



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

HENRI WIHINEN

**TUOTERAKENNETTA KÄSITTELEVIEN OHJELMISTOJEN
ROOLI TAVOITEKUSTANNUSTEN SAAVUTTAMISESSA**

Diplomityö

Prof. Mika Hannula ja tutkijatohtori
Matti Sievänen hyväksytty tarkastajiksi
Teknis-taloudellisen tiedekuntaneuvos-
ton kokouksessa 9.5.2012

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Tietojohtamisen koulutusohjelma

WIHINEN, HENRI: Tuoterakennetta käsittelevien ohjelmistojen rooli tavoitekustannusten saavuttamisessa

Diplomityö, 92 sivua, 1 liite (1 sivu)

Kesäkuu 2012

Pääaine: Tiedonhallinta

Tarkastajat: Professori Mika Hannula ja tutkijatohtori Matti Sievänen

Avainsanat: Tavoitekustannuslaskenta, mekaniikkasuunnittelu, tuotetiedonhallinta, tietojärjestelmät

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella nykyisten kaupallisten tuotetiedonhallinnan järjestelmien ja mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen yhteydessä suoritettavan kustannusten hallinnan mahdollisuuksia. Työ toteutettiin osana Tekes-hanketta, jonka tavoitteena oli puolestaan kehittää menetelmiä, työkaluja ja teorioita yrityksille tukemaan elinkaaritiedon hallinnan ratkaisujen käyttöä. Näihin tavoitteisiin pyrittiin tarkastelemalla miten tuotekehityksen aikana käytettäviä ohjelmistoja voidaan hyödyntää tavoitekustannuslaskennan ja tarkemmin tavoitekustannusten saavuttamisen tukemisessa.

Työn teoreettisessa osuudessa tunnistettiin tavoitekustannusten saavuttamisen prosessin eri vaiheet. Nämä vaiheet muodostivat viitekehyksen ohjelmistojen tarkastelulle. Ohjelmistoihin liittyvässä teoriaosuudessa puolestaan tarkasteltiin ohjelmistotyyppien käsittelemää tuotetietoa ja ohjelmistojen ominaisuuksien joita kustannusten hallinnassa voidaan hyödyntää. Työ on pääpainoltaan nykytilan kartoituksena empiirinen ja sen tutkimusmenetelmää voidaan parhaiten kuvailla kuvailevaksi tapaustutkimukseksi. Empiirisessä osuudessa kuvattiin kuuden ohjelmiston tavoitekustannusten saavuttamisen tukemiseen liittyvä toiminnallisuus. Kuvausten aineisto kerättiin hyödyntäen monipuolisesti eri lähteitä, kuten käyttöoppaita, dokumentaatioita toiminnallisuudesta, haastatteluja ja havainnoiteja.

Kuvausten analysoinnin pohjalta havaittiin, että mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemallia hyödyntäviä ohjelmistoja voidaan parhaiten hyödyntää tuotteiden suunnittelussa suoraan kustannustehokkaaksi. Tuotetiedonhallinnan järjestelmien tuoterakennetta hyödyntävät ohjelmistot puolestaan soveltuivat paremmin tavoitekustannusten saavuttamisen seurantaan. Molemmat ohjelmistotyytit tarjosivat kuitenkin jokaiselle osaluueelle jotakin. Yksittäisten ohjelmistojen roolit painottuivat toiminnallisuksiensa vuoksi hieman eri osaluueille. Työn tuloksia voidaan hyödyntää ohjelmistojen kehitystyössä ja tavoitekustannuslaskennan toteutuksessa yrityksissä.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Information and Knowledge Management

WIHINEN, HENRI: The role of product structure managing software in achieving target costs

Master of Science Thesis, 92 pages, 1 appendix (1 page)

July 2012

Major: Business Information Management

Examiners: Professor Mika Hannula and research fellow Matti Sievänen

Keywords: Target Costing, Computer-aided design, Product data management, Product lifecycle management, Information systems

The aim of the research was to review contemporary commercial product lifecycle management and computer-aided design software and their abilities to support cost management. The research was carried out as part of Tekes project where the goal was to generate methods, tools and theories for companies to support utilization of lifecycle information management solutions. This thesis aimed for these outcomes by analysing how software used in product development can be utilized in target costing and achieving target costs.

The theoretical part of the thesis identified different phases of target costing. These phases formed the framework used in analysing the software. The theoretical part concerning product development software contemplated product information and software features that can be utilized in cost management. As a survey of present state the thesis is mainly empirical and best described as descriptive case study. Empirical part of the thesis described target costing related functionality of six different software. Material used in descriptions was collected from various sources including user guides, documentations of features, interviews and observations.

Based on analysing the descriptions it was found that computer-aided design related cost management software can be best utilized in ensuring that the products are designed cost effective from the beginning. As for product lifecycle management software related cost management software, they were better suited for monitoring the process of achieving target costs. However both software types had something to offer for each part of the process. Due to their differentiating features, individual software were found to have a slightly different roles in the target costing process however. The results of the thesis can be applied in development work and in carrying out target costing in companies.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Tampereen Teknillisen Yliopiston Teollisuustalouden laitoksen alle kuuluvassa Cost Management Center -yksikössä. Työ kuuluu Tampereen Yliopiston kanssa yhteistyössä toteutettavaan Network enabled Product Life-cycle management -projektiin. Hanke toteutetaan yhteistyössä Tekesin ja useiden aiheesta kiinnostuneiden yritysten kanssa.

Haluan kiittää erityisesti Matti Sievästä ja Mika Hannulaa jotka ohjasivat ja tarkastivat työn. Heidän neuvonsa olivat korvaamattomia. Lisäksi haluan kiittää työn tekemisessä mukana olleiden yritysten edustajia ja joiden ansiosta sain aiheeseen käytännön näkökulmaa. Suurkiitokset kuuluvat myös koko Cost Management Center -yksikölle, jossa rautainen ammattitaito ja loistava työilmapiiri takasivat työn onnistumisen.

Lopuksi haluan kiittää kaikkia läheisiäni, jotka ovat jaksaneet tukea ja kannustaa läpi pitkän diplomityöprosessin. Tätä tukea kaivataan varmasti seuraavissakin haasteissa jotka edessä jo hämmöttävät.

Tampereella 24.8.2012

Henri Wihinen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	i
ABSTRACT	ii
ALKUSANAT	iii
1. JOHDANTO	1
1.1. Tuotekehitys kustannusten alentamisen ytimessä	1
1.2. Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset	2
1.3. Tutkimusote	3
1.4. Tutkielman sisältö.....	4
2. TAVOITEKUSTANNUSLASKENTA	5
2.1. Tuotekehityksen rooli kustannusten hallinnassa	5
2.1.1. Tuotekustannukset ja niiden muodostuminen.....	5
2.1.2. Tuotekehityksen keskeinen rooli kustannusten hallinnassa.....	7
2.1.3. Kustannustietoisuus ja -informaatiotarpeet tuotekehityksessä	8
2.2. Tavoitekustannuslaskenta tuotekehityksen ohjausvälineenä.....	10
2.2.1. Tavoitekustannuslaskenta.....	10
2.2.2. Tavoitekustannuslaskennan erityispiirteet	12
2.2.3. Tavoitekustannuslaskennan prosessi	14
2.2.4. Tavoitekustannusten saavuttaminen.....	16
2.3. Kustannusten seuranta ja tunnistaminen	18

2.3.1.	Suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutusten tunnistaminen.	18
2.3.2.	Kustannusten alentamisen kohteiden tunnistaminen.....	21
2.3.3.	Tuotekustannusten kehityksen seuraaminen läpi tuotekehityksen.....	23
2.4.	Kustannusten selvittäminen.....	24
2.4.1.	Arviointimenetelmien luokittelu.....	24
2.4.2.	Arviointimenetelmien soveltuvuus eri tilanteisiin	29
2.4.3.	Kustannusinformaation ajantasaisuuden ylläpitäminen	30
3.	SUUNNITTELUTIEDON HALLINTA	
	TUOTEKEHITYSVAIHEESSA	33
3.1.	Tuotetieto ja sen hallinta tuotekehityksessä	33
3.1.1.	Tuotetieto ja tuotetta kuvaavat mallit.....	33
3.1.2.	Kustannusinformaation liittäminen tuotetietoon	34
3.1.3.	Tuotekehityksen tietojärjestelmät tuotetiedon hallintaan.....	36
3.2.	Tuotekehityksen tietojärjestelmät kustannuslaskennan tukena	37
3.2.1.	Tuotetiedonhallinnan järjestelmät	37
3.2.2.	Mekaniikkasuunnitteluohjelmistot.....	39
3.2.3.	Tietojärjestelmien yhteistoiminta	41
4.	TYÖN AINEISTO, MENETELMÄT JA AINEISTON ANALYYSI	
	42	
4.1.	Tutkimusmenetelmät	42
4.2.	Työn aineisto	43
4.3.	Aineiston analyysi.....	44
5.	OHJELMISTOJEN KUVAUKSET	46
5.1.	SolidWorks Costing	46

5.2. DFMA	50
5.3. aPriori	57
5.4. Windchill Cost.....	62
5.5. Arena	67
5.6. VariCost.....	70
6. OHJELMISTOT	TAVOITEKUSTANNUSTEN
SAAVUTTAMISEN TUKENA.....	73
6.1. Tuotekustannusten selvittäminen ohjelmistojen avulla	73
6.1.1. SolidWorks Costing, DFMA ja aPriori	73
6.1.2. Windchill Cost, Arena ja VariCost	75
6.2. Kustannusten tunnistamisen ja seurannan tukeminen ohjelmistoilla .	77
6.2.1. SolidWorks Costing, DFMA ja aPriori	77
6.2.2. Windchill Cost, Arena ja VariCost	78
6.3. Ohjelmistojen rooli tavoitekustannusten saavuttamisessa	80
6.3.1. SolidWorks Costing, DFMA ja aPriori	80
6.3.2. Windchill Cost, Arena ja VariCost	82
7. YHTEENVETO	85
LÄHTEET	89

1. JOHDANTO

1.1. Tuotekehitys kustannusten alentamisen ytimessä

Tuotekehitys on perinteisesti nauttinut asemasta, jossa tuotteita voidaan kehittää teknologialähtöisesti ja hinta määräytyi valmistuskustannusten mukaan. Tämän seurauksena tuotteista tuli usein kalliita ja hintaa pyrittiin pudottamaan jälkikäteen pienentämällä kustannuksia. Cooper & Chew (1996, ss. 88-90) kuvailevat, että tämänkaltaisen toimintatapa ei ole enää mahdollista. Markkinajohtajuuden saavuttaminen ja säilyttäminen nykytilanteessa vaativat kustannusten huomioimista suunnittelussa jo ennen tuotteen siirtymistä tuotantoon. Vaikka tuotteen kustannukset tyypillisesti sijoittuvat tuotantoon, valtaosa kustannuksista kuitenkin lukkiutuu jo tuotekehitysvaiheessa. Parhaat mahdollisuudet kustannuksiin vaikuttamiseen ovat siis tuotekehityksen aikana. Kustannustietoinen suunnittelu aikaisessa vaiheessa on toisaalta haastavaa, sillä kustannuksiin vaikuttavien päätösten tueksi on tässä vaiheessa myös tarjolla vähiten tietoa.

Viime vuosikymmenten teknologisen kehityksen seurauksena saatavilla olevan tiedon määrä tuotekehityksessä on kasvanut räjähdysmäisesti. Tietokone-avusteiset suunnittelyökalut ja tuotekehitystietoa hallinnoivat järjestelmät sisältävät suunnattomat määrät tietoa tuotteesta. Ohjelmistojen kehittäjät ovat viime aikoina havahtuneet ohjelmien mahdollisuuksiin myös kustannusinformaation osalta ja ovat hiljalleen alkaneet tarjota toiminnallisuutta myös kustannusinformaation tuottamiseen ja käsittelemiseen. Kustannusinformaation automaattisella tuottamisella suunnittelijan tueksi onkin havaittu olevan suuria mahdollisuuksia (Roy 2003, ss. 13-14). Ottaen huomioon, että kustannuslaskennan on arvioitu jatkossa koskettavan yhä useampaa henkilöä yrityksessä (Cooper 1996b ja Cooper 1996c, Uusi-Rauva & Paranko 1998 mukaan), voidaankin ohjelmistojen kyvyn tuottaa, käsitellä ja levittää kustannusinformaatiota nähdä olevan yhä merkittävämmässä roolissa.

Työn pyrkii tarkastelemaan miten viime aikoina mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen ja tuotetiedonhallinnan järjestelmien yhteyteen kehitetyt ominaisuudet ja ohjelmistot tukevat kustannusten hallintaa. Tavoitekustannuslaskenta on erityisesti tuotekehityksen aikaisen kustannustenhallinnan tarpeisiin vastaamaan kehittynyt kokonaisvaltainen lähestymistapa, joka tarjoaa hyvän viitekehityksen ohjelmistojen tarkastelulle. Niinpä tämän työn päätavoitteena onkin tutkia miten nykyiset kaupalliset tuotekehityksen aikaista tuotetietoa käsittelevät ohjelmistot tukevat tavoitekustannusten saavuttamista. Tutkimus toteutetaan osana ”Network enabled Product Life-cycle Management - NetPLM” –projektia, jonka tavoitteena puolestaan on kehittää menetelmiä, työkaluja ja teorioita

yrityksille tukemaan tuotteen elinkaaritiedon hallinnan ratkaisujen käyttöä. Projektin päärahoittajana toimii Tekes ja projektin tärkeimpiä yhteistyökumppaneita diplomityön näkökulmasta ovat Econocap Group, Variantum Oy ja CadWorks Oy. Projektin näkökulmasta työn keskeinen tavoite on antaa osallisille näkemys siitä, miten ohjelmistojen käsittelemää tuotetietoa voidaan hyödyntää kustannusten hallinnassa.

1.2. Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoite kumpuaa tarpeesta tarkastella viime aikoina tuotetiedonhallinnan ja mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen yhteyteen kehitettyjä kustannusinformaatiota käsitteleviä osioita. Molemmat ohjelmistotyypit pyrkivät liittämään niiden käsittelemään tuoterakenteeseen kustannusinformaatiota tukeakseen päätöksentekoa läpi tuotesuunnitteluvaiheen. Tavoitekustannuslaskennan tavoitteena on puolestaan varmistaa tietyn kustannustason saavuttaminen etenkin tuotekehitysvaiheen aikaisella toiminnalla. Tavoitekustannuslaskenta tarjoaa siten hyvät teoreettiset puitteet tarkastella ohjelmistojä. Niinpä päätutkimuskysymys kuuluukin:

- Miten kustannusinformaatiota tuoterakenteen yhteydessä käsittelevillä ohjelmistoilla voidaan edesauttaa tavoitekustannusten saavuttamista?

Päätutkimuskysymys voidaan jakaa edelleen muun muassa seuraaviin alaongelmiin, jotka yhdessä vievät tutkimusta kohti pääongelman ratkaisua:

1. Mitkä ovat tavoitekustannuslaskennan erityispiirteet ja mistä tavoitekustannusten saavuttamisen prosessi koostuu?
2. Mitä mahdollisuuksia tavoitekustannusten saavuttamisen prosessin eri vaiheiden toteuttamiseen kirjallisuudessa on tunnistettu?
3. Minkä tyyppisillä tuoterakennetta käsittelevillä ohjelmistoilla on parhaat edellytykset tukea tavoitekustannusten saavuttamista?
4. Miten ja millä edellytyksillä tuoterakennetta käsittelevien kaupallisten ohjelmistojen tuottamaa ja tarjoamaa kustannusinformaatiota voidaan hyödyntää tavoitekustannusten saavuttamisen eri vaiheissa?

Ensimmäiseen kolmeen alaongelmaan vastataan tavoitekustannuslaskentaa ja tuotekehityksen tietojärjestelmiä käsittelevän kirjallisuuden avulla. Näihin kysymyksiin vastaus mahdollistaa sopivien tutkimuskohteiden valinnan, sekä tarjoaa niiden tarkasteluun teoreettisen viitekehityksen. Neljänteen kysymykseen vastauksena toimivat tarkasteltujen ohjelmistojen kuvaukset. Lopuksi vastataan päätutkimuskysymykseen tarkastelemalla kunkin ohjelmistotyypin ja yksittäisen ohjelmiston roolia tavoitekustannusten saavuttamisessa.

Tuoterakennetta käsittelevien eri ohjelmistotyyppien runsauden ja tavoitekustannuslaskennan käsitteen laajuuden vuoksi tutkimuksen aiheita on rajattu seuraavilla tavoilla. Tutkimus keskittyy valmistavan teollisuuden tuotteiden kustannusten hallintaan, joten

tuote on aina jossain määrin fyysinen. Tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan tuotekehityksen aikaista kustannusten hallintaa, sillä tuotteen siirryttyä valmistukseen muuttuvat kustannuslaskennan keinot ja usein myös järjestelmät, joita kustannusinformaation käsittelyyn käytetään. Lisäksi tarkoituksena on tarkastella vain julkisesti markkinoilla olevia kaupallisia järjestelmiä, eikä esimerkiksi prototyyppejä tai yrityskohtaisia järjestelmiä. Tavoitekustannuslaskennan osalta tarkastellaan ainoastaan tavoitekustannusten saavuttamista, eikä järjestelmien mahdollista kykyyn tukea tavoitekustannuslaskentaa jo tavoitteiden asettamisen aikana tutkita.

1.3. Tutkimusote

Tutkimuskysymyksen ohjaamaa päämäärä voitaisiin saavuttaa usealla eri tutkimusotteella ja -menetelmällä. Kasanen et al. (1991, ss. 302-305) ovat luokitelleet liiketalouden tutkimusotteita tiedon hankintatapojen ja käyttötarkoituksen mukaan teoreettinen-empiirinen ja deskriptiivinen-normatiivinen -akseleille. Toisaalta Olkkonen (1993, ss. 60-81) muistuttaa, että liiketalouden tutkimus kuuluu harvoin yksinomaan johonkin tutkimusotetyyppiin luokiteltavissa, eivätkä tutkimusotteet ole toisiaan poissulkevia. Näin ollen antoisampaa onkin tarkastella tutkimusta sen piirteiden avulla sen sijaan että pyrkisi luokittelemaan sitä joksikin tietyn tyyppiseksi tutkimukseksi.

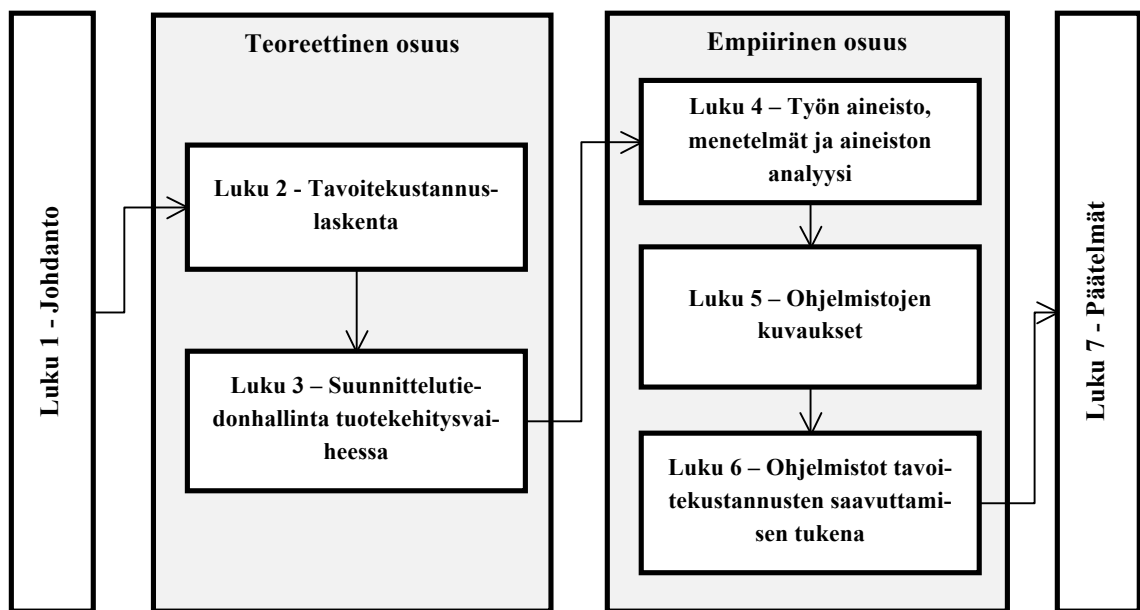
Tiedon hankintatavaltaan tutkimus lähtee teoreettisesti kartoittamalla taustakirjallisuutta ja pohtimalla potentiaalisia mahdollisuuksia hyödyntää tarkasteluja ohjelmistotyyppisiä tavoitekustannusten saavuttamisessa. Tutkimus on kuitenkin pääpainoltaan enemmän empiirinen työn yhtenä tavoitteena ollessa markkinoilla olevien ohjelmistojen nykytilan kartoittaminen. Samasta syystä työ voidaan nähdä tiedon käyttötarkoitukseltaan ensisijaisesti olevan luonteeltaan kuvaileva. Kuvausten pohjalta kuitenkin pyritään arvioimaan ja esittämään näkemyksiä siitä millaisissa olosuhteissa ohjelmistoilla tavoitekustannusten saavuttamista voidaan tukea ja mitkä ohjelmistojen vahvuudet ja heikkoudet ovat toisiinsa nähden. Niinpä deskriptiivisyyden lisäksi työllä on myös normatiivisia piirteitä.

Tutkimuskysymyksen asettelun, empiirisen lähestymistavan ja markkinoilla olevien ohjelmistojen pienen määrän vuoksi tutkimusmenetelmiksi parhaiten soveltuvat kvalitatiiviset menetelmät. Silverman on esitellyt yleisimmiksi kvalitatiivisiksi menetelmiksi havainnoinnin, tekstit ja dokumentit, haastattelut, sekä ääni- ja videotallenteet. Hän muistuttaa, että usein tutkimuksessa yhdistyy useampi menetelmä. (Silverman 2000, ss. 123-133.) Ohjelmistoja voidaan käytännössä tarkastella perehtymällä niistä saatavilla olevaan markkinointimateriaaliin ja dokumentaatioon, haastattelemalla niiden toimittajia, jälleenmyyjiä ja käyttäjiä, sekä havainnoimalla käyttöä sekä käyttämällä ohjelmistoja mahdollisuuksien mukaan itse. Tutkimuksessa yhdistyvät siis kaikki Silverman esittelemät menetelmät ja näin ollen myös tietolähteiden triangulaatiota jossain määrin tapahtuu. Tutkimuskysymyksen luonteesta seuraa myös se, että tutkimuksen tulokset asettuvat Burrell & Morgan (1979) esittelemien tutkimusparadigmojen luokittelussa subjek-

tiivisuus-objektiivisuus asteikolla subjektiiviseen päähän. Tulosten subjektiivisuus onkin hyvä pitää mielessä työn arvoa ja tutkimuksen laatua arvioidessa.

1.4. Tutkielman sisältö

Tutkimus voidaan jakaa teoreettiseen ja empiiriseen osuuteen. Pääosin kuvailemaan pyrkivän tutkimusotteen mukaisesti työn rakenne painottuu empiiriseen osuuteen. Teoreettisessa osuudessa luodaan ohjelmistojen tarkastelulle viitekehys ja empiirisessä osuudessa ohjelmistot kuvataan ja analysoidaan tämän viitekehysten puitteissa. Työn rakenne on esitetty kuvassa 1.1.



Kuva 1.1. Työn rakenne.

Teoreettinen osuus alkaa toisessa luvussa, jossa keskitytään tavoitekustannuslaskentaan ja sen vaiheiden esittelyyn. Tarkemmin paneudutaan tavoitekustannusten saavuttamiseen, sekä tämän prosessin eri osa-alueisiin. Kolmannen luvun tarkoituksena on tarkastella tuotekehityksen aikaiseen kustannustenhallintaan soveltuvia tietojärjestelmiä, niiden käsittelemää tuotetietoa, sekä mahdollisuuksia liittää kustannusinformaatiota tuoterakenteisiin. Neljäs luku aloittaa empiirisen osuuden määrittelemällä työssä käytetyt tutkimusmenetelmät ja aineiston. Viidennessä luvussa kuvataan yksityiskohtaisesti tutkimuksessa tarkasteltujen ohjelmistojen kyvyt kustannusten hallintaan ja tavoitekustannusten saavuttamiseen liittyen. Kuudennessa luvussa tarkastellaan ensin eri ohjelmistotyyppien tavoitekustannusten saavuttamista tukevaa toiminnallisuutta osa-alueittain. Tämän tarkastelun pohjalta arvioidaan sitten eri ohjelmistotyyppien ja yksittäisten ohjelmistojen roolia tavoitekustannusten saavuttamisen tukemisessa niiden vahvuuksien ja heikkouksien kautta.

2. TAVOITEKUSTANNUSLASKENTA

Tässä luvussa esitellään tavoitekustannuslaskennan prosessi, joka toimii viitekehyksenä ohjelmistojen tarkastelulle tutkimuksessa. Luku alkaa tavoitekustannuslaskennan perusteiden esittelyllä ja tarkentuu sitten tarkastelemaan prosessiin kuuluvia vaiheita. Vaiheista tavoitekustannusten saavuttamisen prosessia tarkastellaan tarkemmin pienempiin osa-alueisiin jaoteltuna. Työn empiirisessä osassa ohjelmistojen roolia analysoidaan nojaten näihin osa-alueisiin.

2.1. Tuotekehityksen rooli kustannusten hallinnassa

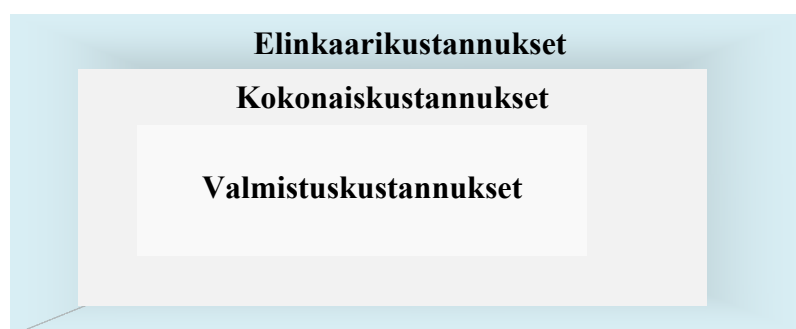
2.1.1. Tuotekustannukset ja niiden muodostuminen

Kustannus voidaan yleisesti käsittää tuotannontekijän rahassa mitattuna käyttönä tai kulutuksena (Neilimo & Uusi-Rauva 1999, s. 47). Tuotannontekijöitä voivat olla esimerkiksi raaka-aineet, työsuoritukset, informaatio, pääomakustannukset tai vaikkapa toimistotilat. Tuotannontekijöiden käytöllä tähdätään yrityksen näkökulmasta aina lisäarvon tuottamiseen, jolloin tuotannontekijöistä syntyneen lopputuloksen arvon tulisi olla käyttäjälleen suurempi kuin siihen kuluneiden tuotannontekijöiden summa.

Kustannusten mittaukseen vaikuttavat sekä laskentatilanne että laskentakohde (Suomala et al. 2011, ss. 88-89). Laskentatilanne on kokonaiskäsitys laskennan käyttötilanteesta, oli se sitten tunnistettu tai tunnistamaton. Eri kustannus eri päätöksentekotilanteeseen kuvaa hyvin laskentatilanteen käsitettä. Käyttötarkoitus määrittää siis aina sen, mitä kustannuksia laskennassa huomioidaan. Laskentakohde puolestaan on mikä tahansa asia, jonka kustannukset tai kannattavuus halutaan selvittää. Laskentakohde voi esimerkiksi olla itse yritys, yrityksen jokin asiakas, tuotantoon tarvittava kone tai tuoteryhmä. Tässä työssä laskentakohteeksi on valittu yksittäinen tuote, jolloin voidaan puhua **tuotekustannuksista**.

Yrityksen ja sen valmistamien tuotteiden kustannuksia voidaan tarkastella lukuisista eri näkökulmista. Geiger (1999, s. 47) on listannut muun muassa seuraavanlaisia kustannuskäsitteitä: suorat ja epäsuorat kustannukset, välilliset ja välittömät kustannukset, tavoitekustannus, ennustettu kustannus, historiallinen kustannus, uponnut kustannus ja niin edelleen. Tämä kielii siitä kuinka monella eri tavalla kustannuksia voidaan tarkastella ja mitata. Seuraavaksi esitellään muutamia tämän tutkimuksen kannalta oleellisia tapoja luokitella kustannuksia.

Ehrlenspiel et al. (2007) lajittelevat tuotteen kustannukset tuotekehityksen vaikutusmahdollisuuksien mukaan valmistuskustannuksiin, kokonaiskustannuksiin ja elinkaarikustannuksiin. Valmistuskustannuksien he katsovat käsittävän tuotteen materiaalikustannukset ja tuotantokustannukset. Kokonaiskustannukset puolestaan pitävät sisällään valmistuskustannusten lisäksi hallinto-, tuotekehitys-, sekä myynti- ja markkinointikustannukset. Elinkaarikustannukset ovat laajin näkökulma tuotteen aiheuttamiin kustannuksiin. Elinkaarikustannukset ovat summa kaikista tuotteen aiheuttamista kustannuksista koko sen elinkaaren ajalta aina tuoteidean syntymisestä tuotteen poistumiseen käytöstä. Kokonaiskustannuksiin kuulumattomia elinkaarikustannuksia ovat muun muassa käyttö-, huolto- ja koulutuskustannukset. Yrityksen sisällä aiheutuvat kustannukset ovat siis vain pieni osa kaikista tuotteen aiheuttamista kustannuksista. Eri kustannustyyppien suhdetta toisiinsa on kuvattu kuvassa 2.1.



Kuva 2.1. Valmistus-, kokonais- ja elinkaarikustannukset (Mukailtu lähteestä Ehrlenspiel et al. 2007, s.6).

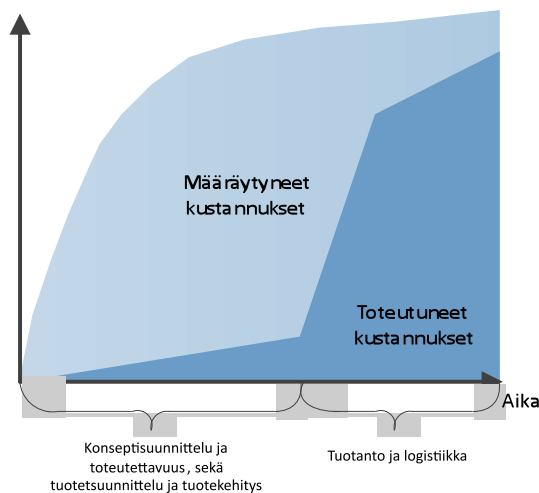
Eräs yleinen tapa luokitella yrityksen kokonaiskustannuksia edelleen on niiden jakaminen muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin (Neilimo & Uusi-Rauva 1999, ss. 56-58). Tämänkaltaisen jaottelun lähtökohtana on idea siitä, että kustannukset muuttuvat jonkin tekijän muutoksen seurauksena. Kaikilla kustannuksilla on joku ajuri, jonka muutoksen seurauksena kustannusten määrä kehittyy. Jako muuttuviin ja kiinteisiin kustannuksiin on perinteisesti tehty toiminta-asteen avulla. Toiminta-asteen muuttuessa osa kustannuksista muuttuu ja osa pysyy ennallaan. Ennallaan pysyviä kustannuksia nimitetään kiinteiksi kustannuksiksi. Kustannuksia muuttuviin ja kiinteisiin jakaessa on hyvä pitää mielessä, että mikä tahansa kustannus voidaan nähdä muuttuvina tai kiinteinä, jos tarkastelujakso on tarpeeksi lyhyt tai pitkä, tai toiminta-asteen muutos on tarpeeksi pieni tai suuri. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999, ss. 56-58; Suomala et al. 2011, ss. 95-96).

Kustannuksia luokitellaan laskentateknisistä syistä usein myös välillisiin ja välittömiin kustannuksiin. Tässä kustannusten jaottelussa luokitteluperusteena käytetään kustannuksen yhteyttä laskentakohteeseen, eli tämän työn puitteissa valmistettavaan tuotteeseen. Välittömät kustannukset voidaan suoraan kohdistaa tuotteelle. Välittömiä kustannuksia voivat olla esimerkiksi tuotteen kuluttamat raaka-aineet, sen valmistamiseen käytetty työaika tai sen valmistuksessa käytetty koneaika. Välillisiä kustannuksia ei puoles-

taan voida kohdistaa suoraan laskentakohteeseen, vaikka ne toiminnan kannalta olisivatkin välttämättömiä. Välillisistä kustannuksista esimerkkejä ovat johdon palkat ja yhteiset koneresurssit. Myöskään jako välillisiin ja välittömiin kustannuksiin ei ole ongelmaton, sillä teoriassa kaikki toiminnasta aiheutuneet kustannukset voidaan lopulta kohdistaa laskentakohteille ja käsitellä siten välittöminä kustannuksina. Välillisiä kustannuksia kutsutaan myös yleiskustannuksiksi ja niiden kohdistaminen laskentakohteille tapahtuu yleiskustannuslisien avulla. (Neilimo & Uusi-Rauva 1999, s. 59; Suomala et al. 2011, s. 94, 117).

2.1.2. Tuotekehityksen keskeinen rooli kustannusten hallinnassa

Elinkaariajattelun mukaan tuotteen kustannukset muodostuvat kertyen tuotteen elinkaaren aikana. Tuotteiden kustannusten muodostumista tutkittaessa on yleisesti havaittu, että vaikka suurin osa tuotteen kustannuksista syntyy usein tuotteen valmistuksessa, valtaosa kustannuksista määräytyy jo tuotekehitysvaiheen aikana, eikä tuotantovaiheessa tehdyillä prosessimuutoksilla voida enää merkittävästi vaikuttaa kustannuksiin (Davila & Wouters 2004; Cooper & Chew 1996). Mielenkiintoista on myös se, että itse tuotekehityksessä syntyvät kustannukset eivät usein ole kuin murto-osa tuotteen kustannuksista. Toteutuneita ja määräytyneitä kustannuksia tuotteen edetessä suunnittelusta jakeluun on havainnollistettu kuvassa 2.2.



Kuva 2.2. Toteutuneet ja määräytyneet kustannukset (Mukailtu lähteestä Cavalieri et al. 2004, s. 167).

Tuotekehitysvaiheen alussa on eniten mahdollisuuksia vaikuttaa siihen millainen tuotteesta lopulta tulee ja siten ollen on ymmärrettävää, että myös kustannuksiin voidaan vaikuttaa alussa parhaiten. Jokainen tuotetta koskeva päätös määrittää tuotteen kustannuksia. Huonojen suunnitteluratkaisujen korjaaminen myöhemmin tulee sitä kalliimmaksi, mitä pidemmällä tuotteen elinkaarta se tehdään. Käytännön kokemusten perus-

teella on havaittu, että jos virheitä on ylipäättänsä mahdollista myöhemmin korjata, kasvaa niiden korjaamisen kustannukset eksponentiaalisesti (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 10-11). Konseptisuunnitteluvaiheessa havaittu virhe voidaan helpoimmillaan korjata muuttamalla tuotteen määritelmää hieman. Virheen korjaaminen siinä vaiheessa kun tuotanto on ehditty aloittaa, tuotantolaitteet hankkia ja alihankkijoiden kanssa on tehty sopimukset, ei useinkaan ole enää yhtä yksinkertaista. Tämä havainto on johtanut erilaisien toimintamallien syntymiseen, joiden tarkoituksena on ohjata tuotekehitystyötä siten, että tuotteet saadaan suunniteltua jo tuotekehitysvaiheesta lähtien kustannustehokkaiksi (Ulrich & Eppinger 1995). Tässä työssä tarkastellaan yhtä näistä, tavoitekustannuslaskentaa, joka on kokonaisvaltainen lähestymistapa kustannusten hallintaan erityisesti tuotekehitysvaiheessa.

Osastotasolla tarkasteltuna tuotekehityksen eteen töitä tekevä tuotekehitysosasto ei ole ainoa osapuoli, joka vaikuttaa tuotteen suunnitteluun kustannustehokkaaksi. Yrityksen johto päättää keskeisistä toimintatavoista, myynti ja markkinointi toimii linkkinä asiakkaan ja yrityksen välillä, ostotoiminto vastaa hankinnoista ja niin edelleen. Ehrlenspiel et al. (2007, s.12-13) kuvaavat kustannusten määräytyvän joka tapauksessa pääasiallisesti tuotekehityksen toimenpiteiden seurauksena, sillä tuotekehityksessä kaiken tuotteeseen liittyvän tiedon tulisi yhdistyä tuotteeksi. Tuotteen suunnittelu kustannustehokkaaksi vaatii tuotekehitykseltä laajaa tietoisuutta suunnitteluratkaisujen vaikutuksista kustannuksiin. Tuotekehityksen haasteena on hyödyntää siis koko organisaation laajuisesti hajautunutta kustannusinformaatiota uuden tuotteen suunnittelussa.

2.1.3. Kustannustietoisuus ja -informaatiotarpeet tuotekehityksessä

Kustannustietoisuus on laaja ja hankala käsite lähestyä, koska se pitää sisällään melkein mitä tahansa kustannuksiin liittyvää. Se on silti perusta kustannustehokkaiden tuotteiden suunnittelulle. Suomala et al. (2011, ss. 22-24) ovat havainnollistaneet käsitettä esittämällä esimerkkejä kustannustietoisuuden dimensioista. Näitä dimensioita heidän mukaansa muun muassa ovat kustannuslajit, erilaiset laskentakohteet, ajallinen kattavuus, kustannuksiin vaikuttavat muuttujat sekä tietoisuus organisaation eri toiminnoissa ja hierarkiatasoilla. Kustannustietoisuus ei ole mikään itseisarvo, eikä sen kasvaminen automaattisesti heijastu parempina päätöksinä. Suomala et al. (2011, s. 22) esittävät että kustannusten tarkastelu kattavasti voi olla liian aikaa vievää tai kustannuksista huolimatta on tehtävä joskus tietty ratkaisu. Kustannustietoisuuden kehittämistä tuotekehityksessä on hyvä tietoisesti tehdä, sillä perinteisesti tuotekehitysosaston osaaminen on painottunut teknisen ja tieteellisen osaamisen puolelle (Cavalieri et al. 2004, s. 166). Tällöin päätöksenteossakin painavat enemmän ratkaisujen hyvyys jostain muusta kuin kustannusten näkökulmasta.

Booker et al. (2007, s. 20) ovat havainneet tuotekehityksessä käsittelevässä kirjallisuudessa kustannusinformaatiolla olevan kahden tyyppisiä vaikutuksia. Se saattaa ohjata suunnittelijoiden huomiota liikaa kustannuksiin ja siten tuotteen pois tuotteen ominai-

suuksista. Samansuuntaisesti Davila & Wouters (2004, s. 24) ovat esittäneet, että suunnittelijoiden rajallisten resurssien vuoksi huomion kiinnittäminen tavoitekustannuksiin ei välttämättä ole aina eduksi, sillä silloin tuotteen muut ominaisuudet jäävät vähemmälle huomiolle. Toisaalta Booker et al. (2007) mukaan kustannusinformaation on havaittu olevan oleellista kustannustehokkaampien tuotteiden suunnittelussa. He ovat myös koe-ympäristössä suoritetussa tutkimuksessaan havainneet, että kustannustietoinen suunnittelu ei synnytä kustannustehokkaita tuotteita muiden ominaisuuksien kustannuksella. Davila (2000) on tarkastellut kustannusinformaation tarjoamista kokonaisvaltaisemmin tuotteen suorituskyvyn kannalta ja havainnut sen vaikuttavan positiivisesti. Eroja kustannusinformaation vaikutuksissa tuotteen kustannustehokkuuteen on myös sen suhteen kuinka paljon tuote eroaa jo markkinoilla olevista tuotteista. Booker et al. (2007) havaitsivat yksityiskohtaisen kustannusinformaation lisäävän suunnittelijoiden pyrkimyksiä alempiin kustannuksiin kun tuotteisiin tehtiin pieniä muutoksia, mutta täysin uudenlaisten tuotteiden kehittämisessä sillä ei ollut vaikutusta. Kaiken kaikkiaan kustannusinformaation vaikutukset tuotekehityksessä riippuvat siitä millaista tuotetta ollaan kehittämässä ja millaisessa ympäristössä. Tämän vuoksi tarvetta kehittää kustannustietoisuutta ja tarjota kustannusinformaatiota tuotesuunnittelun tueksi tuleekin kartoittaa tapauskohtaisesti.

Tuotekehityksen kustannustietoisuuden kehittämiseksi hyvä lähtökohta on kartoittaa tiedostettuja tarpeita kustannusinformaatiolle. Suomalaisen metalliteollisuuden suunnittelijoiden tarpeita tutkineet Uusi-Rauva & Paranko (1998) havaitsivat kuilun kustannusinformaation tarpeiden ja sen saatavuuden välillä. Heidän mukaansa suunnittelijoiden tietoisuus välittömistä kustannuksista on paremmalla tasolla kuin välittömien kustannusten osalta. Myös suunnittelupäätösten ketjuvaikutuksista koko tuotteen ja yrityksen kustannuksiin kaivattiin suunnittelijoiden keskuudessa tarkempaa tietoa. Kustannusinformaation tarjoamisessa oikea-aikaisesti todettiin olevan suuria ongelmia laskennan painottuessa jälkilaskentaan. Yleisesti kustannustietoa havaittiin löytyvän paljon, mutta se ei saavuta suunnittelijaa käyttökelpoisessa muodossa, eikä oikea-aikaisesti.

Samankaltaisia ongelmia kustannusten hallinnassa tuotekehitysvaiheen aikana esittävät myös Ehrlenspiel et al. (2007, ss. 21-27). Tuotekehitysosaston ja erityisesti suunnittelijoiden resurssit ovat rajallisia, eikä kustannusten huomiointiin suunnittelussa välttämättä ehditä käyttämään tarpeeksi aikaa. Tilannetta hankaloittaa se, että tuotekehityksen tarpeet kustannusinformaatiolle sijoittuvat ajanjaksolle, jolloin tuotteesta ei ole vielä saatavilla paljon tietoa laskelmien tueksi. Vaikka laskelmien tekeminen onnistuisi, on se usein niiden työläyden takia niin hidasta, että suunnittelua on jatkettava ennen kuin informaatiota on saatavilla. Lisäksi kustannusinformaatioon liittyy aina epävarmuus siitä, kuinka arviot kuvaavat todellisia tuotteen aiheuttamia kustannuksia. Tämä ongelma on läsnä jälkilaskelmissakin, joiden tuottamiseen saadaan kattavampaa informaatiota kuin ennakkolaskelmiin. Tuotekehityksen aikaisen kustannuslaskennan ongelmat ovat siis yksinkertaistettuna kustannusinformaation oikea-aikainen saatavuus, sekä kustannusinformaation laadulliset ominaisuudet kuten tarkkuus ja käyttötarkoitukseen sopiminen.

