

Rantala, Olavi

Working Paper

Tuotekehitys, toimialojen panos-tuotosrakenteen muutokset ja talouden kasvu

ETLA Discussion Papers, No. 842

Provided in Cooperation with:

The Research Institute of the Finnish Economy (ETLA), Helsinki

Suggested Citation: Rantala, Olavi (2003) : Tuotekehitys, toimialojen panos-tuotosrakenteen muutokset ja talouden kasvu, ETLA Discussion Papers, No. 842, The Research Institute of the Finnish Economy (ETLA), Helsinki

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/63733>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Keskusteluaiheita – Discussion papers

No. 842

Olavi Rantala

**TUOTEKEHITYS,
TOIMIALOJEN PANOS-TUOTOSRAKENTEEN
MUUTOKSET, TUOTTAVUUS JA TALOUDEN KASVU**

Tutkimuksen on rahoittanut TEKES

RANTALA, Olavi, TUOTEKEHITYS, TOIMIALOJEN PANOS-TUOTOSRAKENTEEN MUUTOKSET, TUOTTAVUUS JA TALOUDEN KASVU. Helsinki, ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 2003, 64 s. (Keskusteluaiheita, Discussion Papers, ISSN 0781-6847; no. 842)

TIIVISTELMÄ: Tutkimuksessa arvioidaan tuotekehityksen vaikutuksia toimialojen ja koko talouden tuotantoon ja tuottavuuteen. Merkittävin ero aiempaan tutkimukseen on se, että tuotannon laadun paranemisen ja uusien tuotteiden kehittämisen kautta kanavoituvia tuotekehityksen vaikutuksia toimialojen tuotannon volyymiin kasvuun arvioidaan toimialojen välituotekaupan riippuvuuksille estimoidusta muuttuvakertoimisesta panos-tuotostallista. Estimointitulosten mukaan korkeaa teknologiaa edustava elektroniikkateollisuus erottuu muista toimialoista tuotekehityksen tehokkuudessa ja tuotannon laadun paranemisen voi selittää jopa puolet elektroniikkateollisuuden tuotannon kasvusta vuosina 1976-1999. Koko kansantalouden tuotannon kasvusta noin kolmannes on voinut olla peräisin tuotekehityksellä aikaansaadusta tuotannon laadun paranemisesta ja uusien tuotteiden kehittämisestä.

Tuotekehityksen tuottavuusvaikutusten arvioinnissa merkittävin ero aiempaan tutkimukseen on tuotantoteknologian ja kokonaistuottavuuden kehityksen kytkeminen pääomakannan laadun paranemiseen. Tämän mahdollistaa tutkimuksessa toteutettu toimialojen tuotannon laatuindeksien sekä niihin pohjautuvien investointitavaroiden ja toimialojen pääomakannan laatuindeksien laskenta. Tuotantofunktion simulointitulosten perusteella tuotekehityksellä on pitkäaikaisia vaikutuksia tuottavuuteen. Tuotekehityksen voimakas vaikutus tuotantoon sen laadun paranemisen kautta ajoittuu välittömästi tuotekehityspanostuksen lisäämisen jälkeiseen aikaan, mutta pääomakannan laadun paranemisen vauhti nopeutuu tuotekehitysmenojen pysyvän tasokorotuksen seurauksena jopa kymmenkunta vuotta, kunnes pääomakannan poistuma alkaa sitä vähitellen hidastaa. Tämä investointitavaraateollisuuden tuotekehityksen lisääntymisen aikaansaama kokonaistuottavuusvaikutus on merkittävin sellaisilla matalan teknologian teollisuusaloilla, kuten metsäteollisuudessa, joiden oma tuotekehityspanostus kasvaa keskimääräistä hitaammin tai vaikuttaa tuotannon laatuun keskimääräistä vähemmän.

ASIASANAT: T&k, panos-tuotosrakenne, tuotannon laatu, tuottavuus

RANTALA, Olavi, R&D, CHANGES IN INPUT-OUTPUT STRUCTURE, PRODUCTIVITY AND ECONOMIC GROWTH. Helsinki, ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 2003, 64 p. (Keskusteluaiheita, Discussion Papers, ISSN 0781-6847; no. 842)

ABSTRACT: This study evaluates the impact of R&D on the quality and volume of production in different sectors of the Finnish economy by applying a new approach based on an econometric variable coefficient input-output model. A basic hypothesis in the study is that changes in product quality in different sectors, induced by R&D inputs, may explain changes in the input-output structure of the economy. In the econometric estimation of the model the economy has been divided into nine different sectors based on their technology level and general importance in the Finnish economy. The estimation results show that R&D efforts have been most effective in the high technology electronics industry, where improvements in product quality explain about half of the output volume growth in the years 1976-1999. A third of the overall growth in the Finnish economy in this period may have resulted from

improvements in product quality and the creation of new products achieved by increased R&D efforts.

Traditionally, the effects of R&D on productivity have been assessed from an econometrically estimated production function specification where the R&D input has been inserted as an additional factor of production along with the capital and labour inputs. Using the sectoral product quality indices obtained from the estimation of the variable coefficient input-output model to compute quality indices for investment goods and, further, the capital stock by sector gives a new approach for modelling the improvement of technology and the growth of total factor productivity. In this case, the residual of the production function, which reflects total factor productivity, consists of two multiplicative components. The first component is the quality of the product of the sector, which is contained in the volume of output as measured in the National Accounts. The second component is production technology modelled as a power function of the quality of the capital stock of the sector. The estimation results based on CES and CD production function specifications indicate that lower technology industries, such as the forest industry, have utilised most effectively the improvement of the quality of capital stock in their production technology. Simulating the reaction of total factor productivity to a permanent simultaneous increase in real R&D inputs in all sectors indicates that product quality reacts immediately to an increase in R&D efforts, whereas production technology responds much more slowly because this can take place only gradually via the improvement of the quality of investment goods. In fact, production technology improves most rapidly some ten years after the increase in R&D expenditure level. This means that the impact of R&D inputs on productivity may be quite persistent in some industries, particularly in low technology industries.

KEY WORDS: R&D, input-output structure, product quality, productivity

Sisältö	sivu
1 Johdanto	1
1.1 Tutkimuksen tausta	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet, menetelmät ja tulokset	1
2 Tuotekehityspanostusten mittaaminen	7
2.1 Tutkimus- ja kehittämispanostus Suomessa ja muissa maissa	7
2.2 Tutkimus- ja tuotekehityspanostusten mittaaminen	9
2.3 Tuotekehityksen vaikutus tuotannon laatuun	10
3 Tuotekehityksen heijastumia taloudessa	12
3.1 Tuotannon jalostusasteen nousu ja talouskasvun rakennemuutos	12
3.2 Tuotekehitys ja viennin laatu	14
4 Tuotekehityksen vaikutus toimialojen panos-tuotosrakenteen muutoksiin	19
4.1 Panos-tuotosmalli	19
4.2 Tuotteiden laadun muutokset ja panos-tuotosrakenteen muutokset	21
4.3 Tuotekehityksen välituotevaikutusten malli	23
4.4 Mallin soveltaminen käytäntöön	26
5 Tuotekehityksen vaikutus tuottavuuteen	33
5.1 Tuotannon laadun paraneminen ja sen heijastuminen kulutus- ja investointitavaroiden laatuun	33
5.2 Tuotantofunktio ja tuotekehityksen vaikutus tuotantoteknologiaan	37
5.3 Tuotekehityksen vaikutus tuottavuuteen	41
5.4 ICT-klusterin tuotekehitys ja uuden talouden tuottavuusvaikutukset	46
6 Yritysten kasvun ja kannattavuuden vaikutus tuotekehityspanostuksiin	49
6.1 Tuotekehityssintensiteetti ja kannattavuus	49
6.2 Tuotekehityspanostusten määräytyminen	50
7 Yhteenveto	52

Liite 1	Teknologiaryhmät ja niiden toimialat	56
Liite 2	Panos-tuotosmallin aikasarja-aineiston laskenta	57
Liite 3	Toimialojen välituotekäyttö sekä kulutuksen ja investointien muuntomatriisit	61
Kirjallisuus		62

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Tutkimuksella ja tuotekehityksellä on suuri vaikutus yritysten menestykseen ja kansantalouksien kasvuun. Sen takia tutkimukseen ja tuotekehitykseen panostamisesta on Suomessa ja muissa teollisuusmaissa tullut tärkeimpiä keinoja sekä yritysten itsensä että julkisen vallan talous- ja teollisuuspolitiikan tavoittellessa kilpailukyvyyn parantamista.

Taloustieteessä tutkimus ja tuotekehitys on jo pitkään ymmärretty keskeiseksi tuotantoon ja tuottavuuteen vaikuttavaksi tekijäksi. Laajempi kiinnostus tutkimus- ja kehittämistoiminnan merkitykseen on virinnyt 1980-luvun jälkipuoliskolla uuden kasvuteorian kehittelyn yhteydessä ja seurauksena. Keskeisinä aineksina näissä endogeenisen kasvun malleissa on tiedon ja osaamisen julkishyödykeluonteesta johtuva leviäminen ja ulkoisvaikutukset sekä näiden seurauksena kasvavat skaalaedut tuotannossa (Romer 1986, 1990, Lucas 1988). Tällaiset kasvumallit ennustavat esimerkiksi, että t&k-panostuksen tason nostaminen lisää pysyvästi talouden kasvuvauhtia. Tämä on kuitenkin ilmeisessä ristiriidassa empiiristen havaintojen kanssa, sillä pitkän ajan talouskasvun vauhdin ei voida todeta kiihtyneen, vaikka tutkimus- ja tuotekehityspanostukset ja kaikenlainen teknologisen osaamisen määrä ovat teollisuusmaissa jatkuvasti lisääntyneet (Jones 1995a). Empiiriset tosiasiat ovat johtaneet uuden kasvuteorian jatkokehittelyyn puoliendogeenisen kasvun malleiksi, joissa t&k-panostuksen lisäyksen sekä muiden kasvua luovien tekijöiden talouskasvua kiihdyttävät vaikutukset kestävät rajallisen ajan (esim. Jones 1995b).

