. Käytännössä samasta nosturimallista on olemassa useita variaatioita, jotka poikkeavat toisistaan edellä mainittujen teknisten parametrien osalta.

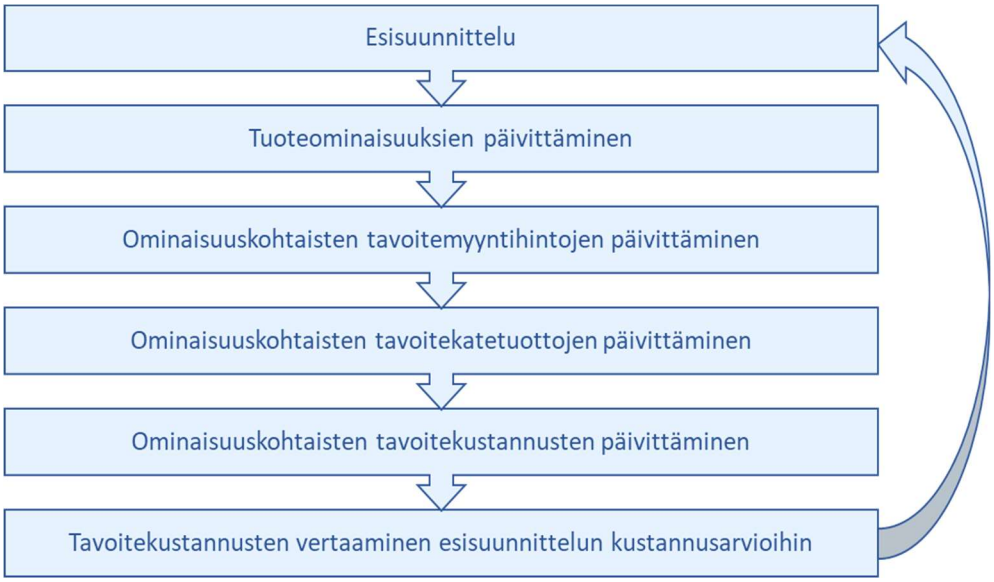
Datan keräämisen ja muuttujien valitsemisen jälkeen suoritettiin regressioanalyysi. Regressioanalyysissä selittävinä muuttujina käytettiin nostomomenttia, ulottuvuutta sekä jatkeiden määrää ja selitettävänä muuttujana taas nosturin rungon valmistuskustannuksia. Regressioanalyysin laadinnassa käytettiin Minitab-tilastoanalyysiohjelmistoa. Ohjelmisto valittiin, sillä sitä on käytetty kohdeyrityksessä aiemmin ja yritys on myös kiinnostunut hyödyntämään ohjelmistoa laajemmin tulevaisuudessa. Ohjelmisto määrittää sille syötetyn arvojoukon perusteella automaattisesti soveltuvan regressioyhtälön, joka voi olla lineaarinen tai kvadraattinen eli toisen asteen yhtälö. Ohjelmisto käyttää regressioyhtälön määrittämiseen pienimmän neliösumman menetelmää, jota käytetään yleisesti regressiokertoimien estimointiin (Mellin 2006, s. 343). Regressioyhtälön ohella ohjelmisto määrittää kunkin selittävän muuttujan vaikutuksen selitettävään muuttujaan. Parametrista laskentamallia laadittaessa kaikkien selittävien muuttujien havaittiin vaikuttavan selitettävään muuttujaan eli nosturin rungon valmistuskustannuksiin. Regressioyhtälön määrittämisen jälkeen funktion laatua arvioitiin ohjelmiston määrittämällä R^2-arvolla eli selitysasteella. Selitysasteen suuruudeksi laskentamallia varten laaditulle regressioyhtälölle saatiin 99,13 %, joten määritetyn regressioyhtälön voidaan todeta selittävän hyvin muutoksia selitettävässä muuttujassa. Regressioyhtälön määrittämisen jälkeen se

siirrettiin Excel-laskentamalliin, jossa nosturin rungon kustannuksia voi arvioida syöttämällä siihen halutut arvot nostomomentille, ulottuvuudelle ja jatkeiden määrälle. Kuvakaappaus laskentamallista on esitetty liitteessä 3. Laskentamalli ennustaa parhaiten kustannuksia silloin, kun syötetyt parametrit ovat otosjoukon sisällä (interpolaatio). Sen sijaan mitä kauemmaksi otosjoukosta mennään, sitä epätarkempia kustannusarvioita laskentamalli tuottaa (ekstrapolaatio). Laskentamallilla ei voida luotettavasti arvioida teknisiltä ominaisuuksiltaan merkittävästi otosjoukosta poikkeavan nosturin kustannuksia, sillä sen rakenteellinen toteutus ei enää vastaa riittävästi otosjoukon nostureita.

Kustannustavoitteiden ja -arvioiden raportointia varten tuotekehitysvaiheessa olevien tuotteiden ominaisuusmallitaulukkoa kehitettiin niin, että siihen sisällytetään myös kunkin suunnitellun ominaisuuden tavoitemyyntihinta, tavoitekatetuotto, tavoitekustannus sekä arvioitu kustannus. Ominaisuusmallitaulukon uusi versio on esitetty liitteessä 4. Esiselvitysvaiheen tavoitekustannuslaskennan kuudennessa aktiviteetissa luotuja kustannusarvioita verrataan määritettyihin tavoitekustannuksiin. Tämä antaa lähtökohdan portissa 1 tapahtuvalle kaupallisen potentiaalin analysoinnille.

Tuotekehitysprosessin seuraavassa vaiheessa, esisuunnittelussa, tavoitekustannuslaskennan kehittämissuositus sisältää myös kuusi aktiviteettia, ja niiden omistaja on yrityksen tuotehallintaosasto. Nämä on esitetty kuvassa 25. Esisuunnitteluvaiheen tavoitekustannuslaskennassa ensimmäinen aktiviteetti on esisuunnittelu, joka jo tälläkin hetkellä kuuluu esisuunnitteluvaiheeseen. Esisuunnittelussa syntyy mahdollisesti uusia tuoteominaisuuksia, minkä vuoksi toisessa aktiviteetissa keskitytään tuoteominaisuuksien päivittämiseen. Käytännössä uudet ja muuttuneet tuoteominaisuudet kirjataan ylös tuotekehitysvaiheen ominaisuusmallitaulukkoon. Toista aktiviteettia seuraavat aktiviteetit 3-5 eli ominaisuuskohtaisten tavoitemyyntihintojen, tavoitekatetuottojen sekä tavoitekustannusten päivittäminen. Näissä aktiviteeteissa tuoteominaisuuksien tavoitemyyntihinnat, tavoitekatetuotot sekä tavoitekustannukset päivitetään vastaamaan esisuunnittelussa tapahtuneita

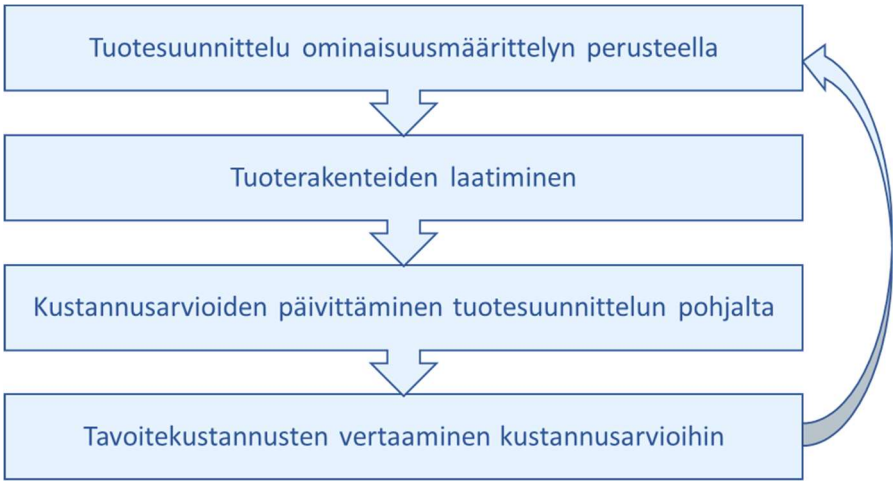
muutoksia tuoteominaisuuksiin. Esisuunnitteluvaiheen tavoitekustannuslaskennan kuudennessa aktiviteetissa määritettyjä ominaisuuksien tavoitekustannuksia verrataan esisuunnittelun pohjalta tehtyihin arvioihin ominaisuuksien kustannuksista. Näin saadaan tarkempi näkemys siitä, voidaanko suunnitellut tuoteominaisuudet toteuttaa asetettujen tavoitekustannusten puitteissa. Tämä vertailu toimii lähtökohtana portissa 2 tapahtuvalle tuotteen kaupallisen potentiaalin ja kannattavuuden tarkastelulle. Vertailussa on huomioitava tavoitekustannuslaskennan pääsääntö, jonka mukaan tavoitekustannusta ei saa koskaan ylittää. Jos vertailussa havaitaan, että ominaisuuksien arvioidut kustannukset ylittävät niille asetut tavoitekustannukset, voidaan tarvittaessa palata ensimmäiseen aktiviteettiin eli esisuunnitteluun. Tätä kuvastaa kuvassa 24 oleva nuoli kuudennen ja ensimmäisen aktiviteetin välillä. Tämä paluumahdollisuus, eli takaisinkytkentä, mahdollistaa tavoitekustannuslaskennalle ominaisen inkrementaalisen kehityksen toteutumisen osana lineaarista Stage-Gate-mallia lisäten joustavuutta tuotekehitysprosessiin.



