

Aalto-yliopisto
Perustieteiden korkeakoulu
Teknillisen fysiikan ja matematiikan tutkinto-ohjelma

Optimaalisen tuotekehitysportfolion valinta kasvuyrityksessä

Kandidaatintyö
21.8.2014

Santtu Sajets

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla.
Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

AALTO-YLIOPISTO PERUSTIETEIDEN KORKEAKOULU PL 11000, 00076 Aalto http://www.aalto.fi	KANDIDAATINTYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Santtu Saijets		
Työn nimi: Optimaalisen tuotekehitysportfolion valinta kasvuyrityksessä		
Tutkinto-ohjelma: Teknillisen fysiikan ja matematiikan tutkinto-ohjelma		
Pääaine: Systeemitieteet	Pääaineen koodi: F3010	
Vastuopettaja(t): Prof. Ahti Salo		
Ohjaaja(t): TkT Juuso Liesiö		
Tiivistelmä: Tuotekehitysportfolion valinnassa pyritään löytämään projektiehdokkaiden joukosta käynnistettävät projektit, jotka ovat hyviä yrityksen asettamien tavoitteiden valossa eivätkä ylitä asetettuja resurssirajoitteita. Usein valinta on vaikeaa, koska vaihtoehtoisia tuotekehitysprojekteja on paljon, projekteilla on keskinäisiä riippuvuuksia ja projektien tuomissa hyödyissä on epävarmuuksia. Tässä työssä teknologia-alan kasvuyrityksen tuotekehitysportfolion valintaa tuetaan robustilla portfoliomallin (Robust Portfolio Modeling; RPM) menetelmällä, jolla voidaan mallintaa epätarkkaa informaatiota tavoitteiden keskinäisessä tärkeysjärjestyksessä sekä tuotekehitysprojektien tuottamissa hyödyissä. Päätöksenteon tukena käytettävä portfoliomalli kehitetään yhteistyössä yrityksen kanssa. Portfoliomallin yhdeksi osaksi rakennetaan kaksivaiheinen viitekehys markkinapotentiaalin arvioimista varten, jolla voidaan selkeyttää asiantuntija-arvioiden antamista. Mallin parametrit estimoidaan yrityksen asiantuntijoilta kerätyistä arvioista ja niiden avulla etsitään yrityksen asettamien tavoitteiden suhteen hyvin suorituvia portfolioita. Herkkyyksianalyysi tehdään asettamalla asiantuntija arvioista arvioidut luottamusvälit portfoliomallin parametreille sekä esittämällä tulokset usealla resurssirajoitteella. Työn tulosten valossa voidaan todeta, että portfoliomallinnuksesta on selvää hyötyä tuotekehitysportfolion valinnassa. RPM-menetelmän avulla portfolioon valintaan liittyvät ominaisuudet, kuten useat tavoitteet, resurssirajoitteet, projektien keskinäiset riippuvuudet sekä epävarmuudet projektikohtaisissa arvioissa ja tavoitteiden keskinäisessä tärkeysjärjestyksessä, voidaan ottaa huomioon. Koska tulokset esitettiin usealla resurssirajoitteella, yrityksen ei tarvinnut kiinnittää kokonaiskustannusrajoitetta ennen kuin olivat nähneet mallin tulokset. Lisäksi yritys piti osallistavan päätöksentekoprosessin muodostamaa arvioihin ja laskettuihin tuloksiin perustuvaa keskustelua hyödyllisenä prosessin osana. Päätöksentekoprosessi auttoi myös sitouttamaan asiantuntijat systemaattiseen päätöksentekoon.		
Päivämäärä: 21.8.2014	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 19
Avainsanat: Tuotekehitysportfolion optimointi, robusti portfoliomallinnus, portfolion valinta, ryhmäpäätöksenteon tuki		

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Robusti portfoliomallinnus (RPM)	2
3	Sovellus tuotekehitysportfolion valinnan tukemiseen kasvu- yrityksessä	4
3.1	Tausta	4
3.2	Osallistujat	5
3.3	Mallin rakenne	5
3.4	Asiantuntija-arviointi	7
3.5	Mallin parametointi ja ratkaiseminen	11
3.6	Tulokset	13
4	Yhteenveto ja johtopäätökset	16

1 Johdanto

Teknologia-alan yritykset pyrkivät parantamaan kilpailukykyään sijoittamalla resursseja tuotekehitysprojekteihin (Salo ym. 2011). Uusien teknologioiden kehittäminen laajentaa tuoteportfoliota ja auttaa valtaamaan uusia markkina-alueita. Rajallisilla resursseilla pystytään kuitenkin käynnistämään vain osa mahdollisista tuotekehitysprojekteista. Portfolion valinnassa tavoitteena on jakaa käytettävissä olevat resurssit siten, että käynnistettävistä projekteista muodostuva portfolio tukisi mahdollisimman paljon yrityksen tavoitteita (Ghasemzadeh ja Archer 2000). Lisäksi valinnassa tulee huomioida, että tuotekehitysprojektien tuottamiin hyötyihin liittyy paljon epävarmuuksia (Schmidt ja Freeland 1992).

Portfoliopäätösanalyysillä (Portfolio Decision Analysis; PDA) tuetaan portfolion valintaongelmien ratkaisemista. PDA-menetelmissä yhdistetään päätösanalyysiä ja optimointia. Ne mahdollistavat projektien arvioinnin usean tavoitteen suhteen ja niiden avulla voidaan huomioida projekteihin kohdistuvia riskejä. Menetelmiä on sovellettu useissa tuotekehitysportfolion valintaongelmissa (Mild 2006, Brummer ym. 2011, Salo ym. 2011). Esimerkiksi Lindstedt ym. (2008) käyttivät robustia portfoliomallinnusta (Robust Portfolio Modeling; RPM) tuotekehitysportfolion valinnan tukemiseen teknologia-alan yrityksessä. RPM-menetelmässä projektien arvot useiden tavoitteiden suhteen voidaan kuvata intervaleina ja tavoitteiden keskinäinen tärkeysjärjestys pystytään mallintamaan epäyhtälöinä (Salo ja Punkka 2005).

Tässä työssä tuettiin teknologia-alan kasvuyrityksen tuotekehitysportfolion valintaa RPM-menetelmällä. Ensin rakennettiin malli, jonka avulla pystyttiin arvioimaan tuotekehitysprojekteja yrityksen asettamien tavoitteiden valossa. Malliin muodostettiin viitekehys, jota käytettiin projektien markkinapotentiaalin eli mahdollisten saavutettavien markkinoiden arviointiin. Lisäksi mallissa kerättiin asiantuntija-arvioita projektien teknologisesta etumatkasta. Mallista ratkaistiin tavoitteiden suhteen hyviä projekteja RPM-menetelmällä. Prosessissa päätöksentekijöitä osallistettiin projektiin usean tapaamisen aikana ja prosessi toteutettiin läpinäkyvästi. Erityisesti huomiota kiinnitettiin viestintään tulosten analysointivaiheessa, jolloin pystyttiin varmistamaan päätöksentekijöiden sitoutuminen päätöksentekoprosessiin (Rios ym. 2005). Prosessin avulla saatiin tunnistettua arvioiden valossa kannattavat tuotekehitysprojektit ja kvantifioitua asiantuntijoiden näkemystietoa yrityksen tulevista markkinoista.