2.2. Tavoitekustannuslaskenta tuotekehityksen ohjausvälineenä

2.2.1. Tavoitekustannuslaskenta

Yksi erityisesti tuotekehityksen aikaisen kustannustenhallinnan tarpeisiin vastaamaan kehittynyt lähestymistapa on tavoitekustannuslaskenta. Tavoitekustannuslaskenta on Japanista lähtöisin oleva kustannusten ja voittojen hallintamenetelmä, jolla pyritään varmistamaan tuotteen kannattavuus niiden tullessa markkinoille (Cooper 1996a, s. 19). Tavoitekustannuslaskenta sai alkunsa Japanilaisten autoteollisuudessa toimineiden yritysten kootessa kustannusten hallinnan toimintatapoja ja menetelmiä yhteen muodostaen niistä kokonaisvaltaisen kustannusten ja voittojen hallinnan järjestelmän. Järjestelmän perusidea on varmistaa tuotteen kannattavuus asettamalla tuotteelle sellainen kustannustaso, jonka tietyt ominaisuudet ja laadun omaavan tuotteen tulee saavuttaa. Tätä tasoa kutsutaan tavoitekustannukseksi. Tavoitekustannus määrittää myyntihinnan ja tavoitetuoton erotuksena (Cooper 1996a, s. 19)

Ansari & Bell (1997, s. 21) näkevät tavoitekustannuslaskennan uuden tuotteen suunnitteluun tiiviisti kytkeytyvä laskentatapa, jonka pyrkimyksenä on hallita kustannuksia suunnitteluvaiheessa juuri silloin, kun tehdään ratkaisuja joilla on suurimmat vaikutukset kustannuksiin. Myös Ehrlenspiel et al. (2007, s. 44) esittävät, että tavoitekustannuslaskenta nähdään yleensä nimenomaan tuotekehitykseen liittyvänä toimintatapana. Tästä yleisestä näkökulmasta poiketen Shank & Fisher (1999, s. 352) ovat argumentoineet, että tavoitekustannuslaskennan soveltamiselle tuotekehitysvaiheen ulkopuolella ei ole estettä ja esittävätkin sillä olevan mahdollisuuksia myös valmistusvaiheen kustannusten hallinnan näkökulmasta. Yksi tavoitekustannuslaskennan tärkeimmistä erityispiirteistä on kuitenkin juuri kustannuksiin puuttuminen jo konseptisuunnittelun aikana (Cavalieri et al. 2004, s. 167). Tässä työssä tavoitekustannuslaskenta nähdään menetelmänä, jolla pyritään tavoitekustannusten saavuttamiseen pääasiallisesti tuotekehityksen aikana.

Koska tavoitekustannuslaskennan käsite on lähtöisin käytännöstä teorian sijaan, on ymmärrettävää että käsitteen kattavuus ja määritelmät vaihtelevat runsaasti (Feil et al. 2004, s. 11-12). Toisen ääripään mukaan tavoitekustannuslaskenta on yksinkertainen kaava ja pieni osa kustannustenhallinnan toimintoa, kun taas toisessa ääripäässä se nähdään kokonaisvaltaisena strategisena voittojen hallinnan järjestelmänä (Shank & Fisher, 1999, s. 352). Länsimaisessa kirjallisuudessa useimmiten tulevat esille Ansari & Bell (1997, s. 11) ja Cooper & Slagmulder (1997, s. 10) esittämät määritelmät tavoitekustannuslaskennalle. Tavoitekustannuslaskennan käsite on kuitenkin ollut jatkuvassa kehityksessä sekä japanilaisessa että länsimaisessa kirjallisuudessa (Feil et al. 2004, s. 11-12).

Cooper & Slagmulder (1997, s. 10) määrittelevät tavoitekustannuslaskennan olevan lähestymistapa, joka pyrkii määrittelemään elinkaarikustannukset joiden perusteella tuot-

teen toiminnallisuus ja laatu tulee tuottaa, jotta tuote saavuttaisi halutun kannattavuustason elinkaarensa aikana, kun sitä myydään oletettuun hintaan. Heidän määritelmässään tavoitekustannusten asettaminen on pääosassa ja tavoitteiden saavuttaminen on jätetty käsitteen ulkopuolelle. Määritelmän mukainen tavoitekustannuslaskenta voidaan yksinkertaistaa kaavaksi: Myyntihinta – Tavoitevoitto = Tavoitekustannus. Tämä määritelmä on usein liian suppea kuvaamaan tavoitekustannuslaskentaa siinä muodossa, kun sitä toteutetaan käytännössä (Feil et al. 2004, s. 11-12). Cooper & Slagmulder (1997) täydentävät tavoitekustannuslaskentaa arvoanalyysillä, jonka pyrkimyksenä on saavuttaa tavoitekustannuslaskennan avulla asetetut tavoitteet. Kun nämä kaksi osa-aluetta yhdistetään yhdeksi, päästään lähelle kokonaisvaltaista tavoitekustannuslaskennan määritelmää, jonka muun muassa Ansari & Bell (1997) esittävät.

Ansari & Bell (1997, s. 11) määrittelevät tavoitekustannuslaskennan prosessin olevan voittojen suunnittelun ja kustannusten hallinnan järjestelmä, joka on hintavetoinen, asiakaslähtöinen, suunnittelukeskeinen ja poikkiorganisatorinen. Heidän mukaansa tavoitekustannuslaskenta aloittaa kustannusten hallinnan tuotekehityksen aikaisimmassa vaiheessa ja soveltaa sitä koko tuotteen elinkaaren aikana aktiivisesti kattaen koko arvoketjun. Ansari & Bell näkevät tavoitekustannuslaskennan siis hyvin kokonaisvaltaisena lähestymistapana kustannusten hallintaan, eivätkä sido sitä mihinkään tiettyihin menetelmiin tai työkaluihin. Määritelmä on varsin laaja kokoelma periaatteita, joita avataan tarkemmin kohdassa 2.2.2. Tässä diplomityössä tavoitekustannuslaskenta nähdään kokonaisvaltaisena toimintatapana ja keskitytään nimenomaan siihen osaan tavoitekustannuslaskentaa, jota Cooper & Slagmulder ei määritelmänsä mukaan ottanut, eli siihen miten asetettujen tavoitekustannusten saavuttamista voidaan tukea.

Cooper & Slagmulder (1997) näkivät arvoanalyysin erottamattomana tavoitekustannuslaskennasta. Ansari & Bell (1997, ss. 127-139) puolestaan esittävät suuren joukon eri työkaluja ja menetelmiä, joita voidaan käyttää osana tavoitekustannuslaskentaa, sekä toteavat, että työkaluja ja menetelmiä on liian paljon, jotta niitä voitaisiin kattavasti listata. Tähän työkalujen ja menetelmien joukkoon kuuluvat merkittävimpänä muun muassa laatutalo (QFD), kustannustaulukot, arvoanalyysi, design-to-cost, design for manufacturing and assembly ja benchmarking. Tavoitekustannuslaskennan työkaluja ja menetelmiä käydään kustannusten saavuttamista tukevien työkalujen osalta tarkemmin läpi kohdissa 2.3 ja 2.4.

Tavoitekustannuslaskentaa käytetään tyypillisesti kokoonpanopainotteisissa valmistavan teollisuuden yrityksissä (Ansari et al. 2007, s. 508). Tavoitekustannuslaskenta kokonaisvaltaisena järjestelmänä on peräisin Japanista, jossa sen käyttö yleisintä (Feil et al. 2004). Viime vuosikymmenten aikana tavoitekustannuslaskenta on alkanut kiinnostaa myös länsimaista tiedeyhteisöä ja yritysmaailmaa. Ansari et al. (2007, s. 508) muistuttavat, että suurin osa kilpailtujen markkinoiden yrityksistä on käyttänyt tavoitekustannuslaskennan elementtejä jo 1970-luvulta lähtien ja esimerkiksi arvoanalyysi on alun perin USA:sta lähtöisin. Tavoitekustannuslaskentaa on myös käytetty useimmiten teolli-

suudenaloilla, joissa markkinat ovat kyllästyneet ja hinnoilla kilpailu on kovaa (Cooper & Slagmulder 1997).

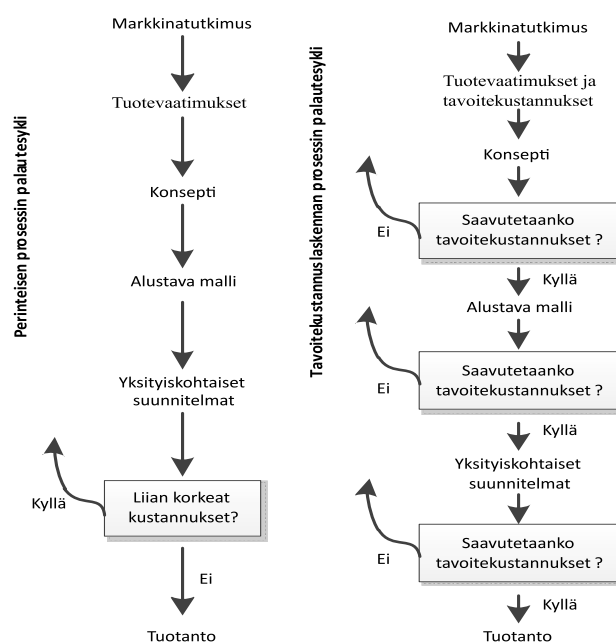
Eräs tavoitekustannuslaskennan heikkouksista onkin sen soveltamisen haasteellisuus uuden tyyppisten tuotteiden kanssa. Davila & Wouters (2004, ss. 14-16) ovat listanneet tavoitekustannuslaskennan rajoitteita korkean teknologian yrityksissä. Heidän mukaansa tavoitekustannuslaskenta ohjaa huomiota liikaa tuotteelle kriittisistä ominaisuuksista kustannuksiin, sekä yksityiskohtaisena ja byrokraattisena prosessina vaatii liikaa aikaa rajalliset resurssit omaavassa tuotekehityksessä. Afonso et al. (2008, s. 566) ovat sen sijaan tutkimuksissaan havainneet että tavoitekustannuslaskenta ja tuotekehitysvaiheen pituus eivät yleensä ole toisiinsa merkittävästi kytköksissä. Samalla he myöntävät, että kun kannattavuuden kannalta tärkeintä on saada tuote nopeasti markkinoille, ei tavoitekustannuslaskennan vaatimaan vaihtoehtojen tunnistamiseen ja niiden kustannusvaikutusten arviointiin riitä aikaa. Kato & Boer (1995) esittävät tavoitekustannuslaskennan tyypillisiksi ongelmiksi myös pidentyneet tuotekehitysajat, mutta sen lisäksi myös työntekijöiden loppuunpalamisen johtuen jatkuvista paineista saavuttaa tiukat tavoitekustannukset.

2.2.2. Tavoitekustannuslaskennan erityispiirteet

Ansari & Bell (1997, ss. 11-16) esittävät määritelmässään kuusi erityispiirrettä, jotka kuvaavat tavoituskustannuslaskennalle tyypillistä lähestymistapaa kustannuslaskentaan. Ensimmäinen erityispiirre on hinta-lähtöisyys. Tavoitekustannuslaskenta käyttää oletettua markkinahintaa sallittujen kustannusten määrittämiseen. Tavoitekustannus lasketaan vähentämällä markkinahinnasta tavoiteltu voitto. Ansari et al. (2007, s. 50) selittävät markkinahinnan määräytyvän sen mukaan mitä asiakas on valmis tuotteesta maksamaan ja tavoitevoiton määräytyvän rahamarkkinoiden odotuksista tuotoille. Niinpä ainoaksi hallittavaksi muuttujaksi jäävät kustannukset. Toinen erityispiirre on asiakaslähtöisyys. Tavoitekustannuslaskennan järjestelmät ovat markkinavetoisia. Asiakkaan vaatimukset ja odotukset tuotteen laadusta, kustannuksista ja aikataulusta toimivat perustana päätöksille. Kun asiakkaan tarpeet ymmärretään hyvin, voidaan kustannuksia pienentää esimerkiksi poistamalla tuotteesta niiden kannalta vähemmän tärkeitä piirteitä ja toiminnallisuutta. Ensimmäinen ja toinen erityispiirre yhdessä johtavat siihen että tavoitekustannuslaskennan prosessi lähtee liikkeelle hinnasta, jonka asiakkaat ovat tietyistä ominaisuuksista maksamaan. Perinteinen tuotekehitysprosessi puolestaan lähtee liikkeelle teknologiasta, joka työnnetään markkinoille (Hiromoto 1991).

Asiakstarpeiden korostuminen tavoitekustannuslaskennassa liittyy myös sen kolmannen erityispiirteeseen, suunnittelun tärkeyteen kustannusten hallinnassa. Kuten aiemmin esitettiin, suurin osa tuotteen kustannuksista määräytyy tuotekehitysvaiheessa, mutta toteutuu vasta tuotantovaiheessa. Tavoitekustannuslaskenta pyrkii hallitsemaan kustannuksia ennen kuin ne syntyvät, sen sijaan että jälkeinpäin pyrittäisiin pienentämään niitä. Tavoitekustannuslaskennan prosessi keskittyy suunnitteluun. Ehrlenspiel et al.

(2007, ss. 44-45) esittävät tuotekehitysprosessin etenevän toteuttaen suunnittelun, toteutuksen, tarkastuksen ja korjauksen sykliä. Perinteisesti kustannusten arviointia suoritetaan vasta, kun tämä prosessi on toistunut useita kertoja ja sen vuoksi saatetaan joutua palaamaan tekemään muutoksia kauan aikaa sitten tehtyihin päätöksiin. Tavoitekustannuslaskennassa sen sijaan tavoitteeseen pääsemistä pyritään arvioimaan jatkuvasti, mikä vuoksi päätöksistä saadaan nopeammin palautetta ja korjaukset voidaan suorittaa aikaisessa vaiheessa. Tätä eroa perinteisen prosessin ja tavoitekustannuslaskennan välillä on selvennetty kuvassa 2.3.



Kuva 2.3. Tavoitekustannuslaskenta perusteinen tuotekehitysprosessi verrattuna perinteiseen prosessiin (Mukailtu lähteestä Ehrlenspiel et al. 2007, s. 45).

Neljäs ja viides erityispiirre liittyvät tavoitekustannuslaskennan ottamiseen osaksi koko organisaation ja sen sidosryhmien toimintaa. Neljäs erityispiirre on tavoitekustannuslaskenta ulottuneisuus tuotekehityksen lisäksi myös organisaation muihin toimintoihin, kuten tuotantoon, myyntiin ja markkinointiin, hankintaan ja laskentatoimeen. Kaikki organisaation toiminnot kattavan ryhmän valinnalla pyritään varmistamaan mahdollisimman laaja näkökulma tuotteen kustannuksiin. Viides erityispiirre on prosessin ulottuminen koko yrityksen arvoketjuun, kuten tuottajiin ja jälleenmyyjiin. Läheinen yhteistyö arvoketjun toimijoiden kanssa hajauttaa pyrkimykset alentaa kustannuksia läpi arvoketjun yrityksen seinien ulkopuolelle. Tavoitekustannuslaskenta painottaa lisäksi koko arvoketjun pitkän aikavälin kannattavuutta ja yhteistyön merkitystä sen saavuttamisessa.

Kuudes erityispiirre on elinkaarisuuntautuneisuus kustannusten tarkastelussa. Tavoitteena ovat mahdollisimman pienet kustannukset sekä tuottajan, että asiakkaan näkökul-

masta. Pienemmät elinkaarikustannukset asiakkaan näkökulmasta nostavat tuotteen arvoa ja edistävät siten tuotteen kilpailukykyä. Tuottajan kannalta elinkaarisuuntautuneisuus tarkoittaa esimerkiksi tuotekehitys-, tuotanto-, markkinointi- ja jakelukustannusten alentaminen. Asiakkaan näkökulmasta yhtä tärkeää on muun muassa käyttö- ja huoltokustannusten alentaminen.

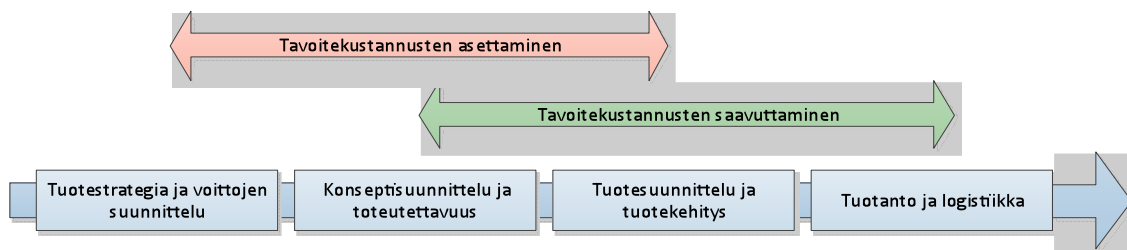
Näiden kuuden erityispiirteen jatkoksi voisi lisätä Cooper & Slagmulder (1997, s. 10) esittämän tavoitekustannuksen saavuttamisen ehdottomuuteen liittyvän periaatteen. Heidän mukaansa tavoitekustannuslaskenta on hyvin riippuvainen peruseriaatteesta, jonka mukaan asetettua tavoitekustannusta ei saa koskaan ylittää. He argumentoivat tavoitekustannusjärjestelmän menettävän tehokkuutensa, jos tavoitekustannus sallitaan ylittää. Tämän säännön ehdottoman soveltamisen tarkoitus on estää pienten, ei niin merkityksellisten ja kustannuksia lisäävien ominaisuuksien lisääminen tuotteeseen. Myös Ansari & Bell (1997, ss. 59-61) esittävät, että tavoitekustannusten nostaminen tulisi perustua huolelliseen harkintaan. Heidän mukaansa tilanteessa, jossa tavoitteeseen ei päästä, eräänä vaihtoehtona on viivästyttää tuotteen markkinoille tuomista. On silti huolehdittava siitä, ettei viivästyksellä ole ikäviä seurauksia markkinahintaan ja sitä kautta tavoitekustannusten kannalta.

2.2.3. Tavoitekustannuslaskennan prosessi

Aivan kuten tavoitekustannuslaskennalle ei löydy yleisesti hyväksyttyä määritelmää, ei kirjallisuudessa myöskään ole päästy yhteisymmärrykseen tavoitekustannuslaskennan prosessista ja sen vaiheista. Tavoitekustannuslaskennan käsitetään joka tapauksessa yleisesti olevan vahvasti sidoksissa tuotekehitysprosessiin, vaikkakin ei ole mitään esitettyä sen käytölle olemassa olevien tuotteiden kanssa kuten aiemmin todettiin. Tämän lisäksi Ansari & Bell (1997, s.21) toteavat yrityksen strategian muodostavan perustan tavoitekustannuslaskennalle. He selittävät strategian määrittelevän tavoitteet, joihin yrityksen on päästävä tyydyttääkseen markkinoiden asettamat vaatimukset ja ollakseen kannattava. Tavoitekustannuslaskenta sisältää ne toimenpiteet, joilla pyritään varmistamaan tuotekehitysvaiheessa, että näihin tavoitteisiin päästään. Tuotekehityksen päättyessä tavoitekustannuslaskenta siirtyy taka-alalle ja muut kustannusten hallinnan menetelmät astuvat tilalle, kuten esimerkiksi jatkuva parantaminen (eng. kaizen).

Eräs aikaisimpia tavoitekustannuslaskennan prosessin kuvauksia on Ansari & Bell (1997) esittämä kuvaus, jossa tavoitekustannuslaskennan prosessi jaetaan kahteen vaiheeseen: tavoitekustannusten asettamiseen ja niiden saavuttamiseen, joiden sijoittuminen tuotekehitysprosessissa on esitetty kuvassa 2.4. He jakavat tavoitekustannusten asettamisen edelleen markkinatutkimukseen, kilpailija-analyysiin, tuotteen asemointiin, tuotteen ominaisuuksien määrittämiseen, markkinahinnan asettamiseen ja tavoitevoittojen asettamiseen. Näiden vaiheiden seurauksena tuotteelle saadaan asetettua tavoitekustannus. Tavoitekustannusten saavuttamisen he puolestaan jakavat kolmivaiheiseksi. Aluksi määritetään kuilu tavoitekustannusten ja tuotteen nykyisten kustannusten välillä.

Sen jälkeen pyritään vähentämään kustannuksia suunnittelun, arvoanalyysin ja kustannusanalyysin avulla siten, että kustannusarviot eivät ylitä tavoitekustannusta. Kun tavoitteeseen päästään, aloitetaan tuotanto ja jatketaan kustannusten alentamista jatkuvan parantamisen filosofiaan tukeutuen.



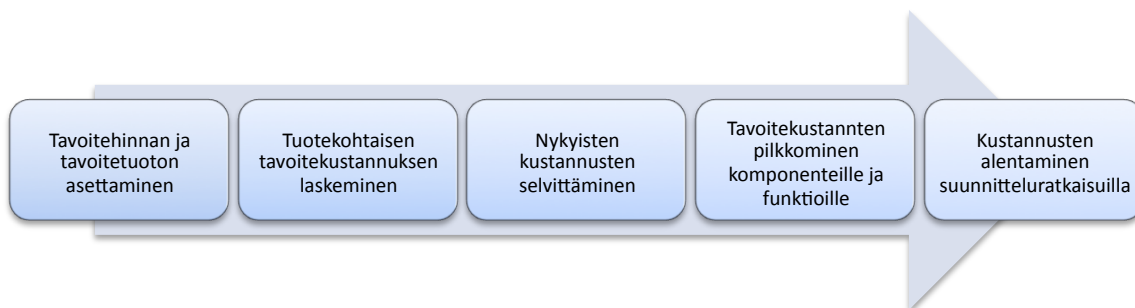
Kuva 2.4. Tavoitekustannuslaskenta ja tuotekehitysprosessi (Mukailtu lähteestä Ansari & Bell 1997, s. 24).

Cooper & Slagmulder (1997) esittävät samankaltaisen prosessimallin, joka ei kuitenkaan ulotu edellä esitetyn mallin lailla tuotekustannusten alentamisen laajuiseksi. Heidän mallinsa lähtee myös liikkeelle markkinatilanteesta, etenee tavoitemyyntihintojen ja -voittojen määrittämiseen, josta tavoitekustannus voidaan laskea. Cooper & Slagmulder korostavat alihankkijoiden roolia tavoitekustannusten saavuttamisessa ja jakavat tuotekohtaiset tavoitekustannukset edelleen komponenttikohtaisiksi tavoitekustannuksiksi, jotka puolestaan välitetään toimittajille. Tavoitekustannusten saavuttaminen nähdään tavoitekustannuslaskennasta erillisenä arvoanalyysiin kuuluvana osana.

Monden & Hamada (2000) pyrkivät kuvailemaan tavoitekustannuslaskennan prosessin yksityiskohtaisemmin ja sijoittamaan tavoitekustannuslaskennan eri vaiheet organisaation eri osiin. Toisin kuin Ansari & Bell (1997, ss. 42-62), jotka esittävät tavoitekustannusten saavuttamisen vaiheiden tapahtuen samanaikaisesti, esittävät Monden & Hamada selkeän prosessikaavion siitä, miten vaiheista edetään seuraaviin vaiheisiin. Tässä mallissa korostuu tavoitteiden saavuttamisen vaiheiden rekursiivisuus. Prosessin rekursiivisuutta painottaa myös Gagne & Discenza (1995) yksinkertaistettu kuvaus tavoitekustannuslaskennan prosessista.

Edellisten kuvausten vaiheiden jaottelut vaihtelevat tarkkuustasoltaan ja laajuudeltaan. Niistä voidaan silti havaita seuraavanlaisia yhteisiä vaiheita. Tavoitekustannuslaskennan prosessi lähtee aina liikkeelle tavoitehinnan ja tavoitetuoton asettamisella, joista voidaan sitten laskea tuotekohtainen tavoitekustannus. Seuraavaksi selvitetään nykyisillä suunnitelmilla tuotetun tuotteen kustannukset ja määritetään kustannusten alentamisen tarve. Tämän jälkeen tavoitekustannus pilkotaan osiin komponenteille ja toiminnoille. Kun kustannukset on pilkottu, alennetaan suunnittelutoimenpiteiden avulla kustannuksia siten, että ne vastaavat tavoitekustannuksia. Tavoitekustannuslaskennan prosessin tyypilliset vaiheet on esitetty kuvassa 2.5. Näiden vaiheiden lisäksi mallit painottavat sitä, että osa vaiheista tai koko tavoitekustannuslaskennan prosessi voi toistua tuotekehityksen

aikana useita kertoja. Oleellisena osana tavoitekustannuslaskennan prosessiin kuuluu myös prosessin etenemisen seuranta. Tämä diplomityö keskittyy tavoitekustannuslaskennan prosessin siihen osaan, jossa asetetut tavoitekustannukset pyritään saavuttamaan. Tavoitekustannusten saavuttamisen prosessia käsitellään seuraavaksi tarkemmin.



Kuva 2.5. Tavoitekustannuslaskennan prosessin tyypilliset vaiheet.

2.2.4. Tavoitekustannusten saavuttaminen

Jotta voitaisiin tarkastella tavoitekustannusten saavuttamisen tukemista erilaisten ohjelmistojen avulla, on ensin huolellisesti selitettävä siihen liittyvää prosessia. Tavoitekustannusten saavuttamisessa on yksinkertaisesti kyse siitä, että kustannuksia pyritään alentamaan sille tasolle, jossa ne yhtyvät tavoitekustannusten kanssa tai alittavat ne. Kirjallisuudessa tätä prosessia on tarkasteltu useasta eri näkökulmasta. Prosessin peruselementit ovat yleensä samankaltaisia, mutta lähestymistavat painottavat eri asioita.

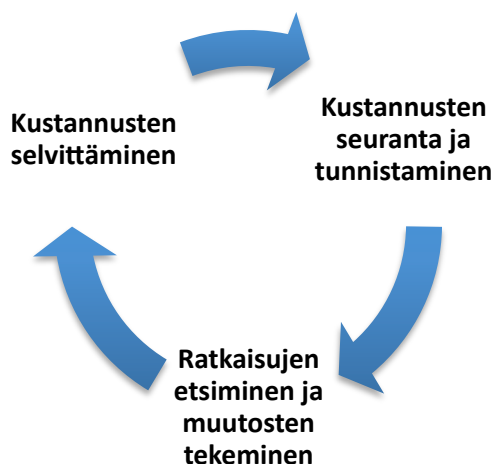
Ansari & Bell (1997, ss. 42-62) listaavat kriittisiksi elementeiksi tavoitekustannusten saavuttamiseksi kustannusanalyysin ja siihen kuuluvan kustannusten arvioinnin, arvoanalyysin ja jatkuvan parantamisen. He asettavat selvästi paljon painoarvoa kustannusten arvioimiselle, sillä myöhemmin kustannusten arvioiminen esitetään yhtenä kustannusanalyysin vaiheena. Kustannusanalyysi on tarkemmin jaettu kustannuskuilun määrittämiseen, kustannusten pilkkomiseen osiin, tavoitekustannusten kohdistamiseen organisaatioyksiköille ja tiimeille, kustannusten arvioimiseen ja saavuttamattomien tavoitekustannusten kanssa toimimiseen. Ansari & Bell (1997, ss. 26-28) näkevät kustannusten arvioimisen, kustannusanalyysin, arvoanalyysin ja suunnittelutyön rekursiivisena prosessina, joka toistuu kunnes arviot vastaavat asetettuja tavoitteita. Myös Gagne & Disenza (1995) mukaan pääelementtejä tavoitekustannusten saavuttamisessa ovat kustannusanalyysi, arvoanalyysi ja kustannusten arvioiminen, jotka ovat sijoitettuna rekursiiviseen prosessikaavioon.

Ehrlenspiel et al. (2007, ss. 40-108) puolestaan ottavat erilaisen lähestymistavan kustannusten alentamiseen tavoitekustannuslaskennassa. He soveltavat yleispätevää toimintamallia, jonka avulla voidaan järjestelmällisesti ratkaista monimutkaisia ja vaikeita ongelmia, tavoitekustannuslaskennan kontekstissa. Mallin mukaan jokainen ongelma voidaan ratkaista kolmen askeleen avulla: tehtävän selkeyttäminen, vaihtoehtojen etsiminen ja ratkaisun valinta. Myös tässä mallissa voidaan tarvittaessa palata ja toistaa aiem-

pia askelia. Huolimatta erilaisesta lähestymistavasta kustannusten alentamiseen, mallissa esiintyy samat vaiheet kuin edellä esitetyistä malleista: kustannuskuilun laskeminen, tavoitekustannusten pilkkominen osiin, keinovalikoima kustannusten alentamiseen arvoanalyysi mukaan lukien sekä kustannusten arviointi.

Vaikka Cooper & Slagmulder (1997) tekevätkin jaon tavoitekustannuslaskennan ja arvoanalyysin välille, jäsentävät hekin prosessia kokonaisuutena tavalla, josta voidaan löytää samoja elementtejä kuin edellisistä malleista. He antavat paljon painoarvoa tavoitekustannusten pilkkomiselle pienempiin osakokonaisuuksiin ja niiden välittämiseen alihankkijoille sekä näkevät arvoanalyysin tärkeimpänä tavoitekustannusten saavuttamisen menetelmänä. Edellisistä malleista poiketen he myös korostavat tavoitekustannusten jatkuvaa seuraamista ja vertaamista nykyisiin kustannuksiin (Cooper & Slagmulder 1997, ss. 119-122). Tämä huomio on hyvin tärkeä, sillä tuotekehitysprosessissa tehdään tuotteeseen jatkuvasti muutoksia, jotka puolestaan aiheuttavat tarpeen arvioida kustannuksia uudestaan. Tuotekehityksen kanssa työskentelevien henkilöiden aika on kuitenkin rajallinen, josta seuraa että käytännössä arviointia, ja muutosten tekemistä tapahtuu päällekkäin.

Edellisistä tavoitekustannusten saavuttamisen prosessien kuvauksista voidaan työn kannalta nostaa keskeisimmiksi elementeiksi kustannusten seuranta ja tunnistaminen, ratkaisujen etsiminen ja muutosten tekeminen ja kustannusten selvittäminen. Kustannusten selvittämiseen liittyvät ne toimenpiteet, joiden seurauksena tuotteen, jonkin sen elementin tai sen valmistamiseen liittyvän toimenpiteen kustannuksista saadaan arvio. Kustannusten seuranta ja tunnistaminen liittyy puolestaan kustannusinformaation tarjoamiseen siinä muodossa, että vaikutustarpeet ja vaikutusmahdollisuudet kustannusten osalta tulevat selkeäksi. Ratkaisujen etsiminen ja muutosten tekeminen taas on konkreettisia muutostoimenpiteitä, joilla alempiin kustannuksiin pyritään. Nämä kolme elementtiä ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa. Kustannusten selvittämisen tuloksena syntyvät ajantasaiset arviot kustannuksista toimivat perustana kustannusten seurannalle ja tunnistamiselle. Tarve ratkaisujen etsimiseen ja muutosten tekemiseen on sen sijaan usein seurausta siitä että tunnistetaan potentiaalisia vaihtoehtoja kustannusten alentamiseen tai liian korkeiden kustannusten seurauksena tehdään muutoksia. Muutokset puolestaan aiheuttavat tarpeen selvittää kustannuksia uudestaan ja ympyrä sulkeutuu. Näiden kolmen elementin suhde on esitetty kuvassa 2.6.



Kuva 2.6. *Tavoitekustannusten saavuttamisen elementit.*

Prosessi voi alkaa mistä vaiheesta tahansa ja prosesseja voi olla käynnissä samanaikaisesti useita. Muutokset tuotteeseen voivat saada alkunsa esimerkiksi muutoksista asiakasvaatimuksissa, joista puolestaan seuraa tarve arvioida kustannuksia uudestaan. Voi myös olla, että kustannusarviota ei ole aikaa tehdä jokaisen muutoksen seurauksena tai kustannuksista saadaan ajan myötä tarkempi arvio, jolloin prosessin voidaan ajatella alkavan kustannusten selvittämisestä. Tarve kustannusten alentamiselle voi syntyä myös yksinkertaisesti siitä, että olemassa oleva kustannusinformaatio järjestetään uudelleen ja havaitaan suurimman osan kustannuksista syntyvän jostain tietystä toimenpiteestä tai osasta. Tavoitekustannusten saavuttamisen prosessi on siis monisäikeinen iteroiden etenevä prosessi. Tässä työssä tarkastellut ohjelmistot liittyvät oleellisesti uusien ratkaisujen etsimiseen ja muutosten tekemiseen. Mielenkiinnon kohteena on kuitenkin havainnoida, miten ohjelmien käsittelemää tietoa voidaan hyödyntää kustannusinformaation tuottamisessa ja tarjoamisessa tavoitekustannusten saavuttamisen kannalta. Kustannusten selvittäminen ja kustannusten seuranta ja tunnistaminen ovat siis ne prosessin osa-alueet joiden tukemista halutaan tarkastella tarkemmin. Nämä osa-alueet käydään tarkemmin läpi seuraavissa kohdissa.

2.3. Kustannusten seuranta ja tunnistaminen

2.3.1. Suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutusten tunnistaminen

Tuotesuunnittelun edetessä suunnittelijaa tekee jatkuvasti tuotetta koskevia valintoja, jotka vaikuttavat muun muassa sen valmistamiseen, jakeluun ja hävittämiseen. Jokainen suunnittelupäätös edustaa myös kustannusten määräytymistä. Päätöksentekijöille tulisi siten ollen tarjota kustannusinformaatiota jo suunnittelutilanteessa, jotta ratkaisuja voitaisiin arvioida myös kustannusten hallinnan näkökulmasta. Päätöksentekotilanteet eroavat kustannusinformaation tarpeiltaan, mikä tekee sen tarjoamisesta haastavan tehtävän. Erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja on usein valtava määrä ja niiden vaikutukset monimutkaisia. Liebers & Kals (1997, s. 109) esittävät, että ratkaisuvaihtoehtojen määrää

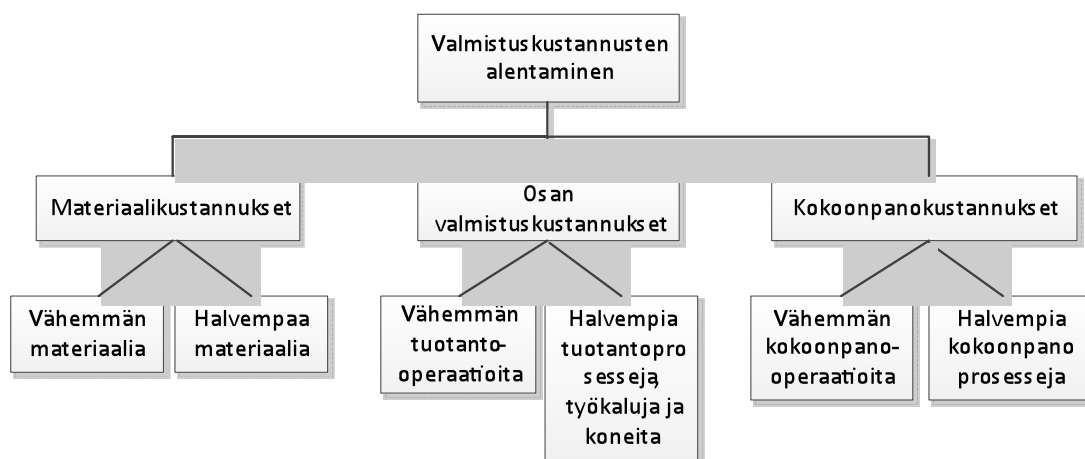
voidaan kuitenkin rajoittaa sen vuoksi, että useat päätöksentekoprosessit toistuvat samassa yrityskohtaisessa tuotantoympäristössä. Tietyissä tehdasympäristössä suoritettu hitsaus-toimenpide toistuu kustannuksiltaan suurin piirtein samanlaisena, mikä tekee sen kustannusten arvioinnista mahdollista. Kustannusten tarkempi arviointi onkin mahdollista juuri aiemmin tunnistettujen kustannusajurien vuoksi. Tällä on kuitenkin varjopuolensa, sillä tunnetut menetelmät ja ratkaisut eivät välttämättä johda aina parhaaseen ratkaisuun.

Kustannusajurien tunnistaminen voi olla kuitenkin haastavaa, sillä kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä on niin paljon, ettei niitä tämän työn puitteissa ole edes mahdollista luetella kattavasti. Ehrlenspiel et al. (2007, ss. 143-384) ovat kirjassaan käyneet valmistuskustannuksiin merkittävimmin vaikuttavat tekijät läpi. Heidän mukaan tuotteelle asetetut vaatimukset ovat suurin kustannusten määrittäjä. Jokaista vaatimusta tulisi tarkastella teknisen toteutuksen mahdollisuuksien lisäksi myös siitä aiheutuvien kustannusten kannalta. Vaatimukset täyttävä tuote voidaan toteuttaa usealla eri tavalla ja siten syntynyt tuotekonsepti on toinen merkittävä kustannusten määrittäjä. On helppo ymmärtää, että toimiiko grilli sähköllä vai kaasulla määrittelee pitkälti grillin kustannuksia. Muita merkittäviä tuotteen kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat muoto, tuotantomäärä, koko ja dimensiot, kuormitus, materiaali, tuotanto- ja kokoonpanoprosessit, tuotevarianttien määrä ja tuotteen hävitykseen liittyvät toimenpiteet. Lisäksi näiden tekijöiden aiheuttamat kustannukset ovat usein riippuvaisia toisistaan. Esimerkiksi tuotantoprosessin valinta on pitkälti riippuvainen siitä kuinka paljon tuotetta valmistetaan ja mistä materiaalista. Eri valmistusasteilla kustannustehokkaimmiksi muodostuvat eri tuotantoprosessit ja kaikki tuotantoprosessit eivät sovi tietyn materiaalin käsittelemiseen. Kattavasti kaikki kustannusvaikutukset huomioon ottavan kustannusinformaation tuottaminen onkin keskinäisten riippuvuussuhteiden vuoksi erittäin haasteellista.

Kustannusajureita ei välttämättä tarvitse tunnistaa näin yksityiskohtaisella tasolla. Eritasoiset päätökset vaativat eritasoista kustannusinformaatiota ja siten eritasoisia kustannusajureita. Liebers & Kals (1997, ss.109-110) esittävät, että kustannusajureita voidaan jakaa ainakin neljälle eri tasolle. Korkeimmalla tasolla ovat tuotetason kustannusajurit, jossa kustannukset muodostuvat kokonaisen tuotteen ominaisuuksien seurauksena, kuten esimerkiksi painon. Kun tuote koostuu useasta komponentista, voidaan käyttää kokoonpano- ja osatason kustannusajureita. Tätäkin tarkempia kustannusajureita ovat piirretason kustannusajurit. Kun osa kuvataan rajallisella määrällä piirteitä ja piirteisiin liitetään kustannusajurit, voidaan osan kustannukset koostaa piirteisiin perustuen. Yksityiskohtaisimmalla tasolla kustannusajureita voidaan asettaa operaatiotasolle. Tällöin kustannukset ovat seurausta yksittäisestä operaatiosta. Operaatiotason kustannusajureina voivat toimia esimerkiksi hitsaussauman pituus, hitsauksen ajallinen kesto, hitsausoperaatiota edeltävän asetusvaiheen kesto.

Fixson (2004, s. 588) esittää kustannusvaikutusten liittämisen helppouden suunnittelupäätöksiin riippuvan siitä, kuinka abstraktilla tasolla päätöksiä tehdään. Heidän mu-

kaansa, mitä tarkemmalla tasolla päätöksiä tehdään, sitä helpompaa on arvioida päätösten kustannusvaikutuksia. Tarkimmalla tasolla ongelmat ovat hyvin yksityiskohtaisia ja saatavilla on usein paljon historiatietoa. Esimerkiksi työstöpinnan tasaisuudelle asetettujen vaatimusten kustannusvaikutukset ovat selkeästi osoitettavissa. Tästä seuraavalla tasolla päätökset vaikuttavat tuotantoprosesseihin, materiaaleihin tai osien piirteisiin. Tällä tasolla eri vaihtoehtojen kustannusvaikutukset eivät ole enää niin selkeitä, mutta niitä voidaan kuitenkin arvioida summittaisesti. Toisaalta on hyvä huomioida, että aina ei ole välttämätöntä tuottaa tarkkaa kustannusinformaatiota, sillä usein riittää vaihtoehtojen kustannusten vertaaminen toisiinsa. Tästä korkeammalla päätöksenteon tasolta löytyvät erilaiset suunnittelun ohjenuorat ja nyrkkisäännöt. Näiden tarkoituksena on ohjata suunnittelijan huomiota kohti yleisesti kustannustehokkaita ratkaisuja. Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi Design for Manufacturing (DFM) ja muut Design for X (DFX) menetelmät. Kuvassa 2.7 on Ehrlenspiel et al. (2007) esittämä eräs tällainen ohjeistus valmistuskustannusten alentamiseen. Fixson (2004, s. 588) lisää vielä, että ylimmällä päätöksenteon tasolla, tuotearkkitehtuuritasolla, ei kustannusvaikutuksia ole onnistuttu yleisesti, mutta silti kattavasti toistaiseksi ymmärtämään.



Kuva 2.7. Valmistuskustannusten alentamisen mahdollisuudet (Mukailtu lähteestä Ehrlenspiel et al. 2007, s. 144).

Kustannusinformaation esittäminen suunnittelijalle päätöksentekotilanteen yhteydessä ohjaa kustannustietoisempiin ratkaisuihin. Se viestii siitä että tuotekustannukset ovat tärkeitä ja niiden alentamiseen tai kurissa pitämiseen tulee tietoisesti pyrkiä. Suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutusten viestiminen päätöksentekotilanteeseen sopivalla tavalla siten, että suunnittelija erottaa olennaisen epäolennaisesta on sitäkin tärkeämpää. Tuotteiden suunnitteleminen kustannustehokkaiksi jo alusta pitäen on yksi tavoitekustannuslaskennan päätavoitteista. Yleensä tavoitekustannuksiin ei kuitenkaan päästä suoraan, vaan prosessi on iteratiivinen ja vaatii tietoisia kustannusten alentamista. Eri kohteilla on erilainen potentiaali kustannusten alentamiseen, jonka vuoksi onkin tärkeää tunnistaa miten ponnistelut tulisi kohdistaa.