Tutkimuksen ja tuotekehityksen taloudelliset vaikutukset ovat niin merkittäviä, että uuden kasvuteorian ongelmista huolimatta aiheeseen liittyvä teoreettinen ja empiirinen tutkimus jatkuu joka tapauksessa vilkkaana. Keskeisiä empiirisen tutkimuksen teemoja ovat olleet tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutukset kokonaistalouden ja toimialojen tuotantoon ja tuottavuuteen, toimialojen välituotekaupan kautta välittyvät vaikutukset sekä mahdolliset ulkoisvaikutukset. Empiirisissä tutkimuksissa tuotanto- ja tuottavuusvaikutuksia on tyypillisesti arvioitu historia-aineistosta estimoiduista tuotantofunktioista (esim. Terleckyj 1980, Coe ja Helpman 1995, Sakurai, Papaconstantinou ja Ioannides 1997, Los ja Verspagen 2000) tai mallintamalla ekonometrisesti kokonaistuottavuuden kasvua t&k-intensiteetin suhteen (esim. Wolff 1997). Välituotekaupan kautta toimialoilta muille toimialoille kanavoituvat tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutukset on pyritty ottamaan huomioon painottamalla t&k-panostuksia toimialojen panos-tuotosriippuvuuksin (esim. Terleckyj 1980, Wolff 1997, ten Raa ja Wolff 2000). Näillä empiirisen tutkimuksen alueilla on saatu paljon ja ilmeisesti melko yleisesti hyväksyttyjä tuloksia tutkimuksen ja tuotekehityksen makro- ja toimialatason tuotanto- ja tuottavuusvaikutuksista. Sen sijaan tutkimus- ja kehittämistoiminnan ulkoisvaikutusten olemassaolon tilastollinen testaaminen on osoittautunut vaikeaksi ja niistä on saatu vain vähän empiirisiä todisteita (Griliches 1992).

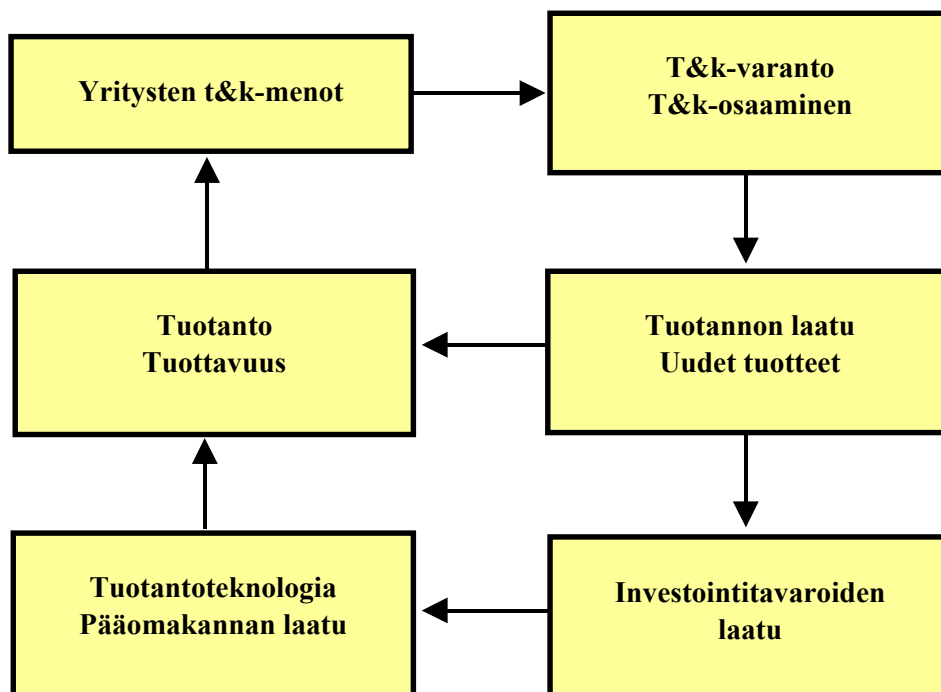
1.2 Tutkimuksen tavoitteet, menetelmät ja tulokset

Käsillä olevan tutkimuksen merkittävin ero aiempiin tutkimuksiin on se, että tuotannon laadun paranemisen ja uusien tuotteiden kehittämisen kautta kanavoituvia

tuotekehityksen vaikutuksia toimialojen tuotannon volyymin kasvuun arvioidaan toimialojen välituotekaupan riippuvuuksille estimoidusta muuttuvakertoimisesta panos-tuotosmallista. Muuttuvakertoimisen panos-tuotosmallin rakentamisella tähdätään pitkän ajan toimialakehityksen ennustevälineistön parantamiseen. Tuotekehityksen tuottavuusvaikutusten selvittämiseen sovelletaan perinteistä tuotantofunktion estimointiin perustuvaa lähestymistapaa. Tuottavuusvaikutusten arvioinnissa merkittävä ero aiempaan tutkimukseen on tuotantoteknologian kehityksen kytkeminen pääomakannan laadun paranemiseen. Tämä vaikutuskanava huomioon ottamalla voidaan tuoda esiin tuotekehityksen pitkäaikaisia vaikutuksia tuottavuuteen. Arvioinnin mahdollistaa tutkimuksessa toteutettu toimialojen tuotannon laatuindeksien sekä niihin pohjautuvien investointitavaroiden ja toimialojen pääomakannan laatuindeksien laskenta.

Tutkimuksen kysymyksenasettelua havainnollistaa kuvio 1.1. Keskeisenä tavoitteena on arvioida yritysten tuotekehitysmenojen ja t&k-osaamisen vaikutuksia toimialojen tuotannon laatuun panos-tuotosrakenteen muutosten perusteella. Toimialojen tuotannon laatuindekseistä lähtien voidaan laskea investointitavaroiden laatuindeksit ja niiden avulla edelleen pääomakannan laatuindeksit. Pääomakannan laatuindeksejä käytetään arvioitaessa estimoitavan tuotantofunktiotäsmennyksen avulla tuotantoteknologian vaikutusta toimialojen kokonaistuottavuuteen. Keskeinen osa tuotekehityksen ja talouskasvun kytkennöissä on myös asetelman 1.1 kuvaama takaisinkytkentälinkki toimialojen tuotannosta ja tuottavuudesta niiden tuotekehityspanostuksiin.

Kuvio 1.1 Tuotekehityksen ja talouskasvun kytkennät



Eristämällä talouden kasvusta tuotannon laadun paranemisen ja uusien tuotteiden kehittämisen vaikutus voidaan arvioida tämän "puolivirtuaalisen" talouskasvun suuruutta ja merkitystä talouden kokonaiskehityksen kannalta. Tuotekehityksestä ja

tuotannon laadun paranemisesta johtuva talouskasvu on näennäistä siinä mielessä, että se ei tarkoita tuotannon fyysisen määrän lisääntymistä, jollaiseksi talouskasvu ehkä useimmiten ajatellaan. Toisaalta tuotannon laadun paranemisesta ja uusien tuotteiden kehittämisestä johtuva talouskasvu on vain puoliksi näennäistä siinä mielessä, että se on kansantalouden tilipidon mukaan aitoa talouskasvua, joka on konkreettisesti muun muassa tulonmuodostuksen ja tulonkäytön perustana. Sitä paitsi tuotannon laadun paranemiseen ja jalostusasteen nousuun perustuva talouskasvu on kestävä kehityksen kannalta tavoiteltavaa kasvua, koska se tarkoittaa talouden kasvua ilman vastaavan suuruista raaka-aineiden käytön lisäämistä.

Tämän tutkimuksen eräänä tavoitteena on vertailla tuotekehityksen vaikuttavuutta Suomessa ja muissa teollisuusmaissa. Arviointiin tarvitaan t&k-panostuksen mittareiden täsmentämisen ja laskennan ohella muuttujia, jotka kuvaavat tuotekehityksen vaikutuksia hyödykemarkkinoilla. Tuotekehityksen vaikutusten taloudellisten indikaattoreiden joukossa suoranaisin ja luontevin mittari on tuotannon laatu. Ongelmana on, ettei tuotannon laatua suoraan mitata esimerkiksi talouden kehitystä kuvaavassa kansantalouden tilinpidossa. Tuotteiden laadun muutokset tulevat välillisesti esiin sellaisilla talouden osa-alueilla, joilta lasketaan tuotteiden hintaindeksijä ja yksikköarvoindeksijä. Tällainen talouden osa-alue on ulkomaankauppa, josta lasketaan hintaindeksijä ja yksikköarvoindeksijä. Viennin laadun kehitystä voidaan kuvata suhteuttamalla viennin yksikköarvoindeksi tavaraviennin hintaindeksiin.

Suomea ja yhdeksää muuta OECD-maata koskevan ekonometrisen selvityksen perusteella tuotekehityspanostukset selittävät useimpien maiden kohdalla tilastollisesti merkitsevästi viennin laadun muutoksia. Tuotekehitys näyttää olleen Yhdysvalloissa, Japanissa, Englannissa ja Ranskassa tehokkaampaa kuin Suomessa ja muissa pienissä maissa. Suomen toimialatason selvitys osoittaa, että tuotekehityspanostukset selittävät jossain määrin myös toimialakohtaisten viennin laadun mittareiden kehitystä. Tilastollisesti merkitseväksi vaikutus osoittautuu tosin vain kemianteollisuuden ja puutavarateollisuuden kohdalla.

Tämän tutkimuksen keskeisenä tavoitteena on tuotekehityksen tuotanto- ja tuottavuusvaikutusten arviointi toimialoittain ja koko kansantaloudessa. Keskeisenä tavoitteena on myös kehittää toimialaennustamiseen käytettyä panos-tuotosmallia sillä tavoin, että panoskertoimien muutosten taustalla olevat tuotekehityksen aikaansaamat tuotannon laadun muutosten vaikutukset saadaan mukaan toimialaennustemalliin. Tämä on tärkeää etenkin pyrittäessä parantamaan panos-tuotosmallia pitkän ajan toimialakehityksen ennustevälineenä. Muuttuvakertoimiseen panos-tuotosmalliin pohjautuva tuotekehityksen vaikutusten arviointi on lähestymistapa, jota panos-tuotosmallien kehittelyä tai t&k:n vaikutuksia koskevassa tutkimuksessa ei liene aikaisemmin sovellettu.

Se, että tuotekehityksen tuotantovaikutusten arviointi on mahdollista yhdistää toimialojen panos-tuotosrakenteiden muutosten analyysiin ja muuttuvakertoimisen panos-tuotosmallin rakentamiseen johtuu kansantalouden tilinpidossa noudatetusta tuotannon mittaustavasta, jossa tuotannon volyymiin tulee mukaan myös tuotteiden laadun muutosten vaikutus. Käytännön esimerkkinä tuotteiden laadun muutosten vaikutuksista tuotannon rakennemuutoksiin ovat jalostusalojen ja alkutuotantoalojen tuotannon kasvuerot. Esimerkiksi metsäklusterissa metsäteollisuuden jalostusasteen

nousu ja sen tuotteiden laadun paraneminen näkyy tuotannon volyymin kasvuna suhteessa käytetyn puuraaka-aineen ja muiden raaka-aineiden määrään. Tällaisia toimialojen panos-tuotosrakenteen muutoksia ei voida käsitellä tavanomaisella kiinteäkertoimisella panos-tuotomallilla.