2 Robusti portfoliomallinnus (RPM)

RPM-menetelmää käytetään monitavoitteisten portfolionvalintaongelmien ratkaisemiseen. Menetelmä hyödyntää epätäydellistä informaatioita projektien tavoitekohtaisissa arvioissa ja tavoitteiden keskinäisissä tärkeysjärjestyksissä. Sitä on sovellettu useisiin portfolion valintaongelmiin, kuten uusien innovaatioiden seulontaan kauppa- ja teollisuusministeriössä (Könnölä ym. 2007), tukemaan tutkimussuuntien tuottamista metsäteollisuudelle (Könnölä ym. 2011) ja tuottamaan ex-post portfolioarviointeja innovaatio-ohjelmista (Salo ym. 2006).

Tuotekehitysportfolion valintaongelma voidaan esittää RPM:ssä seuraavasti. Olkoon joukko $X = \{x^1, \dots, x^m\}$ mahdolliset kehitettävät tuotteet, joita arvioidaan n :n tavoitteen suhteen. Olkoon v_i^j tuotteen $j \in \{1, \dots, m\}$ arvo tavoitteen $i \in \{1, \dots, n\}$ suhteen. Tällöin saadaan matriisi $v \in \mathbb{R}^{m \times n}$, jossa j :s rivi koostuu tuotteen j saamista arvoista. Tavoitteen suhteellista tärkeyttä kuvaa painokerroin $w_i \in [0, 1]$. Painokerroin kertoo, kuinka paljon tuotteen kokonaisarvo kasvaa, kun tavoitekohtainen arvo muuttuu huonoimmasta parhaaksi. Painot skaalataan siten, että $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, joten käypien painovektoreiden $w = [w_1, \dots, w_n]$ joukko voidaan esittää muodossa

$$S_w = \{w \mid w_i \geq 0, \sum_{i=1}^n w_i = 1\}. \quad (1)$$

RPM-menetelmässä käytetään additiivisia arvofunktoita (Dyer ja Sarin 1979) tuotteiden tavoitekohtaisten arvojen yhdistämiseen, jolloin tuotteen kokonaisarvoksi saadaan

$$V(x^j, w, v) = \sum_{i=1}^n w_i v_i^j. \quad (2)$$

Tuoteportfolion $p \subseteq X$ arvo on puolestaan portfolion sisältämien tuotteiden arvojen summa eli

$$V(p, w, v) = \sum_{x^j \in p} V(x^j, w, v). \quad (3)$$

Tuoteportfoliota valittaessa on lisäksi huomioitava rajalliset tuotekehitysresurssit sekä mahdolliset muut rajoitteet. RPM-menetelmässä nämä mallinetaan lineaarisina rajoitteina, jotka määrittelevät käypien portfolioiden joukon P_F . Otetaan käyttöön vektori $z \in \{0, 1\}^n$, jonka alkioille z_j pätee $z_j = 1$, jos $x^j \in p$. Käypien portfolioiden joukko saadaan määriteltäessä muodossa

$$P_F = \{p \subseteq X \mid Az \leq B\}, \quad (4)$$

jossa matriisi A ja vektori B muodostavat vaaditut lineaariset rajoitteet. Jos esimerkiksi kehityskustannuksille on asetettu resurssirajoite, lineaarinen rajoite on muotoa

$$\sum_{j=1}^m z_j c^j \leq C, \quad (5)$$

jossa c^j on tuotteen j vaatimat tuotekehitysresurssit sekä C asetettu tuotekehitysresurssien yläraja. Jos taas esimerkiksi tuote x^k tulee kehittää ennen tuotetta x^l , lineaarinen rajoite on muotoa

$$z^l - z^k \leq 0. \quad (6)$$

Tavoitteena on tunnistaa käypien portfolioiden joukosta se tuoteportfolio, joka maksimoi portfolion arvon. Jos tavoitteiden painokertoimet ja tuotteiden tavoitekohtaiset arvot tunnetaan tarkasti, suurimman kokonaisarvon omaava portfolio saadaan ratkaistua lineaarisesta kokonaislukutehtävästä

$$\max_{p \in P_F} V(p, v, w). \quad (7)$$

Usein sovelluksissa tavoitteiden painokertoimiin ja tuotteiden tavoitekohtaisiin arvoihin liittyy kuitenkin epävarmuutta tai ne ovat epätäydellisesti määriteltäviä (Salo ja Punkka 2005). RPM-menetelmässä voidaan tarkkojen painojen sijasta käsitellä joukkoa käyviä painovektoreita. Käypien painovektoreiden joukko $S_w^0 \subseteq S_w$ määritellään lineaaristen epäyhtälöiden avulla. Jos esimerkiksi tavoite $i \in \{1, \dots, n\}$ on aina vähintään yhtä tärkeä kuin tavoite $i' \in \{1, \dots, n\}$, joukon S_w^0 määrittelyyn lisätään rajoitus

$$w_{i'} \leq w_i. \quad (8)$$

Pisteet voidaan ilmoittaa tarkkojen arvojen sijasta vaihteluväleinä, jolloin tuotteiden saamien pisteiden joukkoa $S_v \subset \mathbb{R}_+^{m \times n}$ voidaan merkitä

$$S_v = \{v \mid \underline{v}_i^j \leq v_i^j \leq \bar{v}_i^j \ \forall i \in \{1, \dots, n\}, j \in \{1, \dots, m\}\}, \quad (9)$$

missä \underline{v}_i^j ja \bar{v}_i^j ovat vaihteluvälin ala- ja yläraja tuotteen j tavoitekohtaiselle arvolle.

Kun painokertoimia ja tuotteiden tavoitekohtaisia arvoja ei tunneta tarkasti, optimointiongelmaa (7) ei ole yksikäsitteistä ratkaisua. Käyviä portfolioita on mahdollista kuitenkin vertailla dominanssin avulla. Portfolio p dominoi portfolioa p' , jos

$$\begin{aligned} V(p, w, v) &\geq V(p', w, v) \text{ kaikilla } w \in S_w^0, v \in S_v \text{ ja} \\ V(p, w, v) &> V(p', w, v) \text{ jollain } w \in S_w^0, v \in S_v. \end{aligned} \quad (10)$$

Tällöin merkitään $p \succ p'$. Tämä tarkoittaa, että on olemassa toinen käypä portfolio, jolla on vähintään yhtä suuri kokonaisarvo kaikilla sallituilla tavoitteiden painoilla ja tuotteiden tavoitekohtaisilla arvoilla ja suurempi kokonaisarvo joillain tavoitteiden painoilla ja tuotteiden tavoitekohtaisilla arvoilla. Näin ollen päätöksentekijälle kannattaa esittää ainoastaan ei-dominoituja portfolioita. Ei-dominoitujen portfolioiden joukko P_N on

$$P_N = \{p \in P_F \mid \nexists p' \in P_F \text{ s.e. } p' \succ p\}. \quad (11)$$

Tämä joukko voidaan laskea monitavoitteisella optimointialgoritmilla, joka perustuu dynaamiseen optimointiin (Liesiö ym. 2007).