2.3.2. Kustannusten alentamisen kohteiden tunnistaminen

Edellisessä kohdassa käytiin läpi tekijöitä joiden seurauksena kustannukset lopulta muodostuvat. Usein niiden keskinäiset riippuvaisuudet ovat niin voimakkaita, että on lähes mahdotonta hahmottaa miten kokonaiskustannuksia lopulta voitaisiin pienentää. Tämän vuoksi on kehitetty paljon ylemmän tason kustannusten hallinnan menetelmiä, jotka kukin tähtäävät auttamaan suunnittelijaa alentamaan kustannuksia omalla tavallaan. Erilaisia tavoitekustannuslaskennan kanssa käytettäväksi soveltuvia tekniikoita on listattu lukuisia useiden kirjoittajien toimesta (Ansari & Bell 1997; Cooper & Slagmulder 1997; Ehrlenspiel et al. 2007; Roy 2003). Seuraavaksi näistä käydään muutamia tärkeimpiä kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisessa sovellettavia menetelmiä.

Arvoanalyysi (eng. value engineering) on menetelmä, joka pyrkii tuotteiden asiakasarvon kehittämiseen. Cooper & Slagmulder (1997, ss. 129-138) mukaan asiakasarvo koostuu tuotteen toiminnallisuudesta ja kustannuksista. Arvoanalyysillä pyritään parantamaan tuotteen ominaisuuksia ilman kustannusten kasvua ja alentamaan kustannuksia ilman toimintojen heikentymistä. Cooper & Slagmulder (1997, s.132) toteavat arvoanalyysin keskittyvän pääosin toiminnallisuuden kehittämiseen ja kustannusten alentamisen jäävän vasta toissijaiseksi pyrittäessä kehittämään asiakasarvoa. Toinen paljon käytetty asiakasarvoon toiminnallisuuden kautta keskittyvä menetelmä on laatutalo eli **QFD** (eng. quality function deployment). Sitä voidaan käyttää visualisoimaan asiakas- tarpeiden ja tuotteen ominaisuuksien suhde toisiinsa. Näin pyritään varmistamaan, että asiakasvaatimukset otetaan tarpeeksi hyvin huomioon tuotteen suunnittelussa. Molemmat työkalut auttavat hahmottamaan mihin tuotteessa on tärkeää keskittyä. Asiakas- arvon kannalta epäolennaisempiin asioihin voidaan panostaa vähemmän.

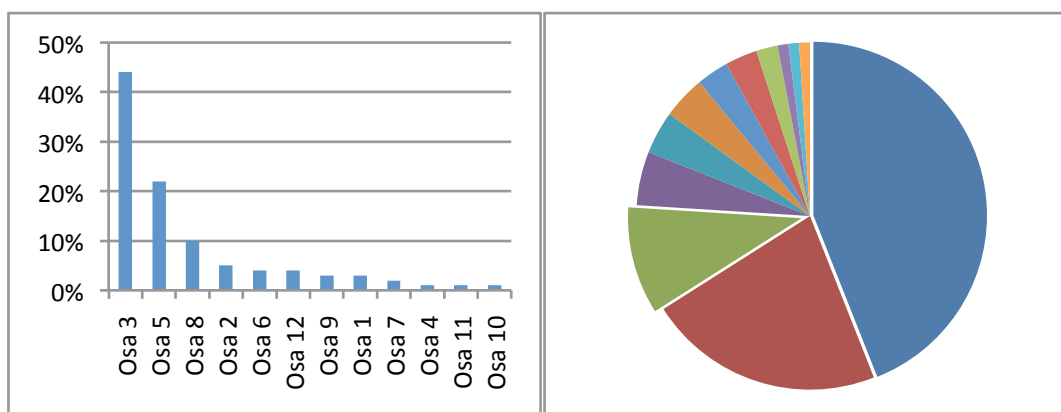
Lähempänä suunnittelijan käytännön työtä on erilaiset tuotteen tiettyyn piirteeseen keskittyvät suunnitteluohjeistukset, jotka on koottu yleisesti Design for X –nimen alle. Näistä ohjeistuksista tunnetuin lienee Design for manufacturing (**DFM**), jonka tavoitteena on kehittää tuotteen valmistettavuutta. Tämä saavutetaan yksinkertaistamalla tuotteen valmistusta esimerkiksi minimoimalla komponenttien määrä, välttämällä liian tarkkoja toleranssirajoja ja niin edelleen. Design for assembly (**DFA**) puolestaan keskittyy tuotteen kokoonpantavuuteen helppouteen. Ohjeistuksen mukaan huomiota tulee kiinnittää esimerkiksi kiinnitysmekanismeihin ja komponenttien määrään. DFM ja DFA voidaan myös yhdistää yhtenäiseksi ohjeistukseksi nimen Design for manufacturing and assembly (**DFMA**). DFMA on kustannusten alentamiseen keskittyvä menetelmä, joka jättää asiakasarvon ja asiakasvaatimukset täysin huomioimatta (Ansari & Bell 1997, ss.131-133). Se voi kuitenkin olla arvokas apu auttaa kohdistamaan suunnittelijan huomiota ratkaisuihin, joiden on yleisesti havaittu alentavan kustannuksia.

Tuotteet voivat olla hyvin erilaisia ja täysin yleispäteviä ohjeistuksia kustannusten alentamisen kohteiden valinnaksi on mahdotonta luoda. Sen vuoksi kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamiseksi onkin hyvä tarkastella tuotteen kustannusten muodostu-

mista myös tarkemmalla tasolla. Eräs tapa tunnistaa, miten kustannukset tarkalleen ottaen muodostuvat, on hyödyntää **kustannusrakenteita**. Kustannusrakenteen käytössä ajatuksena on jakaa tuotteen kustannukset osiin. Jakoperusteita on erilaisia. Kokoonpanojen kohdalla tyypillistä on jakaa kustannukset osille, joista se koostuu, sekä toimenpiteille, joita kokoonpano vaatii. Yksittäisen osan kohdalla kustannukset voidaan puolestaan jakaa esimerkiksi sen vaatimille valmistustoimenpiteille. Kustannusrakenteilla on merkittävä rooli kustannusten tunnistamisessa. Suomala et al. (2011, s. 239) mukaan kustannusrakenteiden avulla pyritään havaitsemaan tuotteen kalleimmat kustannuserät, sillä juuri niissä on suurin potentiaali säästöihin. Suuri suhteellinen säästö kustannusten kannalta vähemmän merkittävässä osassa puolestaan ei luonnollisesti ole kokonaisuuden kannalta kovin merkittävä. Suomala et al. (2011, s. 239) mukaan on myös todennäköisesti helpompi löytää suhteellisesti pieni kustannussäästö kuin esimerkiksi puolittaa jonkin osan kustannukset.

Kustannusrakenteet ovat varsin tärkeä työkalu suunnittelijoille joiden aika on rajallista. Useimpien tuotteiden kohdalla on paljon mahdollisia kohteita, joissa kustannuksia voidaan alentaa. Kustannusrakenteiden avulla näistä kehityskohteista voidaan tunnistaa merkittävimmät. Näin vältytään siltä että keskitytään muutamien eurojen säästöihin ruuveissa, kun samalla kustannuksia voitaisiin alentaa muualla tuhansilla euroilla. Ehrlenspiel et al. (2007, s. 69) mukaan kustannusrakenteet ovat merkittävä suunnittelutyökalu, sillä ne tuovat suunnittelijalle läpinäkyvyyttä kustannuksiin merkityksellisen kustannusinformaation muodossa. Heidän mukaansa tärkeimpien tuotteiden kustannusrakenteet tulisivat olla tarjolla vähintään pääsuunnittelijalle. Kustannusinformaation esittäminen kustannusrakenteen muodossa on havaittu erittäin hyödylliseksi myös Tornberg et al. (2002, s. 79) tekemässä tutkimuksessa.

Eriyisen käyttökelpoinen kustannusten tunnistamiseen päätöksentekoa varten on Pareto-analyysi. Pareto-analyysi on järjestetty kustannusrakenne, joka perustuu siihen ideaan, että 80 % vaikutuksista syntyy 20 % aiheuttajia. Ehrlenspiel et al. (2007, s. 70) esittävät tämän jaottelun olevan lähellä valmistavan teollisuuden standardiarvoja, joissa pieni määrä osista aiheuttaa valtaosan kustannuksista. Pareto-analyysi järjestää kustannukset elementtikohtaisesti tärkeysjärjestykseen, josta suunnittelijan on helppo havaita kohteet, jotka aiheuttavat eniten kustannuksia. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että suunnittelijan tulisi keskittyä pelkästään kohteisiin, mutta kustannusten alentamisen kohteiden asettamisessa arvojärjestykseen se voi olla kuitenkin merkittävä apu. Esimerkkejä Pareto-analyysistä on esitetty kuvassa 2.8.



Kuva 2.8. Esimerkkejä Pareto-analyysistä.

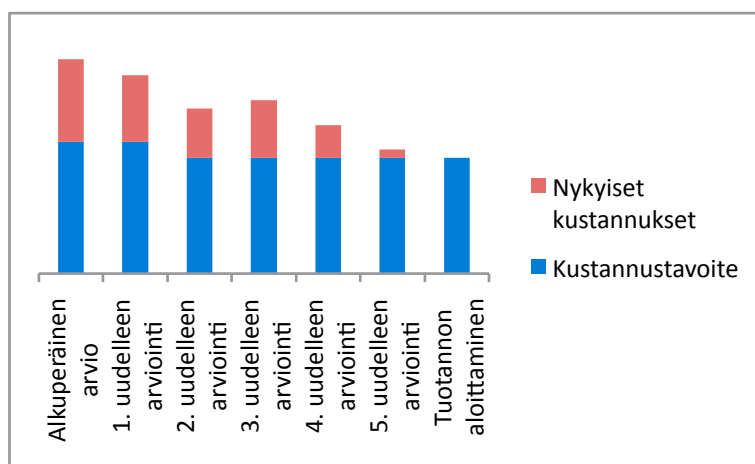
Kustannusten alentamisen kohteita valinnassa on syytä silti muistaa, että kustannusten aiheuttajat ovat usein sidoksissa toisiinsa. Säästäminen yhdessä paikassa voi aiheuttaa kustannuksia muualla ja voi olla, että kokonaisuutena kustannukset jopa nousevat. Säästöjen saavuttamista tietyllä alueella kokonaisuuden kustannuksella kutsutaan osaoptimoinniksi, joka on tyypillistä jokaisella toimialalla (Suomala et al. 2011, s. 239). Toisaalta yhden kohteen pieni kustannusten kasvu voi mahdollistaa suuret säästöt jossain toisessa kohteessa. Suomala et al. (2011, s. 239) mukaan oleellista onkin tunnistaa eri elementtien välisiä kustannusvaikutuksia. Heidän mukaansa kokonaisuuksien hahmotamista voidaan helpottaa oikeanlaisella taloudellisella informaatiolla. Potentiaalisten kehityskohteiden tunnistaminen on kiinni siis tietosisällön lisäksi siitä, kuinka ymmärrettävässä muodossa tieto käyttäjälle esitetään.

2.3.3. Tuotekustannusten kehityksen seuraaminen läpi tuotekehityksen

Tavoitekustannuslaskentaan liittyvää kustannusten alentamista ei pyritä lähtökohtaisesti suorittamaan kertaheitolla, vaan se on luonteeltaan iteratiivista toimintaa. Kustannuksia alennetaan vähitellen suunnittelun avulla kohti tavoitetasoa. Tavoitekustannuslaskennan toteuttaminen vaatii suunnittelutyön kustannusvaikutusten jatkuvaa seuraamista. Jatkuvan seurannan avulla varmistutaan että kasvaviin kustannuksiin voidaan puuttua tarpeeksi ajoissa ja suorittaa korjaavat toimenpiteet (Cooper & Slagmulder 1997, ss. 119-120). Everaert et al. (2006, s. 242) ovat havainneet tavoitekustannuslaskentaa harjoittavien yritysten vertailevan säännöllisesti nykyisillä määritelmillä tuotetun tuotteen kustannusarviota ja tavoitekustannusta toisiinsa. Jos näyttää siltä, ettei tavoitekustannuksia saavuteta, voidaan tuote joutua suunnittelemaan kokonaan uudelleen tai jopa luopumaan siitä.

Kerätystä informaatiosta riippuen vertailua voidaan suorittaa monella eri tasolla, esimerkiksi kokoonpano- tai osakohtaisesti. Vertailun tulokset voidaan myös esittää eri muodoissa, aina yksinkertaisista taulukoista graafisiin esityksiin. On myös syytä huomioida, että tavoitekustannusten suuruudet saattavat muuttua tuotekehitysprosessin aikana sekä tuotetasolla, että tarkemmilla jaottelun tasoilla. Markkinatilanne ja asiakas-

vaatimukset saattavat muuttua jolloin myös tavoitekustannuksia on arvioitava uudelleen. Lisäksi tavoitekustannusta pilkottaessa osille, toiminnoille ja muille elementeille saatetaan arvioida huonosti todellista potentiaalia alentaa kustannuksia, jolloin tavoitekustannuksia on jaettava uudelleen. Kuvassa 2.9 on esitetty eräs tapa esittää tuotekohtaisten arvioitujen kustannusten ja tavoitekustannusten kehittymistä tuotekehitysprosessin aikana.



Kuva 2.9. Esimerkki tavasta esittää kustannusten kehittymistä tuotekehitysprosessin aikana.

Ehrlenspiel et al. (2007, ss. 99-103) ovat kuvanneet tavoitekustannuslaskennan prosessia tukevan järjestelmän, jonka yksi moduuli keskittyi tavoitekustannusten saavuttamiseen. Sen lisäksi että se pyrki määrittämään tuotteen nykyiset kustannukset, se myös vertasi niitä tavoitekustannuksiin, sekä esitti arvioita siitä kuinka todennäköistä tavoitekustannusten saavuttaminen oli. Päätöksiä tehdään lähes aina tilanteissa, joissa on epävarmuutta päätöksentekoon vaikuttavista muuttujista. Riskien kuvauksella kustannusinformaation yhteydessä onkin paljon arvoa erilaisia vaihtoehtoja ja skenaarioita arvioi-
dessa, jos riskejä vaan voidaan riittävällä tarkkuudella kuvaamaan. Suunnittelijan ymmärtäessä kustannusajureihin liittyvät riskit, voidaan niitä alentaa vaihtoehtoisin ratkaisu-
in (Roy et al. 2003, s. 11). Myös muunlaisten raporttien ja kustannustietoa koostavien näkymien rooli on merkittävässä roolissa kustannusten hallinnassa, sillä niiden avulla todellisia ja potentiaalisia säästöjä voidaan tehdä näkyväksi (Ehrlenspiel et al. 2007, ss. 98-99).

2.4. Kustannusten selvittäminen

2.4.1. Arviointimenetelmien luokittelu

Kustannukset voidaan laskea jälkikäteen tarkasti jos tuotteita on yksi ja tarkastellaan yrityksen kaikkia kuluja suorituksia kohden. Usein tuotteita on kuitenkin useita ja kustannuksia on tarpeen tutkia jo ennen niiden syntymistä. Lisäksi tuotteet eroavat paljon uutuusasteeltaan ja siten myös siltä osin, minkälaista tietoa niistä on tarjolla. Niinpä on

kehitetty lukuisia eri menetelmiä arvioida kustannuksia, jotka mahdollistavat kustannusten arvioinnin eri tilanteissa. Niazi et al. (2006) ovat kartoittaneet kirjallisuudessa tunnistettuja kustannusten arvioinnin menetelmiä ja luokitelleet niitä hierarkkisesti. Heidän mukaansa kustannusten arvioinnin menetelmät voidaan jakaa kahteen perusluokkaan, kvantitatiivisiin ja kvalitatiivisiin menetelmiin. Kirjallisuudesta löytyy paljon muitakin arviointimenetelmien luokittelutapoja (Weustink et al. 2000; Cavalieri et al. 2004; s.168; Shehab & Abdalla 2001; Roy et al. 2003), mutta ne eivät anna yhtä kattavaa kokonaiskuvaa menetelmistä kuin Niazi et al. esittämä hierarkkinen malli.

Kvalitatiiviset menetelmät perustuvat aiemmin tuotettujen tuotteiden ja uuden tuotteen samankaltaisuuteen. Menetelmien taustalla on ajatus siitä, että samankaltaisilla tuotteilla on myös samankaltaiset kustannukset. Aiemmin tuotettujen tuotteiden toteutuneita kustannuksia voidaan siten hyödyntää kustannusarvioiden luomiseen, jos tuotteet ovat jollain osin tarpeeksi samankaltaisia. Koska kvalitatiiviset menetelmät vertailevat uutta tuotetta vanhoihin ja niiden kustannuksiin, ei niiden avulla saada laskettua kustannuksia kovinkaan tarkasti. Ne sopivat siten parhaiten tuotteen elinkaaren alkuvaiheisiin, joissa tuotteesta ei ole vielä yksityiskohtaista tietoa. **Kvantitatiiviset** menetelmät sen sijaan perustuvat yksityiskohtaiseen tuotteen suunnitteluun, ominaisuuksien ja tarvittavien tuotantoprosessien analysoimiseen. Tuotekustannukset voidaan laskea summaamalla kaikki kustannuselementit yhteen tai kaavalla, jossa mukana ovat tuotekustannukset pääosin määrittävät kustannusajurit. Kvantitatiiviset menetelmät antavat tyypillisesti tarkempia arvioita kuin kvalitatiiviset, mutta vaativat yksityiskohtaisempaa tietoa. (Niazi et al. 2006, ss. 563-564)

Kvalitatiiviset menetelmät voidaan jakaa edelleen intuitiivisiin ja analogisiin menetelmiin. **Intuitiiviset menetelmät** perustuvat asiantuntijan aikaisempaan kokemukseen tuotealueesta ja siten arvio on aina riippuvainen arvioijan taidoista ja tietämyksestä (Duverlie & Castelain 1999, s. 895). Asiantuntijan kokemus voidaan myös muuttaa esimerkiksi sääntöjen ja päätöspuiden muotoon tietokantaan, jota päätöksentekijä voi myöhemmin käyttää tukena kustannusarvioiden luomisessa. Intuitiivisissä menetelmissä voidaan tunnistaa kaksi alakategoriaa, Case-Based Reasoning (CBR) ja päätöksenteon tukijärjestelmät (eng. Decision Support System, DSS).

CBR-menetelmällä arvioidaan uuden tuotteen kustannuksia vertaamalla sitä aiemmin tuotettuihin samankaltaisiin tuotteisiin (Niazi et al. 2006, s. 564). Menetelmässä lähdetään liikkeelle valitsemalla aikaisempi tuote, joka on mahdollisimman lähellä arvioitavaa tuotetta. Mahdolliset erilaiset kokoonpanot ja ominaisuudet täydennetään muista tuotteista löytyvillä samankaltaisuuksilla tai arvioidaan erikseen. Tämän vuoksi **CBR**-menetelmä sopii hyvin alueille, joissa vanhan osan tai ratkaisun hyödyntäminen on merkittävä osa tuotekehitystä (Duverlie & Castelain 1999, s. 897). Menetelmä vaatii vahvan aikaisemman kokemuspohjan, eikä tarjoa ratkaisua tilanteeseen, jossa aiemmat kokemukset ovat puutteellisia, joten menetelmää on usein täydennettävä erillisillä arvioilla. Eräs järjestelmän tärkeimmistä piirteistä on kuitenkin aiemmista kokemuksista

oppiminen, joka mahdollistaa jatkuvan kehittymisen kustannusten arvioinnissa (Roy 2003, s. 8). Duverlie & Castelain (1999, ss. 900-905) esittävät menetelmän vahvuuksiksi nopeuden, läpinäkyvyyden ja kyvyn tuottaa arvioita puutteellisistakin tiedoista huolimatta. Käyttäjä on aina selvillä siitä, miten arvio on tuotettu, ja tämä helpottaa mahdollisten virheiden havaitsemista ja korjausta.

Päätöksenteon tukijärjestelmät auttavat kustannusten arvioijaan tekemään parempia päätöksiä suunnitteluvaihtoehtojen välillä. Niazi et al. (2006, ss. 564-567) mukaan ne auttavat kustannusarvioiden tekemisessä hyödyntämällä alueen järjestelmään tallennettua asiantuntijan kokemuseräistä tietoa. Tämä tieto on tallennettuna järjestelmään erilaisten sääntöjen muodossa. Järjestelmät voivat sisältää tietokantoja tuotantoprosesseista, kappaleiden piirteistä, piirteiden valmistettavuudesta, näiden välisistä suhteista ja niin edelleen. Se voi myös käsittää ohjeistuksia arvioinnin vaiheissa etenemisestä tai vaikka matemaattisia malleja kustannusten muodostumisesta. Onkin kyseenalaista ovatko päätöksenteon tukijärjestelmät varsinaisesti oma menetelmäluokkansa vai pelkästään kokoelma erilaisia menetelmiä paketoituna yhteen. Laajempaan käsitteeseen päätöksenteon tukijärjestelmät käsittävät paljon muutakin kuin kustannusten arviointia. Tässä yhteydessä omaksi luokaksi jaoteltuna se havainnollistaa sitä, että menetelmät esiintyvät harvoin toisistaan erillisinä.

Analogiset menetelmät ovat toinen kvalitatiivisten menetelmien luokka, jonka kustannusten arviointi perustuu samankaltaisuuksiin aiempien tuotteiden kanssa. Analogisten menetelmien luokittelu pelkästään kvalitatiiviseksi menetelmäksi on kuitenkin kyseenalaista, sillä niiden tuloksena syntyy parametrisiä malleja. Parametriset mallit on Niazi et al. (2006) tekemässä luokittelussa nähty kvalitatiivisena menetelmänä. Analogisten menetelmien luokittelu kvalitatiiviseksi menetelmäksi perustuu siihen, miten nämä parametriset mallit muodostetaan. Analogiset menetelmät voidaan jakaa kahteen alaluokkaan. **Regressiomallit** käyttävät aiempaa kustannusinformaatiota muodostaakseen lineaarisia suhteita kustannusten ja tiettyjen tuotteen ominaisuuksien välille (Niazi et al. 2006, s. 567). Regressiomallit eivät sovellu kaikkien tuotteiden arviointiin, sillä aina lineaaristen suhteiden muodostaminen ei ole mahdollista. Se voi olla kuitenkin käyttökelpoinen ja tarkka menetelmä arvioida sellaisten tuotteiden kustannuksia, joissa kustannukset ovat sidonnaisia vain muutamaan tunnistettavaan muuttujaan (Smith & Mason 1996). Esimerkkejä tällaisista tuotteista ovat yksinkertaiset tuotteet, joissa materiaalikustannukset aiheuttavat valtaosan kustannuksista.

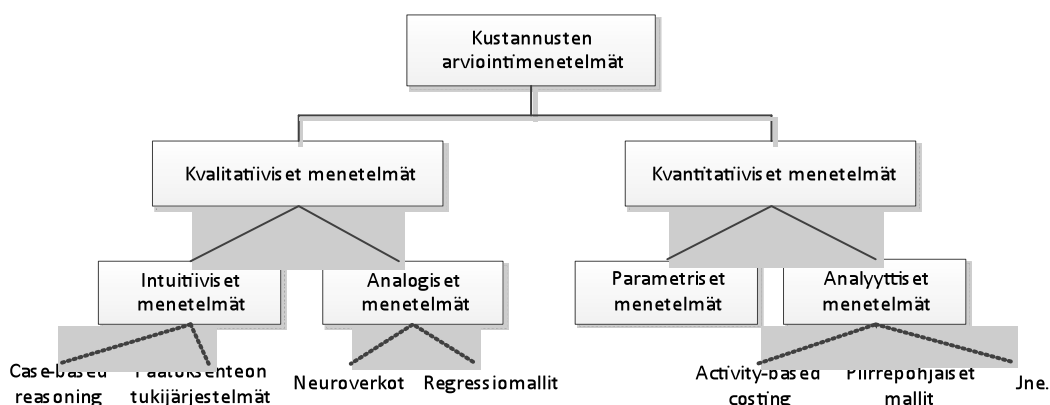
Toinen analoginen menetelmä regressiomallien rinnalla on **neuroverkot**. Neuroverkot voidaan laajan tapauksenkoelman perusteella opettaa suhteuttamaan eri ominaisuudet kustannuksiin. Koska neuroverkoista syntyy niiden opetuksen seurauksena eräänlainen matemaattinen kaava, voitaisiin ne myös käsittää kvantitatiiviseksi menetelmäksi. Koska kaava kuitenkin pohjautuu kokemuksiin samankaltaisista tuotteista ja niiden kustannuksista, ovat ne tässä yhteydessä määritelty analogiseksi menetelmäksi. Opetuksen tuloksena syntyneet mallit ovat monimutkaisia ja pystyvät vastaamaan kysymyksiin kus-

tannuksista, joita niille ei ole aiemmin esitetty (Niazi et al. 2006, s. 567). Siten ollen neuroverkkojen avulla voidaan arvioida myös täysin uudenlaisten tuotteiden kustannuksia tilanteissa, joissa kustannukset muodostuvat ei-lineaarisesti. Lisäksi neuroverkot kykenevät löytämään vaikeasti havaittavia yhteyksiä ominaisuuksien ja kustannusten välillä (Roy et al. 2003, s.7). Neuroverkkojen käytössä on kuitenkin se riski, että jos kustannusajureita on useita, on vaarallista valita pienen otoskannan avulla muodostettu ylimääritynnyt malli. Tällöin kustannusajurien painoarvot eivät välttämättä ole ehtinyt muodostua kattavasti (Smith & Mason 1996, ss. 12-13). Siten ollen ne sopivatkin parhaiten teollisuuden aloille, joilla on paljon erilaisia tuotteita, jotka pohjautuvat pitkälti vanhoihin ratkaisuihin. Toinen neuroverkkojen suuri heikkous on niiden heikko läpinäkyvyys kustannusten muodostumisen osalta. Smith & Mason (1996, ss. 14-15) esittävät, että kustannusten muodostuminen ei välttämättä näytä loogiselta, vaikka lopullisen neuroverkon painotuksia, arkkitehtuuria ja yhteyksiä päästäisiinkin tutkimaan. Neuroverkot soveltuvat siten ollen erilaisten vaihtoehtojen arviointiin kustannusten kannalta, mutta ne eivät anna vihjeitä siitä, miten tuotteita suunnitellaan kustannustehokkaasti.

Kvantitatiiviset menetelmät taas voidaan jakaa parametrisiin ja analyttisiin menetelmiin. **Parametriset menetelmät** perustuvat tuotteen kustannusajureiden tunnistamiseen (Niazi et al. 2006, s. 567). Kustannusajureiden avulla voidaan rakentaa kaava, jota kustannukset suurin piirtein noudattavat. Kustannusajureiden tunnistaminen puolestaan vaatii tuotteen analysointia tilastollisten menetelmien avulla. Aiemmin käsitellyt regressiomenetelmät ja neuroverkot muistuttavat parametrisiä menetelmiä, mutta niillä on muutamia olennaisia eroja. Parametriset mallit eivät perustu analogiaan aiempien tuotteiden kanssa, vaikka ne tosin saattavat perustua historiatietoon esimerkiksi tuotantoprosessien kustannuksista. Duverlie & Castelain (1999, s.896-897) kritisoivat parametrisiä menetelmiä niiden kyvyttömyydestä esittää käyttäjälle tietoa kustannusten muodostumisesta, ja miten kustannuksiin voidaan vaikuttaa. Lisäksi he muistuttavat, että tuotantoympäristön muuttuessa kaavat ja kustannusarviot on tehtävä uudestaan. Tämä on itse asiassa laajemmallekin parametrysten menetelmien ulkopuolelle ulottuva totuus, mutta parametrysten menetelmien kohdalla vaadittava työmäärä on paljon suurempi kuin esimerkiksi neuroverkkojen kohdalla (Cavalieri et al. 2004, s. 176).

Analyttisissä menetelmissä tuotekustannukset rakennetaan pilkkomalla kaikki työ, joka tuotteen tuottamiseen vaaditaan elementteihin. Kun kaikki tuotteen aikaansaamiseksi vaadittavat elementit ja niiden kustannukset ovat tiedossa, voidaan tuotekustannukset laskea summaamalla elementtien kustannukset yhteen (Niazi et al. 2006, s. 568). Analyttisiä menetelmiä kutsutaan tästä syystä kirjallisuudessa toisinaan myös insinöörimenetelmiksi arvioida kustannuksia (Cavalieri et al. 2004, s. 168). Erilaisia tapoja jakaa tuotekustannukset peruselementteihin on useita ja analyttisten menetelmien väliset erot liittyvät lähinnä siihen, mihin kustannuksiin huomiota halutaan kiinnittää sekä kuinka kattavasti ja yksityiskohtaisesti kustannuksia halutaan tarkastella. Eräät menetelmät tarkastelevat tarkemmin tuotanto-operaatioiden, asetusajojen ja tuottamattoman ajan aiheuttamia kustannuksia ja pyrkivät siten tuotantoprosessin optimoimiseen. Toiset

menetelmät taas voivat tarkastella kustannuksia toleranssien näkökulmasta ja auttavat hahmottamaan niiden vaikutuksia kustannuksiin. Cooper & Chew (1996) ovat puolestaan esitelleet Activity-Based Costing (ABC) -järjestelmän, joka pyrkii erityisesti tuotteen aiheuttamien yleiskustannusten hahmottamiseen. Piirreperhainen kustannusten arviointi sen sijaan pyrkii liittämään kustannukset tuotteen eri piirteisiin, kuten materiaaliin, tuotantoprosesseihin tai muotoihin. Se perustuu siihen ajatukseen että tuote voidaan kuvata piirteiden kokoelmana, joista kustannukset lopulta kertyvät (Roy et al. 2003, ss. 5-6). Kaikille analyyttisille menetelmille on yhtenäistä se, että ne vaativat yksityiskohtaista suunnittelutietoa tuotteesta, kuten esimerkiksi geometria- ja prosessitietoa (Niazi et al. 2006, ss. 568-570). Tämä saattaa tehdä menetelmistä ongelmallisia käyttää suunnittelun aikana, jolloin tuote on jatkuvasti muutoksessa, eikä aikaa yksityiskohtaisten arvioiden tekemiseen välttämättä ole. Analyyttiset menetelmät selkeyttävät tuotekustannusten syntymistä ja mahdollistavat niihin vaikuttamisen. Esimerkiksi tiedettäessä, miten erilaiset piirteet vaikuttavat tuotteen kustannuksiin, voidaan saman toiminnallisuuden ja laadun omaava osa suunnitella kustannustehokkaammalla muodolla toteutettuna. Yhteenvedo arviointimenetelmien luokittelusta on esitetty kuvassa 2.10. Analyyttisten mallien kohdalla ei ole käyty läpi kaikkia Niazi et al. (2006) esittämiä alaluokkia niiden samankaltaisuuden vuoksi.



Kuva 2.10. Yhteenvedo kustannusten arvioinnin luokittelusta (Mukailtu lähteestä Niazi et al. 2006, s. 570).

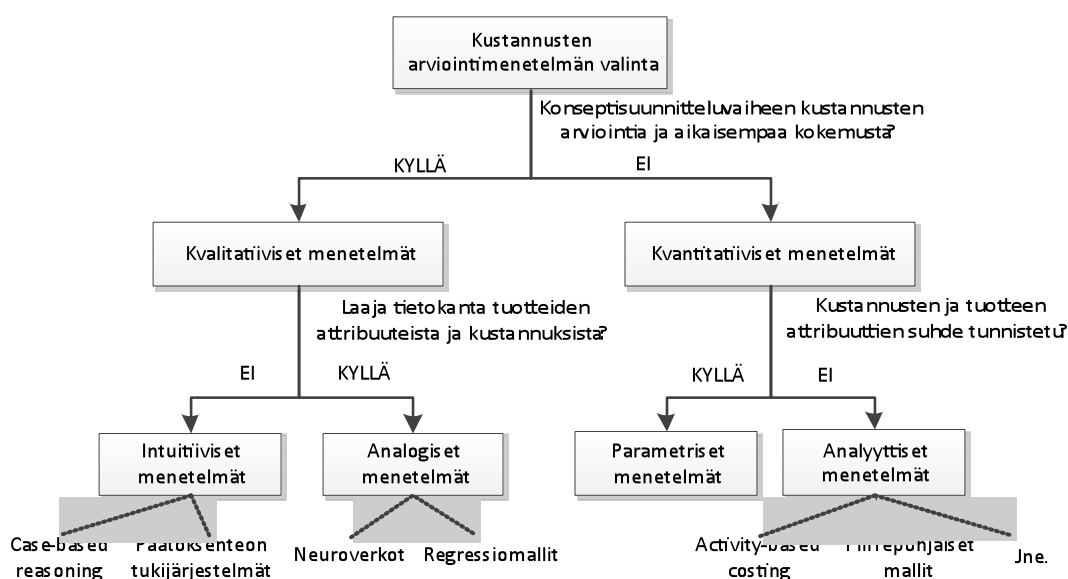
Kuten aiemmin päätöksenteon tukijärjestelmiä käsitellessä todettiin, arviointimenetelmät esiintyvät harvoin käytännössä kokonaan toisistaan erillisinä. Weustink et al. (2000, s. 141) jakavat arviointimenetelmät samankaltaisuuksia vanhojen tuotteiden kanssa hyödyntäviin ja kustannukset tuotteen elementeistä koostaviin. Heidän mukaansa tuote sisältää tyypillisesti sekä lähes standardeja elementtejä että täysin uusia elementtejä, ja tästä syystä molempia arviointimenetelmiä käytetään usein samanaikaisesti. Nämä kaksi suuntausta vastaavat Niazi et al. (2006) tekemän jaon kvantitatiivista ja kvalitatiivista suuntausta. Menetelmät voivat myös täydentää toisiaan. Duverlie & Castelain (1999, s. 896) argumentoivat jopa, että menetelmien yhdistäminen on välttämätöntä. Esimerkiksi CBR-menetelmän yksi suuri vahvuus on yhdistää eri menetelmiä. Se pyrkii löytämään samankaltaisia aiempia tuotteita, mutta löydettyään lähimmän vertailukohteen se voi

hyödyntää parametrisiä menetelmiä kustannusten vertailussa (Duverlie & Castelain 1999, s. 900). Eräs käytännön esimerkki arviointimenetelmien yhdistämisestä on Shehab & Abdalla (2001) kehittämä järjestelmä, joka käyttää kustannusten arviointiin sekä intuitiiviseksi menetelmäksi laskettavaa sumeaa laskentaa, että analyyttisiin menetelmiin kuuluvaa piirreperhjaista menetelmää.

2.4.2. Arviointimenetelmien soveltuvuus eri tilanteisiin

Tavoitekustannuslaskennan mukainen kustannusten hallinta vaatii jatkuvaa kustannusten arviointia ja tunnistamista tuotekehityksen aikana. Perinteinen kustannusten hallinnan prosessi keskittyy kustannusten arviointiin, kun tuotteen suunnitelmat ovat jo valmiita. Kustannusten hallinnan kannalta on tärkeää, että kustannukset voidaan tunnistaa jo aiemmin, mutta tässä vaiheessa ei ole vielä tarpeeksi tietoa yksityiskohtaiseen analysointiin (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 423). Kaikkia menetelmiä ei voida siis käyttää kaikissa tuotteen elinkaaren vaiheissa ja menetelmien sopivuus on kontekstiriippuvaista (Duverlie & Castelain 1999, s. 895).

Niazi et al. (2006, ss. 571-572) ovat kuvanneet valintamallin, jonka mukaan voidaan valita kuhunkin tilanteeseen sopiva menetelmä riippuen saatavilla olevasta tiedosta. Heidän mukaansa kvalitatiiviset menetelmät sopivat lähinnä tuotesuunnittelun alkuvaiheeseen jossa tuotteesta ei ole saatavilla muuta kuin epätarkkaa tietoa. Kvalitatiiviset menetelmien avulla voidaan tuottaa karkeita kustannusarvioita. Suunnitelmien tarkentuksessa kvantitatiiviset menetelmät sen sijaan tarjoavat tarkempia arvioita, jotka ovat välttämättömiä kustannusten tunnistamisessa. Se käytetäänkö intuitiivista menetelmää vai analogista menetelmä riippuu paljon siitä, minkälaista tietoa aiemmista tuotteista on olemassa. Intuitiiviset menetelmät pohjautuvat kokemukseen ja säännöstöihin, kun analogiset taas enimmäkseen aiempaan tuotetietoon samankaltaisista tuotteista. Parametrisien ja analyyttisten menetelmien välillä ratkaisevaksi tekijä on se löytyykö tuotteelle kuvaavia kustannusajureita. Jos löydetään sopivat kustannusajurit, saadaan parametrisillä menetelmillä melko tarkkojakin arvioita. Aina malleja ei ole kuitenkaan helppo löytää, jolloin tuote on pilkottava elementteihin ja koottava tuotekustannukset elementtien kustannusten summana. Myös muut kirjoittajat (Roy et al. 2003, s. 9; Fixson 2004, s.865) ovat arvioineet menetelmien soveltuvuutta erilaisten tuotteiden elinkaaren eri vaiheisiin. Nämä poikkeavat Niazi et al. (2006) esittämästä mallista mikä kuvaa sitä, että menetelmän valinta ei ole yksiselitteistä. Useat malleista sopivat moneen eri tuotekehityksen vaiheeseen. Niazi et al. (2006) tekemään arviointimenetelmien luokittelua noudattava yksinkertaistettu valintamalli on esitetty kuvassa 2.11.



Kuva 2.11. Arviointimenetelmän valintamalli (Mukailtu lähteestä Niazi et al. 2006, s. 571).

Tuotekehityksen vaiheen lisäksi mallin valintaan vaikuttaa myös valmistettavan tuotteen uutuusaste ja monimutkaisuus. Parametriset menetelmät tuskin sopivat auton kustannusten arviointiin, mutta voivat olla hyvinkin käyttökelpoisia jonkin moottorin yksittäisen osan kustannusten arvioinnissa. Lisäksi arviointimenetelmän valintaan vaikuttaa paljon kustannusarviolta vaadittava tarkkuus. Ehrlenspiel et al. (2007, s. 425) mukaan vaadittavan tarkkuuden taas määrittää se, mihinkä kustannusarviota on tarkoitus käyttää. Heidän mukaansa kustannusarvioita voidaan käyttää esimerkiksi tarjouspyynnön tukena, tavoitekustannuksen saavuttamisen seuraamiseen, vaihtoehtojen vertaamiseen, kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamiseen ja niin edelleen. Kaikki nämä päätöksentekotilanteet tarvitsevat tietoa eri tarkkuudella. Vaihtoehtoja vertaillessa usein riittää, että tieto on niin tarkkaa, että sen perusteella voidaan tehdä valinta vaihtoehtojen välillä. Konseptisuunnittelu vaiheessa puolestaan pelkkä karkea arvio voi riittää sen päätöksen tekemiseen kannattaako konseptin edelleen kehittämiseen panostaa resursseja. Suunnittelun edetessä pidemmälle tarvitaan kuitenkin yksityiskohtaista tietoa tuotekustannuksista, jotta voitaisiin havaita, mistä tuotteen osasta on helpointa karsia kustannuksia. Ehrlenspiel et al. (2007, s. 424) mukaan kustannusarvioihin on tarkkuuserojen vuoksi syytä liittää myös arvio tarkkuudesta ja siitä minkälaisia riskejä niihin liittyy.

2.4.3. Kustannusinformaation ajantasaisuuden ylläpitäminen

Jokainen muutos tuotteeseen muuttaa myös sen kustannuksia. Näin ollen myös kustannusarviot vanhenevat tuotesuunnittelun aikana hyvin nopeasti. Kustannusten arvioinnin menetelmät voivat toteutuksesta riippuen kuormittaa arvion tekijää hyvinkin eri tavalla. Kaavoihin perustuvat kustannusarviot voidaan helposti päivittää ajantasaisiksi, kunhan kaavan kustannukset eivät ole suoraan syötetty, vaan perustuvat muuttujiin esimerkiksi tuotantoajoista tai kappaleen volyymistä (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 456). Tällöin riittää,

että muuttujien tiedot tuotantoaikoihin liittyvistä tuntikustannuksista tai volyyymiin liittyvästä materiaalikustannuksesta päivitetään. Kustannusten arvioinnin työkalun aiheuttama työ käyttäjälleen päivitysten osalta onkin yksi tärkeä kriteeri niiden arvioinnissa. Tuotekehityksessä aika on kriittinen tekijä ja mitä helpompaa arvion tekeminen ja päivittäminen on, sitä todennäköisempää on että se tehdään.

Ideaalitilanteessa tuotteeseen kohdistuvan muutoksen seurauksena kustannusarvio voidaan automaattisesti päivittää. Menetelmät vaihtelevat paljon mahdollisuuksiltaan automatisointiin. Päätöksenteon tukijärjestelmiä ei tietenkään ole järkeä automatisoida tekemään päätöksiä arvioijan puolesta. Yksinkertaiset parametriset mallit tuotteen kustannuksista voidaan sen sijaan päivittää automaattisesti hakemaan päivitettyt arvot tietokannasta, jolloin ne sopivat myös käyttäjille, joilla ei ole kokemusta kustannusten arvioinnista. Arvioitaessa työkalua kustannusarvion tekemiseen vaadittava työmäärä on tietysti myös suhteutettava saatavaan hyötyyn. On olemassa lukuisia esimerkkejä siitä kuinka organisaatio on hankkinut uuden työkalun, joka on jäänyt alkuinnostuksen jälkeen täysin käyttämättä sen vuoksi, että sen käyttämiseen vaadittava työmäärä ei vastaa siitä saatuja hyötyjä.

Sen lisäksi, että on arvioitava tuotteen muutosten aiheuttamat seuraukset kustannusarvion käytölle, on myös huomioitava muun muassa tehtaassa, organisaatiossa ja toimintaympäristössä tapahtuvat muutokset (Ehrlenspiel et al. 2007, s. 456). Tuotantoprosessin vaihtuessa voidaan kustannusten arvioinnin malli joutua luomaan uudelleen. Myös ympäristön muutoksen seurauksien vaikutusta kustannusten arvioinnin työkalulle on siis tarpeen arvioida työkalun käyttökelpoisuutta pohdittaessa. Ideaalitilanteessa muutokset esimerkiksi tuotantovolyyymeissä otetaan automaattisesti huomioon kustannusmalleja luotaessa, kun taas pahimmillaan kustannusmalli joudutaan rakentamaan järjestelmään uudelleen.