Tuotekehityksen tehokkuuden arvioinnin perusajatuksena on rakentaa mittaamiseen soveltuvaa ekonometrista muuttuvakertoimista panos-tuotomallia lähtökohdasta, jossa on käytettävissä tiedot toimialojen panos-tuotosriippuvuuksista perusvuodelta 1995 sekä kansantalouden tilinpidon aikasarjatiedot vuosilta 1975-1999 panos-tuotostaulun reunajakaumamuuttujista, kuten toimialojen tuotoksesta, tuotteiden loppukäytöstä ja välituotekäytöstä. Kansantalouden tilinpidon aikasarja-aineistoa käyttäen voidaan laskea aikasarjat toimialojen välituotevalmistukselle ja niiden kotimaasta ostamille välituotteille. Tutkimuksen perushypoteesin mukaan tuotteiden laadun muutokset heijastuvat toimialojen välituotevalmistukseen ja -käyttöön, jotka ovat ekonometrisen mallin selitettäviä muuttujia. Mallin selittävinä muuttujina ovat tuotteiden laatuindeksien tuotekehitysriippuvuuksin mallinnetut perusvuoden 1995 panoskertoimin lasketut toimialojen väliset välituotemyynnit ja -ostot.

Tavoitteena on selvittää, kuinka tuotekehityspanostukset vaikuttavat tuotteiden laadun muutosten kautta toimialojen välituotemarkkinoiden rakennemuutoksiin. Tutkimuksessa kansantalous jaetaan toimialojen teknologiatason ja kokonaistaloudellisen merkityksen perusteella yhdeksään toimialaan. Estimointitulosten perusteella toimialojen välillä on suuria eroja tuotekehityksen vaikuttavuudessa. Korkeaa teknologiaa edustava elektroniikkateollisuus näyttää erottuvan muista toimialoista tuotekehityksen tehokkuudessa. T&k-panostuksilla on ollut vaikutusta tuotannon laatuun myös muussa metalliteollisuudessa, metsäteollisuudessa, tietoliikenteessä, liike-elämän palveluissa ja muillakin toimialoilla. Näillä toimialoilla tuotekehityksen tehokkuus näyttää kuitenkin olleen vähäisempi kuin elektroniikkateollisuudessa. Tulokset viittaavat myös t&k-osaamisen kumuloituihin vaikutuksiin. Vaikutusten välittyminen t&k-varannon kautta tuotannon laatuun ja volyymiin merkitsee sitä, että tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutukset ovat dynaamisia ja tulevaa talouden kasvua ja toimialakehitystä ennakoivia.

Reaalisen t&k-varannon toteutuneen kehityksen ja estimoitujen t&k-panostusten tehokkuusparametrien avulla voidaan arvioida tutkittujen toimialojen tuotannon tähänastista laadun kehitystä. Tulosten mukaan tuotannon laatu on kohonnut elektroniikkateollisuudessa nopeammin kuin muilla toimialoilla ja tuotannon laadun paraneminen voi selittää jopa puolet kansantalouden tilinpidon mukaisesta elektroniikkateollisuuden tuotannon kasvusta vuosina 1976-1999. Tuotannon laatu on kohonnut keskimääräistä nopeammin myös tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa. Näillä tietointensiivisillä palvelualoilla tuotannon laadun paraneminen ei johdu erityisestä tuotekehityksen vaikuttavuudesta, vaan t&k-panostusten voimakkaasta kasvusta. Tietointensiivisissä palveluissa laadun paranemisella on ollut suhteellisesti jopa suurempi vaikutus tuotannon kasvuun kuin elektroniikkateollisuudessa. Koko kansantalouden tuotannon kasvusta noin kolmannes on voinut olla peräisin tuotekehityksellä aikaansaadusta tuotannon laadun paranemisesta ja uusien tuotteiden kehittämisestä.

Toimialojen tuotannon laatuindeksien perusteella voidaan arvioida kulutus- ja investointitavaroiden laadun kehitystä. Kotitalouksien kulutuksessa on suuri osuus

elintarvikkeiden ja muiden sellaisten hyödykkeiden kulutuksella, joiden laatutaso muuttuu suhteellisen hitaasti ja siksi kokonaiskulutuksen laatuindeksi on noussut verrattain vähän. Tietoliikennevälineiden ja tietoliikenteen kulutusmenoerän laatuindeksin kehitys osoittaa huomattavasti koko kulutuskorin keskimääräistä laatutasoa voimakkaampaa kasvua, koska tietoliikennekulutuksen laatukomponentin kehitystä määrittää lähinnä elektroniikkateollisuuden ja tietoliikenteen tuotannon laadun nopea paraneminen.

Investointitavaroiden laatu on kohonnut yleensä nopeammin kuin kulutustavaroiden laatu. Investointitavaroiden laadun paranemista tapahtuu etenkin elektroniikkateollisuuden ja muun metalliteollisuuden tuottamisessa koneissa ja laitteissa sekä liike-elämän palveluiden kehittämissä tietokoneohjelmistoissa. Investointitavaroille laskettujen laatuindeksien avulla voidaan edelleen laskea toimialojen pääomakannan laatuindeksit, joilla on keskeinen merkitys arvioitaessa tuotantoteknologian paranemisen kautta välittyviä tuotekehityksen tuottavuusvaikutuksia.

Toimialojen tuotekehityksen tuottavuusvaikutuksia arvioidaan tuotantofunktiota estimoimalla ja simuloimalla. Mallissa tuotekehityksen lisäyksen aikaansaama toimialojen kokonaistuottavuuden kasvu jakaantuu kahteen komponenttiin, eli tuotannon laadun paranemiseen ja tuotantoteknologian paranemiseen. Tuotantoteknologian tuottavuusefektiin vaikuttaa pääomakannan laadun reagointi tuotekehityksen lisäämiseen ja toisaalta toimialakohtainen kokonaistuottavuuden riippuvuus pääomakannan laadusta. Matalan teknologian teollisuus hyödyntää arvion mukaan tehokkaimmin pääomakannan laadun paranemista. Tästä syystä tuotekehityksen lisäyksen aikaansaama kokonaistuottavuuden kasvuvaihtelu kestää esimerkiksi metsäteollisuudessa huomattavasti pitempään kuin elektroniikkateollisuudessa.

Tutkimuksen keskeisiä tuloksia on se, että tuotekehityksen vaikutukset tuottavuuteen voivat olla varsin pitkäaikaisia. Tuotekehityksen voimakkain vaikutus tuotantoon sen laadun paranemisen kautta ajoittuu välittömästi tuotekehityspanostuksen lisäämisen jälkeiseen aikaan. Sen sijaan pääomakannan laadun paranemisen vauhti nopeutuu tuotekehitysmenojen pysyvän lisäyksen seurauksena jopa kymmenkunta vuotta, kunnes pääomakannan poistuma alkaa sitä vähitellen hidastaa. Tämä tuotantoteknologian paranemisen pitkäkestoisuus johtaa siihen, että kertaluonteisenkin tuotekehityksen tasokorotuksen vaikutukset kokonaistuottavuuden kasvuvauhtiin säilyvät pitkään. Estimointi- ja simulointitulosten mukaan tämä investointitavaraiteollisuuden tuotekehityksen lisääntymisen aikaansaama kokonaistuottavuusvaikutus on merkittävin sellaisilla matalan teknologian teollisuusaloilla, joiden oma tuotekehityspanostus kasvaa keskimääräistä hitaammin tai vaikuttaa tuotannon laatuun keskimääräistä vähemmän.

ICT-klusterin tuotekehityksellä näyttää olevan tuntuvia vaikutuksia paitsi klusterin omien tuotteiden laadun paranemiseen myös muiden toimialojen tuotantoteknologian ja kokonaistuottavuuden kehitykseen. Tässä mielessä tutkimuksen tulokset tukevat sitä ”uuden talouden” käsitteeseen liitettyä näkemystä, että elektroniikkateollisuuden uusien tuotteiden sekä uuden tieto- ja viestintäteknologian käyttöönotto parantaa kansantalouksien tuottavuutta.

Tuotekehityksen tuotanto- ja tuottavuusvaikutusten ohella tutkimuksessa käsitellään yritysten tuotekehityspanostusten riippuvuutta niiden kasvusta ja kannattavuudesta. Tällaisen talouskasvun ja tuotekehityksen mahdollisen takaisinkytkentälinkin olemassaolo on tärkeää ottaa huomioon toimialaennustejärjestelmiä kehitettäessä.

Toimialojen välillä on merkittäviä eroja kasvun ja kannattavuuden vaikutuksissa tuotekehityspanostuksiin. Elektroniikkateollisuuden, metsäteollisuuden ja tietoliikenteen tuotekehityspanostukset määräytyvät lähinnä kannattavuuskehityksen perusteella. Sen sijaan tuotannon kasvu vaikuttaa kannattavuutta merkittävämmiin tuotekehityspanostusten lisäämiseen muussa metalliteollisuudessa kuin elektroniikkateollisuudessa ja muussa matalan teknologian teollisuudessa kuin metsäteollisuudessa. Kannattavuus näyttää vaikuttavan useimmissa tapauksissa viipeellä tuotekehityksintensiteettiin sikäli kuin kannattavuudella ylipäättään on vaikutusta tuotekehityspanostuksiin. Poikkeuksena ovat lähinnä tietoliikenne ja osa keskitason teknologian teollisuuden toimialoista. Näillä toimialoilla kannattavuuden muutoksilla näyttää olevan muita toimialoja nopeampi vaikutus tuotekehityspanostuksiin.

Tulokset merkitsevät sitä, että yritysten kannattavuuteen vaikuttava tulopolitiikka voi olla tärkeää pitkän ajan talouskasvuun vaikuttavaa teollisuuspolitiikkaa paitsi yritysten yleisen investointiaktiiviteetin kannalta myös tuotekehityspanostuksia lisäävänä tekijänä. Tulopolitiikalla eri toimialojen työvoimakulujen kasvua rajoitetaan kansantalouden keskimääräisen tuottavuuskehityksen puitteisiin, jolloin tuottavuudeltaan keskimääräistä vahvempien toimialojen kannattavuus saattaa muodostua paremmaksi kuin hajautetumman palkanmuodostusprosessin oloissa. Tällöin tuottavuuttaan voimakkaimmin kasvattavat toimialat ovat käytännössä usein myös niitä aloja, jotka hyvän kannattavuuden mahdollistamin suurin tuotekehityspanostuksin pystyvät nopeimmin kasvattamaan tuotantonsa laatua ja volyymia.