Kun ei-dominoidut portfolioit on laskettu, voidaan tuotteille laskea vielä ydinluvut kaavalla

$$CI(x^j) = \frac{|\{p \in P_N \mid x^j \in p\}|}{|P_N|}, \quad (12)$$

missä $|\cdot|$ on portfolioiden määrä kyseisessä joukossa. Tuotteet jaetaan kolmeen ryhmään ydinlukujen perusteella. Ryhmät ovat ydintuotteet, rajatuotteet ja ulkotuotteet. Ydintuotteisiin kuuluvat tuotteet, jotka löytyvät jokaisesta ei-dominoidusta portfolioista eli joiden ydinluku on yksi. Nämä tuotteet kannattaa kehittää joka tapauksessa. Ulkotuotteisiin kuuluvat tuotteet, joiden ydinluku on nolla eli tuotteet eivät kuulu yhteenkään ei-dominoituun portfolioon. Näiden tuotteiden kehittämistä ei suositella. Rajatuotteisiin kuuluvat tuotteet, joiden ydinluku on suurempi kuin nolla, mutta ykköstä pienempi. Kyseiset tuotteet kuuluvat osaan ei-dominoiduista portfolioista. Näistä tuotteista kannattaa kerätä lisää informaatiota tai niiden kehittämistä kannattaa neuvotella tarkemmin, jotta voidaan tunnistaa oikeat tuotteet, jotka voidaan siirtää kehitettävien tuotteiden joukkoon.

3 Sovellus tuotekehitysportfolion valinnan tukemiseen kasvuyrityksessä

3.1 Tausta

Teknologia-alan kasvuyritys oli saanut hiljattain uusia sijoittajia mukaan yrityksen toimintaan. Tarkoituksena oli käyttää suuri osa lisäpääomasta tuotekehitykseen. Hallituksen jäsenet halusivat systemaattisesti tutkia mahdollisia panostuskohteita tuotekehityksessä ja osallistaa yrityksen henkilökuntaa mukaan prosessiin.

Yrityksellä oli selkeä käsitys siitä, minkälaisia tuotekehitysprojekteja heidän oli mahdollista käynnistää. Kasvuyritykselle tyypillisten rajoitteiden ja tavoitteiden huomioiminen näitä projekteja arvioitaessa todettiin kuitenkin vaikeaksi ilman systemaattista analyysiä.

Osallistavaa prosessia pidettiin myös hyvänä siksi, että uudet sijoittajat voisivat tutustua yrityksen liiketoimintaympäristöön seuraamalla tuotekehitysportfolioon valinnan kulkua ja osallistumalla tulosten analysointiin.

Yritykselle esiteltiin RPM-menetelmän toimintaperiaate ja he totesivat sen sopivan heidän tarpeisiinsa. Portfoliomallia lähdettiin rakentamaan yhdessä yrityksen kanssa siten, että voitaisiin kyseisen menetelmän ominaisuuksia hyödyntää analyysissa.

3.2 Osallistujat

Yrityksen hallituksen kanssa asetettiin projektille tavoitteet ja aikataulu sekä valittiin henkilöt, joiden kanssa analyysissa käytettävä malli rakennettaisiin ja joiden kanssa tarvittavat parametrit arvioitaisiin. Hallitus osallistui myös tulosten analysointiin prosessin lopussa.

Malli rakennettiin yhteistyössä yrityksen toimitus-, markkinointi- sekä myyntijohtajan kanssa. Mallin parametrit arvioitiin yhteistyössä suuremman asiantuntijaryhmän kanssa. Toimitus-, markkinointi- ja myyntijohtajan lisäksi parametrien arviointiin osallistuivat kolme tuotekehityksen työntekijää, jotka toivat tietoa tuotteiden teknologisesta etumatkasta.

3.3 Mallin rakenne

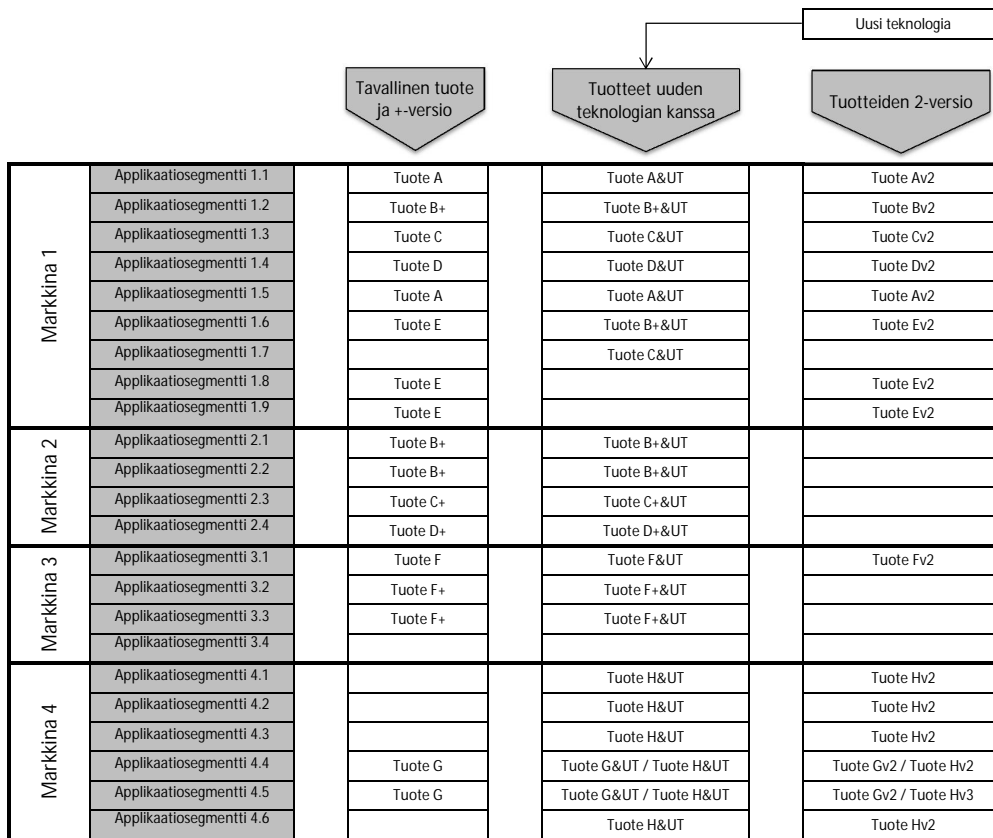
Mallin rakenne linjattiin yhdessä kolmen hengen asiantuntijaryhmän kanssa. Rakenne kehitettiin sopivaksi kahdeksassa tapaamisessa. Asiantuntijaryhmän kanssa pidettiin viisi tapaamista, joiden välillä pidettiin tapaamisia yksittäisten hallituksen jäsenten kanssa.

Malli päädyttiin rakentamaan seuraavien asetelmien pohjalta:

- **Tavoitteet:** Kehitettäviä tuotteita arvioitiin kahden tavoitteen suhteen. Ensimmäinen oli niiden saavutettavissa oleva markkinaosuus kapalemääräisestä myynnistä eli markkinapotentiaali. Toinen tavoite oli tuotteiden teknologinen etumatka suhteessa kilpailijoihin.