Eräs kustannuslaskennassa käytetty keino helpottaa arvioiden tekemistä ja ylläpitoa on kustannustaulukoiden käyttö. Kustannustaulukot ovat tietokantoja, jotka sisältävät yksityiskohtaista kustannusinformaatiota ja mahdollistavat arvioinnin (Ansari & Bell 1997, s.133). Kustannustaulukkojen sisältämä tieto on informaatiota tuotteen kustannuselementeistä, kuten esimerkiksi raaka-aineista, alihankittujen osista ja tuotantoprosesseista. Ne voivat lisäksi sisältää tietoa tuotteen kustannusmalleista, joihin arviointi perustuu. Lisäksi niissä sijaitseva tieto on hyvin yrityskohtaista käsittäen usein historiatietoa läpimenoajoista, hylkäysprosentteista, koneiden tuntihinnoista ja niin edelleen. Mitä tarkemmin informaatiota niihin tallennetaan, sitä tarkempia arvioita pystytään tuottamaan. Samalla tiedon keräämisestä ja ylläpitämisestä tulee työläämpää. Yksityiskohtaisen kustannusinformaation tallentamisessa on siten hyvät ja huonot puolensa.

Suunnittelijoiden keskuudessa on selkeä tarve jatkuvalla kustannuslaskennalla, jossa kustannukset päivittyvät jokaisen muutoksen seurauksena. Esimerkiksi Tornberg et al. (2002, s. 79) ovat tutkimuksissaan havainneet suunnittelijoilla olevan tarpeen tietää re-

aaliaikaisesti esimerkiksi, miten toleranssien muunnokset vaikuttavat kustannuksiin ja miten kustannukset kehittyvät erilaisia tuotantotekniikoita käytettäessä. Tämänkaltaisen informaation tuottaminen manuaalisesti on liian hidas ja työläs prosessi. Tämä käy hyvin ilmi, kun tarkastelee Stewart et al. (1995, ss. 3-5) esittämää kustannusten arvioinnin 12 vaiheista prosessia. Huolimatta siitä, mitä nämä vaiheet edes sisältävät, ei ymmärrettävästikään tätä prosessia pystytä käymään läpi jokaisen suunnittelumuutoksen jälkeen. Mitä useampi näistä vaiheista voidaan automatisoida, sitä vähemmän arvioija kuormittuu. Niinpä tietotekniikan luomia mahdollisuuksia kustannusten arvioinnille ei voi korostaa liikaa.

3. SUUNNITTELUTIEDON HALLINTA TUOTEKEHITYSVAIHEESSA

Tässä luvussa esitetään mihin tuotekehitysvaiheessa käytettävien ohjelmistojen hyödyntäminen kustannusten hallinnassa perustuu. Luku alkaa tarkastelemalla tuotetiedon ja tuoterakenteen käsitteitä sekä pohtimalla sitä, miten kustannusinformaatiota voidaan liittää tuoterakenteeseen. Tämän jälkeen siirrytään esittelemään tuotekehityksessä käytettäviä järjestelmiä joilla on parhaat edellytykset tukea kustannusten hallintaa tuottamalla tai käsittelemällä kustannusinformaatiota. Lopuksi esitellään ohjelmistojen toimintaperiaatteet joita kustannusten hallinnassa voidaan hyödyntää ja pohditaan ohjelmistojen yhteistoiminnan merkitystä.

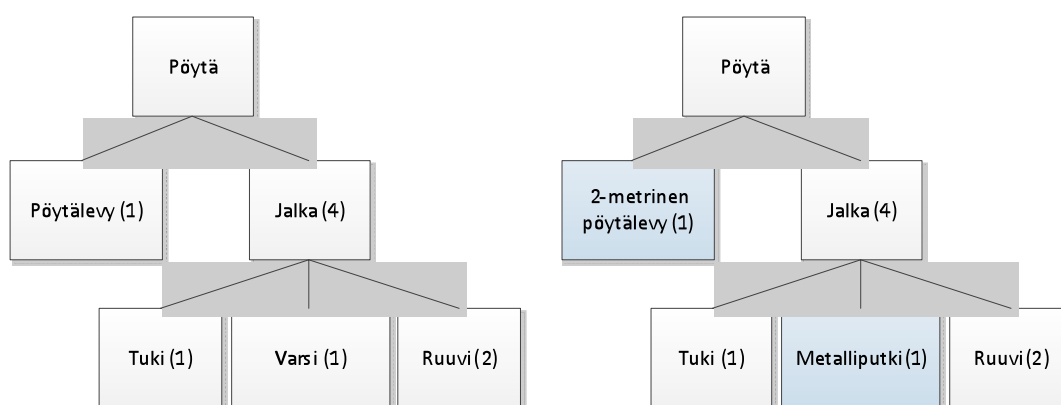
3.1. Tuotetieto ja sen hallinta tuotekehityksessä

3.1.1. Tuotetieto ja tuotetta kuvaavat mallit

Saaksvuori & Immonen (2010, ss. 7-8) esittävät **tuotetiedolla** viitattavan informaation laajasti tuotteeseen liittyen ja jakavat sen edelleen määrittelytiedoksi, elinkaaritiedoksi ja metatiedoksi. Määrittelytiedolla he tarkoittavat mitä tahansa tietoa, joka määrittelee sen jonkin osapuolen näkökulmasta. Elinkaaritieto puolestaan kuvaa tietoa, joka liittyy tuotteen elinkaaren vaiheisiin aina idean syntymisestä tuotteen hävittämiseen saakka. Metatieto taas on tietoa tiedosta. Toisin sanoen se kuvailee tietoa, minkälaista se on, missä se sijaitsee, mistä se on peräisin, miten siihen päästään käsiksi, kenellä on oikeudet muokata sitä ja niin edelleen. Tietojärjestelmien rooli tuotetiedon käsittelyssä on viime vuosikymmenten aikana kasvanut voimakkaasti, ja eräs syy tähän on varmasti niiden tehokkuus metatiedon käsittelyssä. Kun metatietoa ei suunnitelmallisesti kerätä ja tallenneta, jää se usein harvojen toimijoiden tiedoksi. Tämä aiheuttaa ongelmia lukuisissa tilanteissa kuten esimerkiksi silloin, kun pitäisi selvittää mistä löytyvät ajantasaiset kustannusarviot.

Tuote itsessään voi olla joko fyysinen, aineeton tai molempia näistä (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 8). Tämä diplomityö on rajattu tarkastelemaan valmistavan teollisuuden tuotteita, jotka sisältävät aina vähintään jonkinlaisen fyysisen komponentin. Tällaiseen valmistavan teollisuuden tuotteeseen liittyvää tuotetietoa voi esimerkiksi olla piirustukset, kokoonpano-ohjeet, tuoterakenne, tietyn komponentin toimittajatiedot, osakohtaiset kustannukset tai tuotekehitysprojektin vaihe. Koska tuotteet ja niihin liittyvä tieto eroavat suuresti toisistaan jo valmistavan teollisuuden sisälläkin, on tuotetiedosta epärealistista yrittää esittää kaiken kattavaa kuvausta.

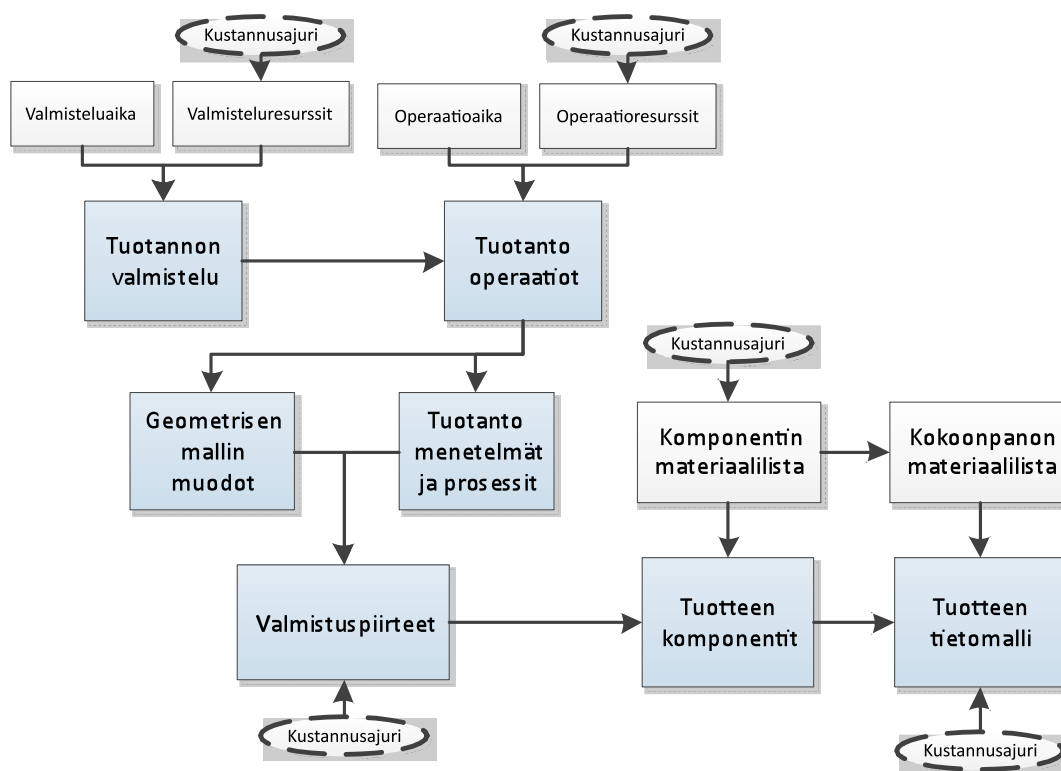
Tuotetiedon käsite liittyy läheisesti tuotteen tietomalliin, tuotemalliin ja tuoterakenteeseen ja niitä käytetään usein synonyymeinä toisilleen (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 8). Tietomalli on kuvaus käsitteistä, niiden suhteista sekä rajoitteista ja säännöistä, joita niihin liittyy. Tietomallin pääasiallinen tarkoitus on kuvata asioiden suhteita toisiinsa ja se on tuotteen tietomallin ja tuoterakenteen perusta. **Tuotteen tietomalli** on kuvaus tuotteeseen liittyvästä tiedosta ja niihin liittyvistä suhteista. **Tuotemalli** taas on yleinen kuvaus tietyn tuotteen rakenteesta ja sisältää yksittäiseen tuotteeseen liittyvän tiedon tuotteen tietomallin mukaisesti tallennettuna järjesteltynä. Tuotemallia kutsutaan usein myös yleiseksi **tuoterakenteeksi**. Yleinen tuoterakenne on tuotteelle kehitetty rakenne, joka sisältää vaihtoehtoisia tai konfiguroitavia komponentteja. **Konfigurointi** on toimennpide, jossa tuote räätälöidään asiakkaan toiveiden mukaisesti ja sen tuloksena syntyy yksilöllinen tuoterakenne. Konfigurointi voidaan tehdä joko ennalta määräytyistä modulaarisista osista tai ei-modulaarisesti tuotteen attribuutteja portaattomasti muuntelemalla. Erilaisia mahdollisia muunnelmia samasta tuotteesta kutsutaan puolestaan **varianteiksi**. Yleisiä tuoterakenteita käytetään, koska kaikkien mahdollisten tuoterakenteiden kuvaaminen ei usein ole käytännöllistä, sekä niihin liittyvän tiedon ylläpitäminen on työlästä. Kuvassa 3.1 on esitetty vasemmalla yleinen tuoterakenne ja oikealla eräs sen konfiguraatio. (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 21-24.)



Kuva 3.1. Yleinen tuoterakenne ja eräs sen konfiguraatio.

3.1.2. Kustannusinformaation liittäminen tuotetietoon

Aiemmin kohdassa 2.3.1 todettiin että kustannusajureita voidaan jakaa usealle eri tasolle, esimerkiksi kokoonpano-, osa-, piirre- ja operaatiotasolle. Tuoterakenteeseen on siis mahdollista liittää kustannusinformaatiota eri tasoilla. Yksinkertaisimmillaan yhtä tuotemallia vastaa yksi kustannus. Monimutkaisimmillaan tuote puolestaan koostuu lukuisista operaatioista ja niiden käyttämistä materiaaleista, sekä näiden aiheuttamista kustannuksista. Yksinkertaisten kustannusajurien lisäksi elementteihin voidaan liittää myös erillisiä kustannusmalleja. Kuvassa 3.2 on esitetty yksinkertaistettu esimerkki mahdollisuuksista liittää ajallisia ja määrällisiä kustannusajureita tuotteen tietomalliin. Nuolet mallissa havainnollistavat sitä, että tuotteen kustannukset voidaan koostaa aina operaatioista ja valmistelukustannuksista saakka.



Kuva 3.2. Yksinkertaistettu kustannusinformaatiota sisältävä tietomalli (Mukailtu lähteestä Liebers & Kals 1997, s. 110).

Tuotteen kustannukset voidaan laskea myös yhdistämällä usean eri tason kustannusinformaatiota. Esimerkiksi tuotteen yhden osan kustannukset voidaan laskea tuotantooperaatioiden, piirteiden ja materiaalin perusteella. Toisaalta voi olla, että osa on ulkoistettu ja kustannukset saadaan tietää suoraan alihankkijalta. Kokoonpanojen tapauksissa voi olla, että kokoonpanosta löytyy historiatietoihin perustuva kustannus. Vaihtoehtoisesti kokoonpanon kustannukset voidaan laskea sen osien ja kokoonpanokustannusten summana.

Liebers & Kals (1997) ovat esittäneet yhden yleisen tavan liittää kustannusinformaatiota tuotetietoon päätöksenteon tukemiseksi. Heidän mallinsa perustuu ajatukseen, että kustannusinformaatiota voidaan liittää mille tahansa tasolle. Mallissa lähdetään liikkeelle ylimmältä tasolta, eli tuotekustannuksista. Jos niitä ei ole saatavilla, niin ne pyritään laskemaan kustannusfunktion avulla, joka koostaa kustannukset alemman tason elementtien kustannuksiin perustuen. Jos osatasoltakaan ei löydy kustannusinformaatiota, mennään aina osien yksittäisiin operaatioihin, sekä niiden kuluttamiin resursseihin saakka. Weustink et al. (2000) esittävät samankaltaisen tuoterakenteeseen perustuvan mallin kustannusten arviointiin ja hallintaan tuotesuunnittelun aikana. Heidän mallinsa puolestaan perustuu siihen ajatukseen, että tuotteen kustannukset aiheutuvat sen geometriasta, materiaaleista, tuotantoprosesseista, tuotannonsuunnittelun asettamista rajoitteista, sekä näiden yhteisvaikutuksesta. Tämän mallin mukaan tuotteen kustannukset

voidaan laskea summaamalla jokaisen tuote-elementin kustannukset yhteen. Loppujen lopuksi molempien edellä esitettyjen mallien käyttökelpoisuus riippuu pitkälti siitä saadaanko mallin käyttöön tarpeeksi tarkkaa kustannusinformaatiota ja kuinka hyvin tämä malli kuvaa tuotteen todellisia kustannuksia. Tapa, jolla kustannusinformaatiota tuotteen kannattaa liittää, riippuukin pitkälti sen käyttötarkoituksesta ja saatavilla olevasta tiedosta.

3.1.3. Tuotekehityksen tietojärjestelmät tuotetiedon hallintaan

Ehrlenspiel et al. (2007, s. 92) kuvaavat tietojärjestelmiä jopa välttämättömiksi, kun tavoitteena on alentaa monimutkaisten tuotteiden kustannuksia. Heidän mukaansa tavoittekustannukset ja tuotteen tavoiteltavat ominaisuudet hukkuvat yksityiskohtien alle, jonka vuoksi tarvitaan muun muassa organisaation aikatauluihin, kustannuksiin, tuotteen ominaisuuksiin ja tuoterakenteeseen sopivia tietokone-avusteisia järjestelmiä. Tätä tarvetta selittää osaltaan se, että tuotteiden monimutkaistuessa myös niihin liittyvän tiedon määrä on kasvanut räjähdysmäisesti. Yksi hyvä ääripään esimerkki on Boeing 747-400 lentokone, jossa on 6 miljoonaa osaa. Vaikkei erilaisia osia näin paljoa olekaan, antaa luku kuvan siitä kuinka paljon erilaisia piirustuksia, teknistä tietoa ja muuta informaatiota koneeseen liittyy. Valtavasta tietomäärästä johtuen tuotekehityksen käytössä voi olla lukuisia eri järjestelmiä, jotka käsittelevät jollain tapaa tuotetietoa. Muun muassa Stark (2011, ss. 171-203) on kuvannut yli 50 erilaista tuotetietoa käsittelevää järjestelmää. Näiden järjestelmien yhä kasvavaa tietomassaa hallitsemaan on kehittynyt tuotetiedonhallinta.

Tuotetiedonhallinta (eng. product data management, **PDM**) terminä ei viitata mihinkään tiettyyn järjestelmään tai menetelmään. Philpotts (1996, s. 11) määrittelee tuotetiedon hallinnalla tarkoitettavan liiketoiminnallista lähestymistapaa, joka integroi ja hallitsee tuotteen määritteleviä prosesseja, sovelluksia ja informaatiota. Saaksvuori & Immonen (2010, s. 10) mukaan tuotetiedonhallinta tapahtuu nykyään lähes poikkeuksetta tietojärjestelmien avulla. Yritysten omien ratkaisujen rinnalle on kehitetty kaupallisia PDM-järjestelmiä tukemaan tätä lähestymistapaa. Ne tarjoavat infrastruktuurin tuotetiedon hallitsemiseen ja jakamiseen, eli toimivat eräänlaisena väliohjelmistona (Rueckel et al. 2005, ss. 1029-1030). PDM järjestelmien ominaisuudet ja toiminnallisuus vaihtelee, mutta tyypillisimpiä piirteitä ovat esitelleet muun muassa CIMData (2002), Saaksvuori & Immonen (2010), Stark (2011), sekä Kropsu-Vehkaperä et al. (2009).

Tuotteen elinkaaritiedon hallinta (eng. product lifecycle management, **PLM**) on läheisesti PDM:ään liittyvä termi, joka korostaa tuotetiedon hallitsemista koko sen elinkaaren ajalta. PLM nähdään yleisesti kattavan PDM:n toiminnan, ja termin on nähty jopa korvaavan PDM konseptia (Kropsu-Vehkaperä et al. 2009, s. 760). Tällä hetkellä useimmat tuotetiedon hallinnan ohjelmistot toimittavat tahot määrittelevät järjestelmänsä PLM-järjestelmiksi. Tässä tutkimuksessa puhutaan selvyuden vuoksi yksinomaan tuotetiedon hallinnan järjestelmistä. Myös **toiminnanohjausjärjestelmät** (eng.

Enterprise Resource Planning, **ERP**) käsittelevät paljon tuotetietoa, mutta ne ovat perinteisesti tuotantoon suuntautuneita järjestelmiä. Niinpä ne käsittelevät paljon historiatietoa ja ovat siten tärkeä informaation lähde, mutta tuotekehityksen aikaiselle tiedolle luonnollisempi sijainti löytyy tuotetiedon hallinnan järjestelmistä.

Koska tuotetiedonhallinnan järjestelmien toimivat tuotekehityksen aikaisen informaation solmukohtana ja niidentoiminnallisuus rakentuu tuoterakenteiden ympärille, ovat niiden mahdollisuudet kustannusten hallinnassa merkittävät. Toinen merkittävä ohjelmistotyyppi tavoitekustannusten saavuttamisen tukemisen näkökulmasta ovat tietokoneavusteisen suunnittelun järjestelmät. **Tietokone-avusteinen suunnittelu** (eng. computer-aided design, **CAD**) on yleinen termi tietokoneen käytölle geometrinen mallien ja piirustusten tuottamisessa ja niiden analysoinnissa (Cox et al. 1988, ss. 5-8). Tietokoneavusteisen suunnittelun järjestelmistä puhuttaessa tarkoitetaan usein järjestelmiä, jotka sisältävät geometrisen suunnittelun ja piirtämisen lisäksi paljon muutakin, kuten esimerkiksi simulointia. 2D- ja 3D-mallit voidaan helposti käsittää pelkkinä geometrisina muotoina, mutta ne voivat sisältää myös paljon muuta tietoa kuten osien materiaaleja, pintojen toleransseja ja niin edelleen. Erityisen mielenkiintoisia tietokone-avusteisen suunnittelun järjestelmistä ovat **mekaniikkasuunnitteluohjelmistot**, joiden avulla tuoterakenne muodostetaan piirteiden kokoelmana. Tuomalla kustannusinformaatio osaksi päätöksentekoa suunnittelutyön alkuvaiheesta lähtien mahdollistetaan kustannuksiin vaikuttaminen siellä missä siihen on suurimmat mahdollisuudet. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan mekaniikkasuunnitteluohjelmistoja ja tuotetiedonhallinnan järjestelmiä, sillä niiden rooli tuoterakenteen hallinnassa tuotekehitysvaiheessa on hyvin merkittävä.

3.2. Tuotekehityksen tietojärjestelmät kustannuslaskennan tukena

3.2.1. Tuotetiedonhallinnan järjestelmät

Tuotetiedonhallinnan järjestelmien sisältö ja toteutus vaihtelee käytännössä huomattavasti, mikä on varsin ymmärrettävää ottaen huomioon tuotetiedonhallinnan laajasti määritellyn tehtävän. Järjestelmillä on kuitenkin havaittu olevan paljon yhteisiä piirteitä ja ydintoiminnallisuutta, joka niistä useimmiten löytyy. Saaksvuori & Immonen (2010, s. 229) listaavat kirjassaan kattavasti eri tuotetiedon hallinnan järjestelmän toimintoja ja kiteyttävät niistä järjestelmien ydintoiminnoiksi nimikkeiden ja dokumenttien hallinnan, tuoterakenteen hallinnan, muutosten hallinnan ja integroinnin eri järjestelmien välillä. CIMData (2002, ss. 5-6) näkee näiden lisäksi työnkulun hallinnan, projektinhallinnan, luokittelujärjestelmän ja joukon aputoimintoja, joihin myös integrointi eri järjestelmien välillä lukeutuu. Kropsu-Vehkaperä et al. (2009, s. 760) tarkastelevat järjestelmiä sen moduulien näkökulmasta. Heidän tarkastelussaan nimikkeiden hallinta, tietovarasto ja tietovaraston hallinta ovat kaikki eriteltyinä omiksi moduuleikseen, kun toisissa määritelmässä tietovarasto ja sen hallinta nähdään vain edellytyksenä muille toiminnoille. Näiden kolmen tahon määritelmät tuotetiedonhallinnan järjestelmistä ja niiden toimin-

noista ja moduuleista ovat lopulta hyvin samankaltaiset ja eroavat lähinnä siinä, mitkä näistä ovat ne oleellisimmat. Seuraavaksi näistä on käyty muutamia kustannusten hallinnan kannalta tärkeimmät läpi.

Tuotetiedonhallinnan järjestelmät perustuvat pitkälti nimikkeiden käyttöön. Nimike on systemaattinen ja vakioitu tapa yksilöidä, koodata ja nimetä tuote tai osa, josta se koostuu (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 11). Nimike voi olla mikä tahansa tuotteen aineellinen tai aineeton osa, kuten ruuvi, materiaali, josta ruuvi on tehty, tai vaikka tuotanto-prosessi, jolla se saadaan aikaan. Saaksvuori & Immonen (2010, ss. 11-13) selittävät **nimikkeiden hallinnan** huolehtivan nimeämiskäytännöistä, koodauksesta ja nimikkeiden suhteista toisiinsa. Philpotts (1996, s. 13) erottelee nimikkeiden hallinnasta luokittelutoiminnon, jonka avulla voidaan etsiä standardeja tai samankaltaisia osia. Osien luokittelu perustuu erilaisiin attribuutteihin, kuten koodiin, muotoon, materiaaliin, versioon ja suunnittelijaan, joiden avulla osia voidaan ryhmitellä ja etsiä. Philpotts (1996, s. 13) näkee **dokumenttien hallinnan** pääasiallisena tehtävänä olevan ajantasaisen ja oikeellisen tuotetiedon ylläpitämisen, sekä sen suojauksen tahattomalta ja tahalliselta vahingolta. Dokumenttien hallintaan kuuluu kyky rajata eri osapuolten mahdollisuuksia tarkastella ja muokata eri tietoja. Kun vain yhdellä toimijalla kerrallaan on oikeus muokata tiettyä nimikettä, vältetään versioiden välisiltä ristiriidoilta. Dokumenttien hallinnan tehtäväksi voidaan siis käsittää tuotetietoon liittyvän tietoturvan hoitaminen.

Tuoterakenteen hallinta muodostaa monessa mielessä koko tuotetiedonhallinnan järjestelmien ytimen. Tuoterakenteen hallinnan avulla kuvataan tuotteen rakentuminen pienemmistä elementeistä (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 45). Se toimii perustana monelle muulle järjestelmän toiminnolle, kuten muutosten hallinnalle ja konfiguraatioiden hallinnalle (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 30). Kun tuotteen määrittelytieto on linkitetty tuoterakenteeseen ja osiin, voidaan tarkastella helposti, mihin kaikkialle muutokset vaikuttavat (Philpotts 1996, s. 14). Lisäksi hyvin toteutettu tuoterakenteen hallinta mahdollistaa tuotteen tarkastelun eri näkökulmista, kuten esimerkiksi myynnin, suunnittelun ja tuotannon näkökulmasta. Tuoterakenteen hallinta on siis ennen kaikkea hahmottamisen ja tiedonvälityksen työkalu.

Muutosten hallinta liittyy läheisesti sekä nimikkeiden ja dokumenttien hallintaan, että tuoterakenteeseen. Se on toiminto, joka säilöö nimikkeisiin, dokumentteihin ja tuoterakenteisiin kohdistuneita muutokset (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 16). Se mahdollistaa tuotetiedon historiallisen tarkastelun ja edellisiin versioihin palaamisen. Se hoitaa myös tietoturvaan liittyviä tehtäviä varmistamalla, että oikea tieto on saatavilla oikeaan aikaan. Muutosten tekemistä tuotteeseen hallitaan myös **työnkulun hallinnalla** (Philpotts 1996, s. 14). Sen avulla voidaan määritellä prosessi, joka muutoksen tekemiseksi tuotteessa vaaditaan ja varmistaa, että prosessi etenee. Prosessi voi esimerkiksi alkaa jonkin osapuolen pyynnöstä tehdä suunnittelumuutos, joka automaattisesti välitetään suunnittelijalle. Suunnittelijan tehtyä muutoksen prosessi etenee muutoksen hyväksyjälle, joka voi joko hylätä tai hyväksyä muutoksen. Jos muutos hylätään, voidaan se pa-

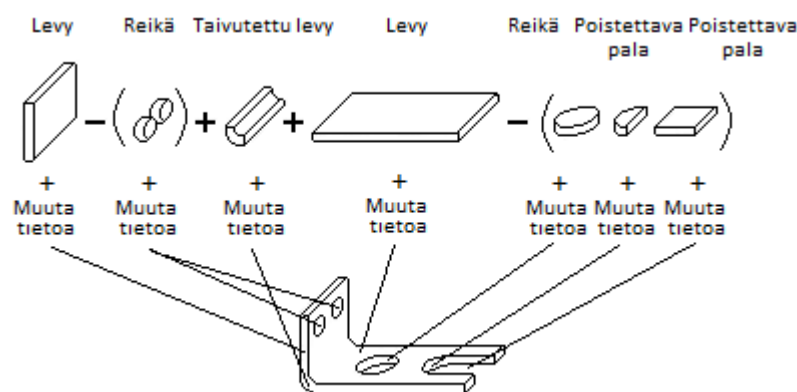
lauttaa suunnittelijalle kommenttien kera. Työnkulun hallinta mahdollistaa siis järjestelmällisten prosessien rakentamisen, jossa prosessiin liittyvä tieto välittyy automaattisesti oikealle henkilölle. Se on siten myös tehokas työkalu poikkiorganisatoristen prosessien hallintaan.

Kaikkia näistä toiminnoista ja moduuleista voidaan hyödyntää kustannusten hallinnassa. Nimikkeiden hallinnan ja nimikkeiden luokittelun avulla voidaan tunnistaa samankaltaisia osia ja vertailla näiden kustannuksia. Dokumenttien hallinnan avulla voidaan varmistua kustannusinformaation ajantasaisuudesta ja oikeellisuudesta. Tuoterakennetta puolestaan voidaan hyödyntää kustannusten selvittämisessä. Muutosten hallinta mahdollistaa historiatiedon tarkastelun kustannuksista. Työnkulun hallintaa voidaan hyödyntää standardoimalla kustannusten arviointiin liittyvä prosessi. Nämä ovat kuitenkin vain esimerkkejä siitä mitä mahdollisuuksia tuotetiedonhallinnan järjestelmillä tavoitekustannusten saavuttamisen tukemisen näkökulmasta on.

3.2.2. Mekaniikkasuunnitteluohjelmistot

Myös mekaniikkasuunnitteluohjelmistot käsittelevät tuoterakenteeseen liittyvää tietoa. Niinpä niillä on kustannusten hallinnan kannalta osin samankaltaisia mahdollisuuksia, kuin tuotetiedonhallinnan järjestelmillä. Mekaniikkasuunnitteluohjelmistot ovat kuitenkin ensisijaisesti yksittäisten kappaleiden piirtämiseen, mallinnukseen ja simulointiin keskittyviä ohjelmistoja. Siten ollen on luonnollista, että niiden kustannustenhallintaan liittyvät keskeisimmät ominaisuudet liittyvät myös pääosin yksittäisten kappaleiden suunnitteluun. Yksittäisistä kappaleista voidaan myös rakentaa kokoonpanoja, joten mikään ei myöskään estä laajemman tuoterakenteen hyödyntämistä osana kustannusinformaation tuottamista ja tarjoamista.

Suurin osa nykyisistä CAD-järjestelmistä perustuu piirrepohjaiseen mallinnukseen. Piirrepohjaisessa mallinnuksessa kappale rakentuu muotopiirteistä, johon liittyy vähintäänkin geometriatietoa erilaisten parametrien muodossa. Muotopiirteitä voivat olla muun muassa reiät, urat ja viisteet. Piirteet ovat suhteessa toisiinsa ja siten muutos yhdessä piirteessä saattaa aiheuttaa automaattisen muutoksen myös toisessa. Piirteisiin liittyy oleellisesti niiden geometriset dimensiot, mutta niihin voidaan liittää myös muuta tietoa kuten materiaaleja, toleransseja tai vaikka kustannusajureita. Kappaleen rakentumista piirteistä ja muun tiedon liittämistä näihin piirteisiin on havainnollistettu kuvassa 3.3. CAD-malleissa sijaitsevaa tietoa voidaan siten ollen hyödyntää useiden eri kohdassa 2.4.1 esiteltujen kustannusten arvioinnin menetelmien kanssa. Menetelmien käyttämiä kustannusmalleja voidaan suunnittelumuutosten seurauksena automaattisesti päivittää hakemalla sen käyttämät tiedot suoraan CAD-mallista. Tällöin suunnittelijalle voidaan tarjota välitöntä palautetta suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutuksista, mikä on tavoitekustannuslaskennan kannalta tärkeää.



Kuva 3.3. Kappaleen rakentuminen piirteistä ja tiedon liittäminen näihin piirteisiin (Mukaiilu lähteestä Leibl et al. 1999, s. 94).

Kustannusten arviointia CAD-malleissa sijaitsevan tiedon perusteella on tutkittu useiden eri tahojen toimesta. Ou-Yang & Lin (1997) kehittivät tuotantokustannuksia arvioivan järjestelmän, joka perustui muotoihin ja niihin liittyvään geometriaan. Järjestelmän heikkous on kuitenkin rajoittuneisuus sen ymmärtämien tuotantoprosessien osalta. Leibl et al. (1999) puolestaan kehittivät järjestelmän, joka tarjosi kustannusinformaatiota erilaisilla tarkkuuksilla riippuen siitä kuinka tarkkoja suunnitelmat olivat. Heidän mukaansa järjestelmä kuitenkin rajoittui ohutlevyistä tuotettuihin osiin, eikä se käsitellyt kustannusinformaatiota tarpeeksi kontekstisidonnaisesti. Shehab & Abdalla (2001) kehittämä järjestelmä perustuu myös CAD-mallin piirretietoon. Järjestelmä pitää tietokantaa piirteistä, piirteiden tuotettavuudesta ja tuotantokoneista. Myös tässä tapauksessa järjestelmän suurimmaksi rajoitteeksi muodostuu se, että järjestelmä ymmärtää ainoastaan tietynlaisia tuotantoprosesseja ja piirteitä. Tällöin järjestelmän käyttökelpoisuus on riippuvainen siitä, kuinka hyvin sen ymmärtämät tuotantoprosessit ja piirteet vastaavat tietyn yrityksen tuotteiden ja toiminnan asettamia vaatimuksia. Ficko et al. (2000) puolestaan ovat esitelleet mallin, jossa tuotekustannuksia arvioidaan vertailemalla tuotteen CAD-mallia aikaisempien tuotteiden CAD-malleihin.

Edellä esitetyt järjestelmät ovat prototyyppisiä, eivätkä sellaisenaan sovellu kaupalliseen käyttöön. Ne antavat kuitenkin viitteitä siitä, millaisia kaupallisia ohjelmistoja on teoriassa mahdollista kehittää sekä millaisia ongelmia niihin liittyy. CAD-malleissa sijaitsevaa tietoa kustannusten arviointiin käytäviä järjestelmiä voidaan kehittää tiettyihin tarkasti määriteltyihin olosuhteisiin. Järjestelmien kehittämisestä tulee kuitenkin sitä vaikeampaa, mitä laaja-alaisempaan käyttöön niiden tulee soveltua. Tämä asettaa erityisiä haasteita kaupallisille järjestelmille, jotka pyrkivät tyydyttämään useamman yrityksen tarpeita. Tällöin järjestelmien joustavuudesta muodostuu yksi tärkeimmistä kriteereistä niiden tarkastelussa. On myös hyvä muistaa, että järjestelmien vahvuudet ovat valmistuskustannusten arvioinnissa. Kokonaiskustannuksia ja elinkaarikustannuksia arviooidessa arvioiden tarkkuus riippuu lisäksi siitä, kuinka tarkasti välilliset kustannukset onnis-

tutaan kohdistamaan. Kohdistus voidaan tällaisten järjestelmien kohdalla tehdä esimerkiksi tilastollisesti saadun kertoimen avulla (Uusi-Rauva & Paranko 1998, s. 66).

3.2.3. Tietojärjestelmien yhteistoiminta

Toimiva tavoitekustannuslaskenta vaatii käyttöönsä suuren määrän tietoa useasta eri lähteestä. Vain osa tästä tiedosta kerätään rutiininomaisesti. Ansari & Bell (1997, s. 111) esittävät lisäksi, että vaikka tarvittavaa tietoa kerättäisiin, ei se aina ole helposti saatavilla tavoitekustannuslaskennan tarpeisiin. Tuotteeseen liittyvä tieto voi olla pirstoutuneena useassa eri tietojärjestelmässä, jotka eivät kommunikoi tehokkaasti keskenään. Esimerkiksi kustannusanalyysin tekeminen suunnitteluvaiheessa vaatii usein sekä tuotetietoa tuotetiedonhallinnan järjestelmästä, että historiatietoa kustannuksista toiminnanohjausjärjestelmästä (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 107). Järjestelmien tehokas kommunikoiminen keskenään on tärkeää monesta muustakin syystä. Tietojen syöttäminen järjestelmiin useampaan kertaan on sekä työlästä, että lisää syöttövirheiden riskiä. Tietojen päivittämisen yhteydessä saattaa osaan järjestelmistä jäädä vanhentunutta tietoa ja tiedon eheys vaarantuu.

Integroinnilla tarkoitetaan tietojärjestelmien yhdistämistä, joko tekniseltä osin tai tiedollisesti ja toiminnollisesti. Tämän työn kannalta merkittävämpää on tiedollinen integrointi. Sen tavoitteena on mahdollistaa tietojärjestelmien välinen tiedonsiirto. Integraatiota voidaan suorittaa eri asteilla. Heikoimmalla integraation asteella ihminen toimii tiedon välittäjänä, kun taas vahvimmillaan järjestelmien välinen tiedonsiirto on automaattista. Nopeasti vanhentuvaa kustannusinformaatiota tuottavissa ja tarjoavissa järjestelmissä integraation aste on erittäin tärkeä tarkastelun kohde. Lisäksi se vaikuttaa paljon siihen kuinka työlästä järjestelmien käyttö on.

Standardien käyttö on eräs tapa helpottaa järjestelmien välistä integraatiota. STEP (Standard for the Exchange of Product model data, ISO 10303) on tuotemallinnukseen liittyvän datan kuvaukseen tarkoitettu standardi (Saaksvuori & Immonen 2010, s. 236). Sen ajatuksena on tarjota puolueeton ja standardi tapa vaihtaa tietoa tuotteesta organisaatioiden, organisaatioiden osien ja ohjelmistojen välillä koko sen elinkaaren aikana. STEP standardia käytetään useimmiten geometrisen datan välittämiseen CAD-järjestelmien välillä. Standardien käytölläkään ei kuitenkaan voida ratkaista järjestelmien välisen kommunikaation ongelmia. Tämä on merkittävää siitä syystä, että tutkimuksessa tarkastellut ohjelmistot eivät ole yksinomaan tuotetiedonhallinnan järjestelmiä ja mekaniikkasuunnitteluohjelmia vaan myös niissä sijaitsevaa tietoa hyödyntäviä erillisiä ohjelmia. Siten näillä ohjelmistoilla on usein rajoitteita sen suhteen minkä tuotetiedonhallinnan järjestelmien ja mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen kanssa ne toimivat.

4. TYÖN AINEISTO, MENETELMÄT JA AINEISTON ANALYYSI

Tässä luvussa esitellään tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja niiden valintaperusteet. Tämän jälkeen kuvaillaan aineistonkeruumenetelmät ja tutkittujen ohjelmistojen valintaperiaatteet. Lopuksi käsitellään aineiston analysointia.

4.1. Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tavoite voitaisiin saavuttaa useamman eri tutkimusmenetelmän avulla. Yin (2003, s. 5) on esitellyt vaihtoehtoisia strategioita, joihin kuuluvat muun muassa koetutkimus, kartoitustutkimus, arkistotutkimus, historiatutkimus ja tapaustutkimus. Toisin kuin Kasanen et al. (1991, ss. 302-305), he siis näkevät tapaustutkimuksen tutkimusmenetelmänä metodologian sijaan. Myös Scapens (1990, s. 266) korostaa, että tapaustutkimus tulisi nähdä menetelmänä, ei metodologiana. Yin (2003, s. 5) mukaan tutkimusmenetelmää valittaessa tulisi ottaa huomioon kolme eri tekijää. Ensimmäinen tekijä on tutkimuskysymyksen muoto, joka tässä tutkimuksessa kuuluu ”miten”. Kartoitustutkimuksessa ja arkistotutkimuksessa tutkimus vastaa sellaisiin kysymyksiin kuin ”kuka”, ”mikä”, ”missä”, ”kuinka moni” ja ”kuinka paljon”, joten ne eivät ole ideaalisia tämän tutkimuksen tavoitteen kannalta. Toinen tekijä on mahdollinen tarve hallita tutkimuskohteen käyttäytymistä syy-seuraus –yhteyksien löytämiseksi, mikä on tarpeellista ainostaan koetutkimuksen tapauksessa. Viimeinen huomioon otettava tekijä on se, keskittykö tutkimus tämänhetkisiin tapahtumiin vai historian tutkimukseen. Tutkimuksen tavoite on tutkia nykykäytäntöjä ja mahdollisuuksia, joten tämä rajaa historia- ja arkistotutkimuksen mahdollisuuden pois. Luontevimmaksi tutkimusmenetelmäksi muodostuu siten ollen tapaustutkimus.

Scapens (1990, s. 264) jaottelee tapaustutkimuksen edelleen alatyyppeihin ja toteaa, että eri tapaustutkimuksen tyypit sopivat paremmin eri tutkimusotteille. Näitä alatyyppejä ovat kuvaileva, havainnollistava, kokeellinen, tutkiva ja selittävä tapaustutkimus. Alatyyppeiden väliset rajat eivät kuitenkaan ole selkeitä. Tässä tutkimuksessa suoritettavaa tapaustutkimus voitaisiin nähdä sekä kuvailevana, että havainnollistavana tapaustutkimuksena. Scapens (1990, s. 265) mukaan kuvaileva tapaustutkimus kuvailee käytäntöä etsien samankaltaisuuksia tai eroja tutkimuksen kohteiden välillä. Sen tavoitteena on tarjota kuvaus laskentatoimen käytännöstä. Tämän tutkimuksen kohdalla se tarkoittaa kuvausta siitä, miten tämänhetkisiä kaupallisia ohjelmistoja voidaan hyödyntää tavoitekustannuslaskennassa. Koska kustannusinformaation käsittely etenkin mekaniikkasuunnitteluohjelmistoissa on uusi ilmiö, tutkimuksella voidaan nähdä olevan myös havain-

nollistavia piirteitä. Kuten Scapens (1990, s. 265) esittää, yksi havainnollistavan tutkimuksen ongelmista on sen perustuminen siihen oletukseen, että tutkimuksen kohde on jotenkin muita parempi. Tutkimus ei kuitenkaan itse kykene oikeuttamaan tätä oletusta. Tällä tutkimuksella voidaan havaita myös olevan tapaustutkimuksen piirteitä. Eräänä tutkimuksen tavoitteena on tarkastella löytyykö ohjelmistojen toiminnallisuudesta ja toiminnan logiikasta erojen ohella yhteneväisyyksiä.