Kuva 25. Suositellut tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit esisuunnitteluvaiheessa

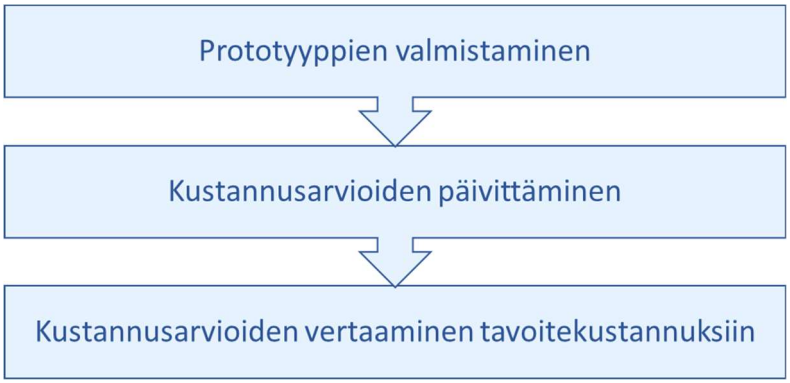
Kohdeyrityksen tuotekehitysprosessissa esisuunnittelua seuraa varsinainen suunnitteluvaihe. Suunnitteluvaiheen tavoitekustannuslaskennan

kehittämissuositukseen sisällytettiin neljä aktiviteettia, joiden omistaja on yrityksen tuotekehitysosasto. Aktiviteetit on esitetty kuvassa 26. Ensimmäinen ja toinen aktiviteetti, tuotesuunnittelu ominaisuusmäärittelyn pohjalta sekä tuoterakenteiden laatiminen, kuuluvat tälläkin hetkellä suunnitteluvaiheeseen. Tuoterakenteiden laadinnassa tuotesuunnittelun pohjalta luodaan tuoterakenne, joka pitää sisällään kaikki tuotteeseen tulevat valmistettavat ja ulkopuolelta ostetut komponentit. Tuoterakenteen laadinnan myötä komponenttien tyypit ja määrät varmistuvat, mikä antaa entistä täsmällisempää tietoa kustannusarvioinnin tueksi. Tuoterakenteiden laatiminen on myös edellytys tuotekehitysprosessin seuraavassa eli testausvaiheessa tapahtuvalle prototyyppien valmistamiselle. Tuotesuunnittelussa ja tuoterakenteita laadittaessa tuotekehitysosaston tulee olla tiiviissä yhteistyössä hankintaosaston kanssa. Tuotekehityksen ja hankinnan yhteistyön tavoitteena on määrittää suunniteltavalle tuotteelle mahdollisimman kustannustehokkaat alikomponentit ja siirtää samalla kustannuspainetta komponenttitoimittajille. Kolmannessa aktiviteetissa tuoteominaisuuskohtaisia kustannusarvioita päivitetään tuotesuunnittelun pohjalta. Yleensä lopulliset tuoteominaisuudet tarkentuvat vasta varsinaisessa suunnittelussa, ja näin myös tuotteen tekninen toteutus, valmistustavat, ostokomponentit ja muut valmistustekniset seikat saattavat muuttua verrattuna aiempiin tuotekehitysprosessin vaiheisiin. Edellä mainitut muutokset vaikuttavat myös tuotekustannuksiin, minkä vuoksi tuoteominaisuuskohtaiset kustannusarviot on syytä päivittää. Neljännessä aktiviteetissa varsinaisen tuotesuunnittelun myötä päivitettyjä kustannusarvioita verrataan aiemmin asetettuihin tavoitekustannuksiin. Tässä vertailussa käy ilmi, mikäli jonkin tuoteominaisuuden kustannuksen arvioidaan nousevan tavoitekustannusta suuremmaksi. Vertailu toimii lähtökohtana portissa 3 tapahtuvalle tuotteen kaupallisen potentiaalin ja kannattavuuden tarkastelulle. Jos vertailussa havaitaan, että ominaisuuksien arvioidut kustannukset ylittävät niille asetut tavoitekustannukset, voidaan tarvittaessa palata ensimmäiseen aktiviteettiin eli tuotesuunnitteluun. Tätä kuvastaa nuoli neljännen ja ensimmäisen aktiviteetin välillä kuvassa 26.



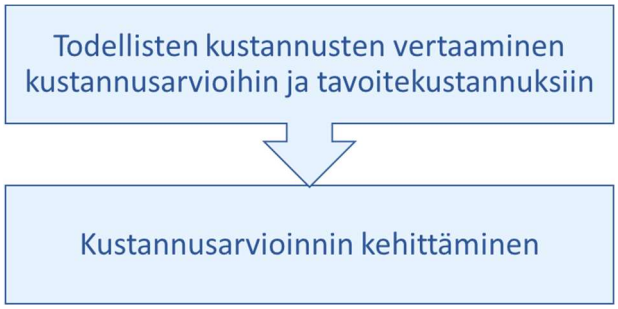
Kuva 26. Suositellut tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit suunnitteluvaiheessa

Tuotekehitysprosessin testausvaiheeseen tavoitekustannuslaskennan kehittämissuositukseen sisällytettiin kolme aktiviteettia, joiden omistaja on yrityksen tuotehallintaosasto. Aktiviteetit on esitetty kuvassa 27. Ensimmäinen aktiviteetti, prototyyppien valmistaminen, kuuluu tälläkin hetkellä testausvaiheeseen. Tässä aktiviteetissa rakennetaan tuotesuunnittelun sekä tuoterakenteiden perusteella prototyyppejä suunnitellusta tuotteesta. Prototyyppien valmistaminen antaa tietoa erityisesti suunniteltavan tuotteen valmistamiseen liittyvistä työkustannuksista, jotka nostureiden tapauksessa ovat merkittävä osa nosturin kokonaiskustannuksia. Prototyyppien valmistamisen jälkeen seuraa toinen aktiviteetti, kustannusarvioiden päivittäminen. Tässä aktiviteetissä suunniteltavan tuotteen ominaisuuskohtaisia kustannusarvioita päivitetään prototyyppien valmistamisesta saadun kustannusinformaation perusteella. Kolmannessa aktiviteetissa päivitettyjä kustannusarvioita verrataan tuotteen ominaisuuksille aiemmin asetettuihin tavoitekustannuksiin. Vertailu toimii lähtökohtana portissa 4 tapahtuvalle tuotteen kannattavuuden ja kaupallisen potentiaalin arvioinnille.



Kuva 27. Suositellut tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit testausvaiheessa

Tuotekehitysprosessin viimeiseen vaiheeseen, myynti- ja tuotanto, tavoitekustannuslaskennan kehittämissuositukseen sisällytettiin kaksi aktiviteettia, joiden omistaja on yrityksen liiketoimintajohto. Aktiviteetit on esitetty kuvassa 28. Ensimmäinen aktiviteetti on todellisten kustannusten vertaaminen kustannusarvioihin ja tavoitekustannuksiin. Tuotteen todelliset valmistuskustannukset selviävät vasta, kun tuotteen varsinainen tuotanto käynnistyy. Näitä kustannuksia verrataan tuotekehityksen aikana tehtyihin kustannusarvioihin ja asetettuihin tavoitekustannuksiin. Vertailua toteutuneiden kustannusten sekä kustannusarvioiden ja -tavoitteiden välillä hyödynnetään toisessa aktiviteetissa, tavoitekustannuslaskennan kehittämisessä. Vertaamalla toteutuneita kustannuksia arvioihin ja tavoitteisiin voidaan saada selville, kuinka tarkasti kustannuksia on kyetty arvioimaan ja tavoitteita asettamaan kussakin tuotekehitysprosessin vaiheessa. Syyt arvioiden ja tavoitteiden muodostamisessa tapahtuneille mahdollisille epäonnistumisille tulee selvittää, ja tätä tietoa tulee hyödyntää tulevissa tuotekehitysprosesseissa. Näin tuotekehitysvaiheen tavoitekustannuslaskennan voidaan nähdä olevan jatkuva prosessi.



Kuva 28. Suositellut tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit myynti- ja tuotantovaiheessa

Edellä esitetty suositus kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen tavoitekustannuslaskennan kehittämiseksi perustuu pitkälti tavoitekustannuslaskennan perusprosessien määrittelyyn ja kytkemiseen kohdeyrityksen tuotekehitysprosessiin. Aktiviteeteistä ja niihin liittyvistä Excel-laskentamalleista pyrittiin luomaan yksinkertaisia ja helposti omaksuttavia. Näin kynnys niiden käyttöönottoon pysyy riittävän matalana, eivätkä ne tuo kohtuuttomasti lisätyötä tuotekehitysprosessiin. Lisäksi aktiviteettien ja laskentamallien pitämistä yksinkertaisena puoltaa myös kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen rajallinen lähtötilanne. Yrityksen tuotekehitysorganisaatio näki, että kustannusten arviointi ja ennustaminen olisi hyvä aloittaa yksinkertaisilla menetelmillä, jotta voidaan selvittää niiden ennustetarkkuus. Yksinkertaisista menetelmistä saatujen kokemusten myötä kustannusarviointia voidaan tarvittaessa jatkossa kehittää monimutkaisemmilla aktiviteeteillä ja menetelmillä.