- **Resurssit:** Resurssirajoitteena oli tuotekehitysprojektien kehityskustannukset.
- **Tuotekehitysprojektit:** Tuotekategorioita oli kahdeksan, joita seuraavassa merkitään kirjaimilla A-H. Jokaisessa kategoriassa voitiin ensin kehittää tavallinen versio, esimerkiksi Tuote A. Tavallisesta versiosta voitiin jatkokehittää kaksi tuotetta, Tuote A+ ja Tuote Av2. Tavalliseen tuotteeseen ja +-versioon pystyttiin liittämään uusi teknologia (UT). Tällöin saatiin esimerkiksi tuotteet Tuote A&UT ja Tuote A+&UT. Nämä vaativat kuitenkin, että uusi teknologia UT kehitetään myös. Kaikkiaan mahdollisia kehitettäviä tuotteita oli 28 kappaletta. Nämä on esitetty kuvassa 1.
- **Loogiset rajoitteet:** Tuotteilla oli loogisia riippuvuuksia keskenään. Tuotteita pystyttiin jatkokehittämään, mikäli tavallinen versio kyseisestä tuotteesta oli kehitetty. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi Tuote A tuli kehittää ennen tuotteita Tuote A+ ja Tuote Av2. Uusi teknologia voitiin liittää tuotteeseen, jos (i) uusi teknologia oli kehitetty ja (ii) tuotteen aikaisempi versio oli kehitetty. Esimerkiksi Tuote A+ ja uusi teknologia UT tuli kehittää ennen kuin voitiin kehittää Tuote A+&UT. Uuden teknologian UT pystyi integroimaan sekä tavalliseen tuotteeseen että +-versioon. Esimerkiksi tuotteet Tuote A&UT ja Tuote A+&UT olivat mahdollisia. Näiden riippuvuuksien lisäksi tuotteiden väleillä oli yksittäisiä riippuvuuksia, jotka sulki pois osan mahdollisista tuotteista.

Tuotteiden markkinapotentiaalin arviointia varten rakennettiin seuraava viitekehys. Tuotteet jaettiin kolmeen tuotetasoon siten, että ensimmäisessä olivat tavalliset tuotteet ja +-versiot, toisessa tuotteet uuden teknologian kanssa ja kolmannessa tuotteiden 2-versiot. Yrityksen mahdolliset markkinat jaettiin neljään päämarkkinaan ja nämä jaettiin vielä osiin tuotteiden sovelluskohteiden perusteella. Yhteensä sovelluskohteita oli 23 kappaletta. Sovelluskohteita kutsuttiin applikaatiosegmenteiksi. Tuote sijoitettiin applikaatiosegmentille, mikäli sitä voitaisiin myydä kyseiseen käyttöön. Yksi tuote saattoi sopia useamman segmentin alle. Kun tuotteet oli sijoitettu segmenteille, muodostettiin matriisi jakamalla sovelluskohteiden alla olevat tuotteet tuotetasojen perusteella ryhmiin. 23×3 kokoisesta matriisista löytyi yhteensä 43 täytettyä solua. Neljään matriisin soluista sopi kaksi tuotetta. Kyseinen matriisi on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Tuotteiden markkinapotentiaalin arvioimisen viitekehys

3.4 Asiantuntija-arviointi

Mallin rakentamisen jälkeen pidettiin työpaja, johon osallistui kuusi yrityksen työntekijää. Työpaja kesti yhden iltapäivän. Ensin esiteltiin koko päätösprosessin kulku. Tämän jälkeen avattiin rakennettu malli ja määriteltiin tarkasti mallin eri osa-alueet. Ennen arviointia käytiin vielä keskustelua mallin rakenteesta. Tämä oli hyödyllistä, koska keskustelun perusteella malliin tehtiin muutoksia. Neljälle applikaatiosegmentille lisättiin tuotteita. Loput ajasta käytettiin arviointien tekemiseen. Arviot tuotteiden suorituskyvyistä tavoitteiden suhteen kerättiin ennen työpajaa rakennettuihin Excel-taulukoihin.

Taulukko, johon asiantuntija-arviot kerättiin, koostui kolmesta täytettävästä sivusta. Sivulla kerättävä tieto koostui seuraavista:

- **Markkinoiden suhteelliset koot:** Vastauslomakkeen ensimmäinen sivu on esitetty kuvassa 2. Tällä sivulla arvioitiin markkinoiden ja applikaatiosegmenttien suhteellisia kokoja. Markkinoiden koko määriteltiin koskemaan koko toimialan markkinoita. Lisäksi määriteltiin, että koko mitatetaan myytävien tuotteiden määrässä. Markkina 1 oli yritykselle tuttu ja sen koko kiinnitettiin arvoon kymmenen. Asiantuntijoita pyydettiin arvioimaan muiden kolmen markkinan koko verrattuna Markkina 1:en kokoon. Arviot pyydettiin kokonaislukuina. Toinen arvioitava asia tällä sivulla oli applikaatiosegmenttien suhteelliset koot markkinoiden sisällä. Nämä arviot pyydettiin prosenttilukuna. Asiantuntijoita ohjeistettiin täyttämään arvot siten, että jokaisen markkinan sisällä suhteellisten kokojen summa olisi 100 prosenttia.
- **Saavutettava odotusarvoinen markkinaosuus:** Vastauslomakkeen toinen sivu on esitetty kuvassa 3. Tältä sivulta löytyivät applikaatiosegmenteille sopivat tuotteet. Ryhmältä pyydettiin arvioita siitä, kuinka suuri osuus voitaisiin applikaatiosegmentin markkinoista odotusarvoisesti saavuttaa kyseisellä tuotteella. Saavutettava markkinaosuus pyydettiin arvioimaan yrityksen nykyinen hinnoittelupolitiikka huomioiden ja pyydettiin kiinnittämään huomiota applikaatiosegmenttien kilpailutilanteeseen. Arviot annettiin prosenteissa.
- **Tuotteiden teknologinen etumatka:** Vastauslomakkeen kolmas sivu on esitetty kuvassa 4. Tälle sivulle kerättiin mahdolliset kehitettävät tuotteet. Asiantuntijoilta pyydettiin arviota siitä, kuinka kauan kilpailijoilta veisi aikaa tuoda markkinoille vastaavanlainen tuote. Arviot pyydettiin vuosissa.

Kuvissa 2, 3 ja 4 on esitetty myös esimerkki asiantuntijoilta saaduista arvioista. Jokainen asiantuntija antoi oman arvionsa markkinoiden ja applikaatiosegmenttien koista, odotusarvoisesti saavutettavissa olevista markkinoista sekä teknologisesta kilpailuedusta. Heitä ohjeistettiin jättämään kohdat tyhjiksi, joihin he eivät mielestään osanneet vastata.

Tuotteiden suhteelliset resurssikulutukset pyydettiin suoraan yrityksen toimitusjohtajalta. Hän täytti arviot yhdessä tuotekehityspäällikön kanssa. Arviot annettiin kokonaislukuina ja ne sijoittuivat välille 0-20.