4.2. Työn aineisto

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella, mitä tuoterakennetta käsittelevät ohjelmistot tarjoavat kustannusinformaatiota tavoitekustannusten saavuttamiseksi. Scapens (1990, ss. 272-273) mukaan kun tutkimus on tarkasti rajattu ja sen puitteissa tarkastellut asiat ovat määritelty, voidaan valita pieni määrä kriittisiä tapauksia, jotka vastaavat suoraan tutkimuksen tarpeisiin. Koska tavoitekustannuslaskennassa suurimmat vaikutusmahdollisuudet keskittyvät tuotekehitysvaiheeseen, valikoitui tarkastelluiksi ohjelmiksi tuotekehitysvaiheessa tuoterakennetta käsittelevät ohjelmat. Kahdeksi tärkeimmäksi tällaiseksi ohjelmistotyyppiä nähtiin tuotetiedon hallinnan järjestelmät, mekaniikkasuunnitteluohjelmistot, sekä näihin liittyvät kolmannen osapuolen kustannusinformaation käsittelyyn tarkoitettut ohjelmistot. Esimerkiksi toiminnanohjausjärjestelmiä ei tämän tutkimuksen yhteydessä tarkasteltu, sillä niiden toiminta keskittyy tuotteen elinkaaren myöhempiin vaiheisiin. Aineiston keruu suoritettiin aikavälillä 23.09.2011 ja 12.05.2012.

Silverman (2010, ss. 141-142) mukaan pelkästään tiettyjen piirteiden löytyminen tutkimuksen kohteesta ei riitä sen valitsemiseksi yhdeksi tapauksista, vaan näitä piirteitä on tarkasteltava kriittisesti. Tutkimuksen alkuvaiheen ohjelmistojen kartoituksessa käytiin läpi 24 eri ohjelmistoa, joista tutkimuksen edetessä valikoitui kuusi tarkemmin tarkasteltavaa ohjelmistoa. Kustannusten hallintaan liittyviä ominaisuuksia sisältäviä kaupallisia ohjelmistoja ei ole kuin hyvin rajallinen määrä ja niiden toiminnallisuus on usein pääosin samankaltaista. Tästä syystä tutkimus voitiin rajata kuuden ohjelmiston tarkasteluun, jotka pitävät sisällään merkittävimmän osan koko ohjelmistojoukon tavoitekustannusten saavuttamisen tukemiseen liittyvästä toiminnallisuudesta. Kahden ohjelmiston tapauksessa julkisesti saatavilla oleva aineisto ei yksinkertaisesti mahdollistanut tarkempaa tarkastelua. Tuotetiedonhallinnan järjestelmien puolelta tarjolla on useita suunnitteen samankaltaista toiminnallisuutta tarjoavia järjestelmiä. Näitä ohjelmistoja ei valittu tässä esiteltäviksi, koska niiden kustannusinformaation tuottamiseen ja tarjoamiseen liittyvä toiminnallisuus ei tuo merkittävää lisää kuvattujen ohjelmistojen toiminnallisuuteen verrattuna. Esimerkiksi erään tuotetiedonhallinnan ohjelmiston kykyä tehdä kappaleen suunnittelumuutosten yhteydessä manuaalisesti muutoksia sen kustannusarvioon ei nähty tarpeeksi merkittävänä toiminnallisuutena. Monen tuotetiedonhallinnan järjestelmän tapauksessa kustannusinformaation tuottaminen perustui puolestaan yksinkertaisesti tuoterakenteen nimikkeiden kustannusten summaamiseen, eikä kustannusinformaatiota esitetty kuin yhden luvun muodossa. Usean mekaniikkasuunnitteluohjelmis-

tojen yhteyteen liitettävää ohjelmistoa ei puolestaan esitelty siksi, että ne mahdollistavat esimerkiksi ainoastaan ohutlevykappaleiden arvioinnin tai niiden kyky poimia kappaleen tuotemallista tietoja on hyvin rajallinen.

Tapaustutkimuksessa voidaan käyttää useista eri lähteistä ja usealla eri tapaa kerättyä aineistoa. Yin (2003, s. 13) esittää tyypillisiksi lähteiksi dokumentaatiot, havainnoinnit ja haastattelut. Eisenhardt (1989, ss. 534-538) mukaan tapaustutkimukselle on tyypillistä useiden lähteiden käyttö, joka mahdollistaa triangulaation. Myös tässä tutkimuksessa aineisto on kerätty useasta eri lähteestä. Koska tutkimuksen kohteena ovat kaupalliset ohjelmistot, ei tutkimuksen resurssien puitteissa ole mahdollista tutkia niitä kaikkia jollain tietyllä menetelmällä, kuten esimerkiksi havainnoimalla niitä käytön aikana. Saata-villa oleva materiaali vaihtelee runsaasti ohjelmistokohtaisesti. Suurin osa tutkimuksessa käytetystä materiaalista on kuitenkin julkista.

Yhtä poikkeusta lukuun ottamatta ohjelmistoista on tarjolla lukusia esittely- ja käyttövideoita sekä niiden toimittajien että käyttäjien tekemänä. Suurin osa kuvauksista perustuu näiden videoiden pohjalta tehtyyn toiminnallisuuden havainnointiin. Tämän lisäksi perehtymisessä on käytetty ohjelmistojen käyttöoppaita ja toiminnallisuuksien kuvauksia siltä osin kun ohjelman toiminnallisuutta muuten ei ole voitu todeta. Tällaista informaatiota on esimerkiksi ohjelmistojen mahdollisuudet integrointien osalta sekä niiden laskentalogiikka. Joidenkin ohjelmistojen osalta toiminnallisuutta on myös ollut mahdollista todentaa käyttämällä ohjelmaa itse. Julkisen materiaalin lisäksi ohjelmistojen toiminnallisuutta on selvitetty avoimilla haastatteluilla siltä osin kuin se on ollut mahdollista. Kuvauksissa on ensisijaisesti tukeuduttu haastatteluihin ja käyttövideoihin. Haastatteluissa ja muussa perehtymisessä keskityttiin luvussa esiteltyihin eri tapoihin tukea tavoitekustannusten saavuttamista. Silverman (2010, ss. 201) mukaan tiedon lähteiden yhdistelemisessä ongelmaksi voi muodostua ristiriitainen tieto. Tässä tutkimuksessa ristiriitaiseen dokumentaatiotietoon perustuva toiminnallisuus jätettiin kuvauksista pois, ellei sitä voitu todentaa havainnoimalla tai haastatteluilla.

4.3. Aineiston analyysi

Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ovat luonteeltaan laadullisia. Alasuutari (2011, s. 38) jakaa laadullisen analyysin kahteen toisiinsa nivoutuvaan vaiheeseen, havaintojen pelkistämiseen ja arvoituksen ratkaisemiseen. Havaintojen pelkistämisessä aineistoa tarkastellaan aina tietystä teoreettisesta näkökulmasta, mikä tämän tutkimuksen kohdalla tarkoittaa tavoitekustannuksen saavuttamisen prosessia. Tarkastelu prosessin eri elementtien kautta mahdollistaa havaintojen pelkistämisen hallittavamaksi määräksi ”raaka-havainnoja”. Tässä tutkimuksessa nämä ”raaka-havainnot” ovat esitettynä ohjelmiston kuvausten muodossa luvussa 5.

Alasuutarin (2011, s. 40) mukaan havaintomäärää karsitaan edelleen havaintojen yhdistämällä yhdeksi havainnoksi tai havaintojen joukoksi. Tämä tapahtuu hahmottamalla

yhdistävä piirre tai muotoilemalla sääntö, jota koko aineisto noudattaa. Tämän tutkimuksen eräänä tavoitteena ohjelmistojen kuvaamisen ohella on löytää niistä mahdollisia yhteneväisyyksiä työn teoreettiseen osaan nojautuen. Havaintomäärää on karsittu luvussa 6 analysoimalla ohjelmistojen yhteisiä piirteitä, mutta samalla erot ohjelmistojen välillä on pyritty tuomaan esille.

Arvoituksen ratkaisemisella tarkoitetaan tulosten tulkintaa esimerkiksi siten, että havaintoja peilataan aiempaan kirjallisuuteen. Tässä työssä tuloksia tulkitaan arvioimalla sitä, miten ohjelmistojen toiminnallisuus vastaa kustannusten alentamisen prosessin tarpeisiin. Ohjelmistojen tavoitekustannusten saavuttamisen tukemiseen soveltuvia ominaisuuksia tarkastellaan ohjelmistotyypeittäin luvun 6 lopussa. Sen jälkeen ominaisuuksien perusteella arvioidaan ohjelmistotyyppien roolia tavoitekustannusten saavuttamisessa. Tutkimuksessa tarkasteltujen ohjelmistojen heikkouksia ja vahvuuksia tarkastellaan tämän jälkeen myös ohjelmistokohtaisesti.

5. OHJELMISTOJEN KUVAUKSET

Tässä luvussa tarkastellut ohjelmistot on kuvattu perehdyttyyn materiaaliin perustuen. Ohjelmistojen tarkastelun tarkoituksena oli selvittää, mitä ne tarjoavat kustannusten saavuttamisen prosessin elementtien näkökulmasta. Ohjelmistojen kuvauksissa esitetään ensi nopea yleiskatsaus ohjelmistoon ja sen käyttötarkoitukseen. Tarkempi ohjelmiston kuvaus alkaa ohjelmiston kustannusten selvittämiseen liittyvän toiminnallisuuden esittelyllä niin yksityiskohtaisesti kuin se kunkin ohjelmiston osalta järkeväksi nähdään. Yksinkertaisempien ohjelmistojen kohdalla koko ohjelmiston toiminnallisuus on mahdollista kuvata kokonaisuudessaan, kun toisten kohdalla tyydytään esittämään esimerkkejä. Tämän jälkeen siirrytään kuvaamaan kustannusten seurantaan ja tunnistamiseen liittyvää toiminnallisuutta. Kuvaukset noudattavat siten suurpiirteittäin samaa kaavaa. Käytännössä kustannusten selvittämiseen ja kustannusten seurantaan ja tunnistamiseen liittyviä ominaisuuksia ei voida kuitenkaan luettavuuden säilyttämisen vuoksi esitellä toisista täysin erillään. Ohjelmistojen keskeisimmistä ominaisuuksista on esitetty yhteenveto liitteessä 1.

5.1. SolidWorks Costing

SolidWorks Costing on Dassault Systèmes SolidWorks yhtiön kehittämä 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmistoon vuoden 2012 versiossa mukaan liitetty kustannusten hallinnan työkalu. Sen avulla voidaan tuottaa automaattisesti kustannusarvioita osille ja kokoonpanoille perustuen niiden CAD-malleihin. Nopealla ja oikea-aikaisella kustannusinformaatiolla pyritään tukemaan suunnittelupäätöksiä ja helpottamaan tarjouspyyntöihin vastaamista. Työkalun avulla tuotetut kustannusarviot päivittyvät automaattisesti suunnittelumuutosten seurauksena, ja suunnittelijan on mahdollista tutkia tarkemmin, miten kustannukset muodostuvat. Merkittävin työkalun rajoitus on sen soveltuminen ainoastaan tietyillä tuotantoprosesseilla tuotettujen osien arviointiin.

Kustannusarvioiden tuottaminen perustuu piirrepohjaiseen kustannustenarviointiin, jossa piirteiden tuottamisesta syntyvät kustannukset summataan yhteen. Työkalu tunnistaa arvioitavan osan geometriatiedosta piirteitä, jotka voidaan yhdistää valmistusmenetelmiin, joilla ne saadaan aikaiseksi. Yksi piirre voidaan saada aikaan useammalla eri menetelmällä, jolloin käyttäjä voi itse valita haluamansa menetelmän. Valittavissa olevat menetelmät riippuvat suunniteltavasta osasta. Tällä hetkellä työkalu tukee ainoastaan koneistettujen osien ja ohutlevyistä tuotettujen osien arviointia, eikä esimerkiksi ruiskuvalettujen osien kustannuksia voida arvioida. 3D-mallista tunnistettu reikä pystytään koneistetun osan kohdalla liittämään esimerkiksi porausoperaatioon tai ohutlevyosan kohdalla laserleikkaukseen, vesisuihkuleikkaukseen tai plasmaleikkaukseen. Osan piir-

teet eivät kuitenkaan aina sovi tuotantoympäristöön täydellisesti. Voi olla, että juuri oikean paksuista ohutlevyä ei ole saatavilla tai sopivaa työkalua osan tuottamiseen ei ole tarjolla. Tällaisissa tapauksissa ohjelma valitsee lähimmän vaihtoehdon, mutta varoittaa samalla käyttäjää tilanteesta.

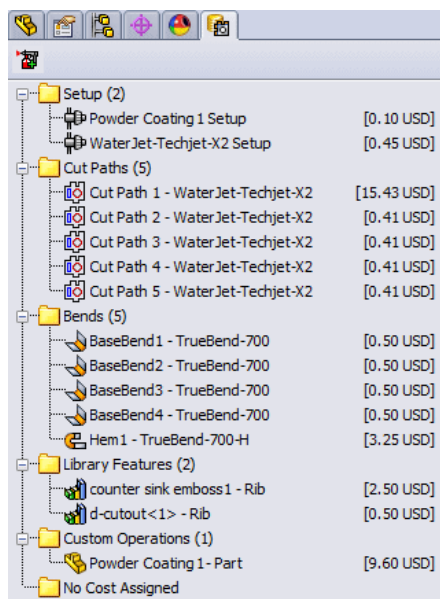
Kun piirteet on yhdistetty valmistusmenetelmiin, voidaan osan kustannukset selvittää sijoittamalla piirteiden geometriatiedot niitä vastaavien valmistusmenetelmien kustannusmalleihin. Valmistusmenetelmät ja kustannusmallit on tallennettu tietokantaan tehdasympäristöä kuvaavaksi malliksi. Tehdasympäristöjä voidaan rakentaa useita erilaisia kuvaamaan yrityksen eri tuotantolaitoksia tai toimittajia. Ohutlevyosia tuottavaa ja koneistamalla osia valmistavaa ympäristöä kuvataan eri tehdasympäristöillä. Ohutlevyosat tuotannon kohdalla ympäristöön tallennetaan tietoa käytössä olevista materiaaleista, materiaaleihin liittyvistä paksuuksista ja kustannuksista, sekä leikkaus- ja taivutustoimenpiteiden kustannuksista. Koneistamalla osien valmistamista kuvaavaan ympäristöön on puolestaan tallennettu tietoa vastaavasti erilaisista aihioista ja niiden kustannuksista, sekä leikkaus-, jyrsimis- ja poraustoimenpiteistä kustannuksineen. Lisäksi molempiin ympäristöihin on tallennettu tietoa asetus-, kirjastopiirteiden ja räätälöityjen toimenpiteiden kustannuksista. Muita ennalta määriteltyjä tuotantoprosesseja voivat olla esimerkiksi erilliset pintakäsittelyt.

Työkalu tarjoaa käyttäjälle valmiiksi määriteltyjä tuotantoympäristöjä, jotka eivät kuvaa mitään tiettyä yritystä tai tehdasta. Käyttäjälle painotetaan, että tuotantoympäristöjen muokkaaminen valmistajan ympäristöä vastaavaksi on äärettömän tärkeää kustannusarvioiden tarkkuuden kannalta. Siten onkin tärkeää tarkastella minkälaisia mahdollisuuksia työkalu antaa ympäristön tietojen muokkaukseen. Osakohtaiset asetuskustannukset määrittää tuotetyyppiä, eräkokoja tai kappalemäärää kohden. Lisäksi ne voidaan määrittää joko automaattisesti sisällytettäväksi tai manuaalisesti lisättäväksi. Materiaaleista määrittää tarjolla olevat dimensiovaihtoehdot eri materiaaleille ja näihin liittyvät kustannukset painoa kohden. Ohutlevylle suoritettujen toimenpiteiden kustannukset voidaan laskea summaamalla toimenpiteeseen liittyvät asetuskustannukset kappaleelle suoritettujen operaatioiden kustannusten kanssa. Tämä edellyttää asetuskustannusten määrittämistä eräkokoja kohden sekä operaatiokustannusten määrittämistä toimenpidettä kohden. Toimenpidettä kohden määritellyt kustannukset tarkoittavat esimerkiksi leikkausoperaation kohdalla sitä, että kustannukset on määritelty leikkauksen pituutta kohden. Toimenpidekustannukset on tallennettu taulukon muodossa, jossa ne ovat riippuvaisia työstettävästä materiaalista, kappaleen dimensioista sekä leikkaustavasta.

Kirjastopiirteiden kustannukset voidaan laskea samankaltaisesti, mutta ne ovat aina suoraan verrannollisia ainoastaan kirjastopiirteiden lukumäärään. Räätälöityjen toimenpiteiden kustannukset lasketaan myös samaan tapaan, mutta käyttäjällä on enemmän valinnanvaraa kustannusajurin valinnan suhteen. Kustannusajureina voivat toimia osan paino, valittujen pintojen pinta-ala, valittujen särmien pituus tai suoritettavien toimenpiteiden määrä. Räätälöityjen toimenpiteiden kustannukset ovat siten kuitenkin riippuvai-

sia ainoastaan yhdestä muuttujasta. Kustannuslogiikaltaan monimutkaisempia toimenpiteitä ei voida mallintaa, kuten esimerkiksi avarrusta, jossa kustannukset riippuvat muun muassa halkaisijasta, syvyydestä ja pinnan karkeudesta. Koneistuksen leikkaus-, jyrsimis- ja poraustoimenpiteiden laskentalogiikka toimii muista toimenpiteistä poikkeavalla tavalla. Asetuskustannusten ja toimenpidekustannusten sijaan järjestelmään tallennetaan työkustannukset ja koneen käytön kustannukset tuntia kohden. Toimenpiteiden ajat puolestaan on tallennettu taulukkoon. Esimerkiksi leikkaustoimenpiteiden kesto on riippuvainen materiaalista, aihion paksuudesta, käytetystä koneesta sekä leikkauksen pituudesta. Lisäksi jyrsimis- ja poraustoimenpiteille voidaan syöttää laitteen maksiminopeudet.

Tuotantoympäristön ja osan geometrisen mallin lisäksi työkalu tarvitsee osakohtaista tietoa käytettävästä materiaalista, aihion dimensioista, valmistettavasta kappalemäärästä ja tuotantoerän suuruudesta. Näillä tiedoilla tuotteen kustannukset voidaan yksinkertaisimmassa tapauksessa arvioida. Työkalusta löytyy toiminnallisuutta myös poikkeavia tilanteita varten. Osan kustannuksia voidaan muokata prosentuaalisella osuudella joko kokonaiskustannuksista tai materiaalikustannuksista, esimerkiksi tilanteissa joissa materiaaleista saadaan alennusta. Kun kustannukset on arvioitu, luokitellaan piirteisiin liittyvät toimenpiteiden kustannukset eri kategorioiden alle. Esimerkki tästä on esitetty kuvassa 5.1. Toimenpiteille automaattisesti tuotettuja kustannusarvioita voidaan muokata manuaalisesti tai tiettyjen toimenpiteiden kustannukset voidaan jättää kappaleen arviossa kokonaan huomioimatta. Tämä on käytännöllinen ominaisuus esimerkiksi tilanteessa, jossa valmistajan käytössä on erikoistyökalu, jolla voidaan tuottaa useampi piirre yhdellä toimenpiteellä. Oman tärkeän lisänsä joustavuuteen tuo jo aiemmin esitetyt räätälöidyt operaatiot. Niiden käytöllä tuotekustannuksiin on mahdollista saada mukaan CAD-mallista ilmi käymättömiä toimenpiteitä, kuten tarkastukset, maalaus tai pakkaus.



Operation	Cost (USD)
Setup (2)	
Powder Coating 1 Setup	[0.10 USD]
WaterJet-Techjet-X2 Setup	[0.45 USD]
Cut Paths (5)	
Cut Path 1 - WaterJet-Techjet-X2	[15.43 USD]
Cut Path 2 - WaterJet-Techjet-X2	[0.41 USD]
Cut Path 3 - WaterJet-Techjet-X2	[0.41 USD]
Cut Path 4 - WaterJet-Techjet-X2	[0.41 USD]
Cut Path 5 - WaterJet-Techjet-X2	[0.41 USD]
Bends (5)	
BaseBend1 - TrueBend-700	[0.50 USD]
BaseBend2 - TrueBend-700	[0.50 USD]
BaseBend3 - TrueBend-700	[0.50 USD]
BaseBend4 - TrueBend-700	[0.50 USD]
Hem 1 - TrueBend-700-H	[3.25 USD]
Library Features (2)	
counter sink emboss1 - Rib	[2.50 USD]
d-cutout<1> - Rib	[0.50 USD]
Custom Operations (1)	
Powder Coating 1 - Part	[9.60 USD]
No Cost Assigned	

Kuva 5.1. Toimenpiteiden kustannukset toimenpidetyypeittäin SolidWorks Costing –työkalussa.

Tuotekustannuksien arviointi työkalun avulla edellyttää sitä, että kappaleesta on olemassa 3D-malli. Vielä keskeneräisten osien kustannuksiakin voidaan arvioida, mutta näin voidaan vain vertailla ratkaisuvaihtoehtojen kustannustehokkuutta. Työkalua mainostetaan täysin automatisoituneena, mutta se antaa väärän kuvan työmäärästä, jota sen käyttö todellisuudessa vaatii. Ensinnäkin tehdasympäristö pitää kuvata järjestelmän tietomalliin mahdollisimman tarkasti. Tämä tarkoittaa myös sitä, että ympäristön muuttuessa mallia joudutaan muokkaamaan. Jos esimerkiksi malliin lisätyn koneen tuntikustannuksesta saadaan päivittyntä tietoa, joudutaan tieto muuttamaan mallista. Samoin uusien koneiden toimenpiteet ja niiden kustannukset tulee päivittää malliin ja käytöstä poistuneisiin koneisiin liittyvät taas poistaa. Tehdasympäristön muuttuessa tämä joudutaan kuitenkin tekemään vain kerran, jonka jälkeen kaikkien kyseistä mallia käyttävien osien kustannusarviot voidaan päivittää. Tietojen päivittäminen mallista on melko yksinkertaista sisäänrakennetun muokkausohjelman avulla. Työkalun valmiiden mallien tietojen päivitysväliä ei ole ilmoitettu.

Toimintaympäristön lisäksi muutoksia voi tapahtua osassa. Ne voivat olla joko muutoksia osan 3D-mallissa tai muissa laskennan kannalta tärkeissä tiedoissa. SolidWorks Costing on tällä hetkellä tietävästi ainoa työkalu, joka on täysin integroitu osaksi mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa. Siten muutokset 3D-mallissa voidaan välittömästi ottaa huomioon ja päivittää kustannusarviot. On kuitenkin pidettävä mielessä, että toisinaan voi esiintyä tarvetta muuttaa lisättyyn piirteeseen liittyvien toimenpiteiden kustannuksia tai lisätä toimenpiteitä muutoksen seurauksena. Muutokset muihin osaan liittyviin tietoihin, kuten valmistusmäärään, eräkokoon, aihion dimensioihin tai materiaalivalintaan kohdistuvat eivät aiheuta erillisiä toimenpiteitä. Periaatteessa jokaisen tuotteen koh-

distuneen muutoksen jälkeen voidaan siis automaattisesti arvioida kustannukset nopeasti uudelleen.

Tuotekustannusten arviointi analyttistä menetelmää käyttäen mahdollistaa myös kustannusten aiheuttajien tarkemman analyysin. Työkalussa kustannusennustetta voidaan tarkastella paitsi koko tuotteen tasolla, myös pienempiin osiin pilkottuina. Piirteiden tuottamiseen vaadittavat toimenpiteet on kategorisoitu eri toimenpidetyyppien alle ja niiden yhteydessä on ilmoitettu niitä vastaavat kustannukset. Valitsemalla toimenpiteitä voidaan 3D-mallista havaita, mihin tuotteen piirteeseen kyseinen toimenpide liittyy. Näin pystytään havaitsemaan esimerkiksi mistä tuotteen piirteistä suurin osa kustannuksista aiheutuu. Samoin kokoonpanojen kohdalla osien kustannukset voidaan järjestellä ja visualisoida siten, että kustannuksiltaan merkittävät osat on helppo havaita ja keskitää sitten huomio niiden kustannusten alentamiseen.

Erilaisten vaihtoehtojen kustannusten vertailu on tärkeä osa työkalun toimintaa. Kustannusarvioiden tuottaminen ei tyypillisesti kestä muutamaa sekuntia kauempaa. Tämä mahdollistaa vaihtoehtojen vertaamisen nopeasti, siten ettei vaihtoehtoista tarvita erillistä laskelmaa. Käyttäjä voi yksinkertaisesti valita eri valmistusmateriaalin tai -määrän ja vaikutukset kokonaiskustannuksiin ja toimenpiteiden kustannuksiin voidaan havaita välittömästi. Tarvittaessa voidaan tuottaa myös raportti, jossa molempia vaihtoehtoja on vertailtu kustannusten osalta. Samoin voidaan vertailla kustannuksia eri tuotantoympäristöissä tai käytettäessä vaihtoehtoista valmistusmenetelmää jonkin piirteiden tuottamiseen. Työkalu jättää edellisen arvion tuotekustannukset vertailun vuoksi näkyviin ja tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden lukita jokin vanhoista kustannusarvioista vertailukohdaksi.

Vaihtoehtojen vertailun mahdollisuus myös havainnollistaa logiikkaa, jolla kustannukset syntyvät. Kustannukset on tarkemmin jaoteltu materiaalikustannuksiin ja toimenpiteistä syntyviin kustannuksiin. Käyttäjä voi siis esimerkiksi tutkia, miksi halvemman materiaalin käyttö itse asiassa lisää kustannuksia ja minkä toimenpiteiden kallistumisen seurauksena. Täyttä selvyyttä kustannusten eri toimenpiteiden ja suunnitteluvalintojen seurauksista kustannuksiin työkalu ei kuitenkaan pysty tarjoamaan. Se ei esimerkiksi huomioi sitä, että materiaalin vaihto toiseen saattaa aiheuttaa tarpeen maalata tuote. Tällöin tuote saattaa vaikuttaa halvemmalla tuottaa, vaikka todellisuudessa sen kustannukset ovat kohonneet. Jonkin asteista läpinäkyvyyttä kustannuksiin työkalu pystyy siis tarjoamaan, mutta suunnittelijan osaamista ja kokemusta se ei korvaa.

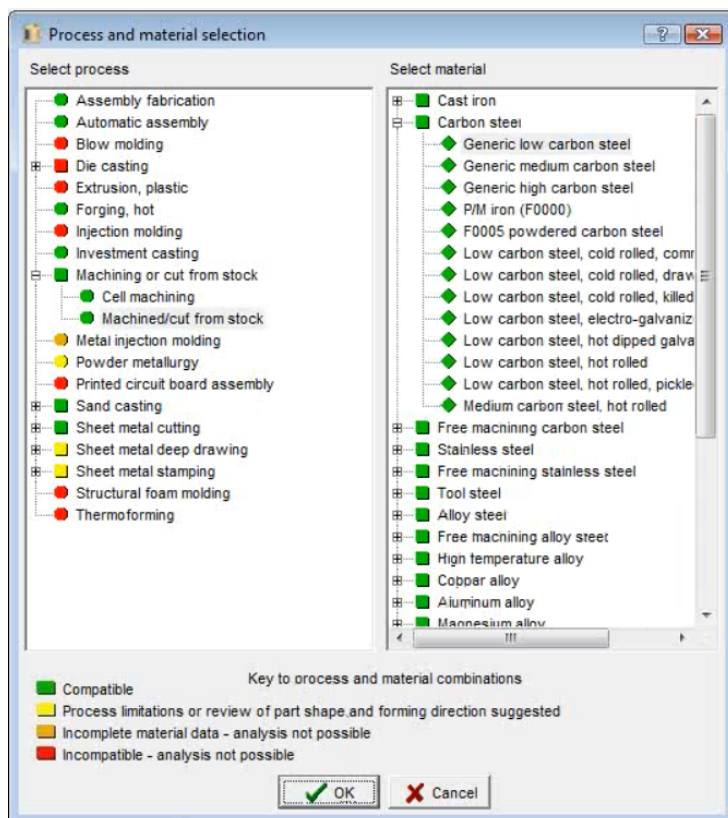
5.2. DFMA

Design for Manufacture and Assembly Product Costing and Simplification (DFMA) on Boothroyd Dewhurst yhtiön kehittämä työkalu tuotekustannusten alentamisen tueksi. Se käsittää kaksi eri ohjelmistoa: DFM Concurrent Costing ja DFA Product Simplification. DFM Concurrent Costing keskittyy kustannusajurien tunnistamiseen ja kustannusarvi-

oiden tuottamiseen. DFA Product Simplification puolestaan pyrkii samaan lopputulokseen etsimällä keinoja vähentää osien määrää kokoonpanossa. Molemmat sovelluksista perustuvat tuotteen 3D-mallin piirteiden ja niiden aikaansaamiseksi vaadittujen valmistus ja kokoonpanoprosessien kustannuksien kuvaukseen. Työkalu tarjoaa kattavan valikoiman vaihtoehtoja, mutta tuotteen kuvaaminen järjestelmälle joudutaan tekemään pääosin käsin. Tässä kuvauksessa keskitytään pääosin DFM Concurrent Costing moduulin kuvaamiseen, jonka toimintaperiaatteesta saa käsityksen myös DFA Product Simplificationin toiminnasta.

DFM Concurrent Costing arvioi valmistuskustannuksia kappaleen piirteiden ja geometrian perusteella. Sovelluksen kustannusten arviointi perustuu analyttisiin menetelmiin, joissa kokonaiskustannukset lasketaan summaamalla kappaleen piirteiden tuottamisesta aiheutuneet kustannukset. Ohjelmisto tarjoaa noin viisitoista eri valmistusmenetelmille sopivaa kustannusmallia. Näihin valmistusmenetelmiin kuuluvat muun muassa koneistus, ohutlevytekniikat sekä useat eri valutekniikat. Koneistuksen osalta tarjolla on yksityiskohtaisen arvioinnin lisäksi nopea arviointi. Nämä eroavat toisistaan sen suhteen kuinka tarkasti kappale sovellukselle kuvaillaan ja siten kuinka nopeita ja tarkkoja arvioista muodostuu. Arviointiprosessi noudattelee pääpiirteittäin samaa kaavaa eri valmistusprosesseja käytettäessä, mutta vaihtelee luonnollisesti siltä osin mitä tietoa valmistusprosessit vaativat.

Kustannusten arviointi alkaa tuotettavan kappalemäärän syöttämisellä ja aihion kuvailemisella. Ohjelmisto tarjoaa viisi erityyppistä aihiota, kuten esimerkiksi onton putken tai kuutiomaisen kappaleen. Tämän jälkeen määritellään aihion dimensiot ja aihion valmistamisen suunta. Lisäksi on määriteltävä, mistä materiaalista ja millä valmistusprosessilla osa valmistetaan. Materiaali- ja valmistusprosessit valitaan tietokantaan tallennetuista listoista. Ohjelmisto tarjoaa oletustietokannan materiaaleista, mutta mahdollistaa myös sinne säilöttyjen materiaalien arvojen muokkaamisen ja uusien materiaalien lisäämisen. Kullekin materiaalille on määritelty prosessit, joilla niitä voi työstää. Tämä tarkoittaa sitä, että väärää materiaali ja valmistusmenetelmä -yhdistelmää ei voida valita. Se myös helpottaa käyttäjää etsimään vaihtoehtoisia valmistusmenetelmiä. Prosessin ja materiaalin valinta sovelluksessa on esitetty kuvassa 5.2. Tietokannan kullekin materiaali ja valmistusmenetelmä -yhdistelmälle on määritelty useita kustannuksiin vaikuttavia arvoja, joita voidaan tarvittaessa muokata. Joillekin yhdistelmille näitä arvoja voi olla kymmeniä. Valumenetelmille näitä arvoja ovat muun muassa materiaalin hinta painoyksikköä kohden, materiaalin tiheys, muotin lämpötila ja kappaleen kokoon liittyvät rajoitteet. Koneistuksen tapauksessa puolestaan voidaan määrittää erilaisia operaatioita, joita materiaalille on mahdollista suorittaa. Kaiken kaikkiaan ohjelmisto tarjoaa mahdollisuuden kuvata materiaalin työstämisen kustannuksiin vaikuttavat tekijät yksityiskohtaisesti.



Kuva 5.2. Prosessin ja materiaalin valinta DFM Concurrent Costing sovelluksessa.

Näiden valintojen jälkeen ohjelmisto esittää käyttäjälle arvion kustannuksista, huolimatta siitä että tässä vaiheessa ei vielä tarkemmin ole määritelty kappaleen muotoa, valmistukseen käytettyä konetta tai muuta kustannuksiin liittyvää tietoa. Ohjelmisto tekee arvauksen tehtyjen valintojen ja oletusarvojen perusteella, mutta jättää käyttäjälle vapauden tarkentaa valmistusmenetelmän vaatimia tietoja. Vaaditut tiedot vaihtelevat valmistusmenetelmästä riippuen mutta tyypillisesti menetelmät vaativat joko kappaleen kuvaamista aihiolle suoritettujen operaatioiden kokoelmana tai kappaleen piirteiden kokoelmana. Esimerkki laserleikkausprosessin vaatimista tiedoista on esitetty kuvassa 5.3. Laserleikkausprosessin tarkennettavia tietoja ovat muun muassa asetusaikat, kappaleen dimensiot, reikien määrä, pintakäsittely, eräkoko ja hylkäämisprosentti. Koneistettaessa kappale puolestaan kuvataan työstämisessä käytettyjen koneiden suorittamien operaatioiden kokoelmana.

DFM Concurrent Costing 2.3 [C:\Program Files\Dfma\data\samples\Untitled0.dfm]

File Edit Analysis View Reports Graphs Tools Help

Generic low carbon steel sheet metal part
 Laser cutting process
 Cincinnati CL-6 Laser System
 Load and unload
 Laser cut operation

Basic data

Batch size: 187
 Overall plant efficiency, %: 85
 Material cost, \$/lb: 0.471
 Material scrap value, \$/lb: 0.05
 Gage thickness, in.: 0.188
 Automatic sheet size selection?
 Sheet size: 36 x 36 in.
 Part to part clearance, in.: 0.375
 Part to sheet edge clearance, in.: 0.375
 Parts along sheet length: 8
 Parts along sheet width: 8
 Parts per sheet: 64

Primary loading data

Crane primary loading:
 Crane operation time, s: 260
 Sheets loaded simultaneously: 1
 Sheets stacked: 1

Processing data

Cutting conditions: Best quality
 Cutting speed, in/min: 129.4
 Piercing time, s: 2.5

Primary unloading data

Unloaded as sheet:
 Crane primary unloading:
 Sheets unloaded simultaneously: 1

Part basic data

Unfolded length, in.: 4
 Unfolded width, in.: 4
 Length overlap, in.: 0
 Width overlap, in.: 0
 Mutually exclusive overlaps:

Laser cut data

Area of blank, in²: 16
 External cut perimeter, in.: 16
 Number of holes: 5
 Area of holes, in²: 2.847
 Perimeter of holes, in.: 10.21

Additional setups

Hole punching: 0
 Form feature punching: 0
 Combination punch operation: 0
 Die bend forming: 0
 Press brake: 0

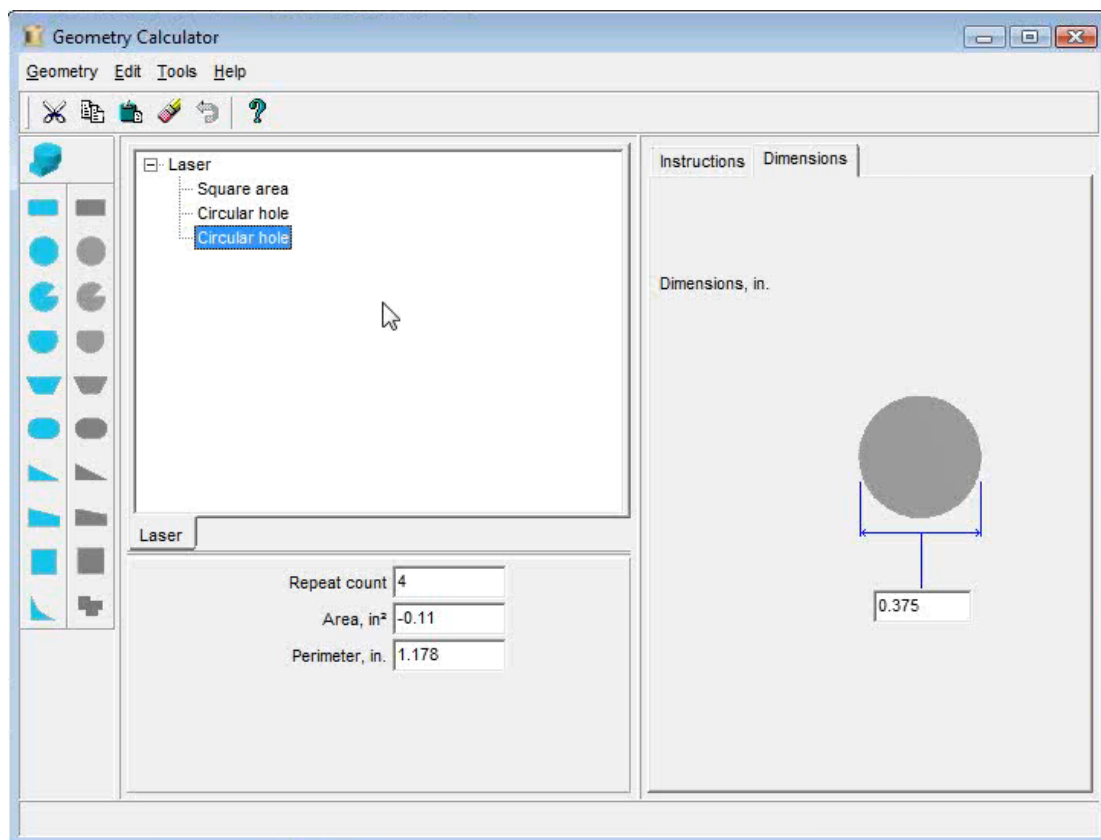
Cost results, \$

	Previous	Current
material	0.00	0.49
setup	0.00	0.13
process	0.00	1.24
rejects		0.01
piece part	0.00	1.87
tooling	0.00	0.00
total	0.00	1.87
Tooling investment	0	0

number of separate setups required to punch form features

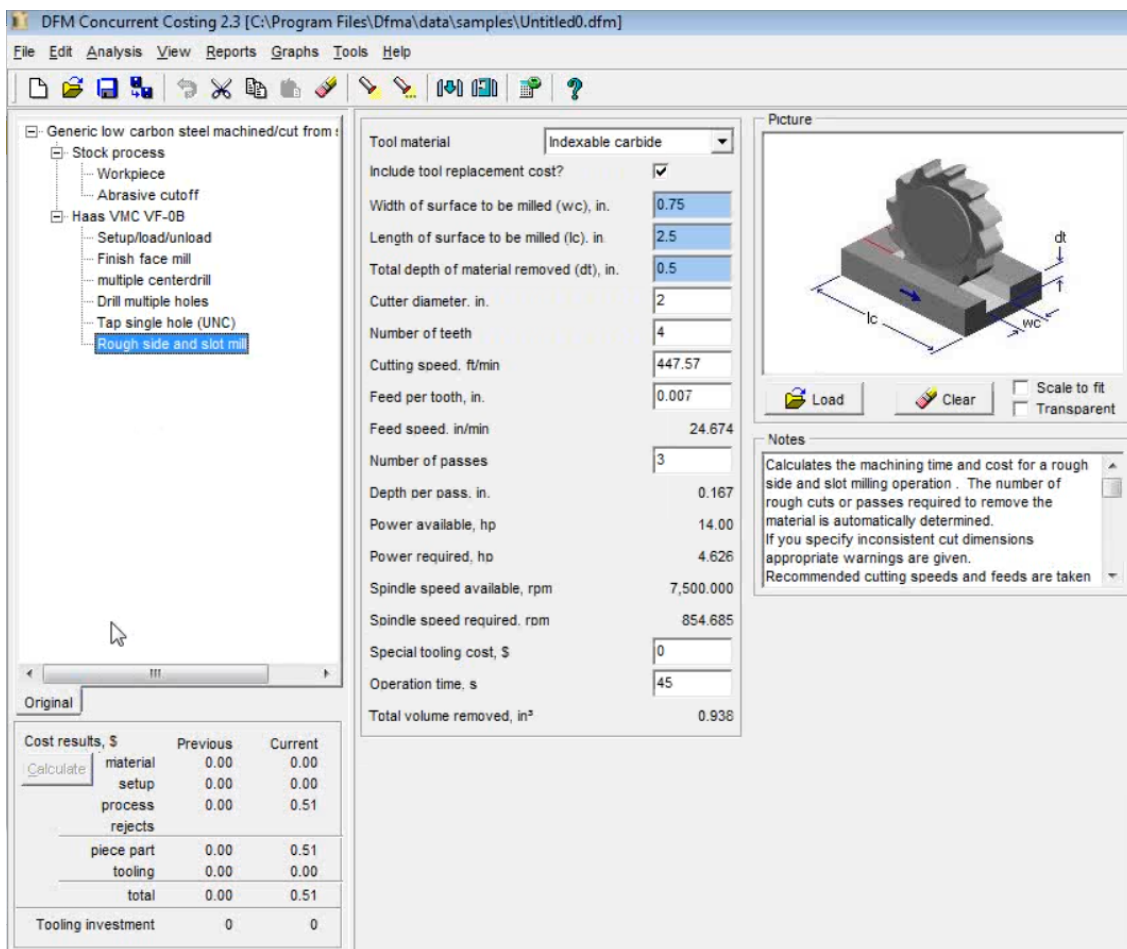
Kuva 5.3. Laserleikkausprosessin tietojen tarkentamisen näkymä DFMA Concurrent Costing sovelluksessa.

Vaikka ohjelmisto tuottaa arvion heti materiaali- ja valmistusmenetelmän valinnan jälkeen, realistisen arvion tuottamiseksi on tarkennettava vähintäänkin kappaleen piirteitä tai sen tuottamiseen vaadittavia operaatioita. Laserleikkausprosessissa tarkentamiseen on kaksi tapaa, joista ensimmäinen on muokata suoraan laserleikkausoperaatioon liittyvää tietoa kuten leikkausmatkaa ja reikien määrää. Toinen tapa on laskea nämä tiedot käyttämällä työkalua, jolla kappale kuvataan piirteiden kokoelmana. Työkalussa aluksi määritellään aihion muoto ja dimensiot. Tämän jälkeen aihioista poistetaan erilaisia muotoja, kuten reikiä, suorakulmioita ja niin edelleen. Kuvailut tiedot sisältyvät mekaniikkasuunnitteluohjelmien tuotemalleihin kappaleesta, mutta näitä ei ole mahdollista hyödyntää muuten kuin käsin syöttämällä. Kappaleen kuvailemiseen tarkoitettu työkalusta on esitetty näkymä kuvassa 5.4.