Tavoitekustannuslaskennan ohella tuotekehitysprosessin kolmessa ensimmäisessä vaiheessa, eli vaiheissa esiselvitys, esisuunnittelu sekä suunnittelu, tulee pyrkiä hyödyntämään myös modulaarisuuteen liittyviä kustannusjohtamisen menetelmiä, joihin liittyvää teoriaa esitetään luvussa 2.4. Menetelmistä kohdeyrityksen tapauksessa tulevat kyseeseen ainakin komponenttiyhteensopivuus sekä modulaarinen suunnittelu. Jo tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa on pyrittävä tunnistamaan mahdollisuudet käyttää suunniteltavassa tuotteessa olemassa olevia komponentteja. Komponenttien uudelleenkäytöllä voidaan vähentää

suunniteltavien ratkaisujen määrää ja pienentää näin suunnitteluaikoja sekä kustannuksia. Lisäksi hyödynnettäessä jo käytössä olevia komponentteja tunnetaan paremmin niiden toimivuus ja luotettavuus käytännössä. Uutta tuotetta suunniteltaessa on myös pohdittava, voidaanko tuotteeseen suunnitella sellaisia moduuleja, joita voidaan tulevaisuudessa hyödyntää myös muissa vastaavissa malleissa. Modulaarisen suunnittelun myötä voidaan mahdollisesti pienentää sekä ennakoida tulevien tuotteiden suunnittelukustannuksia.

3.4 Tuotekehitysvaiheen elinkaarikannattavuuslaskennan kehittäminen kohdeyrityksessä

Kappaleessa 3.3 esitetyllä tavoitekustannuslaskennan prosessilla voidaan laatia arvioita ja tavoitteita suunniteltavan tuotteen suorista valmistuskustannuksista. Tuotteeseen liittyy kuitenkin sen elinkaaren aikana useita muitakin kustannuseriä, jotka olennaisesti vaikuttavat tuotteen kannattavuuteen sen elinkaarella. Kohdeyrityksen johto onkin asettanut tavoitteeksi, että kunkin tuotemallin elinkaarikannattavuutta olisi kyettävä ennustamaan ja seuraamaan. Tällä hetkellä yrityksellä ei ole järjestelmällistä tapaa arvioida tuotekehitysvaiheessa olevien tuotteiden elinkaarikannattavuutta tai seurata jo valmistuksessa olevien tuotteiden elinkaarikannattavuutta, vaan kannattavuuden seuranta rajoittuu kunkin tuotekategorian tuloslaskelmaperustaiseen seurantaan.

Suunniteltavan tuotteen elinkaarenaikaisen kannattavuuden arvioimiseksi diplomityöprojektissa laadittiin Excel-laskentamalli. Kuvakaappaus esimerkkilaskentamallista on esitetty liitteessä 5. Kuvakaappauksessa esitettävät lukuarvot ovat täysin kuvitteellisia, eivätkä ne kuvaa mitään kohdeyrityksen todellista tuotetta. Laskentamallia käytettäessä tulee aluksi määrittää tuotteen arvioitu elinkaari eli se ajanjakso, jolloin tuote aiheuttaa kustannuksia tai tuottaa myyntituottoja. Liitteen 5 esimerkkilaskentamallissa ajanjakso on kuusi vuotta. Ajanjakso alkaa vuodesta 0, jolloin tuotteen suunnittelu käynnistyy; tällöin tuote ei synnytä myyntituottoja vaan ainoastaan tuotekehityskustannuksia. Laskentamalliin syötetään kullekin vuodelle arvioitu kappalemääräinen myyntivolyymi sekä

keskimääräinen myyntihinta. Näin saadaan laskettua kullekin vuodelle arvioitu myyntituotto.

Myyntituoton ohella laskentamalliin syötetään kullekin vuodelle arviot määritellyistä kustannuseristä. Kustannuserinä laskentamallissa huomioidaan tuotekehityskustannukset, valmistuskustannukset, myynti- ja markkinointikustannukset sekä takuukustannukset. Nämä ovat suoraan tarkasteltavalle tuotteelle kohdistettavissa olevia kustannuseriä. Sen sijaan laskentamallin ulkopuolelle jätettiin ne kustannuserät, joita ei voida suoraan kohdistaa tarkasteltavalle tuotteelle. Näitä ovat esimerkiksi kiinteistökustannukset, energiakustannukset, hallintokustannukset ja rahoituskustannukset. Tarkastelun rajoittamisella suoriin kustannuksiin laskentamalli saatiin pidettyä riittävän yksinkertaisena. Näin laskentamallin käyttäminen ei kuormita liikaa tuotekehitysprosessia. Laskentamalli laskee kunkin vuoden kustannuserät yhteen ja määrittää tämän jälkeen kullekin vuodelle nettokassavirran myyntituottojen ja kokonaiskustannusten erotuksena. Vuosittaisesta nettokassavirrasta lasketaan nykyarvo käyttämällä laskentamalliin syötettävää laskentakorkoa. Vuosittaisen nettokassavirran nykyarvon ohella malli laskee kullekin vuodelle kumulatiivisen nettokassavirran nykyarvon. Kumulatiivinen nettokassavirran nykyarvo määritetään laskemalla yhteen tarkasteltavan vuoden nettokassavirran nykyarvo ja tarkasteltavaa vuotta edeltävän vuoden kumulatiivinen nettokassavirran nykyarvo. Kumulatiivista nettokassavirran nykyarvoa tarkastelemalla voidaan saada selville, milloin tuote muuttuu elinkaarellaan kannattavaksi eli milloin tuotteesta saadut kokonaismyyntituotot ovat suuremmat kuin tuotteesta aiheutuneet kokonaiskustannukset. Nettokassavirran ohella laskentamalli määrittää myös tuotekehitysprojektin hyöty-kustannussuhteen, joka saadaan tässä tapauksessa laskentamalliin syötettyjen elinkaarenaikaisten myyntituottojen nykyarvojen summan ja elinkaarenaikaisten kustannusten nykyarvojen summan suhteena.

Kohdeyrityksessä elinkaarikannattavuuden laskentamallin sovellusalue alkaa tuotteen kehityksen alkamisesta ja päättyy viimeisen valmistetun tuoteyksilön takuuajan päättymiseen. Tuotekehitysvaiheessa laskentamalliin syötetyt arvot

liittyen tuotteen myyntituottoihin ja sen aiheuttamiin kustannuksiin perustuvat projektitiimin arvioihin. Laskentamallia ryhdytään käyttämään tuotekehitysprosessin vaiheessa esiselvitys ja sitä päivitetään seuraavissa tuotekehitysprosessin vaiheissa, kun arviot tuotteen synnyttämistä myyntituotoista ja kustannuksista tarkentuvat. Joissain tapauksissa tuotteen synnyttämien myyntituottojen ja kustannusten arvioiminen jo tuotekehitysvaiheessa voi olla haastavaa. Haasteellisuudestaan huolimatta tuotteen elinkaarikannattavuuden arviointi jo tuotekehitysvaiheessa ohjaa projektitiimiä pohtimaan tarkemmin suunniteltavan tuotteen elinkaarikannattavuutta. Tämä on selkeä parannus kohdeyrityksen nykytilaan, jossa tuotteen kaupallisen potentiaalin järjestelmällinen arviointi rajoittuu kuvan 22 esittämään suppeaan arvioon tuotekehityksen alkuvaiheessa. Elinkaarikannattavuuden järjestelmällisen arvioinnin myötä kohdeyrityksessä tunnistetaan todennäköisemmin ne suunnitteilla olevat tuotteet, joiden kannattavuus uhkaa muodostua riittämättömäksi elinkaaren aikana.

Diplomityöprojektissa laadittiin myös työkaluja erilaisten elinkaarenaikaisten kustannuserien arvioimiseksi. Valmistuskustannusten arvioinnissa voidaan hyödyntää luvussa 3.3 esitettyjä analogiseen ja parametriseen kustannusarviointimenetelmään perustuvia, tuoteominaisuuksien valmistuskustannuksia määrittäviä Excel-malleja. Kuten luvussa 3.3 todettiin, näillä valmistuskustannuksia määrittävillä laskentamalleilla ei voida kuitenkaan suoraan ennustaa suunniteltavien tuotteiden valmistuskustannuksia. Elinkaarenaikaisten valmistuskustannusten ennustamista vaikeuttaa myös tuotteiden konfiguroitavuus. On haastavaa ennustaa, kuinka paljon mitäkin tuotekonfiguraatiota tullaan myymään tuotteen elinkaarella. Toisaalta nosturin valmistuskustannukset riippuvat tuotekonfiguraatiosta, esimerkiksi paljon lisävarusteita sisältävän nosturin valmistaminen on selvästi kalliimpaa kuin perusmallin. Valmistuskustannusten ohella konfiguroitavuus vaikeuttaa myös elinkaarenaikaisten myyntituottojen ennustamista, sillä valmistuskustannusten ohella myös nosturin myyntihinta riippuu täysin sen konfiguraatiosta.