Markkina 1	10	Applikaatiosegmentti 1.1	35	Summa 100 %
		Applikaatiosegmentti 1.2	20	
		Applikaatiosegmentti 1.3	15	
		Applikaatiosegmentti 1.4	10	
		Applikaatiosegmentti 1.5	4	
		Applikaatiosegmentti 1.6	4	
		Applikaatiosegmentti 1.7	4	
		Applikaatiosegmentti 1.8	2	
		Applikaatiosegmentti 1.9	6	
Markkina 2	3	Applikaatiosegmentti 2.1	55	Summa 100 %
		Applikaatiosegmentti 2.2	20	
		Applikaatiosegmentti 2.3	15	
		Applikaatiosegmentti 2.4	10	
Markkina 3	3	Applikaatiosegmentti 3.1	30	Summa 100 %
		Applikaatiosegmentti 3.2	55	
		Applikaatiosegmentti 3.3	5	
		Applikaatiosegmentti 3.4	10	
Markkina 4	2	Applikaatiosegmentti 4.1	6	Summa 100 %
		Applikaatiosegmentti 4.2	30	
		Applikaatiosegmentti 4.3	10	
		Applikaatiosegmentti 4.4	28	
		Applikaatiosegmentti 4.5	12	
		Applikaatiosegmentti 4.6	14	

Kuva 2: Vastauslomakkeen ensimmäinen sivu ja asiantuntijan arviot markkinoiden ja applikaatiosegmenttien koista

Markkinoiden ja applikaatiosegmenttien koko				Applikaatiosegmentiltä saavutettavissa olevan osuuden odotusarvo					
				Tavallinen		Teknologia&Tavallinen		2-versio	
Markkina 1	10	Applikaatiosegmentti 1.1	35 %	Tuote A 20	Tuote A&UT 30	Tuote Av2 90			
		Applikaatiosegmentti 1.2	20 %	Tuote B+ 15	Tuote B+&UT 25	Tuote Bv2 70			
		Applikaatiosegmentti1. 3	15 %	Tuote C 10	Tuote C&UT 25	Tuote Cv2 50			
		Applikaatiosegmentti1. 4	10 %	Tuote D 10	Tuote D&UT 10	Tuote Dv2 60			
		Applikaatiosegmentti1. 5	4 %	Tuote A 20	Tuote A&UT 40	Tuote Av2 80			
		Applikaatiosegmentti 1.6	4 %	Tuote E 15	Tuote B+&UT 15	Tuote Ev2 70			
		Applikaatiosegmentti 1.7	4 %		Tuote C&UT 15				
		Applikaatiosegmentti 1.8	2 %	Tuote E 15		Tuote Ev2 70			
		Applikaatiosegmentti 1.9	6 %	Tuote E 10		Tuote Ev2 60			
Markkina 2	3	Applikaatiosegmentti 2.1	55 %	Tuote B+ 5	Tuote B+&UT 5				
		Applikaatiosegmentti 2.2	20 %	Tuote B+ 20	Tuote B+&UT 30				
		Applikaatiosegmentti2. 3	15 %	Tuote C+ 15	Tuote C+&UT 20				
		Applikaatiosegmentti2. 4	10 %	Tuote D+ 70	Tuote D+&UT 30				
Markkina 3	3	Applikaatiosegmentti 3.1	30 %	Tuote F 25	Tuote F&UT 10	Tuote Fv2 70			
		Applikaatiosegmentti 3.2	55 %	Tuote F+ 35	Tuote F+&UT 10				
		Applikaatiosegmentti3. 3	5 %	Tuote F+ 35	Tuote F+&UT 30				
		Applikaatiosegmentti3. 4	10 %						
Markkina 4	2	Applikaatiosegmentti 4.1	6 %		Tuote H&UT 5	Tuote Hv2 20			
		Applikaatiosegmentti 4.2	30 %		Tuote H&UT 15	Tuote Hv2 60			
		Applikaatiosegmentti4. 3	10 %		Tuote H&UT 10	Tuote Hv2 60			
		Applikaatiosegmentti4. 4	28 %	Tuote G 15	Tuote G&UT 10	Tuote H&UT 10	Tuote Gv2 80	Tuote Hv2 10	
		Applikaatiosegmentti4. 5	12 %	Tuote G 20	Tuote G&UT 10	Tuote H&UT 15	Tuote Gv2 85	Tuote Hv2 20	
		Applikaatiosegmentti 4.6	14 %		Tuote H&UT 10	Tuote Hv2 20			

Kuva 3: Vastauslomakkeen toinen sivu ja asiantuntijan arviot tuotteiden saavutettavissa olevista markkinaosuuksista

Teknologinen etumatka			
Tavallinen	Teknologia&Tavallinen	2-versio	
Tuote A	1	Tuote Av2	4
Tuote B+	2	Tuote Bv2	3
Tuote C	2	Tuote Cv2	3
Tuote C+	2		
Tuote D	2	Tuote Dv2	3
Tuote D+	2		
Tuote E	2	Tuote Ev2	3
Tuote F	2	Tuote Fv2	3
Tuote F+	4		
Tuote G	1	Tuote Gv2	3
		Tuote Hv2	3

Kuva 4: Vastauslomakkeen kolmas sivu ja asiantuntijan arviot tuotteiden teknologisesti etumatkasta suhteessa kilpailijoihin

3.5 Mallin parametrinti ja ratkaiseminen

Ensimmäisessä työpajassa saaduista arvioista aggregoitiin applikaatiosegmenttien koko kertomalla markkinoiden koko ja applikaatiosegmentin osuus keskenään. Jokaiselle applikaatiosegmentille $k \in \{1, \dots, 23\}$ laskettiin koon keskiarvo \hat{a}_k ja koon keskihajonta $\text{STD}[a_k]$.

Ensimmäinen mallin tavoitteista oli saavutettavan markkinan koko. Koska tuotteilla saavutettavissa olevista odotusarvoisista applikaatiosegmenttien osuuksista ei kaikilla asiantuntijoilla ollut tietoa, he jättivät useita soluja tyhjiksi vastauslomakkeen toisella sivulla. Tästä syystä markkinaosuuksien arvioita ei ollut mahdollista aggregoida asiantuntijakohtaisesti ilman, että osa datasta olisi jouduttu hylkäämään. Koska otanta oli suhteellisen pieni, ei tähän haluttu ryhtyä. Sen sijaan ensin laskettiin kaikkien arvion antaneiden asiantuntijoiden vastauksista applikaatiosegmentiltä k tuotteella $j \in \{1, \dots, 28\}$ saavutettavan markkinaosuuden keskiarvo \hat{b}_k^j ja keskihajonta $\text{STD}[b_k^j]$. Tämän jälkeen saatiin segmentiltä k tuotteen j saamat keskiarvoiset pisteet kaavalla

$$\hat{f}_k^j = \hat{a}_k \hat{b}_k^j \quad (13)$$

ja pisteiden keskihajonta kaavalla

$$\text{STD}[f_k^j] = \sqrt{(\hat{a}_k)^2 \text{STD}[a_k]^2 + (\hat{b}_k^j)^2 \text{STD}[b_k^j]^2 + \text{STD}[a_k] \text{STD}[b_k^j]}, \quad (14)$$

joka olettaa, että arviot ovat keskenään riippumattomia. Koska yksi tuote saattoi sopia usealle applikaatiosegmentille, täytyi eri applikaatiosegmenteiltä saadut tulokset vielä aggregoida yhteen. Jokaiselle tuotteelle j laskettiin pisteiden keskiarvo kaavalla

$$\hat{e}_1^j = \sum_{\{k,j\} \in A_j} \hat{f}_k^j, \quad (15)$$

jossa joukko A_j koostuu pareista $\{k, j\}$, joille pätee, että tuote j sopii applikaatiosegmentille k . Vastaavasti jokaiselle tuotteelle j laskettiin keskihajonta kaavalla

$$\text{STD}[e_1^j] = \sqrt{\sum_{\{k,j\} \in A_j} \text{STD}[f_k^j]^2}. \quad (16)$$

Toinen mallin tavoitteista oli teknologinen etumatka. Jokaiselle tuotteelle j laskettiin pisteiden keskiarvo \hat{e}_2^j ja pisteiden keskihajonta $\text{STD}[e_2^j]$.