Tutkimuksen ekonometrisen selvityksen perusteella kannattavuus saattaa olla keskeinen yritysten tuotekehityspanostuksiin vaikuttava tekijä ainakin joillakin toimialoilla. Siten tulopolitiikalla vahvistettu takaisinkytkentävaikutus yritysten kasvusta kannattavuuteen, tuotekehityspanostuksiin ja tulevaan kasvuun saattaa johtaa talouden kasvua ruokkivaan ja jopa itseään vahvistavaan kasvudynamiikkaan. Tällaisissa oloissa jonkun yrityksen ja toimialan onnistuminen tuotekehityksessä voi aikaansaada sellaisen pitkäaikaisen positiivisen kasvukierteen, joka Suomen ICT-klusterissa on ollut todettavissa 1990-luvun alkupuolelta lähtien.

2 TUOTEKEHITYSPANOSTUSTEN MITTAAMINEN

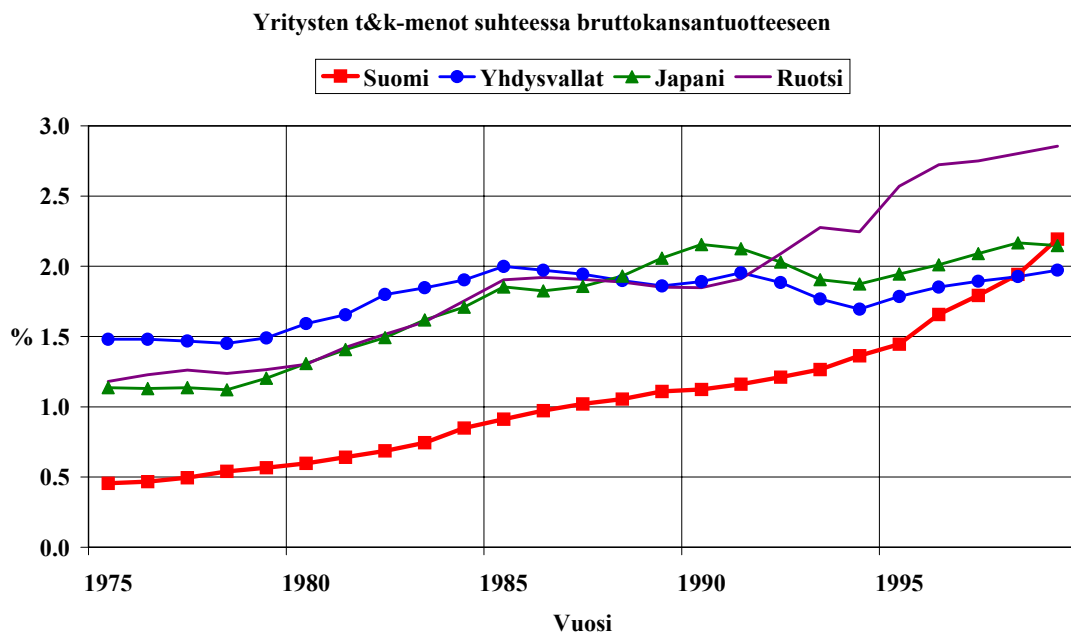
2.1 Tutkimus- ja kehittämispanostus Suomessa ja muissa maissa

Tutkimuksella ja tuotekehityksellä on suuri vaikutus yritysten menestykseen ja kansantalouksien kasvuun. Sen takia tutkimukseen ja tuotekehitykseen panostamisesta on Suomessa ja muissa teollisuusmaissa tullut tärkeimpiä keinoja sekä yritysten itsensä että julkisen vallan talous- ja teollisuuspolitiikan tavoitellessa kilpailukyvyä parantamista.

Tutkimus- ja kehittämistoiminnan menoissa Suomi on saavuttanut korkean kansainvälisen tason. Kuvio 2.1 esittää kokonaistalouden tasolla arvioitua t&k-intensiteettiä, eli yritysten t&k-menojen suhdetta bruttokansantuotteeseen Suomessa ja eräissä muissa maissa. Suomen osalta yritysten t&k-menojen perustietoina on käytetty Tilastokeskuksen ja OECD:n kokoamia aikasarjoja. Tilastokeskuksen aineistossa on aikasarjat vuosille 1971-1989 (Virtaharju ja Åkerblom 1993). Vuodesta 1990 lähtien on käytetty OECD:n kokoamaa aineistoa, jota on ollut käytettävissä vuoteen 1999. Muiden maiden osalta on käytetty OECD:n kokoamia tietoja eri maiden yritysten t&k-menoista.

Kuviosta 2.1 havaitaan, että Suomi oli pitkään yritysten t&k-panostuksessa jäljessä johtavia teollisuusmaita, jos tätä panostusta mitataan suhteuttamalla t&k-menot bruttokansantuotteeseen. Suomi on kuitenkin viime vuosina kiristänyt vauhtia ja ohittanut tuoreimpien tietojen mukaan t&k-intensiteetillään muut teollisuusmaat paitsi Ruotsin. T&k-panostuksissa Suomi on siis nykyään maailman johtavia maita. Toinen asia on, mitä tutkimuksella ja tuotekehityksellä on saatu aikaan. Tähän keskeiseen kysymykseen pyritään etsimään joitakin vastauksia käsillä olevassa tutkimuksessa.

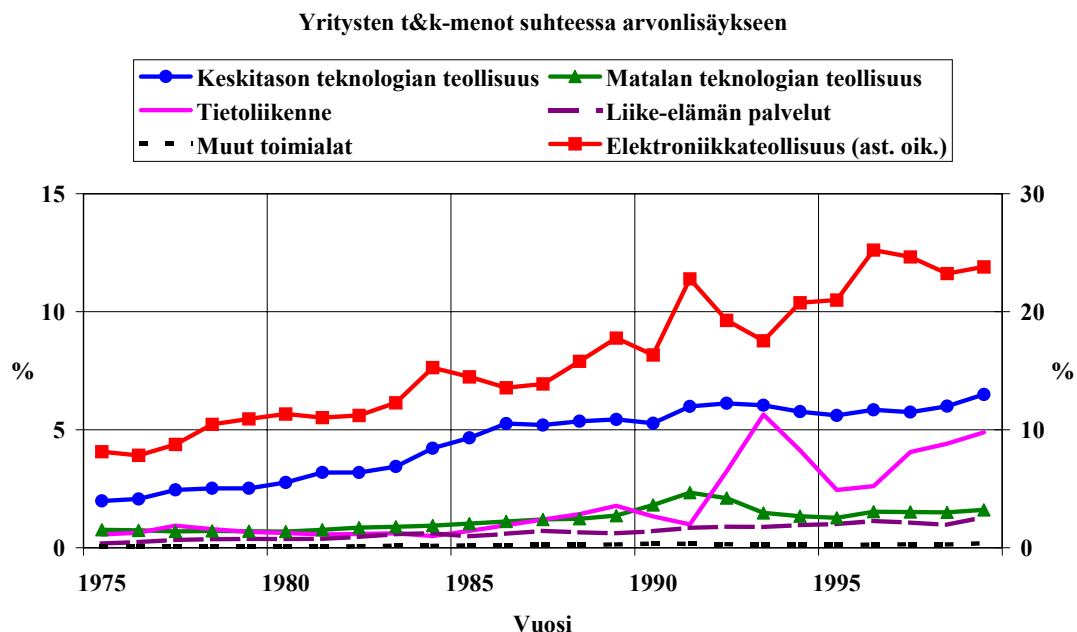
Kuvio 2.1 T&k-panostukset Suomessa, Yhdysvalloissa, Japanissa ja Ruotsissa



Yritysten tuotekehityspanostuksia toimialatasolla tarkasteltaessa lähtökohdaksi voidaan ottaa OECD:n soveltama toimialojen luokittelu niiden teknologiatason mukaan (Tilastokeskus 2001). OECD:n teknologialuokittelussa teollisuustoimialat jaetaan t&k-intensiteetin perusteella korkean teknologian, korkean keskitason teknologian, matalan keskitason teknologian ja matalan teknologian toimialoihin (liite 1). Myös tietoliikenteen ja liike-elämän palveluiden toimialoilla tehdään huomattavia tutkimus- ja tuotekehityspanostuksia ja sen takia nämä tietointensiiviset palvelualat otetaan tässä tutkimuksessa erikseen tarkasteltaviksi toimialoiksi.

Kuvio 2.2 esittää yritysten t&k-intensiteettiä teknologiatason mukaisella toimialaryhmityksellä. Tässä yhteydessä korkean teknologian toimialaksi luetaan OECD:n luokittelua vastaavasti elektroniikkateollisuus. Elektroniikkateollisuuden t&k-intensiteetti on ollut selvästi korkeampi kuin muilla toimialoilla. Ilmailu- ja avaruusteollisuutta ja lääketieteellisuutta ei OECD:n luokittelua vastaavasti ole tässä luettu korkean teknologian toimialoihin osin sen takia, että näillä toimialoilla on elektroniikkateollisuuteen verrattuna melko vähäinen osuus Suomen teollisuustuotannossa.

Kuvio 2.2 T&k-panostukset Suomessa toimialoittain



Keskitason teknologian teollisuusalojen toimialaryhmään luetaan tässä yhteydessä kemianteollisuus, rakennusaineteollisuus sekä muu metalliteollisuus kuin elektroniikkateollisuus. Keskitason teknologian teollisuusaloilla t&k-intensiteetti on ollut vain noin neljännes elektroniikkateollisuuden t&k-intensiteetistä, mutta toisaalta huomattavasti korkeampi kuin muun teollisuuden ja muiden toimialojen t&k-intensiteetti. OECD:n teknologialuokittelussa matalan teknologian teollisuuteen luetaan elintarviketeollisuus, tevanake-teollisuus, metsäteollisuus ja graafinen teollisuus. Matalan teknologian teollisuudessa t&k-intensiteetti on selvästi alempi kuin korkean teknologian ja keskitason teknologian teollisuudessa. Tietointensiivisiin palveluihin kuuluvissa tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa t&k-intensiteetti on ollut samaa luokkaa kuin matalan teknologian teollisuudessa keskimäärin. Muut

palvelualat, rakentaminen, energia- ja vesihuolto ja alkutuotanto muodostavat tarkastelussa residuaaliryhmän muut toimialat.

2.2 Tutkimus- ja tuotekehitysvarannon mittaaminen

Sekä uudemmissa talouskasvua selittävissä teorioissa että empiirisessä tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutusten arvioinnissa on korostettu t&k-osaamisen kumuloituvaa luonnetta. Tämä tarkoittaa tutkimukseen ja tuotekehitykseen käytettävän menovirran kautta kerääntyvää t&k-osaamispääomaa. Jos oletus uusien t&k-panostusten kautta kumuloituvasta t&k-osaamisesta pitää paikkansa, tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutukset ovat jo lähes lähtökohtaisesti dynaamisia ja tulevaa talouden kasvua ja toimialakehitystä ennakoivia.