Valmistuskustannusten ohella diplomityöprojektissa selvitettiin jo tuotannossa olevien nosturimallien tuotekehitys- sekä takuukustannuksia tuotekehitysvaiheessa tapahtuvan elinkaarikannattavuuden arvioinnin tueksi. Tuotekehityskustannuksia selvitettäessä kävi ilmi, että tähän saakka yrityksessä on kerätty ja raportoitu tuotekehitysprojektien aiheuttamia kustannuksia ainoastaan ulkoisen laskentatoimen tarpeita varten. Käytännössä yrityksen tällä hetkellä käyttämän kirjanpitotavan vuoksi kirjanpidosta ei voida selvittää yksittäisen tuotekehitysprojektin kokonaiskustannuksia. Ainoa yrityksen kirjanpidosta saatavilla oleva tieto yksittäiseen tuotekehitysprojektiin liittyen on siihen liittyvät arviot tuotesuunnittelijoiden suorista työkustannuksista. Arviot suorista työkustannuksista perustuvat tuotesuunnittelijoiden subjektiivisiin näkemyksiin omasta ajankäytöstään, joten arvioita ei voida pitää ehdottoman luotettavina. Niitä voidaan kuitenkin varauksin soveltaa arvioitaessa uuden tuotekehitysprojektin kustannusten likimääräistä mittaluokkaa. Arviot suorista työkustannuksista tuotekehitysprojekteittain jo suunniteltujen nosturimallien osalta kerättiin käsin erilliseen Excel-taulukkoon. Kustannustietojen luottamuksellisuuden takia niitä ei esitetä tässä diplomityössä.

Suunniteltavien tuotteiden takuukustannusten arvioimisen tueksi diplomityössä selvitettiin jo tuotannossa olevien nosturimallien synnyttämiä takuukustannuksia. Tällä hetkellä yrityksessä kerätään ja raportoidaan takuukustannuksia tuotekategorioiden tarkkuudella. Jokaiseen takuuhyvitykseen liittyen raportoidaan myös takuusyy, joka voi olla esimerkiksi valmistusvirhe, vika ostokomponentissa tai kuljetuksen aikana tapahtunut vaurio. Kuitenkaan tällä hetkellä ei ole mahdollista tarkastella yksittäisen nosturimallin aiheuttamia takuukustannuksia. Tarkasteltaessa takuukustannusten raportointia kävi ilmi, että osassa kohdeyrityksen toiminnanohjausjärjestelmään raportoiduista takuuhyvityksistä oli viitteenä sen tuoteyksilön sarjanumero, johon takuuhyvitys kohdistui. Näin oli mahdollista luoda Excel-laskentamalli, jossa esitetään takuukustannukset tuotemalleittain. Laskentamalli hakee toiminnanohjausjärjestelmän tietokannasta tuoteyksilön sarjanumeron perusteella sen mallin ja määrittää sitten takuukustannusten summan malleittain. Puutteellisen lähtödatan vuoksi

laskentamalli ei anna tarkkaa tietoa mallikohtaisista takuukustannuksista mutta sitä voidaan käyttää apuna ennustettaessa suunniteltavan tuotteen aiheuttamien takuukustannusten suuruusluokkaa. Takuukustannustietojen luottamuksellisuuden takia laskentamallia ei esitetä tässä diplomityössä.

Elinkaarikannattavuutta ennustettaessa voidaan soveltuvin osin hyödyntää luvussa 2.3 esitettyä Greenen ja Shaw'n mallia elinkaarikustannusanalyysin laatimiseksi. Greenen ja Shaw'n mallin neljä ensimmäistä vaihetta, eli elinkaarikustannusanalyysin päämäärän määrittäminen, analyysin kohteena olevan järjestelmän määrittäminen, kustannusarviointimenetelmän valinta sekä datan ja lähtötietojen kerääminen, ovat tässä tapauksessa selväpiirteisiä. Tässä diplomityössä analyysin päämääränä on elinkaarikannattavuuden määrittäminen ja analyysin kohteena suunniteltava auto- tai teollisuusnosturi. Kustannusarvioinnissa voidaan soveltaa analogista sekä parametristä kustannusarviointimenetelmää. Data ja lähtötiedot elinkaarianalyysiin saadaan kohdeyrityksen tietojärjestelmistä sekä asiantuntija-arvioista. Viides vaihe Greenen ja Shaw'n mallissa on lähtötietojen ja analyysin tulosten oikeellisuuden tarkastelu. Kohdeyrityksessä elinkaarikannattavuusanalyysistä vastuussa olevien henkilöiden tulee varmistaa, että kerätty lähtödata on riittävän luotettavaa analyysiä varten. Tässä kohtaa tulee huomioida edellä esitetyt puutteet jo valmistuksessa olevien tuotteiden tuotekehitys- sekä takuukustannusten raportoinnissa. Jos elinkaarikannattavuusanalyysissä joudutaan käyttämään epätarkkaa lähtödataa, myös analyysin tuloksiin on suhtauduttava varauksin. Kuudes vaihe Greenen ja Shaw'n mallissa on herkkyysanalyysin ja riskiarvioinnin suorittaminen. Tuotekehitysvaiheen elinkaarikannattavuusanalyysissä herkkyysanalyysi voidaan toteuttaa esimerkiksi tutkimalla elinkaarikannattavuuden muodostumista erilaisilla vuosittaisilla myyntimäärillä. Lisäksi voidaan analysoida erilaisiin kustannusten muutoksiin liittyviä skenaarioita. Tässä vaiheessa tulee myös mahdollisuuksien mukaan arvioida elinkaarikannattavuusanalyysiin liittyviä riskejä: kuinka luotettava analyysin arvioidaan olevan ja mitkä tekijät saattavat muuttaa toteumaa ennakoidusta. Greenen ja Shaw'n mallin seitsemäs vaihe on analyysin tulosten muodostaminen. Diplomityön elinkaarikannattavuusanalyysissä keskeisin tulos on

täydennetty elinkaarikannattavuuden Excel-laskentamalli, josta käy selkeästi ilmi vuosittaiset kustannukset, tuotot sekä kannattavuus. Tärkeimmistä arvoista, kuten kumulatiivisen nettokassanvirran nykyarvon kehityksestä, voidaan muodostaa havainnollistavia graafisia kuvaajia. Tulosten muodostuttua tuotekehitysprojektitiimin on arvioitava niitä syvällisesti ja tehtävä niiden pohjalta päätöksiä esimerkiksi siitä, tuleeko tuotekehitysprojektia jatkaa tai tuleeko tuotteen suunnittelua muuttaa sen elinkaarikannattavuuden parantamiseksi. Greenen ja Shaw'n mallin kahdeksas vaihe on elinkaarikustannusanalyysin dokumentointi ja yhdeksäs vaihe analyysin tulosten esittäminen. Tuotekehitysvaiheen elinkaarikannattavuusanalyysin asianmukainen dokumentointi on tärkeää, jotta analyysin tuloksia voidaan jälkeenpäin helposti tarkastella ja käyttää vertailukohtana myöhemmin tuotteen elinkaarella tehtyihin analyyseihin. Analyysin tulokset tulee myös voida tiivistää erilaisten yleisöjen ymmärtämään muotoon. Kymmenes ja viimeinen vaihe Greenen ja Shaw'n mallissa on elinkaarikustannusanalyysin päivittäminen. Diplomityössä esitetyn elinkaarikannattavuuden laskentamallin päivittäminen tuotekehitysprosessin edetessä on välttämätöntä, sillä suunnittelun edetessä analyysin lähtötiedot tarkentuvat, mikä parantaa analyysin tarkkuutta. Laskentamallin soveltamista voidaan jatkaa tuotekehitysvaiheen jälkeen myös tuotteen tuotanto- ja myyntivaiheessa. Käytettäessä laskentamallia tuotteen tuotanto- ja myyntivaiheessa aiemmin syötettyjä kustannusarvioita voidaan korvata toteutuneilla kustannuksilla. Näin voidaan reaaliaikaisesti arvioida, milloin tuote alkaa todellisuudessa tuottaa yritykselle voittoa ja kuinka paljon. Laskentamalli voidaan liittää yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään, jolloin kustannus- ja myyntidata päivittyy siihen automaattisesti. Näin tuotteen kannattavuudesta vastaava henkilö voi helposti seurata yksittäisen tuotemallin elinkaarenaikaista kannattavuuskehitystä.

3.5 Jatkokehitysehdotukset

Kuten aiemmin todettiin, luvuissa 3.3 ja 3.4 esitetyt ratkaisut tavoitekustannus- ja elinkaarikannattavuuslaskennan kehittämiseksi kohdeyrityksessä ovat suosituksia.

Sen sijaan niiden käyttöönotto kohdeyrityksessä rajattiin tämän diplomityön ulkopuolelle. Luonnollinen tätä tutkimusta seuraava askel onkin esitettyjen suositusten käyttöönotto. Vasta esitettyjen ratkaisujen käyttöönotto todellisissa tuotekehitysprojekteissa kertoo, kuinka hyvin ne soveltuvat kohdeyrityksen tarpeisiin. Käyttöönoton myötä saadut kokemukset auttavat kehittämään esitettyjä ratkaisuja soveltumaan yhä paremmin yrityksen tuotekehitysprosessiin.