Kuva 5.4. Kappaleen kuvailuun tarkoitettu työkalu DFM Concurrent Costing sovelluksessa.

Piirteiden ja operaatioiden ohella arvion tarkkuuteen toinen suuresti vaikuttava tekijä on työstämiseen käytetyt koneet. Samoin kuin materiaaleista, myös koneista pidetään yllä tietokantaa. Ohjelmisto tekee oletuksena arvauksen koneesta, jota kappaleen työstämiseen käytetään perustuen koneille määriteltyyn prosessiluokkaan. Käyttäjän on mahdollista käyttää oletustietokannan koneita tai itse lisättyjä koneita. Kunkin koneen alle on tallennettu runsaasti sen käyttöön ja kustannuksiin liittyvää tietoa, kuten esimerkiksi hylkäysprosentti, eräko, käyttökustannukset, kuinka montaa konetta yksi käyttäjä voi samanaikaisesti käyttää, operaation suorittamisnopeus ja niin edelleen. Näiden avulla koneelle voidaan laskea käyttökustannusten lisäksi osaa kohden vaadittu aika. Kun kone on valittu, voidaan osaa sen tiedoista muokata vielä arvion yhteydessä, kuten asetus- ja työ kustannuksia. Kuten edellä esitettiin, joidenkin valmistusprosessien kohdalla koneiden alla kuvataan myös kappale operaatioina. Myös operaatioihin liittyy runsaasti muokattavaa informaatiota, kuten kuvasta 5.5 voidaan havaita.



Kuva 5.5. Koneen alle lisättyjen operaatioiden tietojen muokkaus DFM Concurrent Costing sovelluksessa.

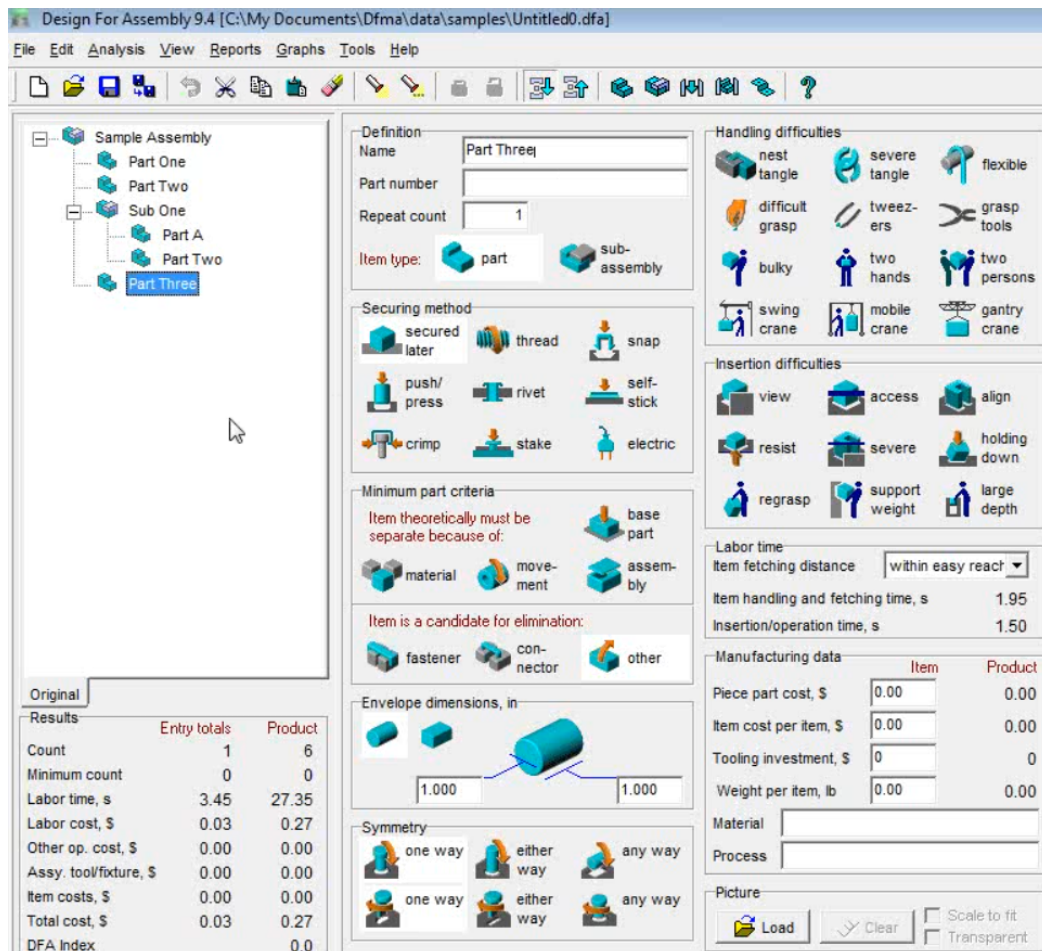
Kaiken kaikkiaan ohjelmisto vaatii valtavasti tietoa valmistettavasta kappaleesta, sekä tehdasympäristöstä, jossa se valmistetaan. Ohjelmisto tekee tietokantojen, käyttäjän valintojen ja kappaleen kuvailemisen perusteella oletuksia kappaleesta ja käytetyistä tuotantoprosesseista, jonka jälkeen käyttäjälle annetaan mahdollisuuden tarkentaa oletusten perusteella täytettyjä tietoja. Muokattavissa voi kaiken kaikkiaan olla jopa satoja kenttiä, joiden tietojen tarkkuudesta ei voida olla varmoja. Koska kaikki kentät ovat ennalta täytettyjä, käyttäjän voikin olla vaikea hahmottaa, mitä tietoja lopulta tulisi tarkentaa. Ohjelmisto kykenee hyödyntämään myös integraatiota mekaniikkasuunnitteluohjelmistoihin, mutta hyvin rajoitetusti. Käytännössä mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemalleista voidaan hakea ainoastaan kappaleen dimensiot, tilavuus, pintojen määrä ja kokonaispinta-ala. Muuta tuotemalliin liittyvää tietoa, kuten reikien määrää, toleransseja, materiaalivalintoja, särmien pituuksia ja niin edelleen ei hyödynnetä.

Sovelluksen käytön vaatima suuri työmäärä aiheutuu automaation puutteellisuuden lisäksi myös yksityiskohtaisten kustannusmallien vaatimasta valtavasta tietomäärästä. Tehdasympäristön kuvaus on kertaluontoinen tehtävä, vaikkakin sen tietojen ylläpitämisestä pitää tietysti huolehtia tarkkojen arvioiden takaamiseksi. Kappaleen tuottamiseen liittyvä tieto joudutaan kuitenkin suurilta osin syöttämään käsin jokaisen kappaleen

kohdalla ja valmistusmenetelmää vaihtaessa. Lisäksi kappaleen suunnitelman muuttuessa joudutaan vastaavat muutokset tekemään aina käsin sovelluksessa, mikä heikentää sovelluksen käyttökelpoisuutta suunnittelun kanssa rinnakkaisessa kustannusten arvioinnissa. Sovelluksen vaativa valtava yksityiskohtaisen tiedon määrä saattaa myös hankaloittaa suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutusten hahmottamista.

Tuotetusta kustannusarviosta voidaan tarkastella kappaleen kokonaiskustannuksia, tietyn koneen käytön kustannuksia tai vielä tarkemmin tietyn operaation kustannuksia. Kussakin tapauksessa kustannukset on jaoteltu materiaali-, asetus-, prosessi-, hylkäys- ja koneistuskustannuksiin. Operaatio- ja konekohtaisia kustannuksia voidaan tarkastella yksi kerrallaan valitsemalla kyseinen operaatio tai kone. Kappaleen kustannusrakenne esitetään kustannuslajeittain, jota voidaan tarkastella myös graafisten esitysten, kuten pylväsdiagrammin muodossa. Yksittäisten muutosten valmistusmenetelmissä, kuten vaihtoehtoisten toleranssien, materiaalien tai koneiden vaikutukset kustannuksiin on kuitenkin helppo havaita. Lisäksi materiaalien, tuotantoprosessien ja koneiden linkittäminen toisiinsa auttaa löytämään vaihtoehtoisia tapoja valmistaa tuote.

DFM Concurrent Costingin tavoin DFA Product Simplification koostaa kokoonpanon-työn kustannukset analyttisesti sen osien kustannuksista, sekä osien kokoamiseen vaikuttavista seikoista. Myös tämä ohjelmisto vaatii suuren määrän yksityiskohtaista tietoa. Kokoonpanokustannusten arvioinnin perustana toimii kuvaus tuoterakenteesta. Tuoterakenne voidaan kuvata käsin tai tuoda järjestelmään tekstitiedostosta. Haettu tieto käsittelee nimikkeiden nimet, sekä niiden suhteet toisiinsa. Kokoamistyöhön vaikuttavat seikat on kuvailtava kunkin nimikkeen osalta yksityiskohtaisesti. Näitä ovat esimerkiksi kiinnitystapa, käsittelyvaikeudet ja kokoamiseen vaadittavien työkalujen etäisyys kokoamispisteestä. Nimikkeiden ohella voidaan lisätä myös muita kokoonpanoelementtejä, kuten operaatioita ja kiinnityskappaleita. Eri elementeistä summatut kustannukset ja kokoamisaika näytetään lopulta kululajeittain. Sovellukset vahvuudet ja heikkoudet ovat suuresta yksityiskohtien määrästä ja kustannusten esitystavasta johtuen hyvin samankaltaisia kuin DFM Concurrent Costingin tapauksessa. Sovelluksen vaatiman yksityiskohtaisen tiedon määrää on havainnollistettu kuvassa 5.6.



Kuva 5.6. Osien kokoonpantavuuden kuvaaminen ja kustannusten arviointi DFA Product Simplification sovelluksessa.

5.3. aPriori

aPriori Product Cost Management ohjelmisto on Apriori yhtiön kehittämä 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmilla tuotettuja 3D-malleja hyödyntävä kustannusten arviointia suorittava työkalu. Ohjelmisto pyrkii automatisoimaan kustannusten arvioinnin siten, että kuka tahansa voi missä tahansa tuotteen elinkaaren vaiheessa arvioida kustannuksia nopeasti ja tarkasti. Yksityiskohtaisten kustannusarvioiden tuottamisella pyritään tukemaan kustannustietoista päätöksentekoa tuotekehityksessä, tuotannossa ja hankinnassa, sekä tunnistamaan mahdollisuuksia kustannusten alentamiseen. Työkalu sisältää runsaasti kustannusmalleja eri tuotantoprosesseille, ja puuttuvien tuotantoprosessien lisäys on mahdollista ainoastaan toimittajan tuottamana erillisenä palveluna.

Kustannusten arviointi työkalussa perustuu analyttisiin menetelmiin, tarkemmin ottaen piirrephjaisiin menetelmiin. Kappaleen kustannukset koostetaan sen piirteiden tuottamisesta aiheutuvien kustannusten ja aihion kustannusten summana. Tuotteen kustannusten arviointi alkaa lataamalla 3D-malli työkaluun, sekä määrittelemällä muutamia sen valmistamiseen liittyviä vaihtoehtoja. Ensimmäisenä valitaan prosessiryhmä, jolla kap-

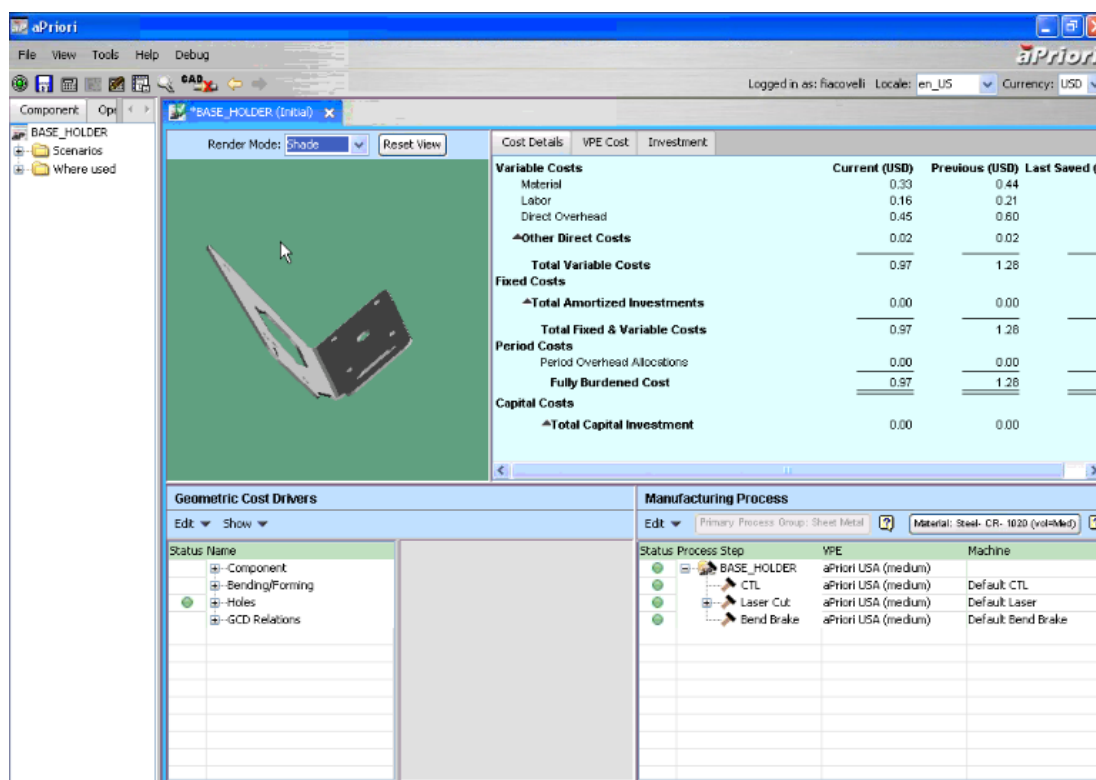
pale valmistetaan. Prosessiryhmiä on tarjolla useita kuten esimerkiksi ohutlevyprosessit, koneistus, metallin kuumamuokkaus, valaminen, pintakäsittely ja taonta. Kukin prosessiryhmä sisältää lukuisia malleja tuotantoprosesseista, jotka toimivat vaihtoehtoina piirteiden tuottamisessa. Esimerkiksi ohutlevyprosesseista löytyy erilaisia leikkausmenetelmiä, särmäys ja jäysteenpoisto. Kaikkia mahdollisesti tarvittavia tuotantoprosesseja tietokanta ei kuitenkaan sisällä ja ohutlevyprosessien tapauksessa esimerkiksi valssaus ja vesisuihkuleikkaus voidaan asiakaskohtaisesti lisätä erillisenä palveluna. Prosessimallit laskevat piirretietoon yhdistettynä automaattisesti prosessiin liittyviä fysikaalisia suureita, kuten yksittäiseen operaatioon kuluvaan aikaan tai materiaalin kulutusta.

Prosessiryhmän valinnan jälkeen kappaleelle valitaan virtuaalinen tuotantoympäristö. Tuotantoympäristöt kuvaavat tehdasta, jossa kappale valmistetaan. Työkalu tarjoaa käyttäjälle useita valmiita alueellisia tuotantoympäristöjä, joiden sisältämä informaatio perustuu tilastollisiin keskiarvoihin. Esimerkiksi työkustannusten osalta kullekin prosessiryhmälle on laskettu keskiarvo kyseiseltä alueelta. Alueellisten tuotantoympäristöjen tiedot päivitetään neljännesvuosittain. Tarkempien kustannusarvioiden tuottamiseksi tuotantoympäristöt tulisi kuitenkin muokata vastaamaan yrityksen ja sen toimittajien tehtaiden kustannusrakennetta ja voimavaroja. Tuotantoympäristöt sisältävät tietoa tuotantoprosesseista, koneista, koneiden kyvyistä ja rajoituksista, materiaaleista ja vaiheistuksista, sekä tehtaaseen liittyvistä työ- ja yleiskustannuksista. Tuotantoympäristön mahdollisten prosessien ja saatavilla olevien materiaalien määrittelyn sekä prosessiryhmävalinnan perusteella käyttäjälle esitetään mahdolliset materiaalit, joista osa voidaan tuottaa. Materiaalin valinnan jälkeen määritellään vielä vuosittainen tuotantomäärä ja kuinka monta vuotta kappaletta tuotetaan. Näillä tiedoilla työkalu pystyy luomaan kappaleen kustannuksista ensimmäisen arvion.

Kappaleen piirteisiin ja materiaaleihin liittyvä tieto voidaan poimia sen 3D-mallista. Työkalu tunnistaa mallista piirteitä ja luokittelee ne geometrisiin kustannusajureihin, joita voivat olla esimerkiksi kappaleen monimutkaisuus, taitokset, reiät, toleranssit, pintojen karkeudet, paino ja niin edelleen. Tämän jälkeen työkalu laskee geometristen kustannusajureiden ja muiden kappaleeseen liittyvien tietojen, kuten materiaalin, prosessiryhmän, tuotantoympäristön ja tuotantomäärien, perusteella vaatimukset prosessille ja koneille. Näin työkalu pystyy määrittelemään mahdolliset vaihtoehdot prosesseille ja koneille, joilla kappale voidaan valmistaa. Tämän jälkeen eri vaihtoehtojen kustannukset lasketaan ja niistä valitaan automaattisesti oletukseksi edullisin. Valmistusprosessin vaiheet on esitetty askel kerrallaan. Kullekin askeleelle voidaan oletusvaihtoehdon sijasta valita manuaalisesti kone, jolla operaatio suoritetaan. Myös prosesseja voidaan muuttaa manuaalisesti esimerkiksi valitsemalla 3D-mallista piirteitä ja määrittämällä valmistusprosessin. Tuotantoympäristö sisältää tietoa mahdollisista vaiheistuksista, jotka esitetään käyttäjälle erillisessä näkymässä niihin liittyvien kustannusten suuruuden mukaan järjestettynä. Vaiheistukset perustuvat tuotantoympäristöön määriteltyihin sääntöihin. Vaiheistusnäkyvästä voidaan myös määritellä 3D-mallista ilmi käymättömiä tuotantoympäristöön määriteltyjä prosesseja kuten pintakäsittelyjä. Näihin prosesseihin liittyen

voidaan tehdä vielä tarkempia kustannuksiin vaikuttavia valintoja, jos sellaisia on niille määritetty. Esimerkiksi maalauksen tapauksessa voidaan määrittää onko kyseessä pintamaali tai käytetäänkö maalauksessa lisäaineita ja mitkä ovat niiden kustannukset.

Lopulta arvioidut kustannukset kappaleelle esitetään jaoteltuna muuttuviin kustannuksiin, kiinteisiin kustannuksiin ja yleiskustannuksiin, joiden summana kokonaiskustannukset kappaleelle muodostuvat. Muuttuvien kustannusten alle on asetettu materiaali-kustannukset, työkustannukset, suorat yleiskustannukset ja muut suorat kustannukset. Kiinteiden kustannusten alle on sijoitettu koneistuskustannukset. Erillisinä kokonaiskustannuksista esitetään lisäksi koneistuskustannukset kokonaisuudessaan, eli koneistus-kustannukset kerrottuna tuotteen kokonaisvalmistusmäärällä. Arvion yhteydessä näy-tetään myös edellinen tehty arvio. Arvioita voidaan tallentaa ja näyttää nykyisen kustan-nusarvion yhteydessä, mikä helpottaa vertailua. Tuotetusta kustannusarviosta on esitetty näkymä kuvassa 5.7. Vertailujen yhteydessä visualisoidaan myös vihreällä tai punaisella nuolella ovatko kyseisen kululajin kustannukset laskeneet vai nousseet. Tämä näkymä voidaan esittää myös tuettujen mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen yhteydessä kuvassa 5.8 esitettyssä muodossa.



The screenshot shows the aPriori software interface. The main window displays a 3D model of a mechanical part on the left and a cost breakdown table on the right. The table is titled 'Cost Details' and shows various cost categories and their values in USD. Below the table, there are two sections: 'Geometric Cost Drivers' and 'Manufacturing Process'.

Cost Category	Current (USD)	Previous (USD)	Last Saved (USD)
Variable Costs			
Material	0.33	0.44	
Labor	0.16	0.21	
Direct Overhead	0.45	0.60	
Other Direct Costs	0.02	0.02	
Total Variable Costs	0.97	1.28	
Fixed Costs			
Total Amortized Investments	0.00	0.00	
Total Fixed & Variable Costs	0.97	1.28	
Period Costs			
Period Overhead Allocations	0.00	0.00	
Fully Burdened Cost	0.97	1.28	
Capital Costs			
Total Capital Investment	0.00	0.00	

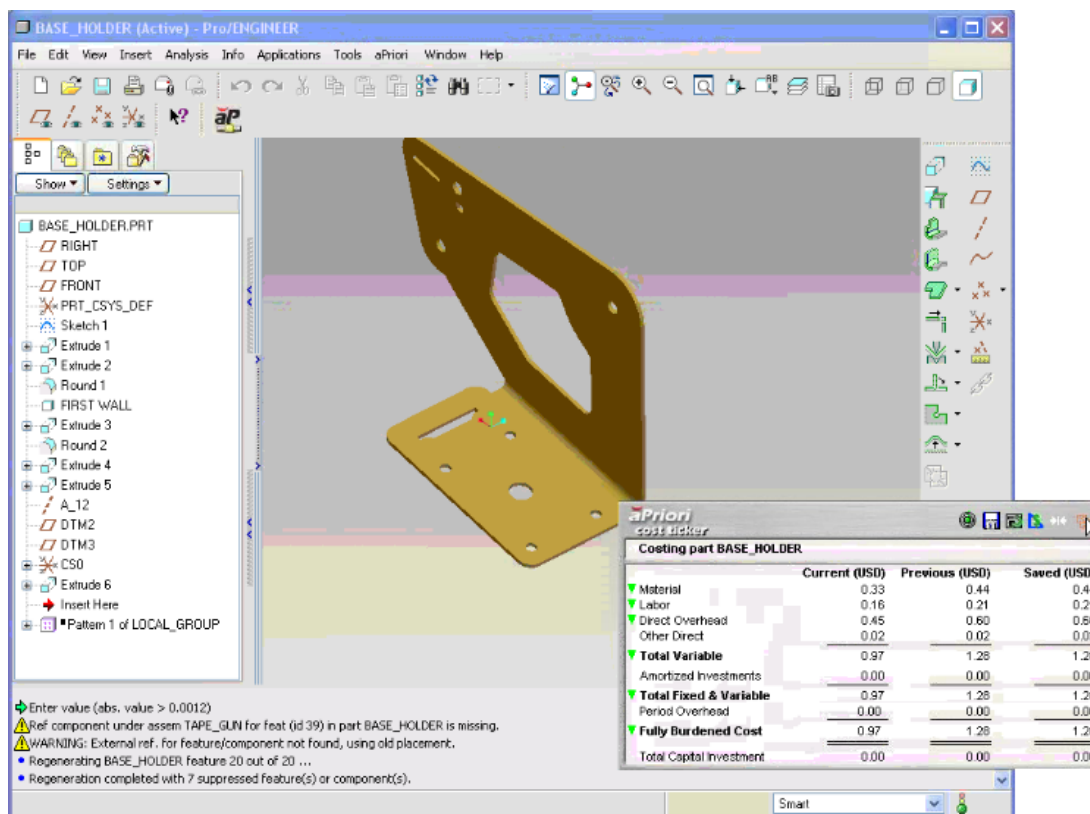
Geometric Cost Drivers

Status	Name
[-]	Component
[-]	Bending/Forming
[+]	Holes
[-]	GCD Relations

Manufacturing Process

Status	Process Step	YPE	Machine
[+]	BASE HOLDER	aPriori USA (medium)	
[+]	CTL	aPriori USA (medium)	Default CTL
[+]	Laser Cut	aPriori USA (medium)	Default Laser
[+]	Bend Brake	aPriori USA (medium)	Default Bend Brake

Kuva 5.7. Kustannusarvio aPriori työkalun yhteydessä.



Kuva 5.8. aPriori työkalun tuottama kustannusarvio mekaniikkasuunnitteluohjelmiston yhteydessä esitettyä.

Yksittäisien osien kustannusten lisäksi voidaan työkalulla arvioida ja tarkastella myös kokoonpanojen kustannuksia. Tällöin edellä esitetyt kustannuslajit ja osat kokoonpanon komponentit ovat taulukoitu. Kokoonpanotyö on yksi kokoonpanon komponenteista, jonka tuotantoprosessiryhmä on tyyppiä kokoonpanoprosessi. Taulukkoa voidaan järjestää eri tavoilla, kuten esimerkiksi tietyn kustannuslajin mukaan tai osan tuotantoympäristön mukaan. Kokoonpanosta voidaan myös helposti valita yksittäisiä osia tai osaryhmiä ja tehdä niihin muutoksia. Koska osa kokoonpanon komponenteista voi olla alihankittuja tai niiden kustannukset tunnetaan jo ennestään, työkalu mahdollistaa myös kustannusten määrittämisen osille manuaalisesti. Tällöin kustannukset syötetään suoraan kululajeittain.

Tuotetulla kustannusinformaatiolla voi olla useita tarkkuustasovaatimuksiltaan erilaisia käyttötarkoituksia. Suunnitellessa osaa saattaa riittää tietää miten eri suunnitteluvaihtoehdot vertautuvat toisiinsa. Tällöin tarkat kustannusarviot eivät ole tarpeellisia. Toisaalta tarjouspyyntöön vastatessa tulisi omia kustannuksia pystyä arvioimaan hyvinkin tarkasti. Työkalun tuottamien kustannusarvioiden tarkkuus riippuu siitä kuinka tarkasti kuvatut tuotantoympäristöt kuvaavat tehdasta. Tuotantoympäristöjen kuvaus vie kuitenkin aikaa ja joskus voi olla järkevämpää käyttää arvoja, jotka tuottavat tarpeeksi lähellä olevan tuloksen. Niinpä työkalu mahdollistaa olemassa olevien alueellisten tuotantoympäristöjen muokkaamisen niiltä osin kuin se nähdään tarpeelliseksi. Työkalun toiminnan logiikkaan muutoksia voi tehdä ainoastaan järjestelmän toimittaja, joten esimerkiksi

vaiheistuslogiikan muokkaaminen on mahdollista ainoastaan yhteistyössä toimittajan kanssa. Prosessivalikoimaan lisäyksiä voi samoin tehdä vain toimittaja, mutta käyttäjällä on mahdollisuus määrittää mitkä näistä prosesseista kussakin tuotantoympäristössä on käytössä. Käyttäjällä on lisäksi mahdollisuus muuttaa materiaalivaihtoehtoja ja -kustannuksia, lisätä koneita ja työkaluja sekä muokata niiden fyysisiä ominaisuuksia, rajoitteita ja kustannuksia.

Tuotantoympäristön tarkka kuvaaminen on kertaluontoinen tehtävä, mutta kuvausta on luonnollisesti päivitettävä muutosten seurauksena. Kun muutokset on tehty, voidaan uudet arviot tuottaa uudella tuotantoympäristöllä nopeasti. Työkalu voidaan integroida useiden mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen yhteyteen. Mekaniikkasuunnitteluohjelmistossa voidaan nappia painamalla arvioida kappaleen kustannukset uudelleen siihen kohdistuneiden muutosten jälkeen. Tällöin kustannusten arviointi tapahtuu kuitenkin käyttämällä automaattisesti valittuja prosesseja ja koneita. Jos vaiheistuksia, prosessitai konevalintoja halutaan muokata, on suunnitelma aukaistava itse työkalussa. Lisäksi mekaniikkasuunnitteluohjelmiston yhteydessä kustannukset esitetään vain kustannuslajeittain. Työkalua voidaan käyttää myös ilman mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa. Tämän vuoksi esimerkiksi toimittajien suunnitelmia voidaan arvioida vaikka he käyttäisivätkin eri suunnitteluohjelmaa ja myös muilla osapuolilla, kuin mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen käyttäjillä, on mahdollisuus vaikuttaa kustannuksiin. Muutosten kustannusvaikutuksia on siis mahdollista tarkastella arvioimalla kustannukset uudelleen. Työkalu ei kuitenkaan tarjoa mahdollisuutta tarkastella sitä mistä kustannukset lopulta muodostuvat. Tuotteen piirteiden vaikutusta ei esitetä käyttäjälle lainkaan, vaikka kustannukset juuri piirteiden perusteella arvioidaankin. Myöskään erillisten prosessien, operaatioiden tai koneiden aiheuttamia kustannuksia ei voida tarkastella. Kappaleen kustannusrakenne on siten mahdollista ymmärtää ainoastaan suunnittelumuutosten vaikutusten kautta kokonaiskustannuksiin ja kululajeihin.

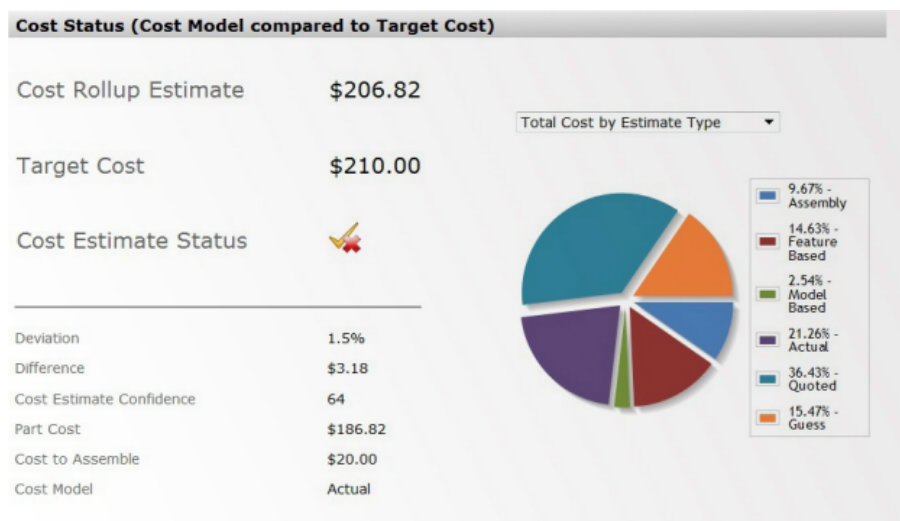
Työkalun avulla saman kappaleen tai kokoonpanon eri suunnitteluvaihtoehtojen kustannuksia voidaan helposti vertailla. Samoin voidaan vertailla myös kappaleen kustannuksia eri tuotantoympäristöissä, tuotantoprosesseilla, koneilla, vaiheistuksilla tai materiaaleilla valmistettuna. Muutoksen jälkeen kustannukset voidaan arvioida uudestaan lähes viiveettä. Työkalu mahdollistaa myös muutosten tekemisen joukkoon osia ja joukon osien kustannusten kerralla arvioimisen. Tämä nopeuttaa osien löytämistä, jotka voisivat todennäköisesti hyötyä muutoksista niiden valmistuksessa. Potentiaalisten kustannusten alentamisen toimenpiteiden kohteiden löytämistä pyritään työkalussa helpottamaan myös järjesteltävien taulukoiden avulla. Taulukon avulla voidaan vertailla miten tiettyjen osien kustannukset vertautuvat samankaltaisten osien keskiarvoon nähden. Voidaan esimerkiksi vertailla osan kustannusta sen massaan nähden tai sen monimutkaisuuteen nähden. Jos kustannus poikkeaa merkittävästi keskiarvosta, voi tarkempi tarkastelu olla paikallaan. Työkalu siis luo regressiomalleja kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamista varten. Työkalulla voidaan myös nopeasti verrata suurien osajoukkojen arvioituja kustannuksia verrattuna niiden historiallisiin kustannuksiin, jos tämä

tieto on saatavilla. Potentiaalista kustannusten alentamisen vaikutusta voidaan arvioida kertomalla ero osan tuotantomäärällä. Taulukkoja voidaan käsitellä myös taulukkolaskentaohjelmilla, mikä mahdollistaa esimerkiksi graafisten esitysten luomisen. Taulukossa esitetään myös tavoitekustannukset jos sellaisia on asetettu, jolloin kustannusten alentamisen toimenpiteitä on helpompi priorisoida.

5.4. Windchill Cost

Windchill Cost on osa PTC:n (Parametric Technology Corporation) Windchill tuotetiedonhallinnan järjestelmää. Tarkemmin ottaen se on osa järjestelmän Product Analytics moduulia, joka tarjoaa ratkaisuja vaatimusten, suorituskyvyn ja riskien hallintaan. Windchill Cost mahdollistaa kustannusinformaation liittämisen osaksi päätöksentekoa tuotekehityksen aikaisissa vaiheissa, kun tuote on jatkuvassa muutoksessa ja muutosten vaikutusta kustannuksiin on vaikea hahmottaa. Tämä tapahtuu tukemalla tavoitekustannusten ja kustannusarvioiden seuraamista ja kommunikointia, sekä kustannusarvioiden tuottamista. Järjestelmän hyödyntää asemaansa tuotetiedon välittäjänä eri ohjelmistojen ja henkilöiden välillä, mutta on samalla riippuvainen muualla tuotetusta tiedosta.

Windchill Costiin liittyvä kustannusarvioiden tuottaminen perustuu analyttisiin menetelmiin. Tuoterakennetta hyödyntäen voidaan kokoonpanotuotteen ja sen eri konfiguraatioiden kustannuksista muodostaa arvio summaamalla siihen kuuluvien nimikkeiden kustannukset yhteen. Järjestelmä arvioi ainoastaan kokoonpanojen kustannuksia ja alemman tason nimikkeiden kustannukset on haettava jostain toisesta järjestelmästä tai syötettävä käsin. Nimikkeiden kustannusten summaamisen lisäksi arviota tehdessä kokoonpanolle on mahdollista syöttää kokoonpanokustannus, joka lisätään summaan. Lisäksi arvioita luodessa voidaan syöttää tuotantomäärä, mutta tätä informaatiota ei käytetä arvioinnissa. Arviointimenetelmä on siis hyvin yksinkertainen toiminnallisuudeltaan ja sen käyttökelpoisuus on riippuvainen järjestelmän ulkopuolella tuotetuista kustannusarvioista. Tuotetusta arviosta on esitetty näkymä kuvassa 5.9.



Kuva 5.9. Windchill Cost sovelluksessa tuotettu kokoonpanon kustannusarvio.

Ulkopuolisia kustannusarvioita voidaan yhdelle nimikkeelle tallentaa useita. Nimikkeelle tallennettu kustannusarvio voi perustua siten esimerkiksi eri tuotantomenetelmiin, tuotantoympäristöihin tai eri arviointimenetelmään. Tämä mahdollistaa erilaisten kustannusmallien valinnan kokoonpanoja arvioitaessa. Kustannusmallin valinta käytännössä määrittää minkä tyyppisiä kustannusarvioita osille valitaan, kun kokoonpanon kustannuksia koostetaan. Kustannusmalliksi voidaan valita esimerkiksi malli, joka käyttää ensisijaisesti piirreperohjaisen menetelmän avulla tuotettuja arvioita. Jokin osan arvioista määritellään myös oletusarvoksi tilanteita varten, joissa ensisijaista arviota ei ole saatavilla osalle. Kustannusmallit ovat siis tapa tarvittaessa priorisoida tietyn tyyppisten ennusteiden käyttöä kustannusten koostamisessa. Esimerkki nimikkeen vaihtoehtoisista kustannusarvioista ja niiden yhteyteen tallennetuista tiedoista on esitetty kuvassa 5.10.

Cost Estimates				
Cost Estimate Status	✖	✓	✓	✓
Estimate Type	ERP Planned Cost	Forecast 2012	Guess	Quoted
Target Cost	\$7.50	\$7.50	\$7.50	\$7.50
Cost Estimate	\$8.00	\$6.00	\$4.50	\$7.50
Deviation	6.7%	20.0%	40.0%	0.0%
Difference	\$0.50	\$1.50	\$3.00	\$0.00
Primary	false	false	false	true
Confidence(1-100)	90	90	32	100
Owner	jse	jse	sscheib	sscheib

Kuva 5.10. Nimikkeelle tallennettuja vaihtoehtoisia kustannusarvioita Windchill Cost sovelluksessa.

Windchill Cost mahdollistaa myös erilaisten konfiguraatioiden kustannusten nopean arvioinnin tuoterakennetta hyödyntäen. Konfiguraatioiden tulee kuitenkin perustua tuotteen vaihtoehtoisiin tuoterakenteisiin, eli modulaarisiin konfiguraatioihin. Jos tuotteessa on sellainen osa, jonka jotain kustannusten kannalta merkittävää ominaisuutta voidaan portaattomasti muokata, ei kustannusten arviointi onnistu. Esimerkiksi kirjan painami-

sen kustannukset riippuvat sivumäärästä muiden seikkojen ohella. Ei ole mielekästä tallentaa jokaiselle sivumäärälle omaa kustannustaan, vaan nimikkeiden ominaisuuksia on oltava mahdollista muokata. Lisäksi niihin on voitava liittää kustannusmalleja, jotka käyttävät kustannusten muodostamiseen portaattomasti vaihtelevia ominaisuuksia. Eri-laisten konfiguraatioiden vertailu kuitenkin onnistuu, kunhan nimikkeiden kustannukset ovat tiedossa.

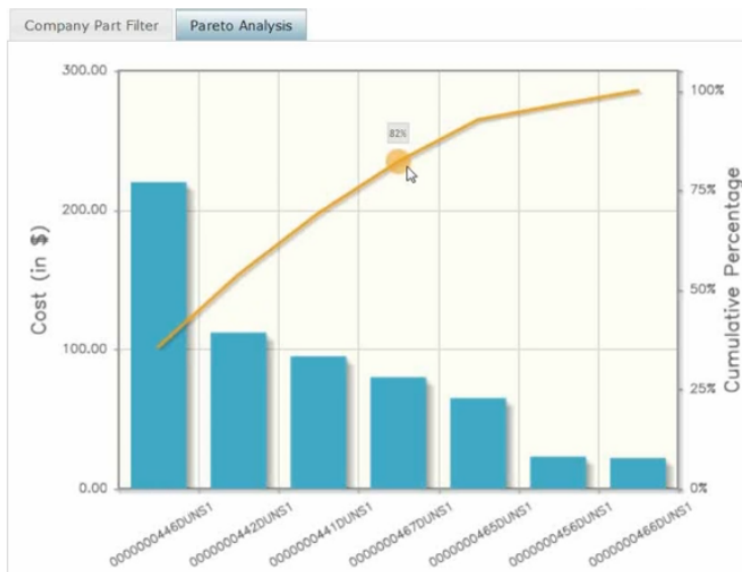
Koska kokoonpanojen kustannusarvioiden tekeminen perustuu olemassa olevien arvioiden hyödyntämiseen, vanhenevat ne komponenttien arvioiden vanhetessa. Käytettyjen arvioiden ajantasaisuudesta ja laadusta huolehtiminen eivät kuulu järjestelmän tehtäviin, mikä tekee siitä riippuvaisen muualla tuotetusta tiedosta. Kun kokoonpanon komponentissa tapahtuu muutos, täytyy sen kustannukset arvioida uudelleen ennen kuin kokoonpanon kustannuksia voidaan arvioida. Jos tuoterakennetta sen sijaan muokataan, voidaan uusi arvio muodostaa, kunhan jokaisesta komponentista on olemassa arvio. Tästä syystä järjestelmä sopiikin parhaiten sellaiseen ympäristöön, jossa arvioiden tuottaminen ja ylläpitäminen ei ole ongelma, vaan ennemminkin niiden kommunikointi poikiorganisatorisesti.

Järjestelmästä löytyy toiminnallisuutta myös osatasoa tarkempaan kustannusten kommunikointiin. Sen lisäksi, että käyttäjä voi hahmottaa, miten kokoonpanon kustannukset kertyvät eri nimikkeistä, voidaan yksittäisten nimikkeiden kustannuksia tarkastella tarkemmin. Windchill Cost mahdollistaa kustannusten erittelemisen kullekin kustannusarviolle. Käytännössä tämä tarkoittaa, että arvioiden yhteyteen voidaan tallentaa lista kustannuselementeistä. Käyttäjä voi vapaasti luoda elementtien tyyppejä, ja niitä voivat olla esimerkiksi työ-, materiaali- ja yleiskustannukset. Tämänkin toiminnallisuuden tarkoituksena on tehdä kustannuksia läpinäkyvämmäksi organisaatiossa. Esimerkki kustannusten esittämisestä kustannuselementeittäin on esitetty kuvassa 5.11.



Kuva 5.11. Kustannusten esittäminen kustannuselementeittäin.

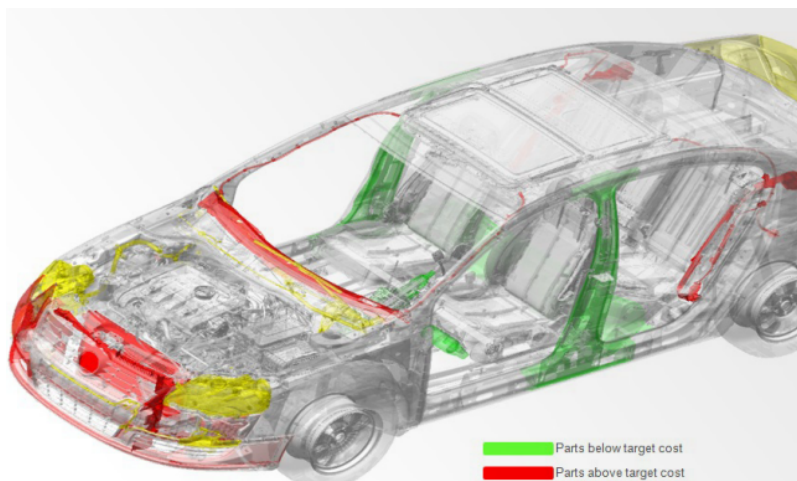
Tuotteen kustannusrakenteen esittämiseen ja kustannusajurien tunnistamiseen voidaan listojen lisäksi käyttää myös graafisia esityksiä. Osan elementtien kustannuksia voidaan esimerkiksi tarkastella kustannustyypeittäin pylväsdiagrammina, jolloin kustannusajurit on helpompi havaita. Kokoonpanon kustannusarviota tarkastellessa arvion muodostuminen voidaan esittää ympyrädiagrammissa jaoteltuna käytettyihin arviotyyppeihin. Näin voidaan esimerkiksi havaita kuinka suuri osuus arvion kustannuksista on historiallista tietoa, kuinka suuri asiantuntijan arvioon perustuvaa tietoa ja niin edelleen. Näin kustannusarviota tehdään läpinäkyvämmäksi sen käyttäjälle, joka voi siten paremmin huomioida päätöksessään siihen liittyviä riskejä. Kustannusarviota voidaan tarkastella myös Pareto-analyysin muodossa. Pareto-analyysissä osakohtaiset kustannukset kerrotaan osien määrällä kokoonpanossa, jonka jälkeen osat järjestetään pylväsdiagrammiin niiden aiheuttamien kustannusten suuruuden mukaan. Tällöin voidaan tarkastella graafisesti mitkä osatyypit aiheuttavat suurimman osan kustannuksista. Pareto analyysistä on esitetty esimerkki kuvassa 5.12.