Muita tutkimuksia (esim. Coe ja Helpman 1995) vastaavasti tässä yhteydessä sovelletaan investointikertymämallia, jonka mukaan toimialan i tai maan i yritysten reaaliset tutkimus- ja tuotekehitysmenot RD_{it} ja t&k-varannon poistuma määrittävät reaalista t&k-varantoa RS_{it} vuonna t siten, että

$$RS_{it} = RD_{it} + (1-\delta)RS_{i,t-1}, \quad (2.1a)$$

$$= \sum_{\tau=0}^T (1-\delta)^{\tau} RD_{i,t-\tau} + (1-\delta)^T RS_{i,t-T}, \quad \tau = 0, \dots, T-1. \quad (2.1b)$$

Parametri δ kuvaa t&k-varannon poistuma-astetta ja tekijä $RS_{i,t-T}$ tarkoittaa reaalisien t&k-varannon alkuarvoa ajankohtana $t-T$, josta lähtien varannon kehitystä arvioidaan. Poistuma-asteen δ luonnollinen alaraja on nolla ja yläraja on yksi. Investointikertymämenetelmällä arvioidun t&k-varannon poistumaparametrin arvoa varioimalla tutkitaan jäljempänä tuotekehityksen dynaamisia vaikutuksia tuotannon laatuun. Vaikutukset kestävät pitkään, jos poistumaa ei ole lainkaan ja $\delta = 0$ ja toisaalta häviävät nopeasti, jos poistuma on välitön ja $\delta = 1$. Jos poistuma on välitön ja $\delta = 1$, niin kaavan (2.1a) mukaan reaalin t&k-varanto muodostuu pelkästään saman periodin t&k-menoista, $RS_{it} = RD_{it}$.

Tuotekehityksen vaikutusten arvioinnin kannalta on merkitystä myös sillä, miten reaalisia t&k-menoja RD_{it} mitataan. Useissa tutkimuksissa on tarkasteltu t&k-intensiteetin vaikutuksia tuotantoon ja tuottavuuteen suhteuttamalla käyvin hinnoin lasketut t&k-menot käyvin hinnoin laskettuun tuotokseen tai arvonlisäykseen. Tällöin t&k-menot deflatoidaan implisiittisesti tuotannon hintaindeksillä.

Tutkimus- ja kehittämismenojen deflatointi tuotannon hintaindeksillä ei ole kuitenkaan hyvä menettelytapa, jos ajatellaan esimerkiksi viime vuosien kehitystä tietoliikennevälineiteollisuudessa ja tietokoneteollisuudessa, joissa voimakas teknologian ja tuottavuuden paraneminen on johtanut tuotteiden hintatason laskuun. Tuotteiden hinnan lasku ei tietenkään lisää näiden toimialojen käytettävissä olevia reaalisia t&k-resursseja, kuten tuotannon hintakehityksen perusteella laskettaessa saataisiin tulokseksi. Koska t&k-menojen tapauksessakin on kyse yritysten ja toimialojen kustannuksista, t&k-menojen deflatointiin on tuotannon hintaindeksien sijasta käytettävä sopivia kustannusindeksejä.

Periaatteessa t&k-menot voidaan jakaa työvoima- ja pääomakuluihin, kuten muutkin tuotannon peruspanokset. Siten kunkin toimialan t&k-menot voitaisiin laskea

reaalisina siten, että niihin sisältyvät työvoimakulut deflatoitaisiin asianomaisen toimialan työvoimakustannusindeksillä ja t&k-pääomakulut deflatoitaisiin vastaavasti toimialan pääomakustannusindeksillä. Muita tutkimuksia vastaavasti t&k-menojen deflaattori on tässä yhteydessä laskettu työvoimakustannusindeksin ja tuotannon hintaindeksin keskiarvona (vrt. esim. Coe ja Helpman 1995). Lukujen 3 ja 4 kotimaisten toimialojen tarkastelussa työvoimakustannusindeksit on laskettu suhteuttamalla palkkasumma ja työnantajan sosiaalivakuutusmaksut toimialalla tehtyyn työpanokseen. Tuotannon hintaindekseinä on käytetty toimialojen tuotoksen deflaattoreita. Luvun 3 OECD-maiden vertailussa työvoimakustannusindekseinä on käytetty kunkin maan yksityisen sektorin ansiotasoindeksejä ja tuotannon hintaindekseinä bruttokansantuotteen deflaattoreita.

Seuraavien ekonometristen tarkastelujen perusoletuksena on, että reaalisen t&k-varannon poistuma on 10 prosenttia vuodessa, eli $\delta = 0.1$. Tämä poistuma-aste vastaa suuruusluokaltaan eräissä muissa tutkimuksissa tehtyjä oletuksia ja arvioita (Griliches 1990, Coe ja Helpman 1995, Nadiri ja Prucha 1996, Los ja Verspagen 2000). Vaihtoehtona käytetään välittömän poistuman oletusta $\delta = 1$, jolloin estimointituloksia vertailemalla voidaan tehdä päätelmiä t&k-panostusten vaikutusten dynamiikasta ja viipeistä sekä t&k-osaamisen kumulatiivisesta luonteesta.

Investointikertymämenetelmällä arvioidun reaalisen t&k-varannon kasvuun vaikuttaa t&k-menojen ja t&k-varannon poistuman ohella t&k-varannon alkuarvo. Muita tutkimuksia vastaavasti t&k-varannon alkuarvo on laskettu t&k-menojen lähtötason $RD_{i,t-T}$ ja reaalisten t&k-menojen aiemman kasvuvauhdin ρ_i pohjalta kaavalla

$$RS_{i,t-T} = (1+\rho_i)RD_{i,t-T}/(1-\delta). \quad (2.2)$$

Tässä yhteydessä tuotekehityksen vaikutuksia tarkastellaan vuoden 1975 jälkeisellä aineistolla. Lukujen 3 ja 4 toimialatarkasteluissa t&k-menojen aiemman kasvuvauhdin ρ_i arviot pohjautuvat vuosilta 1960-1975 käytettävissä olleisiin toimialatietoihin (Vuori 1984). Vastaavaa kansainvälistä aineistoa vuotta 1975 edeltävältä ajalta ei ole ollut saatavilla, joten luvun 3 OECD-maiden tarkastelussa parametrien ρ_i arvoina on jouduttu käyttämään kunkin maan kohdalla vuoden 1975 jälkeiseltä ajalta laskettua reaalisten t&k-menojen keskimääräistä kasvuvauhtia.

Tutkimuksen ekonometrisilla malleilla selvitetään tuotekehityksen vaikutusta indekseinä määritellyyn tuotteiden laatuun. Sen takia myös reaaliset t&k-varannot indeksoidaan ekonometrisissa mallinuksissa jakamalla ne perusvuoden 1995 luvuilla RS_{i0} siten, että reaalisen t&k-varannon indeksi on

$$R_{it} = RS_{it}/RS_{i0}. \quad (2.3)$$

2.3 Tuotekehityksen vaikutus tuotannon laatuun

Tuotekehityksen vaikutus toimialan i tai maan i tuotteiden laatuun Q_{it} mallinnetaan tuotantofunktiona yleisesti käytetyllä potenssifunktioityyppisellä täsmennyksellä

$$Q_{it} = R_{it}^{\gamma_i}. \quad (2.4)$$

Mallin mukaan tuotekehityksellä ei ole lainkaan vaikutusta tuotteiden laatuun, jos tuotekehitystä ei tapahdu ollenkaan siinä mielessä, että suhteellinen t&k-varanto on koko ajan perusvuoden tasolla $R_{it} = R_{i0} = 1$. Toisaalta tuotekehityksellä ei ole lainkaan vaikutusta, jos t&k-panostuksen tehokkuutta mittaavan tuotantofunktion parametri $\gamma_i = 0$, jolloin $Q_{it} = 1$. Joustoparametrin γ_i suuruus määrittää t&k-varannon rajatuottavuutta. Rajatuottavuus on positiivinen, mutta vähenevä, kun $0 < \gamma_i < 1$, koska tällöin $dQ_{it}/dR_{it} = \gamma_i R_{it}^{\gamma_i-1} > 0$ ja $d^2Q_{it}/dR_{it}^2 = \gamma_i(\gamma_i-1) R_{it}^{\gamma_i-2} < 0$.

Jäljempänä luvuissa 3 ja 4 selvitetään, kuinka tuotekehityspanostukset vaikuttavat muun muassa vientitavaroiden laatuun sekä tuotteiden laadun muutosten välityksellä toimialojen panos-tuotosrakenteiden muutoksiin. Parametrin γ_i estimointitulosten perusteella voidaan arvioida tutkimuksen ja tuotekehityksen tehokkuutta eri maissa ja eri toimialoilla sekä laskea toimialoille t&k-tuotantofunktion (2.4) avulla tuotannon laatuindeksit Q_{it} reaalisien t&k-varannon indeksien R_{it} toteutuneen kehityksen perusteella. Varioimalla t&k-varannon poistumaparametrin δ arvoa eri estimointikokeissa voidaan lisäksi tehdä päätelmiä tuotekehityspanostusten vaikutusten viipeistä ja samalla näiden panostusten merkityksestä osana tulevaa talouden kasvua ja toimialakehitystä ennakoivaa informaatiota.

3 TUOTEKEHITYKSEN HEIJASTUMIA TALOUDESSA

3.1 Tuotannon jalostusasteen nousu ja talouskasvun rakennemuutos

Yritysten tutkimus- ja kehittämistoiminta on keskeisiä talouskasvuun vaikuttavia tekijöitä. Tuotekehitys vaikuttaa tuotannon laadun paranemisen, uusien tuotteiden kehittämisen ja jalostusasteen nousun kautta toimialojen tuotannon ja bruttokansantuotteen kasvuun. Tuotannon jalostusasteen nousu mahdollistaa talouskasvua ilman vastaavan suuruista raaka-ainepanostuksen kasvua. Tässä mielessä tutkimuksella ja tuotekehityksellä on keskeinen merkitys kestävästä kasvusta edesauttavana tekijänä.