Esitettyjen suositusten käyttöönoton ohella kohdeyrityksen tulee jatkossa kiinnittää huomiota sisäisen laskentatoimen raportoinnin kehittämiseen. Kuten ylempänä todettiin, kohdeyrityksessä esimerkiksi tuotekehitys- ja takuukustannusten raportointi on vajavaista, eikä puutteellisesti raportoitua kustannusdataa voida täysipainoisesti hyödyntää esimerkiksi päätöksenteossa. Lisäksi perehdyttäessä auto- ja teollisuusnostureiden valmistuskustannuksiin kävi ilmi, että työkustannusten raportointi on kohdeyrityksessä osittain puutteellista ja joidenkin tuotekomponenttien osalta tarkkoja työkustannuksia ei tunneta. Toisaalta kohdeyrityksen käyttämä toiminnanohjausjärjestelmä mahdollistaisi tarkemman kustannusraportoinnin, ja raportoinnin kehittäminen onnistuisikin käytännössä parantamalla kustannusjohtamisen toimintamalleja ja prosesseja jokaisessa kohdeyrityksen osastossa ja organisaatiossa. Laadukkaampi kustannusraportointi parantaisi myös tässä diplomityössä laadittujen tuotekehitysvaiheen kustannuslaskentamallien tarkkuutta.

Datan hyödyntämiseen liittyvänä jatkokehitysmahdollisuutena tunnistettiin myös kohdeyrityksen varaosaliiketoiminnan sisällyttäminen tuotteiden elinkaarikannattavuuden laskentaan. Diplomityöprojektin yhteydessä ilmeni, että varaosien myynti on yrityksen liiketoiminnalle varsin tärkeää, mutta yrityksessä ei tarkkaan tunneta, kuinka varaosamyynti jakaantuu esimerkiksi eri tuotemallien välillä. Jos varaosamyynti raportoitaisiin yrityksessä tuotemallikohtaisesti, voitaisiin varaosamyyntiä käsitellä nostureiden myynnin ohella tuottona edellä esitetyssä elinkaarikannattavuuden laskentamallissa. Näin kohdeyrityksessä saataisiin entistä realistisempi käsitys nostureiden todellisesta elinkaarikannattavuudesta.

Jatkokehitysmahdollisuutena voidaan nähdä myös tuotekehitysvaiheessa tapahtuvan kustannusarvioinnin integroiminen tietokoneavusteiseen tuotesuunnitteluun (CAD). Diplomityöprojektin yhteydessä selvitettiin mahdollisuutta kustannusarviointiin kohdeyrityksen käyttämässä SolidWorks CAD -ohjelmistossa. Ohjelmistoon on tarjolla kustannusarviointiin tarkoitettu lisäosa, mutta tarkasteluhetkellä sitä ei nähty ominaisuuksiltaan soveltuvana kohdeyrityksen tarpeisiin. Tulevaisuudessa CAD-ohjelmistoihin integroidut kustannustyökalut kuitenkin kehittynevät ja soveltuvat mahdollisesti paremmin kohdeyrityksen tarpeisiin.

Diplomityöprojektin yhteydessä nousi myös esiin tarve kehittää DFMA-menetelmän hyödyntämistä kohdeyrityksessä. Kuten luvussa 3.2 todettiin, jo tälläkin hetkellä kohdeyrityksen tuotekehitysprosessin suunnitteluvaiheessa laaditaan DFMA-analyysi suunniteltavasta tuotteesta. Kuitenkin keskusteltaessa kohdeyrityksen tuotesuunnittelusta ja tuotannosta vastaavien henkilöiden kanssa kävi ilmi, että tuotesuunnittelussa voitaisiin vielä paremmin ottaa huomioon tuotantovaiheen realiteetit. Kehittämällä tuotesuunnittelua valmistettavuuden ja kokoonpantavuuden näkökulmasta tarve jälkikäteen tehtäville muutoksille tuotesuunnittelussa pienenee ja toisaalta myös tuotantovaiheen läpimenoaikoja saadaan lyhennettyä. Nämä seikat luovat mahdollisuudet suoriin kustannussäästöihin niin tuotekehitys- kuin tuotantovaiheessa.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tämän diplomityön tavoitteena oli kehittää tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamista kohdeyrityksenä olleessa konepajayrityksessä, Kesla Oyj:ssä. Erityisesti työssä keskitytään yhteen yrityksen merkittävimmistä tuotekategorioista, auto- ja teollisuusnostureihin. Diplomityössä suoritettu tutkimus keskittyy vastaamaan pääkysymykseen sekä kolmeen osakysymykseen.

Tutkimuksen pääkysymys oli seuraava: *Kuinka tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamista voidaan kehittää kohdeyrityksessä?* Tutkimuksen aluksi selvitettiin tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen nykytilaa kohdeyrityksessä. Selvityksen tuloksena paljastui, että tällä hetkellä tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamiseen liittyvät toimenpiteet kohdeyrityksessä ovat varsin rajalliset ja voidaan havaita selvä tarve niiden kehittämiselle. Yksi kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisen ongelma on se, että kehitettävän tuotteen valmistuskustannuksille asetetut tavoitteet ja arviot ovat varsin yksinkertaisia ja tavoitteenasetantaa sekä arviointia suoritetaan järjestelmällisesti vain tuotekehitysprosessin alkuvaiheessa. Nämä puutteet valmistuskustannusten arvioinnissa ja tavoitteenasetannassa ovat johtaneet kohdeyrityksessä aiemmin tilanteisiin, joissa tuotteen todelliset valmistuskustannukset ovat tulleet yllätyksenä ja tuotteen kannattavuus on jäänyt arvioitua heikommaksi. Ratkaisuna tähän ongelmaan tutkimuksessa esitetään suositus tavoitekustannuslaskennan kehittämisestä kohdeyrityksessä. Toinen kohdeyrityksen tuotekehitysvaiheen kustannusjohtamisessa havaittu ongelma on järjestelmällisen elinkaarikannattavuuslaskennan puute. Tällä hetkellä yrityksellä ei ole järjestelmällistä tapaa ennustaa ja arvioida tuotekehitysvaiheessa olevien tuotteiden elinkaarikannattavuutta. Toisaalta kohdeyrityksessä ei myöskään seurata jo valmistuksessa olevien tuotemallien elinkaarikannattavuutta. Tutkimuksessa pyritään ratkaisemaan näitä ongelmia esittämällä suositus elinkaarikannattavuuslaskennan kehittämisestä kohdeyrityksessä.

Tutkimuksen ensimmäinen osakysymys oli seuraava: *Mitä on tavoitekustannuslaskenta ja kuinka sitä voidaan soveltaa diplomityöprojektissa?* Tavoitekustannuslaskenta on Japanissa alkunsa saanut työkalu tuotekehityksessä tapahtuvaan kustannushallintaan. Itse tavoitekustannus taas voidaan määritellä tuotteelle asetetun tavoitemyyntihinnan ja tavoitekatetuoton erotuksena. Kokonaisten tuotteiden ohella tavoitekustannus voidaan asettaa myös tuotteen ominaisuuksille ja komponenteille. Tavoitekustannus asettaa tuotesuunnittelussa rajoitteen suunniteltavalle tuotteelle tai sen ominaisuudelle; tuotteen tai ominaisuuden kustannus ei tavoitekustannuslaskennan perusperiaatteen mukaan saa ylittää sille asetettua tavoitekustannusta. Diplomityöprojektissa tavoitekustannuslaskentaa hyödynnetään tuotekehitysvaiheessa olevien auto- ja teollisuusnostureiden valmistuskustannusten arviointia ja tavoitteenasetantaa koskevassa suosituksessa. Osana tätä suositusta projektissa määritettiin päivitetyt tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit kuhunkin kohdeyrityksen tuotekehitysprosessin vaiheeseen. Näin suosituksessa kytketään tavoitekustannuslaskenta toiseen laajasti käytössä olevaan tuotekehitysvaiheen menetelmään, Stage-Gate-malliin. Määritettyjen tavoitekustannuslaskennan aktiviteettien avulla kohdeyritys pystyy järjestelmällisesti asettamaan tavoitteita suunniteltavan tuotteen ja sen ominaisuuksien valmistuskustannuksille sekä arvioimaan tavoitteiden saavuttamista koko tuotekehitysprosessin ajan ja myös sen jo päätyttyä. Esitetyissä tavoitekustannuslaskennan aktiviteeteissä sovelletaan kirjallisuudessa esitettyjen tavoitekustannuslaskennan mallien elementtejä, mutta aktiviteetit eivät suoraan pohjaudu mihinkään kirjallisuudessa aiemmin esitettyyn tavoitekustannuslaskennan malliin. Kirjallisuudessa esitettyjen tavoitekustannuslaskennan mallien tapaan myös tässä työssä esitetyissä tavoitekustannuslaskennan aktiviteeteissa perusajatuksena on määrittää tuotteelle tavoitekustannus tavoitemyyntihinnan ja tavoitekatetuoton avulla. Lisäksi kirjallisuudessa esitettyjen mallien tavoin myös tässä työssä esitetyissä tavoitekustannuslaskennan aktiviteeteissa määritetyt tavoitekustannukset toimivat lähtökohtana tuotesuunnittelussa: tavoitekustannukset ovat rajoitteita, joita suunnittelussa on noudatettava, ottaen luonnollisesti huomioon myös muut suunniteltavalle tuotteelle asetetut vaatimukset. Toisaalta kirjallisuudessa

esitetyistä malleista poiketen tässä työssä esitetyissä tavoitekustannuslaskennan aktiviteeteissa tavoitekustannukset määritetään alusta alkaen tuotteen ominaisuustasolla. Tämä selittyy lopputuotteen, eli auto- ja teollisuusnostureiden, konfiguroitavuudella. Lopputuotteelle ei ole olemassa yhtä tiettyä kustannusta vaan asiakkaan valitsemat ominaisuudet ja varusteet määrittävät lopullisen valmistuskustannuksen. Täten tavoitekustannuksen tarkastelu kokonaisen lopputuotteen tasolla ei anna oikeaa kuvaa. Lisäksi esitettyjen tavoitekustannuslaskennan aktiviteettien sitoutuminen varsinaiseen tuotesuunnitteluprojektiin erottaa ne kirjallisuudessa esitetyistä tavoitekustannuslaskennan malleista: esitetyt tavoitekustannuslaskennan aktiviteetit keskittyvät pitkälti yksittäisen tuotteen teknisen suunnittelun ympärille, eikä niihin sisälly esimerkiksi teknistä suunnittelua edeltävää markkinatutkimusta tai yrityksen tuotetarjoaman jäsentämistä.