Kuva 5.12. Kokoonpanolle tuotettu Pareto-analyysi Windchill Cost sovelluksessa.

Komponentin kustannusarviota järjestelmään lisättäessä, on sen yhteyteen mahdollista tallentaa tietoa siitä, kuinka luotettava arvio on asteikolla nolasta sataan. Näin arvioiden riskeihin liittyvää tietoa saadaan kommunikoitua myös sen käyttäjälle. Jos puolet kokoonpanon kustannuksista käyttää hatarin perustein suunnittelun alkuvaiheessa tehtyä arvausta, ei arvion luotettavuus ole kovin korkea. Arvioille lasketaan luotettavuus painotetun keskiarvon avulla. Painotus perustuu osakohtaisten arvioiden luotettavuuteen sekä osan kustannusten suhteelliseen osuuteen arviossa. Riskejä voidaan tarkastella luvun lisäksi myös graafisesti tuotteen 3D-mallissa esitettynä.

3D-mallilla voidaan havainnollistaa myös tavoitekustannusten tilaa. Osien ja kokoonpanojen arvioiden yhteyteen on mahdollista tallentaa myös tavoitekustannuksia. Kokoonpanon osat esitetään eri väreillä 3D-mallissa riippuen siitä, miten niiden kustannusarviot vertautuvat tavoitekustannukseen. Tavoitteen alittavat osat voidaan esimerkiksi esittää vihreällä ja tavoitteeseen pääsemättömät punaisella. 3D-mallin hyödyntäminen tavoitekustannusten seurannassa on myös tapa kommunikoida tietoa eri osapuolille ymmärrettävämmässä muodossa. 3D-malliin liittyvä ominaisuus toimii kuitenkin vain PTC:n Creo Elements View sovelluksen kanssa, eikä esimerkiksi muiden tuotetiedon hallinnan järjestelmien osien tai mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen kanssa. Arvioitujen kustannusten ja tavoitekustannusten esittämistä 3D-mallin yhteydessä on havainnollistettu kuvassa 5.13.



Kuva 5.13. Riskien esittäminen tuotteen 3D-mallia hyödyntäen.

Eräs järjestelmän vahvuuksista on sen käyttämisen helppous kustannuksia tarkastellessa. Kokoonpanoihin ja osiin liittyviin kustannusarvioihin voidaan nopeasti porautua syvemmälle. Kokoonpanon kustannusarvion aukaistua nähdään mistä kokoonpanon kustannusrakenne ja luottamus arvioon esitettyä sekä lukuina, että graafisesti. Valittaessa yksi näistä osista, avataan kyseisen osan tarkempi kustannusarvio. Tätä kustannusarviota voidaan puolestaan tarkastella esimerkiksi Pareto-analyysin avulla. Koska järjestelmä on osa tuotetiedon hallinnan järjestelmää, nähdään lisäksi helposti missä muissa kokoonpanoissa osaa käytetään. Siten voidaan paremmin hahmottaa mihin muihin kokoonpanoihin mahdollinen muutos osassa vaikuttaa. Lisäksi kun kustannusinformaatiota säilytetään tuotetiedonhallinnan järjestelmän yhteydessä, on se helposti saatavilla kaikille järjestelmän käyttäjille. Tavoitekustannusten saavuttamisen seuranta helpottaa myös muutosten hallinnan ylläpitämää historiatieto. Kokoonpanojen ja komponenttien kustannusten kehitystä voidaan tarkastella viivadiagrammissa aika-akselille sijoitettuna.

5.5. Arena

Arena on Arena Solutions yhtiön kehittämä tuotetiedonhallinnan järjestelmä. Tässä yhteydessä tarkastellaan ainoastaan järjestelmän kustannusinformaation tuottamiseen ja välittämiseen liittyviä ominaisuuksia. Kustannusinformaation mukaan ottamisella tuotetiedonhallinnan järjestelmään pyritään tekemään jatkuvassa muutoksessa olevan tuotteen kustannukset läpinäkyviksi koko tuotteen elinkaaren aikana. Järjestelmä arvioi automaattisesti kokoonpanojen kustannukset ja ylläpitää arvioita, sekä mahdollistaa kokoonpanojen kustannusrakenteen tarkemman tarkastelun.

Arviointi järjestelmässä perustuu nimikkeille tallennettavaan kustannusinformaatioon, josta kokoonpanon kustannukset koostetaan. Kullekin nimikkeelle voidaan tallentaa useita kustannusvaihtoehtoja. Vaihtoehdot voivat olla tarjouksia nimikkeen toimittajilta, toteutuneita kustannuksia tai yrityksen itse lisäämiä arvioita nimikkeen kustannuksista. Näistä vaihtoehdoista valitaan prototyypituotteen ja tuotantoon edenneen tuotteen ar-

vioinnissa käytettävät kustannukset. Prototyypituotteen ja tuotantoon edenneen tuotteen arviointi eroaa ainoastaan siltä osin, kumpaa valituista kustannusvaihtoehdoista käytetään. Esimerkki käytettävien kustannusten valinnasta nimikkeelle tilanteessa jossa vaihtoehtoja on useita on esitetty kuvassa 5.14.

The screenshot shows the Arena software interface for item #4C0-1052, a 0.1uF Ceramic Chip Capacitor, 0603. The interface includes a navigation bar, a search bar, and a main table for cost estimation. The table has columns for #, Vendor, Manufacturer, Proto, Prod, Min Qty, Max Qty, Lead Time, Cost, Show Bought, Notes, and Commands. The 'Prod' column is highlighted in yellow, and the 'DIGIKEY' vendor is selected for production.

#	Vendor	Manufacturer	Proto	Prod	Min Qty	Max Qty	Lead Time	Cost	Show Bought	Notes	Commands
Estimated Costs											
01	Avnet, Inc p ...	Kemet p ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	4,000		2 Weeks	\$0.012/each			Purchase Edit Quotes Request Quote
	Kemet C0603C104M3VACTU p <i>Approved</i>	C0603C104M3VACTU p									
02	DIGIKEY p ...	Kemet p ...	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	4,000		1 Days	\$0.011/each			Purchase Edit Quotes Request Quote
	399-1101-2-ND p <i>Approved</i>	C0603C104M3VACTU p									
03	DIGIKEY p ...	Panasonic Components p ...	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	100		5 Days	\$0.1783/each			Purchase Edit Quotes Request Quote
	PCC1762TR-ND p <i>Approved</i>	ECJ-1VB1C104K p	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	4,000		5 Days	\$0.059/each			Purchase Edit Quotes Request Quote
04	Kemet p ...		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	4,000,000		7 Days	\$0.00002/each			Purchase Edit Quotes Request Quote
	C0603C104M3VACTU p 1000 each (used) per each (bought) <i>Approved</i>										
05	MIT Distributors p ...	Panasonic Components p ...	There are no quotes associated with the Vendor Item in this Source Relationship.								Purchase Edit Quotes Request Quote
	4C0-1052 p <i>Approved</i>	ECJ-1VB1C104K p									
06	Mouser Electronics p ...	Kemet p ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	1		1 Days	\$0.07/each			Purchase
	80-C0603C104M3V p <i>Approved</i>	C0603C104M3VACTU p	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	500		2 Weeks	\$0.054/each			Edit Quotes
			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	1,000		2 Weeks	\$0.02/each			Request Quote
			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	4,000		2 Weeks	\$0.011/each			
			<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	8,000		2 Weeks	\$0.01/each			

Buttons at the bottom: [Set Active Costs](#), [Clear Active Prod Cost](#), [Clear Active Proto Cost](#)

Kuva 5.14. Käytettävien kustannusten valinta nimikkeelle Arena järjestelmässä.

Kokoonpano on niin ikään nimike ja sille voidaan valita kustannus. Kokoonpanoa voidaan siten ollen käsitellä järjestelmässä kuin se olisi tuoterakenteen alimman tason nimike. Näin voidaan toimia esimerkiksi tilanteessa, jossa jokin alikokoonpano alihankitaan suoraan toimittajalta. Toisinaan kokoonpanon nimikkeet on kuitenkin järkevämpää koostaa siihen kuuluvien nimikkeiden kustannuksista. Alimmalla tasolla yksittäisten nimikkeiden kustannukset ovat käyttäjän suoraan tekemiä valintoja. Seuraavalla tasolla alikokoonpanoon kuuluvien nimikkeiden kustannukset lasketaan yhteen. Valinnasta riippuen mukaan voidaan laskea joko ainoastaan alikokoonpanon alle kuuluvat nimikkeet tai sisällyttää myös itse alikokoonpano nimikkeen kustannukset. Jälkimmäisessä

tapauksessa alikokoonpanonimikkeelle voidaan tallentaa esimerkiksi sen kokoamistyön kustannukset. Näin laskettua kustannusta voidaan puolestaan käyttää seuraavan tason nimikkeen kustannuksia selvittäessä, kunnes on saavutettu kokoonpano, jonka kustannukset haluttiin selvittää. Kokoonpanon kustannusten selvittämisen vaihtoehtoista ja nimikkeen yhteyteen tallennettavasta muusta kustannusinformaatiosta on esitetty näkymä kuvassa 5.15.

Price This Item is not resold to customers.
 This Item is resold to customers for:

Target Cost (1.99)
 This is the target cost of procuring this Item.

Standard Cost (1.99)
 This is the cost used for inventory valuation and accounting purposes.

Cost Calculation Method **Rolled Up**
 The total of the Current Costs of all the Items in this Item's BOM.
 Quoted
 The costs in the selected lines from the Quotes or Purchases Subview
 Rolled Up + Quoted
 The sum of the Rolled Up costs and Quoted costs.

Current Prototype Cost: \$5.53385/each (\$5.53385 Rolled Up + \$0.00 Quoted)
 Current Production Cost: \$4.45/each (\$4.45 Rolled Up + \$0.00 Quoted)

Kuva 5.15. Myyntihinnan, tavoitekustannusten ja standardikustannusten asettaminen sekä laskentatavan valinta Arena järjestelmässä.

Sen lisäksi että nimikkeille voidaan laskea kustannuksia, voidaan niille halutessa asettaa myös myyntihinta, tavoitekustannus ja standardikustannus. Näiden kenttien perusteella nimikkeelle lasketaan vielä automaattisesti kateprosentti tavoitekustannuksiin päästessä ja standardikustannuksilla. Standardikustannuksia voidaan käyttää esimerkiksi varaston arvostamistarkoituksiin. Mitään näistä arvoista ei käytetä kustannusten arvioinnissa, vaan niiden tarkoituksena on parantaa informaation kulkua.

Selvityksen lopputuloksena käyttäjälle esitetään nimikkeen kustannukset. Kustannusten yhteydessä esitetään kaikki alihankitut nimikkeet tietoineen. Selvityksessä käytettäviä nimikkeitä joiden kustannukset perustuvat yrityksen itse lisäämiin arvioihin ei näytetä tässä yhteydessä, mikä voi luoda epävarmuutta arvion oikeellisuudesta. Järjestelmän ei ole mahdollista tietää millä nimikkeillä kustannuksia tulisi olla, joten se hyväksyy myös nimikkeet joilla niitä ei ole. Jos nimikkeiden kustannukset on valittu puutteellisesti, näkyy se ainoastaan arvion pienemmän loppusumman muodossa.

Kokoonpanon kustannuksia on mahdollista tarkastella myös tuoterakenteen yhteydessä. Tällöin kunkin nimikkeen kohdalla näytetään sen valitut prototyyppi- ja tuotantokustannukset ja niiden prosentuaalinen osuus koko tuotteen vastaavista kustannuksista. Nimikkeiden kustannukset ilmoitetaan käyttäjän valinnasta riippuen joko nimikettä kohden tai nimikkeiden kokonaismäärällä kerrottuna. Lisäksi järjestelmä laskee ja näyttää nimikkeen kustannusten prosentuaalisen osuuden kokoonpanossa. Prosentuaalisten

osuuksien ilmoittaminen nimikkeen kustannusten yhteydessä auttaa ymmärtämään nimikkeen suhteellista merkitystä kustannuksille ja helpottaa kustannusten alentamiseen tähtäävien toimenpiteiden kohdistamista. Koostettujen kustannuksien lisäksi tuoterakenteen yhteydessä esitetään vielä kokoonpanonimikkeen ja siihen kuuluvien nimikkeiden kustannukset prosentuaalisesti. Näin voidaan esimerkiksi tarkastella työkustannusten määrää suhteessa kokoonpanon komponenttien kustannuksiin.

Arena tuotetiedonhallinnan järjestelmän erityispiirteeksi voisi kuvailla sen keskittymistä erityisesti kokoonpanojen hallintaan. Siten ollen on luonnollista, että myös järjestelmän kustannusinformaatiota käsittelevä toiminnallisuus liittyy pääosin kokoonpanojen kustannusten arviointiin ja kommunikointiin. Yksittäisten nimikkeiden kustannuksia ei tarkemmin jaotella. Nimikkeisiin liitettäviä kustannuksia ei voida esimerkiksi tarkemmin jakaa työkustannuksiin ja konekustannuksiin. Lisäksi järjestelmä pystyy käsittelemään ainoastaan modulaaristen konfiguraatioiden kustannuksia. Järjestelmän kustannusinformaation hallintaan liittyvät ominaisuudet keskittyvät vahvemmin tarjousten ja ostojen hallintaan kuin tuotekehityksen ja tuotannon hallintaan. Erilaisten modulaaristen konfiguraatioiden vertailu on kuitenkin yksinkertaista ja nopeaa, kunhan nimikkeille on määritelty kustannukset.

Nimikkeiden hinta, tavoitekustannus, standardikustannus, prototyypikustannus ja valmistuskustannus kuuluvat kaikki versionhallinnan piiriin. Tämä mahdollistaa niiden historiallisen kehityksen seuraamisen ja muutosten jäljittämisen. Tuotteen kokoonpanon muuttuessa sen kustannusarvio päivittyy automaattisesti vastamaan sen hetkisen kokoonpanon nimikkeiden valittuja kustannuksia. Kustannukset on kuitenkin itse valittava kullekin nimikkeelle ja niiden ajantasaisuudesta on huolehdittava. Järjestelmä voidaan myös tarvittaessa integroida toiminnanohjausjärjestelmään, jolloin esimerkiksi ostohintoja voidaan siirtää järjestelmien välillä. Myös toimittajille voidaan jakaa oikeudet lisätä ja muokata tekemiään tarjouksia. Koska kustannusten arviointi ja kustannusinformaation levittäminen järjestelmässä riippuu suuresti sen ulkopuolella tuotetusta tiedosta, saadaan järjestelmästä eniten irti kun ajantasaisen kustannusinformaation saatavuus ei ole ongelma.

5.6. VariCost

VariCost on Variantum Oy:n toimittama tuotetiedonhallinnan järjestelmän yhteydessä toimiva kustannuslaskennan moduuli. Se on osa VariPDM-tuotetiedonhallinnan järjestelmää, mutta voidaan myös integroida osaksi kolmannen osapuolen tuottamaa järjestelmää. VariCost laskee tuotekustannuksia konfiguroitaville tuotteille hyödyntämällä tuoterakennetta ja nimikkeisiin liitettävää attribuuttitietoa. VariCost pyrkii vastaamaan erityisesti konfiguroitavien tuotteiden kustannuslaskentaan liittyviin haasteisiin. Järjestelmän yhtenä suurimmista vahvuuksista voidaankin nähdä joustavuus kustannusmallien luomisessa erilaisten yritysten ja tuotteiden tarpeisiin.

VariCost mahdollistaa tuotteen kustannusten selvittämisen kahdella eri menetelmällä. Ensimmäinen tapa keskittyy kokoonpanojen arviointiin analyttisesti koostamalla kustannukset kokoonpanoon kuuluville nimikkeille asetetuista kustannuksista. Kullekin nimikkeelle voidaan tallentaa kahden tyyppisiä kustannuksia: työkustannuksia ja materiaalikustannuksia. Kustannusarviota tehdessä ohjelmisto lähtee liikkeelle alimman tason nimikkeiden kustannuksista, joiden kustannukset saadaan summaamalla työ- ja materiaalikustannukset yhteen. Osakokoonpanojen kustannukset puolestaan voidaan määrittää joko suoraan tai laskea siihen kuuluvien nimikkeiden ja alemman tason osakokoonpanojen kustannuksista niiden ollessa määriteltynä. Koostaessa osakokoonpanon kustannuksia alemmalta tasolta materiaalikustannukset muodostuvat osakokoonpanon nimikkeiden työ- ja materiaalikustannuksista, sekä osakokoonpanolle asetetuista työkustannuksista. Näin jatketaan kunnes päästään tuoterakenteen ylimmän tason nimikkeeseen eli nimikkeeseen, jonka kustannukset halutaan selvittää. Käyttäjä voi itse päättää kuinka tarkalla tasolla kustannukset järjestelmään tallennetaan. Nimikkeen materiaalikustannuskenttään voidaan siis tallentaa vaikka alihankitun kokoonpanon ostohinta. Toisaalta käyttäjän on myös itse huolehdittava siitä, että kullekin nimikkeelle on varmasti asetettu sille kuuluvat kustannukset.

Työkustannuksia voidaan jaotella järjestelmässä myös tarkemmin, esimerkiksi testaus-, tarkastus- ja pakkaus-kustannuksiksi. Tämä mahdollistaa myös hakujen tekemisen järjestelmästä kustannustyyppin mukaan. Hakutoiminnon avulla voidaan hakea esimerkiksi tuotteen testauskustannukset kokonaisuudessaan. Työkustannuksien luokitteluominaisuuden joustavuutta voidaan hyödyntää myös muilla tavoin, kuten tallentamalla nimikkeille eri menetelmin saatuja kustannusarvioita tai kustannuksia eri tuotantoympäristöissä. Hakujen tekeminen mahdollistaa tällöin kustannusten hakemisen tietyllä arviotyypillä tai tietyssä tuotantoympäristössä. Nimikkeiden työkustannuksien tallentaminen on myös siinä mielessä joustavaa, että kustannukset voidaan tallentaa parametrisessa muodossa pelkän luvun ohella. Nimikkeen työkustannukset voivat perustua esimerkiksi tuntihintaan ja tuntimäärään tai hitsausaumojen pituuteen ja hitsauskustannuksiin. Nimikkeiden työ- ja materiaalikustannukset voidaan syöttää järjestelmään joko käsin tai ne voidaan integroitien avulla hakea suoraan muista järjestelmistä. Kustannusarvio esitetään käyttäjälle tuoterakenteen yhteydessä siten, että kunkin nimikkeen ja alikokoonpanon kustannuksia voidaan tarkastella kustannuslajeittain. Kustannusten esittäminen kustannuslajeittain helpottaa tuotteen kustannusrakenteen hahmottamista.

Toinen kustannusten arvioinnin menetelmä järjestelmässä perustuu puhtaasti parametriin malleihin. Järjestelmään on mahdollista tallentaa tuotteille matemaattisia kaavoja, joiden avulla niiden kustannuksia voidaan arvioida perustuen niiden kokoonpanon attribuutteihin. Nimikkeille voidaan määrittää tiettyjen rajojen sisällä vaihtelevia attribuutteja, kuten esimerkiksi pöytälevyn tapauksessa levyn pituus ja leveys. Tällöin kustannukset voidaan sitoa näihin attribuutteihin parametrisin kaavoin. Kun parametrinen kaava on luotu, voidaan konfiguraation kustannukset laskea kuvailemalla järjestelmälle tuote attribuutteina. Pöytä esimerkin tapauksessa tämä tarkoittaisi pöytälevyn pituuden ja le-

veyden määrittämistä olettaen, että pöydän kustannukset eivät riipu olennaisesti muista muuttujista. Kokoonpanon nimikkeiden attribuutteihin perustuva kustannusten arviointi mahdollistaa siten myös ei-modulaaristen tuotteiden kustannusten selvittämisen, jossa yksi tai useampi tuotteen attribuuteista voi vaihdella portaattomasti.

Tuotteen attribuuttien vaihdellessa portaattomasti sen kustannukset eivät kuitenkaan välttämättä vaihtelee suoraan verrannollisesti attribuutteihin. Toisinaan kun jokin attribuutti ylittää tai alittaa jonkin tietyn arvon, kustannukset voivat nousta merkittävästi ja sen jälkeen kasvaa taas tasaisesti. Tämän vuoksi järjestelmään voi tallentaa useita kustannusmalleja, joista valitaan attribuuttien perusteella käytettäväksi arvioitavan konfiguraation kustannuksia parhaiten kuvaava. Valintasäännöt määritellään järjestelmään ehtolausekkeiden muodossa, joten käyttäjän ei tarvitse tehdä valintaa itse arviointitilanteessa.

Parametrisen arviointimenetelmän käytön edellytyksenä on kuitenkin tuotekustannuksia likimääräisesti kuvaavan matemaattisen mallin tunnistaminen. Tuote ja sen valmistamiseen liittyvät prosessit on tunnettava siis niin hyvin, että kustannusajurit voidaan määrittää. Tämän vuoksi parametriset mallit eivät sovellu hyvin täysin uuden tyyppisten tuotteiden kustannusten arviointiin. Tämä järjestelmän toiminnallisuus on siis sitä paremmin hyödynnettävissä mitä tutumpaa tuotetta suunnitellaan ja valmistetaan. Analyttisten menetelmien avulla voidaan helposti vertailla vaihtoehtoisia nimikkeitä sisältäviä tuoterakenteita, kunhan nimikkeiden kustannukset on syötetty järjestelmään. Parametrisella menetelmällä puolestaan voidaan vertailla saman tuotteen ei-modulaarisia variantteja edellyttäen, että parametrisen malli on tunnistettu. Molemmat menetelmät perustuvat siis järjestelmän ulkopuolella tuotettuun tietoon, jonka ajantasaisuudesta käyttäjän on huolehdittava.

6. OHJELMISTOT TAVOITEKUSTANNUSTEN SAAVUTTAMISEN TUKENA

Tavoitekustannusten saavuttamisen kannalta merkittävät tuoterakennetta hyödyntävät ohjelmistot on työssä jaettu karkeasti kahteen päätyyppiin: mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen ja tuotetiedonhallinnan järjestelmien yhteydessä toimiviin. Tässä luvussa edellisessä luvussa kuvattujen ohjelmistojen yhteisten piirteiden perusteella analysoidaan näiden päätyyppien kykyjä tavoitekustannusten saavuttamisen prosessin eri osaluilla. Samalla tarkastellaan miten näihin päätyyppisiin kuuluvat ohjelmistot eroavat toisistaan kyvyissään tukea tavoitekustannusten saavuttamista. Tämän jälkeen vastataan päätutkimuskysymykseen pohtimalla kunkin päätyypin ja yksittäisen ohjelmiston soveltuvuutta tavoitekustannusten saavuttamisen tukemiseen kokonaisuutena.

6.1. Tuotekustannusten selvittäminen ohjelmistojen avulla

6.1.1. SolidWorks Costing, DFMA ja aPriori

Kaikissa mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemalleja hyödyntävissä ohjelmistoissa kustannusten arviointi perustuu poikkeuksetta analyttisiin menetelmiin. Kaikki kolme ohjelmistoa jakavat yksittäisiä kappaleita arvioidessa kappaleen piirteisiin, liittävät piirteet eri valmistusmenetelmien operaatioihin, joilla ne saadaan aikaiseksi, sekä summaavat operaatioiden kustannukset yhteen. Tämän vuoksi ohjelmistot soveltuvat käytettäväksi vasta sen jälkeen, kun tuotteesta on saatavilla yksityiskohtaista tietoa. Tavoitekustannuslaskennan tavoitekustannusten saavuttamisen prosessi alkaa kuitenkin jo konseptisuunnitteluvaiheessa, jossa tällaista tietoa ei ole vielä saatavissa. Niinpä kaikkea tavoitekustannuslaskennan kannalta tärkeää yksittäisten kappaleiden kustannusten arviointia ohjelmistoilla ei voida suorittaa.

Vaikka ohjelmistot perustuvat samaan arviointimenetelmään, eroavat ne arvioinnin kohteen ja kustannusten tarkastelutason suhteen. DFMA ja aPriori mahdollistavat yksittäisten osien arvioinnin lisäksi kokoonpanojen arvioinnin jakamalla kokoonpanotyön erilaisiin toimenpiteisiin. Kokoonpanojen arvioinnissa hyödynnetään kuitenkin vain niiden osaluetteloa ja kokoonpanotyöhön liittyvät toimenpiteet on valittava käsin. Yksittäisten kappaleiden osalta SolidWorks Costing ja DFMA esittävät niiden valmistamisessa vaadittavien operaatioiden kustannukset, kun taas aPriori käyttää myös näitä kustannuksia, mutta ei esitä niitä käyttäjälle. SolidWorks Costing ja DFMA ohjelmistojen toimintatapa kuitenkin auttavat arvion käyttäjää ymmärtämään miten arvio on muodostettu, minkä

Tornberg et al. (2000, s.79) ovat havainneet tärkeäksi kustannustietoisien suunnittelun kannalta.

Piirteiden liittämisessä valmistusmenetelmiin esiintyy jokaisen ohjelmiston kohdalla rajoituksia. Mahdollisia valmistusmenetelmiä on niin paljon, ettei yksikään ohjelmisto sisällä kaikkia vaihtoehtoja, vaan tarjoavat rajallisen määrän yleisimpiä menetelmiä. Ohjelmista ainoastaan SolidWorks Costing mahdollistaa uusien valmistusmenetelmien lisäämisen järjestelmään itse. Menetelmien kaavojen muuttajat voivat kuitenkin hyödyntää vain kappaleen yksinkertaisimpia piirteitä, kuten särmien pituutta tai kappaleen volyyymiä, eikä siten kustannuksiltaan monimutkaisempien valmistusmenetelmien määrittäminen onnistu. aPriori ohjelmistossa joidenkin valmistusmenetelmien lisäämisen järjestelmään erillisenä palveluna, kun DFMA taas on täysin rajoittunut ennalta määrättyyn valikoimaan.

Tuotettujen arvioiden tarkkuus riippuu ohjelmiston sisäisen toteutuksen lisäksi myös käyttäjän sille tarjoamasta laskennassa käytetystä kustannusinformaatiosta. Suurin osa tästä informaatiosta on tallennettu ohjelmistoihin luotaviin tuotantoympäristöihin. Tuotantoympäristöihin tallennettava kustannusinformaatio vaihtelee yksityiskohtaisuudeltaan runsaasti. SolidWorks Costing ohjelmistossa operaatioiden kustannukset mallinnetaan hyvin yksinkertaisesti muutaman tuntikustannuksen muodossa, jotka liitetään operaatioihin kuluvaan aikaan. DFMA sen sijaan käyttää huomattavasti yksityiskohtaisempaa kustannusinformaatiota. Yksityiskohtaisuus ei kuitenkaan määrää sitä, kuinka tarkkoja arvioita ohjelmistoilla voidaan tuottaa, vähemmän yksityiskohtaisissa ohjelmistoissa on vain huomioitava enemmän kustannusten aiheuttajia yhden luvun muodossa. Sen lisäksi, että tuotantoympäristöt voidaan yksityiskohtaisesti kuvata, kukin ohjelmisto tarjoaa myös valmiita tuotantoympäristöjä. SolidWorks Costing tarjoaa ainoastaan yhden valmiin ympäristön, jolla saadaan lähinnä viitteellisiä arvoja. aPriorissa ja DFMA:ssa valmiita ympäristöjä puolestaan päivitetään usein ja niitä on eri maanosille ja eri kokoluokan tehtaille, mikä tekee niistä hieman käyttökelpoisempia.

Arvioiden tarkkuus on tuotantoympäristön kuvaamisen tarkkuuden lisäksi kiinni kappaleen kuvaamisen tarkkuudesta. Kaikki tarkastelluille ohjelmistoille oli tyypillistä tuottaa nopeasti oletuksiin perustuva arvio kappaleen kustannuksista, jota sitten on mahdollista tarkentaa kuvailemalla kappaletta tarkemmin ja tekemällä valintoja muun muassa käytetyistä materiaaleista ja valmistusmenetelmistä. Tavoitekustannuslaskennan kannalta tällainen lähestymistapa kustannusten arviointiin on sopiva, sillä suunnitelmat tarkentuvat tuotekehitysprosessin edetessä, mutta kustannusinformaatiota tarvitaan jatkuvasti. Kaiken kaikkiaan ohjelmistoilla saavutettava tarkkuus on siis useiden tekijöiden summa ja myös paljolti kiinni yrityksen panostuksesta. Saavutettu tarkkuustaso vaikuttaa oleellisesti ohjelmiston käyttömahdollisuuksiin tavoitekustannuslaskennan näkökulmasta.

Jokainen ohjelmisto kykenee luomaan ensimmäisen arvion lähes täysin automaattisesti. Arvion tarkkuuteen vaikuttaa oleellisesti ohjelmiston kyky tulkita kappaleen tuotemal-

lia. DFMA kykenee hakemaan tuotemallista vain hyvin rajallisen määrän arvioon vaikuttavista geometrisista piirteistä. Tarkkuudeltaan edes jossain määrin käyttökelpoisten arvioiden tuottaminen ohjelmalla vaatii käyttäjältä enemmän työtä. aPriori ja SolidWorks Costing pystyvät puolestaan molemmat tulkitsemaan tuotemallista automaattisesti suurimman osan laskennan kannalta merkittävistä piirteistä. Näidenkin ohjelmistojen kohdalla tarkennusta voidaan joutua tekemään, sillä kaikki piirteet kuten pintakäsittelyt eivät ole kuvattuna tuotemallissa. Tämä tarkoittaa kuitenkin sitä, että aPriori ja SolidWorks Costing pystyvät tuottaman tarkkuustasoltaan käyttökelpoisia arvioita lähes automaattisesti.

Tavoitekustannuslaskennan ongelmaksi on toisinaan luonnehdittu sitä, että sen vaatima seuranta ja ohjaus hidastavat tuotekehitysprosessia. Analyyttisten menetelmien suurin heikkous puolestaan on niiden hitaus, mikä tekee analyttisistä menetelmistä ongelmallisia käyttää tavoitekustannuslaskennan kanssa. Ohjelmistojen avulla arviointia voidaan joka tapauksessa nopeuttaa merkittävästi tai suorittaa jopa reaaliaikaisesti. Tällöin suunnittelija voi esimerkiksi arvioida eri ratkaisuvaihtoehtoja välittömästi, mikä ei ilman automatisointia onnistuisi.

6.1.2. Windchill Cost, Arena ja VariCost

Mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemalleja hyödyntävien ohjelmistojen tavoin tuotetiedonhallinnan järjestelmiä hyödyntävät ohjelmistot arvioivat kustannuksia pääosin analyttisesti. Ohjelmistojen suorittama kokoonpanojen arviointi on kuitenkin huomattavasti yksinkertaisempaa. Arviointi tapahtuu jokaisessa ohjelmistossa samalla tavalla summaamalla suoraan kokoonpanoon kuuluihin nimikkeisiin liitetyt kustannukset yhteen. VariCost poikkesi Arena ja Windchill Cost ohjelmistoista siinä, miten kustannukset voidaan nimikkeille tallentaa. Jokaisessa ohjelmassa nimikkeille voidaan tallentaa kiinteä kustannus, mutta VariCost mahdollisti kustannusten tallentamisen myös nimikkeen attribuutteihin perustuen. Nimikkeen kustannukset on mahdollista muodostaa esimerkiksi valmistamiseen kuluva tuntimäärästä ja tuntihinnasta. Ohjelmistojen arviointimenetelmien käyttö edellyttää määriteltyä tuoterakennetta ja nimikkeille tallennettua kustannusinformaatiota. Tästä syystä arviointimenetelmän käyttö ei tyypillisesti sovi tuotteen elinkaaren alkuvaiheeseen ja on sitä paremmin hyödynnettävissä, mitä paremmin kustannusinformaatiota on saatavilla. Lisäksi, koska ohjelmistot ovat riippuvaisia muualla tuotetuista kustannusarvioista, on niiden rooli kustannusten arvioinnissa toimia paremminkin informaation välittäjänä kuin tuottajana.

Ohjelmistoista ainoana VariCost sisältää myös mahdollisuuden arvioida kokoonpanoja ja nimikkeitä parametrisesti. Järjestelmään on mahdollista tallentaa matemaattisia kaavoja, joiden avulla kustannukset voidaan muodostaa. Parametristen menetelmien etu on se, että kun tuotteen parametrinen kustannusmalli on tunnistettu, voidaan myös eimodulaaristen tuotteiden kustannuksia arvioida. Lisäksi tarkkaa tuoterakennetta ei välttämättä tarvitse tuntea. Parametrinen menetelmä on hyvin käyttökelpoinen menetelmä

arvioida tuotekustannuksia, kun valmistetaan tuotteita joiden kustannukset määräytyvät suurilta osin samalla tavalla kuin jo aiemmin valmistettujen tuotteiden. Tavoitekustannusten saavuttamisen kannalta VariCost ohjelmiston voidaan siten ollen nähdä olevan monipuolisempi ja joustavampi kustannusten selvittämisessä.

Koska ohjelmistojen analyttinen arviointi perustuu ulkopuolisiin arvioihin, on niillä saavutettu tarkkuustaso täysin riippuvainen käytetyistä arvioista. VariCost ohjelmiston parametrisella menetelmällä luotujen arvioiden tarkkuus on puolestaan kiinni siitä, kuinka tunnistettu matemaattinen malli vastaa todellisuutta. Tarkkuutensa puolesta ohjelmistot eivät siis rajoitu esimerkiksi johonkin tiettyyn tavoitekustannuslaskennan vaiheeseen. Koska ohjelmistoilla itsessään ei ole mahdollisuutta vaikuttaa tarkkuustasoon, sitäkin tärkeämmäksi muodostuu metatiedon liittäminen arvion yhteyteen. Kussakin ohjelmistoissa arvioihin pystytään liittämään arvion lähteen tiedot. Lisäksi Windchill Cost mahdollistaa luotettavuutta kuvaavan luvun tallentamisen arvion yhteyteen. Tämän luvun tarkoituksena on kuvata arvion tekijän tai lisääjän luottoa sen tarkkuuteen. Näin pystytään tarkastelemaan sitä kuinka suuri osa kokoonpanon kustannuksista perustuu minkäkin luotettavuuden omaaviin arvioihin. Painottamalla kunkin nimikkeen arvion luotettavuus niiden kustannusten suhteellisella osuudella kokoonpanosta voidaan myös tuotetulle kokoonpanon arviolle laskea luotettavuus.

Koska ohjelmistojen analyttinen arviointimenetelmä on niin yksinkertainen, voidaan se myös automatisoida lähes täysin. Ohjelmistot kykenevät tuottamaan arvioita lähes yhdellä napin painalluksella, kunhan arvioitavan kokoonpanon kullekin nimikkeelle on asetettu niille kuuluvat kustannukset. Huolimatta siitä, että arviointi on yksinkertaista, tällaisen kustannusten arvioinnin automatisointi voi tavoitekustannuslaskennan näkökulmasta olla hyvinkin hyödyllistä. Esimerkiksi kokoonpanon sisältäessä suuren määrän komponentteja voi kustannusinformaation kerääminen olla hidasta. Lisäksi esimerkiksi elektroniikkateollisuudessa tuotesuunnittelussa käytetään usein komponentteja, jotka voivat toistua samassa kokoonpanossa tai yrityksen tuotevalikoiman muissa tuotteissa lukemattomia kertoja. Kun yhden komponentin kustannusarvio muuttuu, muuttuvat myös kaikki komponentin sisältäneiden alikokoonpanojen arviot. Laskennan ollessa automatisoitua riittää, että muutos tehdään yhdessä paikassa ja kaikki arviot voidaan päivittää automaattisesti. Yksinkertaisenkin analyttisen arviointiprosessin automatisointi voi näin ollen nopeuttaa kustannusinformaation tuottamista merkittävästi. Myös VariCost ohjelmiston suorittamalla parametrisesta arvioinnista voi olla paljon apua kustannusten selvittämisessä etenkin, kun yritys tuottaa räätälöityjä tuotteita, joiden kustannukset määräytyvät pääosin tunnistettujen samojen tekijöiden seurauksena. Tällöin voidaan hetkessä arvioida tuotteiden kustannuksia esimerkiksi tarjouspyyntöjä varten.

6.2. Kustannusten tunnistamisen ja seurannan tukeminen ohjelmistoilla

6.2.1. SolidWorks Costing, DFMA ja aPriori

Anderson & Sedatole (1998, s. 223) kuvaavat suunnittelijoiden keskittyvän perinteisesti sellaisiin asioihin kuten suorituskyky, ulkonäkö ja luotettavuus ja jättävän taloudelliset seikat huomioimatta. Tuomalla kustannusinformaatio suunnittelutilanteeseen voidaan suunnittelijalle viestiä kustannustehokkaan suunnittelun ja tavoitekustannuslaskennan tärkeydestä. Kustannusten esittämisellä mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen yhteydessä on siten arvoa huolimatta siitä, kuinka ohjelmistojen tuottamaa informaatiota todellisuudessa käytetään. Tarkastelluista ohjelmistoista vain DFMA ei tuo kustannusinformaatiota mekaniikkasuunnitteluohjelmiston yhteyteen, vaan on täysin erillinen ohjelmisto.

Huomion kiinnittämisen lisäksi ohjelmistojen avulla voidaan kehittää suunnittelijan kykyä löytää kustannustehokkaita ratkaisuja kasvattamalla tietoutta kustannuksiin vaikuttavista tekijöistä. Ohjelmistot sopivat niiden esittämän tiedon puolesta kuitenkin lähinnä välittömien kustannusten hahmottamiseen. Kustannusvaikutusten hahmottaminen on mahdollista, kun suunnitteluvaihtoehtoja voidaan nopeasti vertailla kustannusinformaation näkökulmasta. Näin suunnittelua voidaan ohjata kustannusperusteiseksi, vaikka suunnittelijan aiempi ymmärrys suunnitteluratkaisujen kustannusvaikutuksista olisi puutteellista. Parhaimmillaan suunnittelija saa välitöntä palautetta siitä, miten muutokset tuotteen piirteissä vaikuttavat kustannusten muodostumiseen, jolloin kustannustietoon perustuvia suunnittelupäätöksiä voidaan tehdä aiemmin. Tämän vuoksi ohjelmistoilla voidaan erityisesti tukea sellaisia suunnittelijoita, joilla ei ole vuosien saatossa syntynyttä kokemusta arvioida eri vaihtoehtojen kustannuksia suunnittelun yhteydessä.

Yhteisestä toimintaperiaatteesta huolimatta ohjelmistojen kyvyt auttaa hahmottamaan kustannusvaikutuksia kuitenkin vaihtelevat. SolidWorks Costing tuottaa arvioita täysin automaattisesti suunnittelun yhteydessä ja esittää lisäksi kappaleen valmistamiseen liittyvät operaatiot kustannuksineen. aPriorissa voidaan suunnittelun yhteydessä tarkastella kappaleen kokonaiskustannuksia, mutta jos halutaan tarkastella operaatioita tai vaihtaa kappaleen valmistustapaa, joudutaan tuotemalli avaamaan mekaniikkasuunnitteluohjelmiston ulkopuolella. DFMA sen sijaan ei mahdollista suunnittelun aikaista kustannusten arviointia lainkaan, vaan kappale on kuvattava ohjelmistolle. Hitaudestaan huolimatta DFMA on hyödyllinen kustannusvaikutusten tunnistamisessa, sillä se jakaa tuotteen piirteisiin ja esittää piirteiden kustannukset. Tornberg et al. (2000, s. 79) mukaan suunnittelijoille tulisi esittää kustannusarviot yksinkertaisessa muodossa kuitenkin siten, että kustannusten muodostumista voidaan tarvittaessa vielä tarkemmin tarkastella. DFMA ja SolidWorks Costing ohjelmistoissa tämänkaltainen porautuminen onnistuu, sillä piirteiden ja operaatioiden kustannukset on esitetty käyttäjälle.

Sen lisäksi, että ohjelmistoista on apua tuotteiden suunnittelemisessa suoraan kustannustehokkaiksi, löytyy niistä myös toimintoja tukemaan erillisten kustannusten alentamisen toimenpiteiden kohdistamista. Koska tapoja vaikuttaa tuotteen kustannuksiin on runsaasti, ei sattumanvarainen kokeileminen ole yleensä käytännöllistä. Valmistusmenetelmä-, tuotantoympäristö- ja materiaalivaihtoehtojen osalta kokeilu voi olla vielä järkevää, sillä ohjelmistot tarjoavat näille rajoitetun määrän valmiita vaihtoehtoja. Kokeilun ongelmana on yleisesti kuitenkin se, että tällä tavalla saavutettavien säästöjen potentiaalia on vaikea arvioida etukäteen.

Eräs tapa priorisoida kustannusten alentamisen toimenpiteitä on keskittyä tekijöihin, jotka aiheuttavat suhteellisesti merkittävimmän osan kustannuksista. SolidWorks Costing ja DFMA ohjelmistot tunnistavat kappaleen piirteet ja arvioivat niiden tuottamiseen vaadittavien operaatioiden kustannukset. Kappaleesta esitetään kustannusrakenne operaatioiden ja niihin liittyvien kustannusten muodossa, jolloin huomio voidaan kohdistaa johonkin kustannuksiltaan kalliin piirteen tai piirrekokoelman uudelleen suunnitteluun. aPriori ei operaatiotason kustannusrakennetta tarjoa, mutta kokoonpanoja arvioitaessa se esittää komponenttitasoisen kustannusrakenteen. aPriori sisältää myös toisen tavan tunnistaa potentiaalisia kohteita kustannusten alentamiseen. Kappaletta voidaan verrata muihin kappaleisiin niiden painon tai jonkun muun ominaisuuden keskihinnan mukaan. Jos kappale on esimerkiksi huomattavasti kalliimpi suhteessa massaansa tai monimutkaisuuteensa kuin muut kappaleet keskimäärin, voidaan tutkia tarkemmin, miksi näin on. Tämän lisäksi kappaleen kustannuksia voidaan verrata samankaltaisiksi luokiteltujen kappaleiden kustannusten keskiarvoon.