Näiden tunnuslukujen avulla laskettiin ei-dominoidut portfoliot. Laskennat suoritettiin kahdessa tapauksessa resurssirajoitteilla $C \in [0, 300]$. Kyseisillä rajoitteilla saatiin laskentaan mukaan kaikki mahdolliset portfoliot. Ensimmäisessä tapauksessa pisteille ei asetettu vaihteluväliä, jolloin intervallien rajat olivat muotoa

$$\underline{v}_i^j = \bar{v}_i^j = \hat{e}_i^j. \quad (17)$$

Laskenta suoritettiin algoritmilla, joka tunnistaa kaikki ei-dominoidut portfoliot kullakin resurssirajoitteella (Liesiö ym. 2008). Toisessa tapauksessa intervallien rajat olivat muotoa

$$\underline{v}_i^j = \hat{e}_i^j - \frac{\text{STD}[e_i^j]}{\sqrt{5}} \quad (18)$$

ja

$$\bar{v}_i^j = \hat{e}_i^j + 2 \frac{\text{STD}[e_i^j]}{\sqrt{5}}. \quad (19)$$

Tällä intervallilla $[\underline{v}_i^j, \bar{v}_i^j]$ approksimoitiin keskiarvon keskivirhettä. Ylöspäin päädyttiin ottamaan kaksinkertainen arvo, koska jaukauma oli huomattavasti vino oikealle. Keskiarvon keskivirhettä ei aggregoinnista johtuen pystytty laskemaan. Tässä tapauksessa laskennat suoritettiin approksimatiivisesti simuloimalla 1000 erilaista portfoliota (Mild ym. 2013). Molemmissa tapauksissa ei-dominoitujen portfolioiden avulla laskettiin ydinluvut jokaiselle tuotteelle ja nämä tallennettiin toista työpajaa varten.

3.6 Tulokset

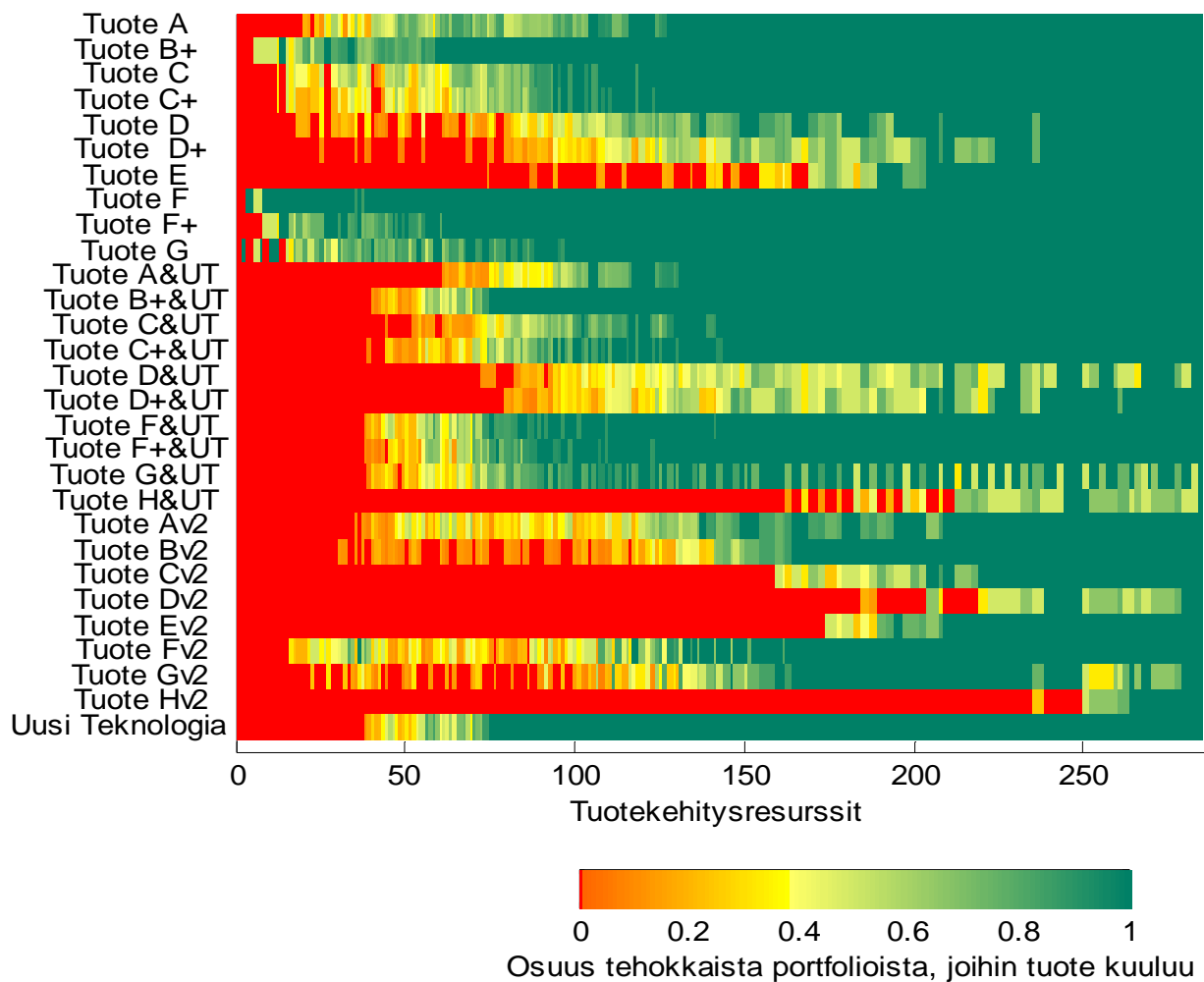
Toisessa työpajassa yrityksen hallitukselle esiteltiin ensimmäisessä työpajassa kerätyistä arvioista laskettuja tuloksia. Työpajan kesto oli yhden iltapäivän. Ensin käytiin läpi ensimmäisen työpajan kulku ja siellä täsmennetty malli. Tämän jälkeen kerrattiin projektin alussa asetetut tavoitteet ja esiteltiin arvioista lasketut tulokset. Loppuaika keskusteltiin tuloksista ja tehtiin näiden perusteella alustavia päätöksiä.

Ennen varsinaisia tuloksia esiteltiin asiantuntijoiden arvioista laskettuja tunnuslukuja. Markkinoiden ja applikaatiosegmenttien kokojen arvioista esitettiin keskiarvot ja keskihajonnat. Samalla näytettiin vastaavat tunnusluvut tuotteiden saavutettavissa olevista markkinoista applikaatiosegmenttien sisällä. Näiden esittelyssä kuitenkin painotettiin, että tuotteiden yksittäiset arvot applikaatiosegmenttien sisällä eivät kuvastaneet koko tilannetta. Enemmän tuotteiden suorituskyvystä kertoisivat niille yhteenlasketut pisteet. Lisäksi painotettiin, että malli ei huomio mahdollisia kannibalisoivaikutuksia. Tuloksista olisi voinut päätellä, että osa applikaatiosegmenteistä olisi mahdollista vallata kokonaan, kun kehittäisi kaikki segmentille sopivat tuotteet. Todellisuudessa tämä olisi hyvin epätodennäköistä siksi, että tuotteet syövät toistensa markkinoita. Myös arvioituista tuotteiden teknologisista etumatkoista esitettiin keskiarvot ja keskihajonnat.