Tutkimuksen toisena osakysymyksenä oli: *Mitä on elinkaarilaskenta ja kuinka sitä voidaan soveltaa diplomityöprojektissa?* Elinkaarilaskenta on menetelmä, jossa pyritään optimoimaan tuotteen elinkaarenaikainen kustannustehokkuus. Elinkaarilaskentaa toteutettaessa laaditaan arvioita erilaisista tuotteen elinkaaren aikana ilmenevistä kustannuseristä. Nämä kustannuserät liittyvät esimerkiksi tuotteen suunnitteluun, materiaalien hankintaan, tuotantoon, jakeluun, koulutukseen, käyttöön sekä asiakastukeen. Monet elinkaarilaskentaa käsittelevät kirjallisuuslähteet keskittyvät tuotteen elinkaarellaan aiheuttamiin kustannuksiin. Kuitenkin tässä diplomityössä huomioidaan elinkaarikustannusten ohella myös elinkaarenaikainen kannattavuus; osana diplomityöprojektia määritettiin suositus tuotekehitysvaiheen elinkaarikannattavuuslaskennan kehittämisestä kohdeyrityksessä. Suosituksessa huomioidaan elinkaarikustannusten lisäksi tuotteen valmistajalleen synnyttämät myyntituotot. Elinkaarilaskentaa voidaan tehdä monista näkökulmista; tuotteen elinkaarella ilmeneviä kustannuksia ja tuottoja voidaan tarkastella paitsi valmistajan ja käyttäjän myös ympäristön ja yhteiskunnan näkökulmista. Tässä diplomityössä esitetyssä elinkaarikannattavuuden laskennan suosituksessa käsittely rajoittuu kohdeyrityksen eli tuotteen valmistajan näkökulmaan. Kirjallisuudessa esitetään

useita yleisluontoisia malleja elinkaarilaskennan toteuttamiseksi. Kuitenkaan yksikään näistä malleista ei ole noussut standardin asemaan, sillä yritysten tarpeet ja lähtökohdat koskien elinkaarilaskennan toteuttamista ovat moninaiset. Tässä diplomityössä laaditussa elinkaarikannattavuuslaskennan suosituksessa hyödynnetään Greenen ja Shaw'n esittämää mallia elinkaarilaskennan toteuttamisesta. Osana esitettyä suositusta diplomityössä laadittiin Excel-laskentamalli kehitettävän tuotteen elinkaarenaikaisen kannattavuuden määrittämiseksi.

Kolmantena osakysymyksenä tutkimuksessa oli: *Mitä menetelmiä on olemassa tuotekustannusten arvioimiseksi tuotekehitysvaiheessa ja mitä niistä voidaan soveltaa diplomityöprojektissa?* Kirjallisuudessa esitetään useita menetelmiä elinkaarenaikaisten tuotekustannusten arvioimiseksi. Näistä menetelmistä esitetään myös erilaisia luokitteluja. Yhden näkemyksen mukaan kustannusarviointimenetelmät voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: kvalitatiivisiin ja kvantitatiivisiin. Kvalitatiiviset kustannusarviointimenetelmät pohjautuvat pääosin vertailevaan analyysiin uuden tuotteen ja aiemmin valmistettujen tuotteiden välillä. Pyrkimyksenä on tunnistaa samankaltaisuudet suunniteltavan tuotteen ja aiemmin valmistettujen tuotteiden välillä ja hyödyntää näitä samankaltaisuuksia uuden tuotteen kustannuksia arvioitaessa. Kvalitatiiviset menetelmät voidaan jakaa edelleen intuitiivisiin ja analogisiin menetelmiin. Kvantitatiiviset kustannusarviointimenetelmät puolestaan perustuvat yksityiskohtaiseen analyysiin tuotteen suunnittelusta, sen ominaisuuksista sekä niitä vastaavista valmistusprosesseista. Kvantitatiivisissa menetelmissä arvioinnin perustana käytetään tuotteen teknisiä parametrejä tai tuotteen tuotannossa kulutettuja resursseja. Kvantitatiiviset kustannusarviointimenetelmät jakautuvat edelleen analyyttisiin ja parametrisiin menetelmiin. Kirjallisuudessa tuodaan esille erityisesti kolme tuotekehitysvaiheeseen soveltuvaa kustannusarviointimenetelmää: analoginen, parametrinen sekä analyyttinen menetelmä. Näistä tämän diplomityön empiirisessä osassa sovelletaan analogista sekä parametristä menetelmää. Analogisessa kustannusarviointimenetelmässä kustannusarvio laaditaan vertaamalla suunniteltavaa tuotetta vanhempiin

tuotteisiin; epäsuora oletus on, että samanlaisilla tuotteilla on samankaltaiset kustannukset. Tuotteiden välisten samankaltaisuuksien ja erojen tunnistamiseen voidaan käyttää asiantuntija-arvioita tai tuotetietokantoja. Diplomityössä laaditussa analogisessa laskentamallissa hyödynnetään kohdeyrityksen toiminnanohjausjärjestelmästä saatua, jo tuotannossa olevia nostureita koskevaa kustannusdataa. Parametrinen kustannusarviointi on puolestaan menetelmä, jossa suunniteltavan tuotteen teknisiä parametreja, kuten massa tai teho, hyödynnetään tuotekustannusten arvioinnissa. Kirjallisuudessa parametrisestä kustannusarvioinnista esitetään kolme tyyppiä: asteikkomenetelmä, tilastolliset mallit sekä kustannusarvioinnin kaava. Tässä diplomityössä laaditussa parametrisessä kustannuslaskentamallissa hyödynnetään kustannusarvioinnin kaavaa, joka voidaan määritellä matemaattiseksi suhteeksi, joka yhdistää tuotteen rajoitettuun määrään sitä määritteleviä teknisiä parametrejä. Diplomityössä laaditussa parametrisessä laskentamallissa kustannusarviointi keskittyy nosturin runkoon ja teknisinä parametreinä sovelletaan nostomomenttia, ulottuvuutta ja jatkeiden määrää.

LÄHTEET

AFITEP. 1995. Estimation des coûts d'un projet industriel. Pariisi, AFNOR. 264 s.

Akter, M., Hoque, M. & Monden, Y. 2004. Effects of the tightness of target profit & cost on target cost achievement: an empirical research. *Malaysian Accounting Review.* Vol. 3, nro. 1, s. 1-28.

Alpenberg, J., Alku, J., Rashiti, J. & Scarbrough, P. 2016. Target Costing in A Stage-Gate Design System. *Asia-Pacific Management Accounting Journal.* Vol. 11, nro. 1, s. 23-58.

Alting, L. 1993. Life-cycle design of products: a new opportunity for manufacturing enterprises. Teoksessa Kusiak, A. (toim.) Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques. New York, Wiley. s. 1-17.

Andersen, A. 1998. Tools and Techniques for Implementing Target Costing. Montvale, Institute of Management Accountants. 29 s.

Ansari, S., Bell, J., Cypher, J., Dears, P., Dutton, J., Ferguson, M., Hallin, K., Marx, C., Ross, C. & Zampino, P. 1997. Target costing: The Next Frontier in Strategic Cost Management. Chicago, Irwin. 250 s.

Atan, Z., Ahmadi, T., Stegehuis, C., de Kok, T. & Adan, I. 2017. Assemble-to-order systems: A review. *European Journal of Operational Research*. Vol. 261, nro. 3, s. 866-879.

Ax, C., Greve, J. & Nilsson, U. 2008. The impact of competition and uncertainty on the adoption of target costing. *International Journal of Production Economics.* Vol. 115, nro. 1, s. 92-103.

Barringer, H. & Weber, D. 1996. Life cycle cost tutorial. Fifth International Conference on Process Plant Reliability, Houston, USA, October 2-4. Gulf Publishing Company.

Becker, B. 2006. Re-Thinking the Stage-Gate Process - A Reply to the Critics. [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.8.2018]. Saatavilla: http://xa.yimg.com/kq/groups/24019306/178415721/name/RethinkingtheStage-Gate_Process_AReplytotheCritics.pdf

Bescherer, F. 2007. Management of early innovation phases using cost management tools. Teoksessa Karjalainen, J., Bescherer, F., Hinkka, V. & Koskela, M. 2007. Management of product costs in research and development – Exploring the frontiers of target costing. Helsinki, Edita Prima. s. 14-19.