Käytännön esimerkkinä jalostusasteen nousun vaikutuksista tuotannon rakennemuutoksiin ovat jalostusalojen ja alkutuotantoalojen tuotannon kasvuerot. Pääsuuntia toimialojen tuotantorakenteiden muutoksissa on se, että alkutuotannon tuotteiden käyttö vähenee suhteessa jalostusalojen tuotannon kehitykseen. Tämä näkyy sellaisilla teollisuusaloilla, jotka käyttävät paljon alkutuotantoaloilla kotimaassa tai ulkomailla tuotettuja raaka-aineita tuotantopanoksina. Tällaisia toimialoja ovat esimerkiksi metsätalouteen kytkeytynyt metsäteollisuus, maatalouteen tukeutuva elintarviketeollisuus, energiamineraalien kaivun toimialan raakaöljyä käyttävä öljynjalostusteollisuus ja metallimalmien kaivannaistoiminnan varassa toimiva metallinjalostusteollisuus.

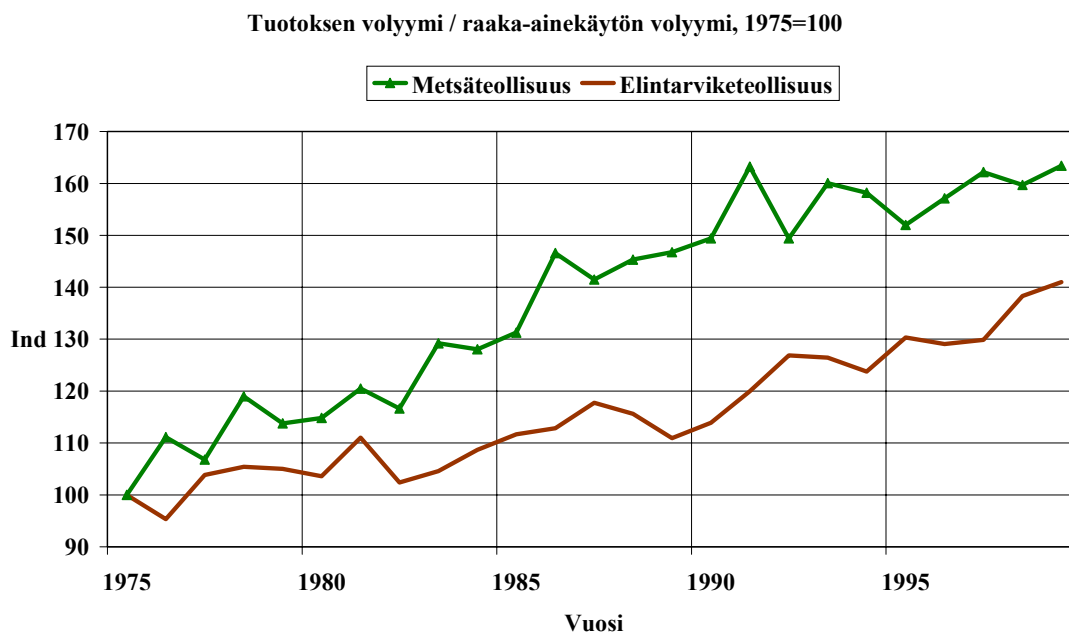
Esimerkiksi metsäklusterissa tuotannon rakennemuutos näkyy siten, että vaikka metsätalouden tuotanto menee lähes yksinomaan metsäteollisuuden käyttöön, metsätalouden tuotannon määrä kasvaa selvästi metsäteollisuutta hitaammin. Tämä johtuu metsäteollisuuden jalostusasteen noususta ja sen tuotteiden laadun paranemisesta, joka kansantalouden tilinpidossa heijastuu metsäteollisuuden tuotannon volyyymiin. Samankaltainen havainto voidaan tehdä elintarvikeklusterissa maatalouden ja elintarviketeollisuuden tuotannon välisestä riippuvuudesta (Rantala 2001).

Kuvio 3.1 esittää metsäteollisuuden ja elintarviketeollisuuden tuotannon jalostusasteen nousua vuodesta 1975 lähtien laskettuna toimialojen tuotoksen sekä vuoden 1995 panoskertoimien mukaisen koti- ja ulkomaisilta alkutuotantoaloilta ostettujen raaka-aineiden käytön suhteena. Samaan tapaan voidaan laskea jalostusasteen indeksit myös esimerkiksi öljynjalostusteollisuudelle ja metallinjalostusteollisuudelle, mutta niihin tulee raaka-aineiden hankinnan varastointisykleihin liittyvää heilahtelua enemmän kuin kuvion 3.1 esittämiin metsäteollisuuden ja elintarviketeollisuuden jalostusastemittareihin.

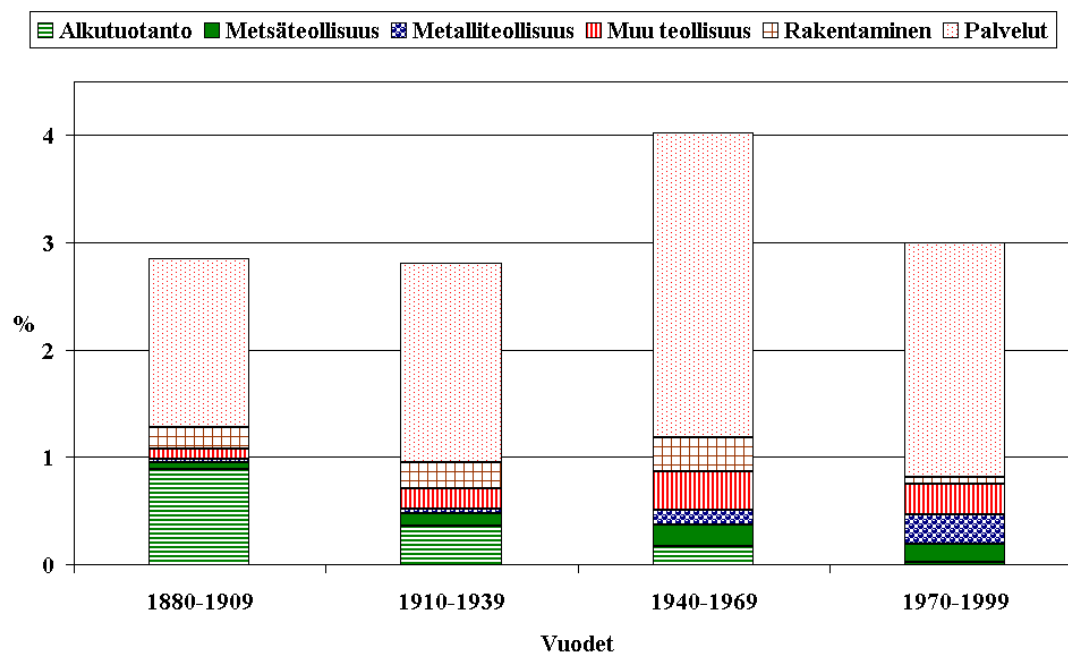
Näin yksinkertaista kuvausta tuotannon laadun ja jalostusasteen noususta ei voida esittää esimerkiksi korkean teknologian elektroniikka- tai lääketeollisuudesta tai edes keskitason teknologian kone- tai kulkuneuvoteollisuudesta, koska ne eivät ole juuri lainkaan suoranaisesti riippuvaisia raaka-aineista tuottavasta koti- tai ulkomaisesta alkutuotannosta. Useimmilla teollisuustoimialoilla muilta toimialoilta ostettavat välituotteet ovat teollisissa prosesseissa valmistettuja tavaroita, joiden laatu- ja komponenttiosat voi olla mukana useiden toimialojen jalostusvaikutusta. Siten tuotekehityksen vaikutukset ovat yleensä selvitettävissä paremminkin toimialojen välituotemarkkinakytkentöjen perusteella kuin tässä käsitellyn tuotoksen ja raaka-

aineiden käytön suhteen perusteella, kuten jäljempänä luvussa 4 pyritään osoittamaan.

Kuvio 3.1 Metsäteollisuuden ja elintarviketeollisuuden jalostusaste



Kuvio 3.2 Toimialojen vaikutus bruttokansantuotteen kasvuun



Teollisuustuotannon jalostusasteen nousulla ja laadun paranemisella on merkittävä vaikutus myös kansantalouden kokonaistuotannon kehitykseen ja talouskasvun rakennemuutoksiin. Kuvio 3.2 esittää eri toimialojen vaikutusta kolmikymmenvuotiskausjaksoissa laskettuun bruttokansantuotteen keskimääräiseen vuosikasvuun vuodesta 1880 lähtien. Havaitaan, että pitkällä ajalla Suomen

talouskasvussa on tapahtunut suuri siirtymä alkutuotannosta teollisuustuotantoon ja palveluihin, mutta bruttokansantuotteen pitkän ajan keskimääräinen vuotuinen kasvuvauhti on pysynyt melko tasaisesti 3-4 prosentissa. Teollisuustuotannossa metsäteollisuuden rinnalle on 1900-luvun mittaan noussut metalliteollisuus ja muu korkeamman teknologian teollisuus. Olennaista on siis, että tuotekehityksellä aikaansaattava tuotannon jalostusasteen ja laadun nousu ylläpitää talouskasvua ja muokkaa vähitellen kasvun toimialarakennetta, mutta ei sinänsä lisää talouskasvun vauhtia.

3.2 Tuotekehitys ja viennin laatu

Tämän tutkimuksen eräänä tavoitteena on vertailla tuotekehityspanostusten vaikutuksia ja tehokkuutta Suomessa ja muissa maissa. Tällaiseen vaikutusarviointiin tarvitaan luvussa 2 käsitellyn reaalisen t&k-panostuksen arvioiden ohella muuttujia, jotka kuvaavat tuotekehityksen vaikutuksia hyödykemarkkinoilla.