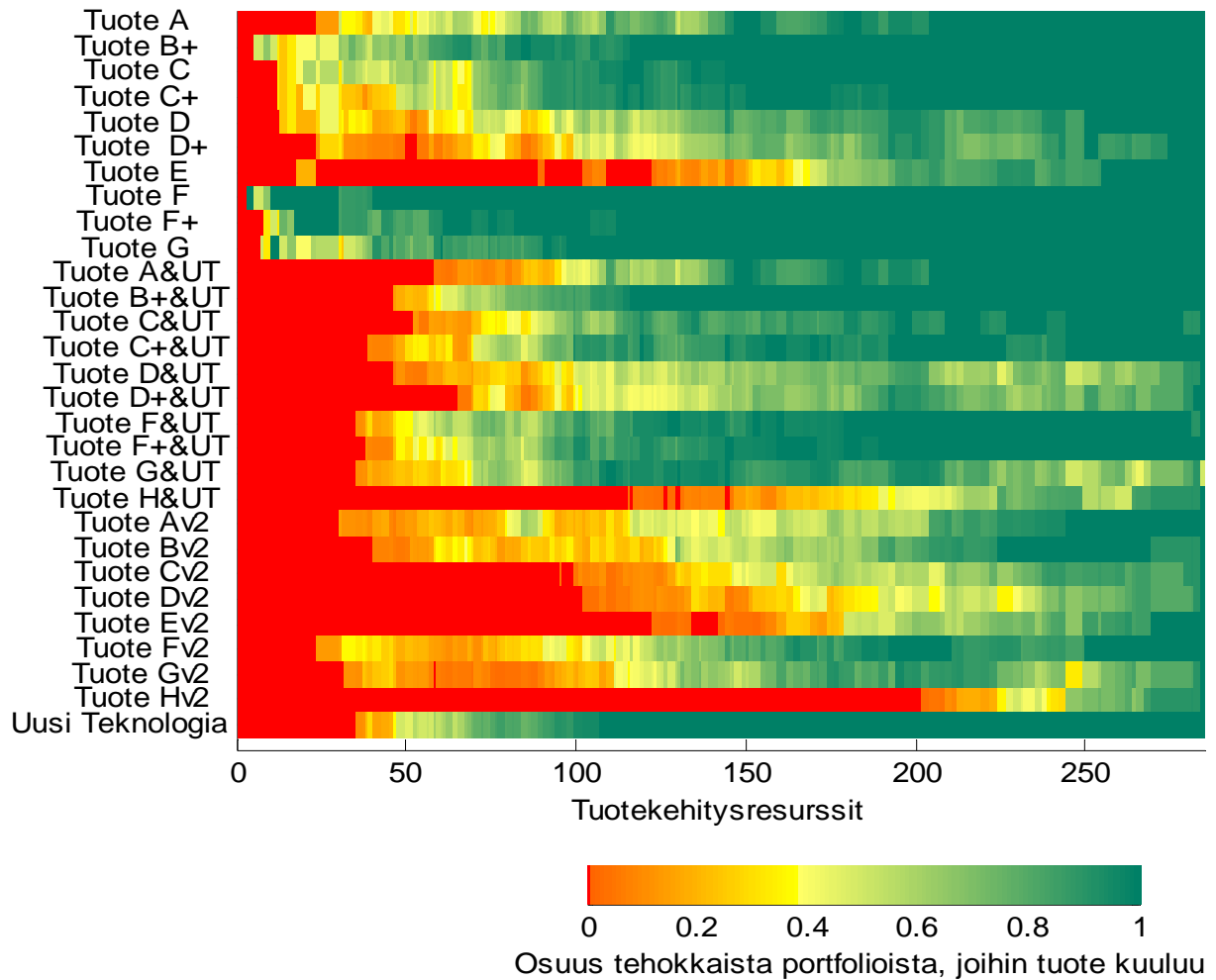
Varsinaiset mallin antamat tulokset esitettiin havainnollistamalla tuotteiden ydinlukuja. Kuvassa 5 on havainnollistettu tuotteiden ydinlukuja, kun pisteillä ei ole vaihteluväliä. Tässä vaakasuuntaisella akselilla ovat käytettävät tuotekehitysresurssit ja pystysuuntaisella akselilla kehitettävät tuotteet. Ydinluku on esitetty siten, että punainen merkitsee sitä, että tuote ei löydy yhdestäkään ei-dominoidusta portfolioista. Tumman vihreä väri tarkoittaa, että tuote löytyy kaikista ei-dominoiduista portfolioista. Kyseisestä kuvasta hallituksen jäsenillä oli paljon kommentteja. Usean tuotteen kohdalla mietittiin, miksi tulos on kuvan kaltainen. Kun tutkittiin, minkälaiset tuotteen saavutettavat markkinat olivat, minkälainen oli tuotteen teknologinen etumatka ja minkälaiset olivat tuotteen kehityskustannukset, saatiin kysymyksen vastaus ja keskustelua kyseisen tuotteen mahdollisuuksista aikaiseksi. Tätä arvioihin pohjautuvaa keskustelua hallituksen jäsenet pitivät työpajan hyödyllisimpänä antina.

Herkkyysanalyysiä tehtiin vertaamalla ydinlukuja ilman vaihteluväliä ja vaihteluvälin kanssa. Kuvassa 6 on havainnollistettu tuotteiden ydinluvut, kun pisteiden intervallit ovat kaavojen (18) ja (19) mukaiset. Hallituksen jäsenet pitivät siitä, että tulokset vaikuttivat robusteilta, kun verrataan kuvia 5 ja 6.

Tämä pitää paikkansa etenkin, kun verrataan kuvia resurssirajoitteilla 0-100. Näillä resurssirajoitteilla kuvien 5 ja 6 perusteella tehdyt päätösuositukset eivät muutu. Katsottaessa kuvaa 6 esimerkiksi resurssirajoituksella 170 huomataan, että päätöstä, kehitetäänkö Tuote Cv2 vai Tuote Dv2, on vaikea kuvan perusteella tehdä. Tehtäessä vastaava päästös kuvan 5 perusteella olisi Tuote Cv2 selkeä valinta. Tuloksien robustisuus pisteiden vaihtelun suhteen kärsii suuremmilla resurssirajoitteilla.



Kuva 5: Tuotteiden ydinluvut eri resurssirajoitteilla, kun tuotteiden pisteillä ei ole vaihteluväliä.



Kuva 6: Tuotteiden ydinluvut eri resurssirajoitteilla, kun tuotteen pisteiden intervallit ovat kaavojen (18) ja (19) mukaiset.