Cao, H., Xi, H. & Smith, S. F. 2003. Supply chain planning: A reinforcement learning approach to production planning in the fabrication/fulfillment manufacturing process. The 2003 Winter Simulation Conference, New Orleans, USA, December 7-10. IEEE. s. 1417-1423.

Cavalieri, S., Maccarrone, P. & Pinto, R. 2004. Parametric vs. neural network models for the estimation of production costs: A case study in the automotive industry. *International Journal of Production Economics*. Vol. 91, nro. 2, s. 165-177.

Chauvet, A. 1993. Documents séminaire méthodes de conception. Salon CAO, CFAO.

Chen-Ritzo, C. H., Ervolina, T., Harrison, T. P. & Gupta, B. 2011. Component rationing for available-to-promise scheduling in configure-to-order systems. *European Journal of Operational Research.* Vol. 211, nro. 1, s. 57-65.

Cheng, F., Ettl, M., Lin, G. & Yao, D. D. 2002. Inventory-service optimization in configure-to-order systems. *Manufacturing & Service Operations Management.* Vol. 4, nro. 2, s. 114-132.

Christensen, P. N., Sparks, G. A. & Kostuk, K. J. 2005. A method-based survey of life cycle costing literature pertinent to infrastructure design and renewal. *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 32, nro. 1, s. 250-259.

Coe, C. K. 1981. Life cycle costing by state governments. *Public Administration Review*. Vol. 41, nro. 5, s. 564-569.

Cooper, R. G. 1990. Stage-gate systems: a new tool for managing new products. *Business Horizons.* Vol. 33, nro. 3, s. 44-54.

Cooper, R. & Slagmulder, R. 1997. Target Costing and Value Engineering. Portland, Productivity Press. 379 s.

Cooper, R. & Slagmulder, R. 1999. Develop profitable new products with target costing. *Sloan Management Review.* Vol. 40, nro. 4, s. 23-33.

Crow, K. 2016. Achieving Target Cost / Design-to-Cost Objectives [verkkodokumentti]. [Viitattu 25.6.2018]. Saatavilla: http://www.npd-solutions.com/dtc.html

Curran, R., Raghunathan, S. & Price, M. 2004. Review of aerospace engineering cost modelling: The genetic causal approach. *Progress in Aerospace Sciences.* Vol. 40, nro. 8, s. 487-534.

Datar, S. M. & Rajan, M. V. 2018. Horngren's Cost Accounting: A Managerial Emphasis. 16 ed. New York, Pearson. 971 s.

Davila, A. & Wouters, M. 2004. Designing cost-competitive technology products through cost management. *Accounting Horizons.* Vol. 18, nro. 1, s. 13-26.

Dekker, H. & Smidt, P. 2003. A survey of the adoption and use of target costing in Dutch firms. *International Journal of Production Economics*. Vol. 84, nro. 3, s. 293-305.

Dhillon, B. S. 2010. Life Cycle Costing for Engineers. Boca Raton, CRC Press. 204 s.

Duray, R., Ward, P. T., Milligan, G. W. & Berry, W. L. 2000. Approaches to mass customization: configurations and empirical validation. *Journal of Operations Management.* Vol. 18, nro. 6, s. 605-625.

Duverlie, P. & Castelain, J. M. 1999. Cost estimation during design step: parametric method versus case based reasoning method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* Vol. 15, nro. 12, s. 895-906.

Eck, D., Brundick, B., Fettig, T., Dechoretz, J. & Ugljesa, J. 2008. Parametric Estimating Handbook. 4 ed. Vienna, International Society of Parametric Analysts. 237 s.

Ehrlenspiel, K., Kiewert, A. & Lindemann, U. 2007. Cost-Efficient Design. Berlin, Springer-Verlag. 546 s.

Elhafsi, M., Zhi, L., Camus, H. & Craye, E. 2015. An assemble-to-order system with product and components demand with lost sales. *International Journal of Production Research.* Vol. 53, nro. 3, s. 718-735.

Ellram, L. M. 1999. The role of supply management in target costing. Tempe, Center for Advanced Purchasing Studies. 96 s.

Ellram, L. M. 2000. Purchasing and Supply Management's Participation in the Target Costing Process. *Journal of Supply Chain Management.* Vol. 36, nro. 1, s. 39-51.

Emblemsvåg, J. 2003. Life-cycle costing: using activity-based costing and Monte Carlo methods to manage future costs and risks. New Jersey, John Wiley & Sons. 320 s.

Everaert, P. & Bruggeman, W. 2002. Cost targets and time pressure during new product development. *International Journal of Operations & Production Management.* Vol. 22, nro. 12, s. 1339-1353.

Everaert, P., Loosveld, S., Van Acker, T., Schollier, M. & Sarens, G. 2006. Characteristics of target costing: theoretical and field study perspectives. *Qualitative Research in Accounting & Management.* Vol. 3, nro. 3, s. 236-263.

Farineau, T., Rabenasolo, B., Castelain, J. M., Meyer, Y. & Duverlie, P. 2001. Use of parametric models in an economic evaluation step during the design phase. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* Vol. 17, nro. 2, s. 79-86.

Farr, J. V. 2011. Systems life cycle costing: economic analysis, estimation, and management. Boca Raton, CRC Press. 294 s.

Feil, P., Yook, K. H. & Kim, I. W. 2004. Japanese target costing: a historical perspective. *International Journal of Strategic Cost Management.* Vol. 2, nro. 4, s. 10-19.

Filomena, T.P., Kliemann Neto, F.J. & Cunha, G.D. 2005. Devising a cost management system to product development. *Product: Management & Development.* Vol. 3, nro. 1, s. 11-16.

Franz, K. P. & Kajüter, P. 1997. Kostenmanagement–Wettbewerbsvorteile durch systematische Kostensteuerung. Stuttgart, Verlag Schäffer-Poeschel. 538 s.

Gagne, M. & Discenza, R. 1995. Target Costing. *Journal of Business & Industrial Marketing.* Vol. 10, nro. 1, s. 16-22.

Greene, L. E. & Shaw, B. L. 1990. The steps for successful life cycle cost analysis. IEEE Conference on Aerospace and Electronics, Dayton, USA, May 21-25. IEEE. s. 1209-1216.

Harvey, G. 1976. Life-cycle costing: a review of the technique. *Management Accounting*. Vol. 57, s. 343-347.

Heikkilä, T. 2014. Tilastollinen tutkimus. 9. painos. Helsinki, Edita. 297 s.

Henn, C. L. 1993. The new economics of life cycle thinking. The 1993 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, Arlington, USA, May 10-12. IEEE. s. 184-188.

Hibbets, A. R., Albright, T. & Funk, W. 2003. The competitive environment and strategy of target costing implementers: evidence from the field. *Journal of Managerial Issues.* Vol. 15, nro. 1, s. 65-81.

Hueber, C., Horejsi, K. & Schledjewski, R. 2016. Review of cost estimation: methods and models for aerospace composite manufacturing. *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science.* Vol. 2, nro. 1, s. 1-13.

Hunkeler, D.D., Lichtenvort, K., Rebitzer, G. & Ciroth, A. 2008. Environmental life cycle costing. Pensacola, CRC Press. 232 s.

Iansiti, M. 1997. Technology integration: making critical choices in a dynamic world. Boston, Harvard Business School Press. 249 s.

Ibusuki, U. 2005. Cost management in the stage-gate system. *AACE International Transactions.* s. IT41-IT44.

Kasanen, E., Lukka, K. & Siitonen A. 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. *Liiketaloudellinen Aikakauskirja.* Vol. 40, nro. 3, s. 301-329.

Kato, Y. 1991. Japanese management: its development and dysfunctional aspects. *Keiei Jitsumu*. Vol. 449, s. 8-15.

Kato, Y. 1993. Target costing support systems: lessons from leading Japanese companies. *Management Accounting Research.* Vol. 4, nro. 1, s. 33-47.

Kato, Y., Boer, G. & Chow, C. 1995. Target costing: an integrative management process. *Journal of Cost Management.* Vol. 9, nro. 1, s. 39–51.

Kaufman, R. J. 1969. Life cycle costing: Decision making tool for capital equipment acquisitions. *Journal of Purchasing.* Vol. 5, nro. 3, s. 16–31.

Kaufman, R. J. 1970. Life cycle costing - decision-making tool for capital equipment acquisition. *Cost and Management*. Vol. 44, nro. 2, s. 21-28.

Kee, R. 2010. The sufficiency of target costing for evaluating production-related decisions. *International Journal of Production Economics.* Vol. 126, nro. 2, s. 204-211.

Kesla. 2016. Autonosturit [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.6.2018]. Saatavilla: https://www.kesla.fi/fileadmin/user_upload/kesla/Brochures/KESLA_Truck_Cranes_FIN_SWE_ENG.pdf

Kesla. 2018a. Kesla - metsäteknologian moniosaaja [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.6.2018]. Saatavilla: https://www.kesla.fi/fi/yritys/

Kesla. 2018b. Tuotteet [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.6.2018]. Saatavilla: https://www.kesla.fi/fi/tuotteet/

Kesla. 2018c. Vuosikertomus 2017. Joensuu, Kesla Oyj. 52 s.