Tavoitekustannuslaskennan seurannan osalta ohjelmistojen tarjonta on yksipuolista. Ohjelmistojen avulla suunnittelun aikainen seuranta on mahdollista vertaamalla kappaleen kustannuksia jatkuvasti sille asetettuun tavoitekustannukseen. DFMA ei tuota arviota automaattisesti mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemallien perusteella, joten sen avulla jatkuva vertailu on liian työlästä, toisin kuin SolidWorks Costing ja aPriori ohjelmistoissa. Seurannassa automaattisuuden avulla saavutettua reaaliaikaisuutta tärkeämpi tekijä on kuitenkin tarkkuus, joka ohjelmistoilla on mahdollista saavuttaa. Seuranta voidaan toteuttaa epätarkallakin tiedolla tuotekehityksen alkuvaiheissa. Kun tuotekehityksessä lähestytään tuotannon aloittamista, tarvitaan jo paljon tarkempaa kustannusinformaatiota. Jos ohjelmistojen logiikka ja tuotantoympäristöt kuvaavat kappaleen todellisia kustannuksia tarpeeksi tarkasti, voidaan ohjelmistoja hyödyntää läpi koko tuotekehitysvaiheen.

6.2.2. Windchill Cost, Arena ja VariCost

Myös tuotetiedonhallinnan järjestelmiä hyödyntävillä ohjelmistoilla voidaan parantaa päätöksentekijän ymmärrystä kustannusajureista. Tarkastellut ohjelmistot kykenevät tuottamaan arvioita erilaisille kokoonpanoille hetkessä, kunhan kokoonpanon nimikkeille on tallennettu kustannukset. Erilaisia suunnitteluvaihtoehtoja voidaan siten vertailla

kustannusinformaatioon nojautuen. Eri konfiguraatiovaihtoehtojen lisäksi ohjelmistojen avulla kyetään havaitsemaan miten muutos tietyssä komponentissa tai kokoonpanossa vaikuttaa laajemmin yrityksen tuotevalikoimaan. Voidaan esimerkiksi havaita, että yhden komponentin muuttaminen alentaa tietyn tuotteen kustannuksia, mutta samalla lisää usean muun tuotteen kustannuksia, joissa samaa komponenttia käytetään. Muutosten vaikutusten arviointi ei kuitenkaan aina ole näin yksinkertaista. Kokoonpanolle syötetyt kustannukset eivät välttämättä pidä enää sen rakenteeseen kohdistuvien muutosten jälkeen paikkaansa. Näiden seikkojen vuoksi ohjelmistot soveltuvat parhaiten kokoonpanointensiivisten tuotteiden suunnittelutyön ohjaukseen.

Kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisessa tuotetiedonhallinnan järjestelmiä hyödyntävillä ohjelmistoilla on enemmän tarjottavaa. Tuoterakenteessa esitetään kunkin nimikkeen kohdalla siihen liittyvät kustannukset. Arena ja Windchill Cost esittävät automaattisesti myös nimikkeiden kustannusten suhteellisen osuuden prosentteina, jonka avulla suurimmat kustannuserät aiheuttavat nimikkeet voidaan helposti tunnistaa. Lisäksi Windchill Cost ja VariCost mahdollistavat myös tarkemman kustannusinformaation tallentamisen nimikkeiden yhteyteen. Windchill mahdollistaa tietyn nimikkeen tarkemman kustannusrakenteen tarkastelun ja suurimpien kustannuserien tunnistamisen graafisin esityksin, kuten esimerkiksi Pareto-analyysin avulla. VariCost puolestaan mahdollistaa hakujen tekemisen tuoterakenteesta, jolloin voidaan tarkemmin selvittää esimerkiksi kaikki kokoonpanoon liittyvät testauskustannukset. Molemmissa ohjelmistoissa voidaan siten porautua tarkemmin jonkin tietyn kokoonpanon tai nimikkeen kustannuksiin. Tämä kuitenkin edellyttää luonnollisesti sitä että joku on tunnistanut ja syöttänyt nimikkeen kustannusrakenteen järjestelmään. VariCost ohjelmiston parametrisella menetelmällä voidaan myös viestiä tietoa kustannusajureista suunnittelijoille, mutta mallin luominen puolestaan edellyttää kustannusajurien tunnistamista. Kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisen osalta erot tuotetiedonhallinnan järjestelmiä hyödyntävien ohjelmistojen välillä liittyvät lopulta siihen, mitä tietoa nimikkeille tallennetaan. Koska tuotetiedonhallinnan järjestelmiä voidaan konfiguroida ja räätälöidä sen suhteen mitä tietoa nimikkeiden yhteyteen tallennetaan, ei niiden tarjonta kustannusten tunnistamisen osalta jokseenkin joustavaa.

Tavoitekustannusten saavuttamisen seuraamista järjestelmät tukevat mahdollistamalla nimikkeille tallennettujen tavoitekustannusten ja arvioiden vertaamisen. Näin voidaan jatkuvasti seurata sitä voidaanko tavoitekustannukset saavuttaa nykyisillä suunnitelmillä. Jos ohjelmistoon tallennetut ennusteet nimikkeelle ovat ajan tasalla, saadaan myös tavoitekustannuslaskennan projektin tilasta ajankohtaista tietoa. Pelkästään nykyhetkeen keskittyvä tieto on kuitenkin tavoitekustannuslaskennan kannalta riittämätöntä. Koska prosessin tavoitteena on saavuttaa tavoitekustannus vähittäisten muutosten avulla suunnitteluprosessin aikana, on tärkeää seurata myös kustannusten kehittymistä tuotekehityksen alkamisesta lähtien. Tällöin voidaan arvioida sitä, onko tavoitekustannus mahdollista saavuttaa nykyisillä ponnisteluilla kustannusten alentamiseksi. Tuotetiedonhallinnan järjestelmien versionhallinta mahdollistaa nimikkeisiin liittyvän kustannusinformaation

maation säilömissä ja hyödyntämisen vertailujen muodossa. Windchill Cost mahdollistaa esimerkiksi viivadiagrammien luomisen automaattisesti, josta voidaan yrittää tulkita kehityksen suuntaa. Arena ja VariCost ohjelmistoista kustannusinformaatiota voidaan myös lukea, mutta vertailu ja graafisten esitysten luominen vaatii tiedon siirtämistä esimerkiksi taulukkolaskentaohjelmaan.

Kahdesta muusta ohjelmistosta poiketen, Windchill Cost pyrkii tukemaan tavoitekustannusten saavuttamista visualisoimalla kustannusinformaatiota tuotteen 3D-mallin avulla. Mallissa kunkin osan kohdalta voidaan tarkastella saavutetaanko tavoitekustannusta ja kuinka luottavaisia tavoitekustannusten saavuttamisesta ollaan. Tämän avulla voidaan pyrkiä esimerkiksi hahmottamaan ylittyvätkö polttomoottorin tavoitekustannus pelkän kampiakselin tavoitekustannuksen ylittymisen seurauksena vai useampien komponenttien tavoitekustannusten ylittymisen seurauksena. Visualisointi tällä tavoin pyrkii helpottamaan prosessin seuraamista ja ohjausta koko tuotteen osalta.

6.3. Ohjelmistojen rooli tavoitekustannusten saavuttamisessa

6.3.1. SolidWorks Costing, DFMA ja aPriori

Mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemalleja hyödyntävät ohjelmistot tarjoavat paljon mahdollisuuksia tavoitekustannusten saavuttamisen näkökulmasta. Ohjelmistoilla on kuitenkin joitakin rajoitteita, joista selkein on niiden käytön rajoittuminen pitkälti tuotesuunnittelu- ja tuotekehitysvaiheeseen. Toinen merkittävä rajoite on niiden kyky ymmärtää vain tiettyjä valmistusmenetelmiä, jonka vuoksi ne sopivat vain näillä menetelmillä valmistettujen kappaleiden arviointiin. Kolmanneksi ohjelmistojen arvioiden tarkkuus on sidoksissa siihen kuinka hyvin tuotantoympäristö onnistutaan kuvaamaan, minkä vuoksi ohjelmistojen kyvyt tukea tavoitekustannuslaskentaa vaihtelevat yrityksestä ja tuotteesta riippuen.

Ohjelmistojen yhteydessä suoritettava kustannusten arviointi perustuu useimmiten piirteisiin liitettäviin operaatioihin, joiden kustannukset sitten koostetaan. Ohjelmistojen perusajatus on automatisoida normaalisti työläs analyttinen prosessi, jolloin kustannusarvioita voi tehdä kuka vain ja milloin vain. Tavoitekustannusten saavuttamisen näkökulmasta tämän analyttisen menetelmän automatisoinnin etu on, että suunnittelija saa jatkuvaa palautetta suunnitteluratkaisujensa vaikutuksista kustannuksiin, mutta samalla myös ymmärtää miten arvio on muodostettu. Perinteisesti suunnittelija on luottanut joko kokemuksen myötä karttuneeseen ymmärrykseen kustannusten muodostumisesta tai asiantuntijoiden laatimiin arvioihin tuotteen kustannuksista. Ohjelmistojen suurin potentiaali piileekin siinä, että niiden avulla voidaan ohjata kokematontakin suunnittelijaa kustannustehokkaaseen suunnitteluun. Lisäksi pelkästään jo kappaleen, piirteiden ja operaatioiden kustannusten esittäminen mekaniikkasuunnittelun yhteydessä viestii suunnittelijoille tavoitekustannuslaskennan tärkeydestä. Tämän seurauksena kustannuk-

siin kiinnitetään väistämättä suunnittelussa enemmän huomiota informaation tarkkuudesta huolimatta. Kehittämällä kustannustietoisuutta tuotteet voidaan suunnitella kustannustehokkaammiksi jo tuotekehityksen alkuvaiheesta lähtien, jossa vaikutusmahdollisuudet ovat suurimmillaan.

Suunnittelunaikaisen ohjaamisen lisäksi ohjelmistoilla voidaan todeta olevan myös potentiaalia kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisessa ja tavoitekustannusten saavuttamisen seurannassa. Kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamista voidaan tukea esimerkiksi kappaleiden ja kokoonpanojen kustannusrakenteiden tarkastelulla, sekä kokeilemalla käyttäjälle esitettyjä valmiita vaihtoehtoja materiaaleista ja valmistusmenetelmistä. Todellisen potentiaalın tunnistaminen on kuitenkin operaatioita, piirteitä ja piirrekokoelmia kustannusrakenteessa tarkastellessa suunnittelijan osaamisesta kiinni. Kustannusten alentamisen toimenpiteet vaativat ohjelmiston tarkkuudelta myös enemmän kuin suunnittelunaikainen ohjaaminen. Ohjelmistojen tuottamien arvioiden perusteella voidaan myös arvioida sitä päästäänkö tavoitekustannuksiin. Seurannan toteuttaminen suunnittelun yhteydessä tällä tavalla kuitenkin vaatii tarkkuudeltaan jo merkittävää luotettavuutta. Näiden seikkojen vuoksi mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemalleja hyödyntävillä ohjelmistoilla onkin parhaat edellytykset tukea tavoitekustannusten saavuttamista suunnittelun aikaisella ohjaamisella.

Tarkastelluista ohjelmistoista on havaittavissa erityispiirteitä ja toiminnallisuutta, joiden vuoksi ne poikkeavat toisistaan. SolidWorks Costing on ohjelmistoista ainoa, joka on kiinteä osa mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa. Tämän vuoksi suunnittelijan on helppo lisätä arvioon tuotemallista ilmi käymättömiä prosesseja, vaihtaa tuotantoympäristöä tai materiaalivalintoja, tarkastella ja muokata koneiden kustannusinformaatiota ja niin edelleen. Siten ollen SolidWorks Costing on vahvimmin suunnittelunaikaiseen ohjaamiseen soveltuva ohjelmisto. SolidWorks Costingin rajoitteina ovat kuitenkin pieni valmistusprosessien joukko ja mahdollisesti sen tapa käsitellä kustannuksia hyvin yksinkertaisella tasolla.

DFMA puolestaan on mekaniikkasuunnitteluohjelmistoista lähes irrallaan oleva ohjelmisto. Se hyödyntää tuotemallia hyvin heikosti, jonka vuoksi käyttäjä joutuu itse syöttämään suurimman osan ohjelmiston käyttämästä tiedosta. Heikosta automaation tasosta johtuen DFMA:n käyttö vaatii enemmän aikaa ja sopii ohjelmistoista huonoiten suunnittelun aikaiseen ohjaamiseen, missä tämän tutkimuksen puitteissa on nähty tämän ohjelmistotyypin parhaan potentiaalın piilevän. DFMA:n arviointiprosessi on yksityiskohdainen ja kustannusrakenne esitetään hyvin tarkalla tasolla sekä valmistuskustannusten, että kokoonpanokustannusten osalta. Siten sillä on paljon potentiaalia kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisessa, sekä etenkin tavoitekustannusten saavuttamisen seurannassa.

aPriori hyödyntää SolidWorks Costingin kaltaisesti tuotemallia tehokkaasti ja mahdollistaa pitkälle automatisoidun kustannusten arvioinnin. Ohjelman tekemien oletusten

muokkaaminen, kustannusten muodostumisen tarkastelu ja tarkempi kustannusarvion säätäminen ei kuitenkaan onnistu avaamalla tuotemallia mekaniikkasuunnittelun ulkopuolisella ohjelmistolla. Ohjelmisto ei myöskään esitä tarkempaa kustannusrakennetta yksittäisille kappaleille. aPriorin vahvuus muihin ohjelmistoihin nähden on sen tapa hyödyntää muiden kappaleiden kustannusarvioita kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisessa kappaleitasolla. Siten tavoitekustannusten saavuttamisen näkökulmasta ohjelmisto sopii osien suunnittelun aikaiseen ohjaamiseen ja kokoonpanojen kohdalla kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamiseen.

6.3.2. Windchill Cost, Arena ja VariCost

Tuotetiedonhallinnan järjestelmien tuoterakennetta hyödyntävät ohjelmistojen toimintatapa ja siten myös kyvyt tukea tavoitekustannusten saavuttamista poikkeavat mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemalleja hyödyntävistä ohjelmistoista paljon. Tuotetiedonhallinnan järjestelmät kehittyivät alun perin suunnittelutiedon hallintaan ja tässä roolissa ne toimivat myös kustannustiedon osalta. Kustannusten arviointi niissä perustuu pääosin kokoonpanon nimikkeille tallennettujen kustannusten summaamiseen analyytisesti. Niihin liittyvä kustannusten arviointi ja arvioiden tarkkuus on siten täysin riippuvaista ulkopuolisesta tiedosta. Järjestelmät toimivat siten eräänlaisena kustannusinformaation keskuksena uuden tuotteen suunnittelun prosessissa. Tämän vuoksi ne ovat sitä hyödyllisempiä, mitä suurempaa tietomassaa on tarvetta hallita. Lisäksi koska ne hyödyntävät kaikessa toiminnallisuudessaan tuoterakennetta, ei niitä voida hyödyntää tuotesuunnittelu- ja tuotekehitysvaihetta aiemmin.

Yksinkertaisenkin arviointimenetelmän automatisoinnilla voidaan helpottaa suunnittelun aikaista ohjaamista mahdollistamalla erilaisten kokoonpanojen kustannusten vertailu, nimikkeisiin kohdistuneiden muutosten vaikutusten havainnointi koko tuotevalikoiman tasolla ja niin edelleen. Koska järjestelmään tallennetut nimikkeet ovat tarkimmillaan tyypillisesti osia ja niihin liittyviä käsittely ja kokoonpanonimikkeitä, sopivat ohjelmistot suunnittelunaikaisen ohjaamisen osalta lähinnä kokoonpanointensiivisten tuotteiden suunnittelun tukemiseen, jossa valmiita vaihtoehtoisia komponentteja on tarjolla useita.

Ohjelmistojen kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisen tukemiseen sopivat ominaisuudet perustuvat tuoterakenteen hallinnan ja nimikerakenteen hyödyntämiseen. Kun nimikkeisiin yhdistetään kustannusinformaatiota, voidaan tuoterakennetta hyödyntää kustannusrakenteen esittämisessä käyttäjälle. Nimikkeiden alle tallennettu tieto voidaan järjestelmässä luokitella siten, että kustannuksia päästään tarkastelemaan myös osatasoa tarkemmalla tasolla. Lisäksi tietoa voidaan lajitella ja visualisoida siten, että potentiaaliset kustannusten alentamisen kohteet on helpompi havaita.

Tuoterakenteen hallinta ja ohjelmistojen rooli tiedon välittäjänä eri järjestelmien ja osapuolten välillä tekevät ohjelmistosta myös hyvän työkalun tavoitekustannusten saavut-

tamisen seurantaan. Tuoterakenteen käsittely mahdollistaa kokoonpanon arvioitujen kustannusten ja tavoitekustannusten tarkastelun sekä komponenteittain, että kokonaisuutena. Kustannusarvioiden ollessa ajan tasalla saadaan näin nopeasti kuva tavoitekustannusten saavuttamisen tilasta koko tuotteen osalta. Järjestelmien versiohistoria puolestaan on hyödyllinen tavoitekustannusten saavuttamisen etenemisen seuraamisessa. Historiatietoa sopivasti esittämällä voidaan havainnoida, miten arvioidut kustannukset ovat kehittyneet verrattuna tavoitekustannuksiin ja siten havaita mahdollinen tarve arvioida vaadittavia ponnisteluja tavoitekustannusten saavuttamiseksi uudelleen.

Näin ollen tuotetiedonhallinnan järjestelmien tuoterakennetta hyödyntävillä ohjelmistoilla voidaan tukea jokaista tavoitekustannuslaskennan osa-aluetta jossain määrin. Suunnittelun aikaisessa ohjaamisessa ohjelmistoilla on vähiten annettavaa niiden sopiessa lähinnä kokoonpanointensiivisten tuotteiden suunnittelun tukemiseen. Kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisessa ja tavoitekustannusten saavuttamisen seurannassa järjestelmillä on enemmän potentiaalia. On kuitenkin syytä muistaa, että ohjelmistojen todelliset mahdollisuudet näillä osa-alueilla ovat riippuvaisia käytettyjen arvioiden tarkkuudesta. Ohjelmistot tukevatkin siten tavoitekustannusten saavuttamista paremmin parantamalla tiedon kulkua ja esittämällä kustannusinformaatiota käytettävämässä muodossa kuin varsinaisesti tuottamalla sitä.

Tarkastelussa mukana olleissa ohjelmissa eroja kyvyissä tukea tavoitekustannuksia löytyy kultakin näistä osa-alueista. Windchill Costin vahvuudet muihin järjestelmiin löytyvät suurimmaksi osaksi tiedon visualisoinnista. Kustannusrakenteita ja arvion rakentamista voidaan tarkastella pylväsdiagrammeilla, Pareto-analyysillä, ympyrädiagrammissa ja niin edelleen. Tavoitekustannusten saavuttamisen tilaa voidaan seurata 3D-mallista ja tavoitekustannusten ja arvioiden kehittymistä pidemmällä aikavälillä voidaan seurata viivadiagrammilla. Lisäksi ohjelma mahdollistaa yksityiskohtaisenkin tiedon tallentamisen nimikkeiden yhteyteen. Näiden ominaisuuksien seurauksena ohjelmisto tarjoaa monipuolisesti tukea etenkin kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamiseen ja tavoitekustannusten saavuttamisen seurantaan.

Arenan toiminnallisuus on ohjelmistoista yksinkertaisinta. Kokoonpanojen kustannusrakenteen yhteydessä esitetään kunkin komponentin prosentuaalinen osuus kokoonpanon kustannuksista. Historiatietoa kustannuksista on saatavilla, mutta sitä ei pyritä esittämään tavoitekustannusten saavuttamista tukevassa muodossa. Kaiken kaikkiaan Arena tarjoaa perusratkaisun kustannusten selvittämiseen, kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamiseen ja tavoitekustannusten saavuttamisen seurantaan. Sillä ei ole erityisiä vahvuuksia tai heikkouksia millään näistä osa-alueista.

VariCost muistuttaa perusominaisuuksiltaan paljon edellisiä ohjelmistoja, mutta parametriset mallit ja joustavuus kustannusinformaation tallentamisen ja koostamisen osalta tekevät siitä monipuolisen ohjelmiston tavoitekustannusten seurannan tukemiseen. Toisin kuin Windchill Cost ja Arena, VariCost soveltuu myös ei-moduularisten tuotteiden

kustannusten selvittämiseen. Kustannusten selvittäminen parametrinen kaavan avulla mahdollistaa tuotteiden arvioinnin myös silloin, kun tarkka tuoterakenne ei ole vielä selvillä. Siten se sopii erinomaisesti sellaisten tuotteiden arviointiin joiden valmistamisesta yrityksellä on jo vankkaa kokemusta. Ohjelmiston avulla voidaan esimerkiksi jo aikaisessa vaiheessa varmistaa, että suunnitteilla olevalla tuotteella on realistiset mahdollisuudet saavuttaa tavoitekustannus. VariCost tarjoaa toiminnallisuutta myös suunnittelun aikaiseen ohjaamiseen ja kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamiseen, mutta muihin ohjelmistoihin nähden sen vahvuudet ovat erityisesti tavoitekustannusten saavuttamisen seurannassa.

7. YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tavoite kumpusi tarpeesta tarkastella tuotekehityksen aikaisia tuoterakenteeseen kustannusinformaatiota liittävien ohjelmistojen kykyjä kustannuslaskennan näkökulmasta. Tavoitekustannuslaskennan ja tarkemmin tavoitekustannusten saavuttamisen tukeminen valikoitui työn teoreettiseksi viitekehikseksi, koska se on kokonaisvaltainen lähestymistapa kustannustenhallintaan ja keskittyy nimenomaan tuotekehitysvaiheeseen. Tarkastelluiksi ohjelmistotyypeiksi valikoituivat mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemalleja ja tuotetiedonhallinnan järjestelmien tuoterakennetta hyödyntävät ohjelmistot. Näillä ohjelmistoilla katsottiin olevan parhaat edellytykset kustannusten hallinnan tukemiseen tuotekehityksessä ominaisuuksiensa ja keskeisen asemansa vuoksi. Työn empiirisessä osuudessa tarkasteltiin tarkemmin kuutta ohjelmistoa, joiden toiminnallisuuden kuvausten pohjalta arvioitiin sekä ohjelmistotyyppien että yksittäisten ohjelmistojen kykyjä tavoitekustannusten saavuttamisen tukemisessa.

Työn päätutkimuskysymykseksi kirjattiin kysymys, miten kustannusinformaatiota tuoterakenteen yhteydessä käsittelevillä ohjelmistoilla voidaan edesauttaa tavoitekustannusten saavuttamista. Työn teoreettisessa osuudessa tavoitekustannusten saavuttamisen prosessista tunnistettiin kustannusten selvittämisen ja kustannusten seurannan ja tunnistamisen osa-alueet. Tarkastelemalla ohjelmistojen kykyä tukea näitä osa-alueita voidaan arvioida niiden roolia tavoitekustannusten saavuttamisen tukemisessa. Kaikki kuusi ohjelmistoa erosivat toisistaan toiminnallisuudeltaan merkittävästi. Ohjelmistotyypeittäin oli silti havaittavissa yhteisiä piirteitä, mitkä tekivät niistä sopivampia tietyille tavoitekustannusten saavuttamisen osa-alueelle.

Mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemalleja hyödyntäviä ohjelmistoja voidaan parhaiten hyödyntää tuotteen suunnittelussa suoraan kustannustehokkaaksi, jolloin jälkeensä tehtävien muutosten tarve ei ole yhtä suuri. Tämä käyttötarkoitus ei ole yhtä kriittinen arvioiden tarkkuuden suhteen, joten vaatimukset ohjelmistoihin tallennettua kustannusinformaatiota ja laskennan logiikkaa suhteen eivät ole yhtä korkeat kuin tavoitekustannusten saavuttamisen muiden osa-alueiden tukemisessa. Tähän tarkoitukseen käytettynä ohjelmistoilta vaaditaan korkeaa automatisoinnin tasoa laskelmien tuottamisessa, joka puolestaan edellyttää tuotemallin tehokasta hyödyntämistä. Tavoitekustannusten saavuttamisen tukemisessa mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen mahdollisuudet ovat siis ensisijaisesti suunnittelun ohjaamisessa, mutta jos arvioista saadaan riittävän tarkkoja, niin niitä voidaan hyödyntää myös kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisessa ja tavoitekustannusten saavuttamisen seurannassa.

Tuotetiedonhallinnan järjestelmien tuoterakennetta hyödyntävien ohjelmistojen rooli on hyvin erilainen. Niiden vahvuudet eivät ole monimutkaisessa laskentaprosessissa, vaan tiedon tehokkaassa välittämisessä. Ohjelmistot perustuvat niiden ulkopuolella tuotetun kustannusinformaation kokoamiseen ja esittämiseen eri tavoin käyttäjälle. Siten ohjelmistot sopivat sellaisiin kustannustenhallinnan tehtäviin, joissa näitä ulkopuolisia arvioita ei tarvitse reaaliaikaisesti tuottaa. Tämä vuoksi ohjelmistojen vahvuudet ovat tavoitekustannusprosessin seurannassa ja kustannusten alentamisen kohteiden tunnistamisessa. Ohjelmistot sopivat myös hyvin sellaisten kokoonpanointensiivisten tuotteiden suunnittelun ohjaukseen, jossa tuotteet koostuvat pitkälti standardeista komponenteista, kuten esimerkiksi elektroniikkateollisuudessa.

Yksittäisten ohjelmistojen käytännön mahdollisuuksia tavoitekustannusten saavuttamisen tukemisessa ei voida kuitenkaan käytännössä kuvailla pelkästään näiden päätyyppien avulla. Ohjelmistojen toiminnallisuuksissa on runsaasti vaihtelua ja toiset saman päätyypin ohjelmistot sopivat tukemaan paremmin jotain tavoitekustannusten saavuttamisen osa-aluetta kuin toiset. Ohjelmistojen mahdollisuuksiin tukea tavoitekustannuslaskentaa vaikuttaa oleellisesti myös yrityksen tilanne. Tuotetiedonhallinnan järjestelmien tuoterakennetta hyödyntävät ohjelmistot ovat hyödyttömiä ilman ulkopuolista kustannusinformaatiota. Samoin mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemallia hyödyntävät ohjelmistojen kyvyt tukea tavoitekustannuslaskentaa karttavat kustannusinformaation tarkentumisen myötä. Siten ohjelmistojen todellista roolia tavoitekustannusten tukemisessa tulisi arvioida aina sekä ohjelmisto että yrityskohtaisesti.

Kaikille ohjelmistoille yhteistä oli kustannusten hallintaan liittyvien toimenpiteiden, kuten kustannusten arvioinnin, nopeuttaminen. Analyttiset arviot ovat tärkeitä tavoitekustannuslaskennalle, koska niiden avulla tuotteen kustannusten muodostumista voidaan ymmärtää paremmin. Ne ovat normaalisti aikaa vieviä menetelmiä, jotka ohjelmistojen avulla voidaan jossain määrin automatisoida. Yksi suurimpia tavoitekustannuslaskennan ongelmia on juuri prosessin aikaa vievyys. Automatisoimalla arviointiprosessi, sekä helpottamalla tavoitekustannusten saavuttamisen eri osa-alueisiin liittyvien toimenpiteiden suorittamista voidaan kustannusten hallintaan keskittyä paremmin hidastamatta tuotekehitystä liikaa.

Tavoitekustannusten saavuttamisen prosessi alkaa tuotekehityksen konseptisuunnittelu ja toteutettavuus-vaiheesta. Tässä vaiheessa tuotteesta ei ole vielä saatavilla tarkempaa tuoterakenteeseen liittyvää informaatiota, mikä on edellytys ohjelmistojen analyttisten menetelmien käytölle. Työn teoreettisessa osuudessa esiteltiin myös runsaasti kvalitatiivisia arviointimenetelmiä, joita tarkastelluissa ohjelmistoissa ei ollut hyödynnetty. Osa näistä menetelmistä sopisi hyvin kustannusten selvittämiseen myös tuotekehityksen alkuvaiheessa. Eräs esimerkki näistä on Case-based reasoning -menetelmä, jota kumpikin ohjelmistotyyppi voisi hyödyntää kustannusten arvioinnissa. Tuotetiedonhallinnan järjestelmissä nimikkeitä voidaan luokitella ja samankaltaisten tuotteiden etsintä olisi sitä kautta mahdollista. Mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen tuotemallit sisältävät myös

runsaasti vertailun mahdollistavaa piirretietoa. Kvalitatiivisten menetelmien soveltaminen vaatii paljon aiempaa tietoa tuotteista ja niiden kustannuksista. Tämän vuoksi niiden käyttöönotossa on suurempi työ ja se voi osin selittää sitä, miksi niiden käyttöä ei ohjelmistoissa esiintynyt.

Tutkimuksen voidaan katsoa päässeen sille asetettuun tavoitteeseen. Se antaa lukijalleen käsityksen siitä, miten tuotetiedonhallinnan järjestelmien ja mekaniikkasuunnitteluohjelmistojen yhteydessä voidaan toteuttaa kustannustenhallintaa ja siten tukea tavoitekustannuslaskentaa. Ohjelmistotyyppien yleinen rooli tavoitekustannuslaskennassa onnistuttiin tunnistamaan ja yksittäisten ohjelmistojen tarkempaa roolia analysoimaan. Tutkimus tuo ohjelmistojen kehittäjille ymmärrystä tavoitekustannuslaskennan tarpeista sekä muiden markkinoilla olevien ohjelmistojen toiminnallisuuksista verrattuna omaan ohjelmistoon. Yrityksille, jossa vastaavanlaisia ohjelmistoja on jo käytössä, tutkimus tarjoaa näkökulman siihen miten niitä voidaan hyödyntää tavoitekustannusten saavuttamisessa. Tutkimuksen perusteella voidaan myös arvioida, miten nykyiset kaupalliset ohjelmistot soveltuvat yrityksen tarpeiden tyydyttämiseen ohjelmiston hankintaa pohdittaessa.

Osa tarkastelluista ohjelmistoista toimii osana tuotetiedonhallinnan järjestelmää tai mekaniikkasuunnitteluohjelmistoa ja osa on erillisiä integroitavia ohjelmistoja. Ohjelmistojen tavoitekustannusten saavuttamisen tukemiseen liittyvä toiminnallisuus ei tämän tutkimuksen valossa ole niin merkittävää, että sitä kannattaisi käyttää yhtenä tärkeänä valintakriteerinä. Erillisten ohjelmistojen osalta tutkimusta voidaan hyödyntää hankintapäätösten tukena. On kuitenkin muistettava, että tutkimus keskittyy vain ohjelmistojen teoreettisiin mahdollisuuksiin, eikä esimerkiksi käytettävyys tai kannattavuusnäkökulmia ole huomioitu. Ohjelmistojen hankintaa harkitessa olisi myös hyvä muistaa, että vaikka ohjelmistot automatisoivat joitain osia laskennassa ja parantavat tiedonkulkua organisaatiossa, eivät ne poista tarvetta laskentatoimen henkilöstölle yrityksessä.

Koska tutkimuksen tyyppi on tapaustutkimus, liittyy sen tuloksiin väistämättä subjektiivisuutta. On mahdollista, että tutkimuksesta jäi pois jokin ominaisuuksilta merkittävä ohjelmisto tai kaikkia tarkasteltujen ohjelmistojen tapoja tukea tavoitekustannusten saavuttamista ei onnistuttu tunnistamaan. Myös näkemykset tavoitekustannuslaskennasta ja siihen sisältyvistä asioista vaihtelevat kirjallisuudessa runsaasti. Työn tekijä kuitenkin katsoo, että tavoitekustannusten saavuttamiseen liittyvä aihepiiri käsiteltiin riittävän kattavasti. Vaikka ohjelmistojen kykyjä ei voidakaan pienen otosjoukon vuoksi kattavasti kartoittaa ja yleistää, tarjoaa työ ensimmäisenä tätä aihepiiriä käsittelevänä tutkimuksena näkymän siihen, miten ohjelmistoja voidaan tavoitekustannusten saavuttamisessa hyödyntää. Siten tutkimuksen voidaan katsoa täyttävän työlle asetetut tavoitteet ja vastaavan asetettuihin tutkimuskysymyksiin riittävällä tasolla. Kertaluontoisena selvityksenä nykytilasta tutkimuksen tulokset kuitenkin vanhenevat nopeasti, sillä tutkimuksen kohteena olevien ohjelmistojen toiminnallisuus kehittyy jatkuvasti ja uusia ohjelmistoja tulee markkinoille.

Työssä ohjelmistojen kykyä tukea tavoitekustannusten saavuttamista tarkasteltiin puhtaasti teoreettisesti, jonka vuoksi olisikin mielenkiintoista jatkossa tutkia ohjelmistojen käytännön mahdollisuuksia. Ohjelmistojen käyttöönottoon ja käyttöön liittyy varmasti paljon haasteita, jotka vaikuttavat ohjelmistojen todellisiin mahdollisuuksiin tavoitekustannusten saavuttamisessa. Olisi myös tarpeellista tutkia sitä, miten ohjelmien toiminnallisuus todellisuudessa vastaa eri osapuolten tuotekehityksen aikaisiin tarpeisiin kustannusinformaation osalta.

LÄHTEET

- Afonso, P., Nunes, M., Paisana, A., Braga, A. 2008. The Influence of Time-to-Market and Target Costing in the New Product Development Success. *International Journal of Production Economics*. Vol. 115(2), ss. 559-568.
- Alasuutari, P. 2011. *Laadullinen Tutkimus 2.0*. 4.painos, Tampere, Vastapaino. 331 s.
- Anderson, S. & Sedatole, K. 1998. Designing Quality into Products: The Use of Accounting Data in New Product Development. *Accounting Horizons*. Vol 12(3), ss. 213-233.
- Ansari, S.L. et al. 1997. *Target costing: The Next Frontier in Strategic Cost Management*. Chicago, Irwin. 250 s.
- Ben-Arieh. D. & Qian, L. 2003. Activity-Based Cost Management for Design and Development Stage. *International Journal of Production Economics*. Vol. 83(2), ss. 169-183.
- Burrell, G. & Morgan, G. 1979. *Sociological Paradigms and Organisational Analysis: Elements of the Sociology of Corporate Life*. Aldershot, Ashgate. 432 s.
- 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(2), ss. 165-177.
- CIMdata. 2002. *Product Lifecycle Management: Empowering the Future of Business*. Ann Arbor, CIM data, a CIMdata report. 9 s.
- Cooper, R. 1996a. Costing Techniques to Support Corporate Strategy: Evidence from Japan. *Management Accounting Research*. Vol. 7(2), ss. 219-246.
- Cooper, R. 1996b. Look Out, Management Accountants, part 1. *Management Accounting*. Vol. 77(11). ss. 20-27.
- Cooper, R. 1996c. Look Out, Management Accountants, part 2. *Management Accounting*. Vol. 77(12). ss. 35-41.
- Cooper, R. & Chew, W.B. 1996. Control Tomorrow's Costs through Today's Designs. *Harvard Business Review*. Vol. 1(1996), ss. 88-97.
- Cooper, R. & Slagmulder, R. 1997. *Target Costing and Value Engineering*. Portland, Productivity Press. 379 s.
- Cox, J., Hartley, P. & Walton, D. 1988. *Keyguide to Information Sources in CAD/CAM*. London, Mansell Publishing Ltd. 257 s.

- Davila, T. 2000. An Empirical Study on the Drivers of Management Control Systems' Design in New Product Development. *Accounting, Organizations and Society*. Vol. 25(2000), ss. 389-409.
- Davila, A. & Wouters, M. 2004. Designing Cost-Competitive Technology Products through Cost Management. *Accounting Horizons*. Vol. 18(1), ss. 13-26.
- 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(12), ss. 895-906.
- 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(3), ss. 236-263.
- Ehrlenspiel, K., Kiewert, A., Lindemann, U. 2007. *Cost-Efficient Design*. Berlin, Springer-Verlag. 546 s.
- Eisenhardt, K. M. 1989. Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, Vol. 14(4), ss. 532-550.
- Feil, P., Yook, K., Kim, I. 2004. Japanese Target Costing: A Historical Perspective. *International Journal of Strategic Cost Management*, Vol. 2(4), ss. 10-19.
- Fixson, S. 2004. Assessing Product Architecture Costing: Product Life Cycles, Allocation Rules, and Cost Models. *Proceedings of DETC'04 ASME 2004 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Salt Lake City, ASME, Syyskuu 28 – Lokakuu 2, ss. 857-868.
- Gagne, M. & Discenza, R. 1995. Target Costing. *Journal of Business & Industrial Marketing*. Vol. 10(1), ss. 16-22.
- Geiger, D.R. 1999. Practical Issues in Cost Object Selection & Measurement. *The Journal of Government Financial Management*. Vol. 48(2), ss. 47-53.
- Hinomoto, T. 1991. Restoring the Relevance of Management Accounting. *Journal of Management Accounting Research*. Vol. 3, ss. 1-15.
- Kasanen, E., Lukka, K., & Siitonen, A. 1991. Konstruktiivinen tutkimusote liiketaloustieteessä. *Liiketaloudellinen aikakauskirja*. ss. 301-329.
- Kato, Y. & Boer, G. 1995. Target costing: An Integrative Management Process. *Journal of Cost Management*. Vol. 9(1), ss. 39-51.
- Kropsu-Vehkapera, H., Haapasalo, H., Harkonen, J. & Silvola, R. 2009. Product Data Management Practices in High-Tech Companies. *Industrial management & Data Systems*. Vol. 109(6), ss. 758-774.
- Leibl, P., Hundal, M. & Hoehne, G. 1999. Cost Calculation with a Feature Based CAD System using Modules for Calculation, Comparison and Forecast. *Journal of Engineering Design*. Vol. 10(1), ss. 93-102.

- Liebers, A. & Kals, H.J.J. 1997. Cost Decision Support in Product Design. *Annals of the CIRP*. Vol. 46(1), ss. 107-112.
- Monden, Y. & Hamada, K. 2000. Target Costing and Kaizen Costing in Japanese Automobile Companies. In: Monden, Y. *Japanese Cost Management. Series on Technology Management - Vol. 4*. London, Imperial College Press. ss. 51-70.
- Neilimo, K & Uusi-Rauva, E. 1999. *Johdon laskentatoimi. 2. painos*, Helsinki, Oy Edita Ab. 366s.
- Niazi, A., Dai, J.S., Balbani, S. & Seneviratne, L. 2006. Product Cost Estimation: Technique Classification and Methodology Review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. Vol. 128(2), ss. 563-575.
- Olkkonen, T. 1993. *Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön. 2.painos*, Espoo, Teknillinen korkeakoulu, Tuotantotalouden osasto. 145 s.
- Ou-Yang, C. & Lin, T.S. 1997. Developing an Integrated Framework for Feature-Based Early Manufacturing Cost Estimation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 13(9), ss. 618-629.
- Philpotts, M. 1996. An Introduction to the Concepts, Benefits and Terminology of Product Data Management. *Industrial Management & Data Systems*. Vol. 96(4), ss. 11-17.
- Roy, R. 2003 *Cost Engineering: Why, What and How?* Decision Engineering Report Series. Cranfield, Cranfield University Press. 39 s.
- Roy, R. Kelvesjo, S. Forsberg, S. & Rush, C. 2001. Quantitative and Qualitative Cost Estimating of Engineering Design. *Journal of Engineering Design*. Vol. 12(2), ss. 147-162.
- Rueckel, V., Koch, A., Feldmann, K. & Meerkamm, H. 2005. Process Data Management in the whole Product Creation Process. *The 9th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design Proceedings*. Vol. 2(2005), ss. 1029-1033.
- Saaksvuori, A. & Immonen, A. 2010. *Product Lifecycle Management. 3. painos*, Berlin, Springer. 253 s.
- Scapens, R. 1990. Researching Management Accounting Practices: The Role of Case Study Methods. *British Accounting Review*. Vol. 22(3), ss. 259-281.
- Shank, J. & Fisher, J. 2006. Target Costing as a Strategic Tool. In: Rhodes, E., Warren, J., Carter, R. *Supply Chain and Total Production Systems: OU Reader*. Oxford, Blackwell Publishing. ss. 350-364.
- Shehab, E.M. & Abdalla, H.S. 2002. A Design to Cost System for Innovative Product Development. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B, Engineering Manufacture*. Vol. 216(7), ss. 999-1019.

- Silverman, D. 2000. *Doing Qualitative Research: A Practical Handbook*. 3. painos, Thousand Oaks, Sage Publications Ltd. 456s.
- Smith, A. & Mason, A. 1996. Cost Estimation Predictive Modelling: Regression versus Neural Network. *The Engineering Economist*. Vol. 42(2), ss. 137-161.
- Stark, J. 2011. *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation*. London, Springer. 400 s.
- Stewart, R.D., Wyskida, R.M. & Johannes, J.D. 1995. *Cost Estimator's Reference Manual*. 2. painos, New York, Wiley. 363 s.
- Suomala, P., Manninen, O. & Lyly-Yrjänäinen, J. 2011. *Laskentatoimi johtamisen tukena*. Helsinki, Edita Prima Oy. 336 s.
- Tornberg, K., Jämsen, M. & Paranko, J. 2002. Activity-Based Costing and Process Modeling for Cost-Conscious Product Design: A Case Study in a Manufacturing Company. *International Journal of Production Economics*. Vol. 79(1), ss. 75-82.
- Ulrich, K.T. & Eppinger, S.D. 1995. *Product Design and Development*. New York, The McGraw-Hill Company. 368 s.
- Uusi-Rauva, E. & Paranko, J. 1998. *Kustannuslaskenta ja tuotekehityksen tarpeet*. Tampere, Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, Teollisuustalouden laitos, Tutkimusraportteja 1/98. 113 s.
- Weustink I.F., Brinke, E., Streppel, A.H. & Kals, H.J.J. 2000. A Generic Framework for Cost Estimation and Cost Control in Product Design. *Journal of Material Processing Technology*. Vol. 103(1), ss. 141-148.
- Yin, R. K. 2003. *Case Study Research: Design and Methods*. 3. painos, Thousand Oaks, Sage Publications. 181 s.
- Zhang, Y.F., Fuh, J.Y.H. & Chan, W.T. 1996. Feature-Based Cost Estimation for Packaging Products Using Neural Networks. *Computers in Industry*. Vol. 32(1). ss. 95-113.