Toisen työpajan päätteeksi tuotteiden suhteelliset resurssikulutukset esiteltiin euromääräisinä ja hallitus asetti niille ylärajan. Näiden lukujen perusteella hallitus halusi suositukset siitä, mitä tuotekehitysprojekteja kannattaa käynnistää ja mistä syystä kyseiset päätökset tehdään. Kun resurssirajoituksen yläraja oli tiedossa, tehtiin päätössuositukset kuvien 5 ja 6 perusteella ja kirjoitettiin, miksi malli oli nämä tuotteet esille nostanut. Samalla määritettiin, kuinka monelle markkinalle kyseisellä tuoteperheellä on mahdollista osallistua ja miten tulokset vaihtelevat, kun markkinoiden määrä muutetaan.

Kokonaisuudessa prosessin läpivienti kesti kolme kuukautta. Mallia työstettiin kahden kuukauden ajan, jonka jälkeen pidettiin ensimmäinen kahdesta

iltapäivän mittaisesta työpajasta. Seuraava työpaja järjestettiin kuukauden kuluessa ja prosessi vietiin päätökseen kolmessa kuukaudessa. Tarvittaessa vastaavanlainen prosessi voitaisiin suorittaa nopeamminkin, mikäli yritys olisi valmis työskentelemään sen parissa tiiviimmin.

4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä työssä sovellettiin RPM-menetelmää tuotekehitysportfolion valinnan tukemiseen teknologia-alan kasvuyrityksessä. Yrityksen portfolion valintaongelmaa kuvaamaan rakennettiin malli, jonka pohjalta tunnistettiin tavoitteiden valossa hyvin suoriutuvia tuotekehitysprojekteja. Käytetyn menetelmän avulla mallissa pystyttiin ottamaan huomioon useita tavoitteita, epätäydellistä informaatiota, epävarmuuksia sekä monimutkaisia riippuvuuksia tuotekehitysprojektien väleillä. Huomiota kiinnitettiin myös yrityksen henkilökunnan osallistamiseen ja heidän asiantuntemuksensa kvantifioimiseen projektin aikana. Tällä tavalla prosessi saatiin suoritettua läpinäkyvästi ja tuloksia pidettiin uskottavina. Yritys piti tuloksia hyödyllisinä ja niiden pohjalta tehtiin päätöksiä koskien käynnistettäviä tuotekehitysprojekteja. Tuloksien lisäksi erityisen hyödyllisenä pidettiin osallistavaa prosessia, jossa henkilökunta sitoutettiin systemaattiseen päätöksentekoon. Prosessin aikana todettiin tuloksista olevan myös hyötyä, kun haetaan rahoitusta esimerkiksi Tekesin kaltaisilta rahoittajilta.

Mallin rakennuksessa jouduttiin osa esille nousseista asioista jättämään ulos formaalista muotoilusta. Näitä olivat myyntiresurssseja koskevat rajoitukset sekä projektien keskinäiset kannibalisointivaikutukset. Myyntiresurssien rajoitukset jätettiin pois, koska yrityksen henkilökunnan kanssa ei pystytty muotoilemaan näiden kulutusta vastaavaa viitekehystä formaaliin muotoon. Todettiin kuitenkin, että seuraamalla, kuinka monelle markkinalle tuleva tuoteportfolio leviää, pystytään arvioimaan, riittävätkö nykyiset myyntiresurssit. Projektien keskinäiset kannibalisointivaikutukset jätettiin pois analyysistä, koska vaikutusten suuruuksista ei ollut saatavilla karkeitakaan arvioita tai dataa. Vaikutusten olemassaolo nostettiin kuitenkin esille tuloksia analysoitaessa ja otettiin huomioon päätöksiä tehdessä.

Tämän työn tulosten perusteella voidaan sanoa, että RPM-menetelmän soveltamisesta on selvää hyötyä tuotekehitysportfolion valinnassa. Sen avulla pystytään prosessissa huomioimaan portfolion valinnalle ominaisia piirteitä, kuten useita tavoitteita, epätäydellistä informaatiota, epävarmuuksia arvioissa sekä projektien keskinäisiä riippuvuuksia. Menetelmän avulla pystytään

myös asiantuntijat sitouttamaan systemaattiseen päätöksentekoon. Tällöin päätöksentekoprosessi saadaan suoritettua läpinäkyvästi ja asiantuntijoiden näkemystieto kvantifioitua. Kyseisessä työssä kehitetyistä metodeista erityisen hyödyllisenä voidaan pitää kaksivaiheista markkinapotentiaalin arvioinnin viitekehystä, jonka avulla asiantuntijat kokivat arvioitavat asiat selkeämpinä. Myös tuloksien esitystapaa, jossa tulokset on havainnollistettu usealla resurssirajoitteella, voidaan pitää kokemuksen perusteella erittäin toimivana.

Viitteet

- V. Brummer, A. Salo, J. Nissinen, ja J. Liesiö. A methodology for the identification of prospective collaboration networks in international R&D programmes. *International Journal of Technology Management*, 54(4):369, 2011.
- J.S. Dyer ja R.K. Sarin. Measurable multiattribute value functions. *Operations Research*, 27(4):810–822, 1979.
- F. Ghasemzadeh ja N.P. Archer. Project portfolio selection through decision support. *Decision Support Systems*, 29(1):73–88, 2000.
- T. Könnölä, V. Brummer, ja A. Salo. Diversity in foresight: Insights from the fostering of innovation ideas. *Technological Forecasting & Social Change*, 74(5):608–626, 2007.
- T. Könnölä, A. Salo, ja V. Brummer. Foresight for European coordination: developing national priorities for the forest-based sector technology platform. *International Journal of Technology Management*, 54(4):438, 2011.
- J. Liesiö, P. Mild, ja A. Salo. Preference programming for Robust Portfolio Modeling and project selection. *European Journal of Operational Research*, 181(3):1488–1505, 2007.
- J. Liesiö, P. Mild, ja A. Salo. Robust Portfolio Modeling with incomplete cost information and project interdependencies. *European Journal of Operational Research*, 190(3):679–695, 2008.
- M. Lindstedt, J. Liesiö, ja A. Salo. Participatory development of a strategic product portfolio in a telecommunications company. *International Journal of Technology Management*, 42(3):250–266, April 2008.
- P. Mild. Monitavoiteoptimointi siltojen korjausohjelman laatimisessa - RPM-menetelmän soveltaminen. *Tiehallinnon selvityksiä 5/2006*, 2006.
- P. Mild, J. Liesiö, ja A. Salo. Selecting infrastructure maintenance projects with robust portfolio modeling. 2013.
- J. Rios, D. Rios Insua, E. Fernandez, ja J. A. Rivero. Participatory budget formation through the web. In *E-Government: Towards Electronic Democracy*. 2005.
- A. Salo ja A. Punkka. Rank inclusion in criteria hierarchies. *European Journal of Operational Research*, 163(2):338–356, June 2005.

- A. Salo, P. Mild, ja T. Pentikäinen. Exploring causal relationships in an innovation program with Robust Portfolio Modeling. *Technological Forecasting & Social Change*, 73(8):1028–1044, October 2006.
- A. Salo, J. Keisler, ja A. Morton. *Portfolio Decision Analysis: Improved Methods for Resource Allocation*. Springer, New York, 2011.
- R.L. Schmidt ja J.R. Freeland. Recent progress in modeling R&D project-selection processes. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 39(2):189–201, 1992.