Knauer, T. & Möslang, K. 2018. The adoption and benefits of life cycle costing. *Journal of Accounting & Organizational Change*. Vol. 14, nro. 2, s. 188-215.

Laseter, T. 1998. Supply chain management: The ins and outs of target costing. *Purchasing.* Vol. 124, nro. 3, s. 22-25.

Layer, A., Brinke, E. T., Houten, F. V., Kals, H. & Haasis, S. 2002. Recent and future trends in cost estimation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing.* Vol. 15, nro. 6, s. 499-510.

Lindholm, A. & Suomala, P. 2005. Present and future of life cycle costing: reflections from Finnish companies. *Liiketaloudellinen Aikakauskirja 2005*. Nro. 2, s. 282-292.

Loch, C. H. & Kavadias, S. 2008. Handbook of New Product Development. Amsterdam, Butterworth-Heinemann. 542 s.

Mellin, I. 2006. Tilastolliset menetelmät: Lineaarinen regressioanalyysi [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.6.2018]. Saatavilla: http://math.aalto.fi/opetus/sovtodb/oppikirja/Regranal.pdf

Mirchandani, P. & Mishra, A. K. 2002. Component commonality: models with product-specific service constraints. *Production and Operations Management.* Vol. 11, nro. 2, s. 199-215.

Monden, Y. & Hamada, K. 1991. Target Costing and Kaizen Costing in Japanese Automobile Companies. *Journal of Management Accounting Research.* Vol. 3, s. 16-34

Mukherjee, K., Sarkar, B. & Bhattacharjya, A. 2009. Supplier's selection strategy for mass customization. 2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering, Troyes, France, July 6-9. IEEE. s. 892-895.

NASA. 2008. 2008 NASA Cost Estimating Handbook. Washington, DC, NASA. 342 s.

Neilimo, K. & Näsi, J. 1980. Nomoteettinen tutkimusote ja suomalainen yrityksen taloustiede: tutkimus positivismin soveltamisesta. Tampere, Tampereen yliopisto. 82 s.

Niazi, A., Dai, J. S., Balabani, S. & Seneviratne, L. 2006. Product cost estimation: Technique classification and methodology review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering.* Vol. 128, nro. 2, s. 563-575.

Persson, M. & Åhlström, P. 2006. Managerial issues in modularising complex products. *Technovation*. Vol. 26, nro. 11, s. 1201-1209.

Ro, Y. K., Liker, J. K. & Fixson, S. K. 2007. Modularity as a strategy for supply chain coordination: The case of US auto. *IEEE Transactions on Engineering Management.* Vol. 54, nro. 1, s. 172-189.

Robertson, D. & Ulrich, K. 1998. Planning for product platforms. *Sloan Management Review.* Vol. 39, nro. 4, s. 19.

Roy, R. 2003. Cost engineering: Why, what and how? Cranfield, Cranfield University. 39 s.

Rödger, J. M., Kjær, L. L. & Pagoropoulos, A. 2017. Life Cycle Costing: An Introduction. Teoksessa Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K. & Olsen, S. I. (toim.) Life Cycle Assessment: Theory and Practice. Cham, Springer. s. 373-399.

Salvador, F. 2007. Toward a product system modularity construct: literature review and reconceptualization. *IEEE Transactions on Engineering Management.* Vol. 54, nro. 2, s. 219-240.

Schilling, M. A. 2000. Toward a general modular systems theory and its application to interfirm product modularity. *Academy of Management Review.* Vol. 25, nro. 2, s. 312-334.

Sethi, R. & Iqbal, Z. 2008. Stage-gate controls, learning failure, and adverse effect on novel new products. *Journal of Marketing.* Vol. 72, nro. 1, s. 118-134.

Shank, J. K. & Fisher, J. 1999. Target costing as a strategic tool. *Sloan Management Review.* Vol. 41, nro. 1, 73-82.

Suomala, P., Manninen, O. & Lyly-Yrjänäinen, J. 2011. Laskentatoimi johtamisen tukena. Helsinki, Edita. 336 s.

Swenson, D., Ansari, S., Bell, J. & Kim, I. W. 2003. Best practices in target costing. *Management Accounting Quarterly.* Vol. 4, nro. 2, s. 12-17.

Tani, T., Okano, H., Shimizu, N., Iwabuchi, Y., Fukuda, J. & Cooray, S. 1994. Target cost management in Japanese companies: current state of the art. *Management Accounting Research.* Vol. 5, nro. 1, s. 67-81.

Tiihonen, J. & Felfernig, A. 2017. An introduction to personalization and mass customization. *Journal of Intelligent Information Systems.* Vol. 49, nro. 1, s. 1-7.

Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. 2012. Product Design and Development. 5. ed. New York, McGraw-Hill. 415 s.

Weustink, I. F., Ten Brinke, E., Streppel, A. H. & Kals, H. J. J. 2000. A generic framework for cost estimation and cost control in product design. *Journal of Materials Processing Technology.* Vol. 103, nro. 1, s. 141-148.

Wouters, M. & Morales, S. 2014. The contemporary art of cost management methods during product development. Teoksessa Epstein, M. J. & Lee, J. Y. (toim.) Advances in Management Accounting, Volume 24. Bingley, Emerald. s. 259-346.

Wouters, M., Morales, S., Grollmuss, S. & Scheer, M. 2016. Methods for cost management during product development: a review and comparison of different literatures. Teoksessa Epstein, M. J. & Malina, M. A. (toim.) Advances in Management Accounting, Volume 26. Bingley, Emerald. s. 139-274.

Wouters, M. & Stadtherr, F. 2018. Cost management and modular product design strategies. Teoksessa Harris, E. (toim.) The Routledge Companion to Performance Management and Control. Lontoo, Routledge. s. 54-86.

LIITTEET

Liite 1. Alkuperäinen ominaisuusmallitaulukko

KESLA Oyj | Malliston ominaisuustaulukko

Nosturi 2109, 2110, 2112 integroitu tukijalkapalkki

Tuoteperhe	AN02	Pvm.				
Nimike	90000414	16.8.2018				

Ominaisuus	Ominaisuuden arvo	Nimikkeet			Huomautukset
Malli	2109-76	90028197	+	90026463	
	2109-81	90026187	+	90026463	
	2109-86	90026434	+	90026463	
	2109T-92	90028197	+	90026266	
	2109T-92 Ulkopuolinen letkutus	90028197	+	90028146	
	2109T-97	90026187	+	90026266	
	2109T-97 Ulkopuolinen letkutus	90026187	+	90028146	

Liite 2. Analogiseen kustannusarviointimenetelmään perustuva Excel-malli

| KESLA Oyj | Malliston ominaisuustaulukko | | |

Liite 3. Parametriseen kustannusarviointimenetelmään perustuva Excel-malli

Malli	Jatke	Nostomomentti kNm	Ulottuvuus mm	Nostopuomi €	Siirtopuomi €	Kääntölaite €	Varusteluosat €	Summa €
2109-81 vakio pylväs		1	98	8100	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2110-81 vakio pylväs		1	106	8100	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2110-86 vakio pylväs		1	102	8600	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2112-72 vakio pylväs		1	138	7200	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2112-81 vakio pylväs		1	128	8100	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2109T-97 vakio pylväs		2	92	9710	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2110T-102 vakio pylväs		2	94	10210	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2110T-97 vakio pylväs		2	100	9710	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2112T-102 vakio pylväs		2	116	10200	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2112T-115 vakio pylväs		2	110	11500	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
2112T-97 vakio pylväs		2	122	9700	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
Parametrit		xx	xx	xx	xx	xx	xx	
Jatke		2						
Nostomomentti kNm		122						
Ulottuvuus mm		9700						
Ruotonosturi yhteensä €		**xxxxx**						

Liite 4. Ominaisuusmallitaulukon uusi versio

| KESLA | Malliston ominaisuustaulukko ja tavoitekustannukset | | |

Liite 5. Suunniteltavan tuotteen elinkaarikannattavuuden laskentamalli (lukuarvot kuvitteellisia)

Kassavirtaennuste						
Projekti:	Uusi autonosturi					
Laadittu:	16.8.2018					
Laskentakorko:	5 %					
Vuosi	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Tuotot						
Myyntivolyymi (kpl)		10	20	20	20	20
Keskimääräinen myyntihinta		30000	27000	27000	27000	27000
Myyntituotot yhteensä	**0**	**300000**	**540000**	**540000**	**540000**	**540000**
Myyntituottojen nykyarvo	**0**	**285714**	**489796**	**466472**	**444259**	**423104**
Kustannukset						
Tuotekehityskustannukset	80000					
Valmistuskustannukset		200000	400000	400000	400000	400000
Myynti- ja markkinointikustannukset		10000	10000	10000	10000	10000
Takuukustannukset		2000	20000	20000	20000	20000
Kustannukset yhteensä	**80000**	**212000**	**430000**	**430000**	**430000**	**430000**
Kustannusten nykyarvo	**80000**	**201905**	**390023**	**371450**	**353762**	**336916**
Nettotuotto	-80000	88000	110000	110000	110000	110000
Nettotuoton nykyarvo	-80000	83810	99773	95022	90497	86188
Kumulatiivinen nettotuoton nykyarvo	-80000	3810	103583	198605	289102	375290
Hyöty-kustannussuhde	1,22					