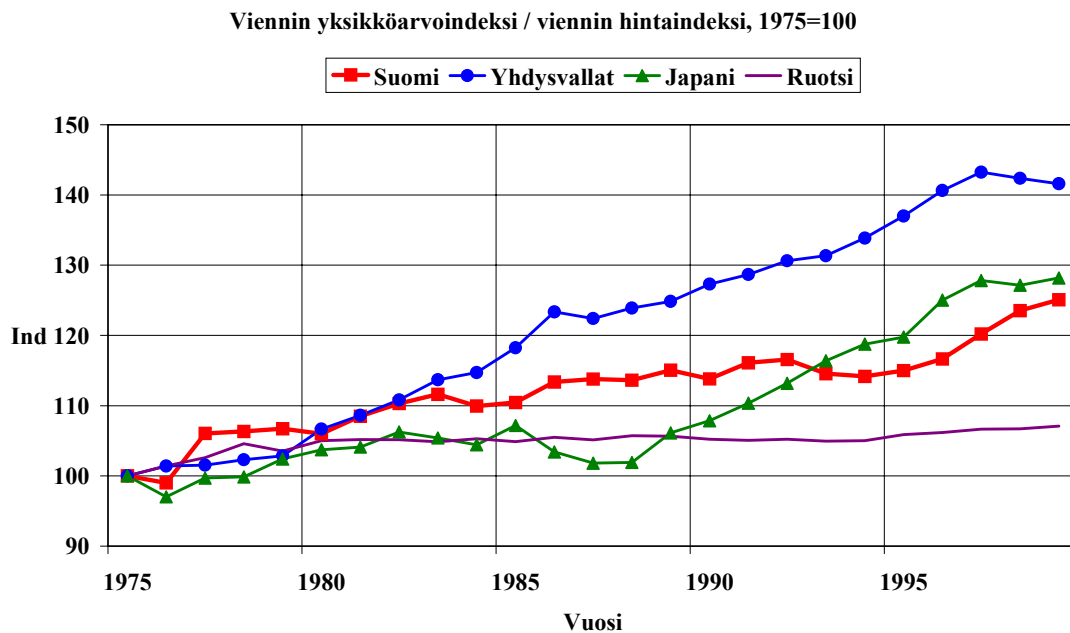
Tutkimus- ja kehittämistoiminnan tuloksia on totuttu mittaamaan muun muassa patenttien määrällä. Patenttien määrä ei kuitenkaan suoraan kuvaa uusien tuotteiden tai edes uusien innovaatioiden määrää, koska yrityksille ei suinkaan aina ole edullista julkistaa keksintöjään patentoimalla niitä. Lisäksi patentit voivat olla taloudelliselta ja tuotantoon vaikuttavalta arvoltaan hyvin erilaisia.

Tuotekehityksen vaikutusten taloudellisten indikaattoreiden joukossa suoranaisin ja luontevin mittari on tuotannon laatu. Ongelmana on vain, ettei tuotannon laatua suoraan mitata esimerkiksi talouden kehitystä kuvaavassa kansantalouden tilinpidossa. Tuotteiden laadun muutokset tulevat välillisesti esiin sellaisilla talouden osa-alueilla, joilta lasketaan tuotteiden hintaindeksejä ja yksikköarvoindeksejä. Tällainen talouden osa-alue on ulkomaankauppa, josta Tilastokeskus laskee viennin ja tuonnin hintaindeksejä ja Tullihallitus viennin ja tuonnin yksikköarvoindeksejä.

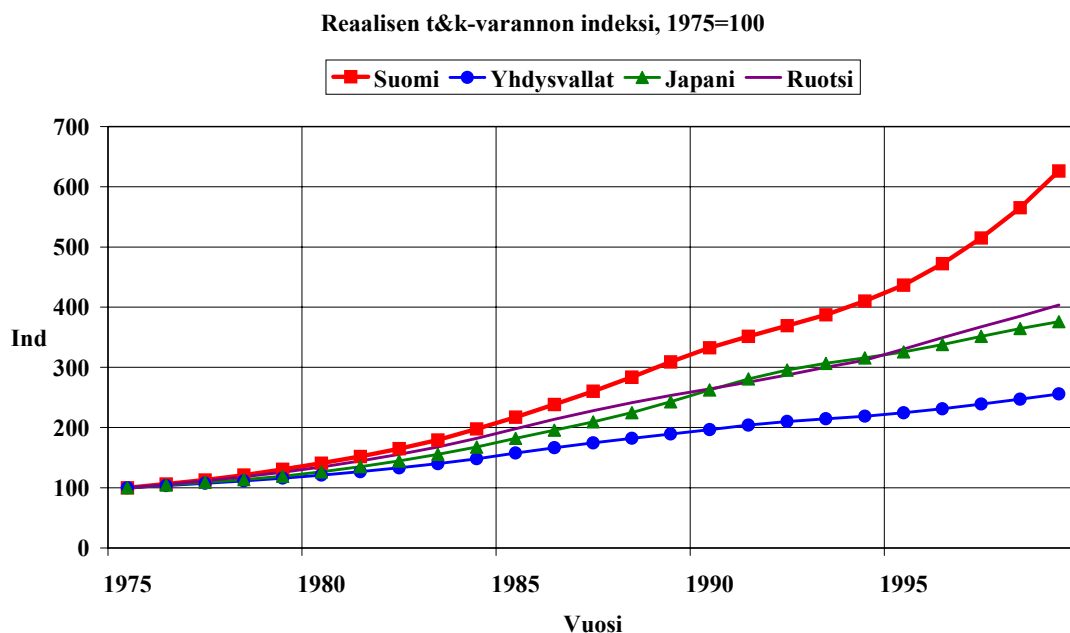
Viennin laadun kehitystä voidaan kuvata suhteuttamalla viennin yksikköarvoindeksi tavaraviennin hintaindeksiin. Näin on sen takia, että hintaindeksi mittaa pelkästään tuotteiden hintojen muutosta, mutta yksikköarvoindeksin muutokset heijastavat hintamuutosten ohella tuotteiden laadun muutoksia. Viennin yksikköarvoindeksiä laskettaessa viennin arvo jaetaan vietyjen tuotteiden paljousyksiköillä (kappalemäärä, massa, tilavuus, pinta-ala tms.), jolloin tuotteiden laatuikomponentti jää yksikköarvoindeksiin. Viennin laatuindeksi voidaan tietysti laskea myös suhteuttamalla kansantalouden tilinpidon kiinteähintainen tavaravienti paljousyksiköissä laskettuun viennin määrään.

Seuraavassa käytetään viennin yksikköarvoindeksien ja hintaindeksien suhteena laskettuja viennin laatuindeksejä kuvaamaan Suomen ja eräiden muiden maiden tuotekehityksen vaikutuksia. Viennin yksikköarvoindeksien aikasarjat vuodesta 1975 lähtien on koottu YK:n julkaisusta ”Monthly Bulletin of Statistics”, jossa Suomen viennin yksikköarvoindeksin kehitys vastaa melko tarkasti Tullihallituksen julkaisemia tietoja. Vaihtoehtoisina kansainvälisinä lähteinä voitaisiin käyttää OECD:n tai IMF:n tietoja. Tavaraviennin hintaindeksien lähteenä on OECD:n kokoama kansantalouden tilinpidon aineisto.

Kuvio 3.3 Viennin laatu Suomessa, Yhdysvalloissa, Japanissa ja Ruotsissa



Kuvio 3.4 Yritysten tuotekehityspanostukset Suomessa, Yhdysvalloissa, Japanissa ja Ruotsissa



Ulkomaankaupan aikasarja-aineistosta on periaatteessa helppoa laskea viennin laatua mittaavia indeksejä, mutta sekä kansainvälisestä aineistosta että kotimaisesta toimiala-aineistosta saatavat viennin laatuindeksit ovat käytännössä kehityspiirteiltään monessa tapauksessa kyseenalaisia. Kuvio 3.3 esittää Suomen, Yhdysvaltojen, Japanin ja Ruotsin viennin laatuindeksien kehitystä vuodesta 1975 lähtien. Yhdysvaltojen tapauksessa käytettävissä olleista tiedoista laskettu viennin laatuindeksi näyttää hämmästyttävän voimakasta nousua. Toisaalta esimerkiksi Ruotsin kohdalla mittari näyttää epäilyttävän vähäistä viennin laadun paranemista. Vaihtoehtoiset kansallisten

lähteiden, OECD:n ja IMF:n tiedot Ruotsista osoittavat tosin suunnilleen samanlaista kehitystä kuin tässä käytetty YK:n aineisto. Vielä suurempia ongelmia on eräiden muiden maiden kuten Saksan yksikköarvoindeksiluvuissa, joiden perusteella laskettuna viennin laatuindeksi olisi ollut keskimäärin muuttumaton tai jopa laskusuunnassa vuodesta 1975. Tässä rajoitutaankin tarkastelemaan vain taulukossa 3.1 mukana olevien kymmenen maan viennin laadun riippuvuutta tuotekehityksestä.

Tuotekehityspanostusta mitataan luvussa 2 määritellyn reaalisen t&k-varannon indeksillä. Reaalisen t&k-varannon vuotuiseksi poistumaksi oletetaan perustapauksessa 10 prosenttia. Kuvio 3.4 esittää tällä tavoin laskettujen Suomen, Yhdysvaltojen, Japanin ja Ruotsin reaalisen t&k-varannon indeksien kehitystä vuodesta 1975 lähtien. Havaitaan, että reaalisen t&k-varannon indeksillä mitattuna t&k-panostus on kasvanut vertailumaista voimakkaammin Suomessa. Suomi on tosin edelleen muiden maiden lailla t&k-menojen bruttokansantuoteosuudella mitattuna Ruotsia jäljessä.

Tuotekehityspanostusten tehokkuuden mittaamiseksi reaalisen t&k-varannon R_{it} vaikutus maan i vuoden t viennin laatuun Q_{it} mallinnetaan yhtälön (2.4) logaritimuunnoksella

$$\log Q_{it} = \gamma_i \log R_{it} + u_{it}, \quad (3.1a)$$

$$u_{it} = \sum_k \rho_{ik} u_{i,t-k} + \varepsilon_{it}, \quad k = 1, \dots, p. \quad (3.1b)$$

Jäännöstermi u_{it} voi olla yhtälön (3.1b) AR-täsmennyksen kuvaamalla tavalla autokorreloitunut. Tasomalli (3.1a) kuvaa lähinnä pitkän ajan riippuvuutta viennin laadun ja tuotekehityspanostusten välillä eikä ota huomioon muiden mahdollisten tekijöiden vaikutuksia ja lyhyen ajan suhdanneluonteisia dynaamisia riippuvuuksia.

Malli (3.1a-b) on estimoitu Suomen ja yhdeksän muun maan vuosien 1976-1998 aineistolla. Selitettävänä muuttujana on viennin laatuindeksi Q_{it} skaalattuna siten, että sen arvo on vuonna 1995 ykkönen. Samoin reaalisen t&k-varannon indeksi R_{it} on skaalattu siten, että se on vuonna 1995 ykkönen. Estimoinnit on tehty t&k-varannon poistuma-asteilla $\delta = 0.1$ ja $\delta = 1$. Jäännöstermin autokorrelaation mallintamiseen on Englannin tapauksessa käytetty AR(2)-täsmennystä ja muiden maiden kohdalla AR(1)-mallia. Estimointitulokset on koottu taulukkoon 3.1.

Estimointikokeiden keskeinen tulos on, että tuotekehityspanostukset selittävät useimpien maiden kohdalla tilastollisesti merkitsevästi viennin laadun kehitystä. Maiden välillä on kuitenkin suuria eroja tutkimuksen ja tuotekehityksen tehokkuudessa. Estimointitulosten mukaan tuotekehitys näyttää olleen Yhdysvalloissa, Japanissa, Englannissa ja Ranskassa tehokkaampaa kuin Suomessa ja muissa pienissä maissa. Jos tuloksiin on uskomista, niin kiinnostavaksi kysymykseksi jää, mikä selittää suurten maiden etumatkan tuotekehityksen tehokkuudessa. Periaatteessa tuloksen voidaan tulkita olevan sopusoinnussa sellaisen uuden kasvuteorian implikaation kanssa, joka sanoo, että väestöpohjaltaan suuret talousyksiköt kehittävät uusia innovaatioita tehokkaammin kuin pienet. Joka tapauksessa estimointitulosten mukaan tuotekehityspanostuksilla aikaansaatuun tuotannon laadun paranemiseen pätee vähenevän rajatuottavuuden laki, sillä t&k-

varannon tuotantofunktion tehokkuusparametri γ_i on kaikissa maissa selvästi ykköstä pienempi.

**Taulukko 3.1 Tuotekehityksen vaikutus viennin laatuun eräissä maissa
estimoituna vuosilta 1976-1998**

	Tuotekehityksen tehokkuus							
	T&k-varannon poistuma $\delta = 0.1$				T&k-varannon poistuma $\delta = 1$			
	γ_i	t	ρ_{i1}	R^2	γ_i	t	ρ_{i1}	R^2
Suomi	0.06	2.7	0.68	0.86	0.07	4.8	0.57	0.88
Ruotsi	0.01	2.6	0.55	0.81	0.02	3.2	0.51	0.82
Englanti	0.27	2.4	1.34	0.66	0.04	0.4	1.33	0.65
Ranska	0.43	3.2	0.92	0.88	0.12	0.7	1.03	0.87
Italia	0.06	2.0	0.77	0.89	0.06	1.5	0.84	0.90
Hollanti	0.01	0.2	0.70	0.42	0.04	1.1	0.68	0.48
Yhdysvallat	0.42	22.0	0.64	0.99	0.21	2.5	0.95	0.99
Kanada	0.03	2.3	0.64	0.51	0.03	2.1	0.67	0.53
Japani	0.24	3.7	0.91	0.93	0.08	0.9	0.93	0.93
Australia	0.07	11.4	-0.19	0.58	0.06	8.5	-0.05	0.48

t = t-testisuureen arvo, ρ_{i1} = jäännöstermin autokorrelaatio ja R^2 = mallin selitysaste.

Estimointikokeiden tulokset viittaavat myös siihen, että tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutukset voivat olla kumuloituvia. Etenkin suurten maiden kohdalla t&k-varannon alhaisen poistuma-asteen oletus $\delta = 0.1$ tuottaa suuremman ja merkitsevemmän t&k-tehokkuusparametrin γ_i arvon sekä estimoidulle mallille korkeamman selitysasteen R^2 ja pienemmän jäännöstermin autokorrelaation ρ_{i1} kuin välittömän poistuman oletus $\delta = 1$. Tältä osin tulokset vastaavat uudemmissa talouskasvua selittävissä teorioissa sekä empiirisissä tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutuksia koskeneissa tutkimuksissa korostettua t&k-osaamisen kumuloituvaa luonnetta.

Tuloksia arvioitaessa on kuitenkin pidettävä mielessä selitettävänä muuttujana käytettyyn viennin laatuindeksiin liittyvät yksikköarvoindeksiaineistosta johtuvat epävarmuustekijät. Toisaalta myös selittävään muuttujaan liittyy epävarmuutta t&k-menojen deflatoinnin sekä investointikertymämenetelmällä lasketun reaalisen t&k-varannon alkuarvon ja poistuman arvioinnin osalta.

Viennin laadun kehitystä voidaan mitata myös toimialoittain suhteuttamalla toimialan viennin yksikköarvoindeksi asianomaisen toimialan viennin hintaindeksiin. Suomen toimialakohtaiset viennin yksikköarvoindeksien ja hintaindeksien suhdeluvut ovat vuodesta 1975 lähtien tarkasteltuina tosin poukkoilleet siten, että niiden käyttökelpoisuus toimialojen viennin laadun mittareina on kyseenalainen. Seuraavassa tätä aineistoa kuitenkin käytetään edellä esitetyn tuotekehityksen kansainvälisen tehokkuusvertailun täydentämiseksi Suomen viennin toimialakohtaisen yksikköarvo- ja hintaindeksikehityksen tarkastelulla. Toimialojen viennin yksikköarvoindekseinä on käytetty Tullihallituksen julkaisemaa aineistoa. Tavaraviennin hintaindeksien lähteenä on Tilastokeskuksen toimialakohtainen ulkomaankaupan aikasarja-aineisto vuodesta 1975 (Parkkinen, Manninen ja Mäenpää 2000).

Malli (3.1a-b) on estimoitu teollisuuden kahdeksan päätoimialan vuosien 1976-1998 aineistolla. Estimoinnit on tehty myös tässä tapauksessa t&k-varannon poistuma-asteilla $\delta = 0.1$ ja $\delta = 1$. Puutavarateollisuuden, metallinjalostusteollisuuden ja koneteollisuuden tapauksessa jäännöstermin u_{it} autokorrelaation täsmennyksenä on käytetty AR(2)-mallia ja muilla toimialoilla AR(1)-mallia. Estimointitulokset on esitetty taulukossa 3.2.

**Taulukko 3.2 Tuotekehityksen vaikutus toimialojen viennin laatuun
estimoituna vuosilta 1976-1998**

	Tuotekehityksen tehokkuus							
	T&k-varannon poistuma $\delta = 0.1$				T&k-varannon poistuma $\delta = 1$			
	γ_i	t	ρ_{il}	R^2	γ_i	t	ρ_{il}	R^2
Elintarviketeollisuus	0.10	0.7	0.87	0.75	-0.05	-0.3	0.80	0.75
Tevanake-teollisuus	0.15	1.9	0.81	0.64	0.02	0.7	0.92	0.63
Puutavarateollisuus	0.21	2.3	0.49	0.72	-0.01	-0.3	0.62	0.66
Paperiteollisuus	0.09	1.3	0.77	0.30	-0.04	-0.8	0.89	0.29
Kemianteollisuus	0.07	2.6	0.52	0.54	0.09	3.3	0.43	0.55
Rakennusaineteollisuus	0.09	0.6	0.88	0.77	0.00	0.0	0.88	0.77
Metallinjalostusteollisuus	-0.11	-1.6	0.17	0.38	-0.07	-0.8	0.29	0.33
Kone- ja elektroniikkateollisuus	0.04	1.5	0.72	0.49	0.04	1.9	0.71	0.51

t = t-testisuureen arvo, ρ_{il} = jäännöstermin autokorrelaatio ja R^2 = mallin selitysaste.

Tulosten yleistä tilastollista laatua arvioitaessa on otettava huomioon selitettävänä muuttujina käytettyjen toimialatason viennin yksikköarvoindeksien ja viennin hintaindeksien suhdelukujen suhdanneluontoinen heilahtelu, jota on vaikea tulkita toimialojen viennin laadun muutokseksi. Estimointikokeiden tuloksena on kaikesta huolimatta, että tuotekehityspanostukset selittävät jossain määrin toimialakohtaisten viennin laadun mittareiden kehitystä. Tilastollisesti merkitseväksi vaikutus tulee tosin vain kemianteollisuuden ja puutavarateollisuuden tapauksessa.

4 TUOTEKEHITYKSEN VAIKUTUS TOIMIALOJEN PANOS-TUOTOSRAKENTEEN MUUTOKSIIN

4.1 Panos-tuotosmalli

Tämän tutkimuksen keskeisiä kysymyksiä on, miltä osin tuotekehityksellä aikaansaatu tuotteiden laadun paraneminen selittää toimialojen välituotemarkkinoiden rakennemuutoksia ja sitä kautta panos-tuotosmallin kertoimien muuttumista ajassa. Tämä on tärkeä kysymys muun muassa pitkän ajan toimialakehityksen ennakkoinnin kannalta. Kiinteäkertoimisilla panos-tuotosmalleilla on pitkään ollut keskeinen sija talouspolitiikan toimialavaikutusten analyysissä sekä toimialakehityksen ennustamisessa. Toisaalta jo kauan sitten on myös todettu, että toimialojen panos-tuotosrakenteet muuttuvat ajassa, mikä aiheuttaa epävarmuutta kiinteäkertoimisella panos-tuotosmallilla tehtäviin laskelmiin.

Panos-tuotosriippuvuuksien arviointiin on jo pitkään haettu menetelmiä, joilla panoskertoimia voidaan estimoida panos-tuotostaulun reunajakaumamuuttujista käsin myös sellaisille vuosille, joilta varsinaisia panos-tuotostauluja ei ole laadittu. Tunnettuja panoskertoimien arviointimenetelmiä ovat RAS-menetelmä ja tilastolliseen estimointiin perustuvat menetelmät (Mankinen 1992). Toisaalta panos-tuotosmallin kehitystyössä on etsitty tekijöitä, jotka selittävät panoskertoimien muuttumista. Tuloksena on ollut, että lähinnä tekninen kehitys muuttaa panoskertoimia (esim. Forssell 1970, 1985). Käsillä olevan tutkimuksen päähypoteesi ja -tulos, että tutkimuksen ja tuotekehityksen aikaansaama tuotannon laadun paraneminen ja jalostusasteen nousu toimialojen tuotantoprosesseissa selittää tuntuvan osan panos-tuotosrakenteen muutoksista, poikkeaa jonkin verran aiemman panos-tuotosmallien kehittelyn linjasta ja aiheen aiemman tutkimuksen tuloksista.

Perusmuodossaan panos-tuotostaulu voidaan hiukan yksinkertaistaen esittää taulukon 4.1 kuvaamana asetelmana. Toimialoja oletetaan esimerkkitarkasteluun n kappaletta. Taulukon yläosan rivit kuvaavat tuotannon tarjontaa ja kysyntää. Muuttuja I_{ijt} tarkoittaa toimialan i välituotemyyntiä toimialoille j vuonna t . Muuttuja I_{it}^O tarkoittaa toimialan i välituotevalmistusta yhteenlaskettuna, F_{it} toimialan i tuotteiden kotimaista loppukäyttöä ja vientiä yhteenlaskettuna ja Y_{it} edellisten summana määräytyvää toimialan i tuotosta. Taulukon sarakkeet kuvaavat toimialojen kustannusrakennetta siten, että muuttuja I_{it}^I tarkoittaa toimialan i kotimaasta ostamia välituotteita yhteenlaskettuina sekä muuttuja M_{it} toimialan i ulkomailta ostamia tuontipanoksia, V_{it} arvonlisäystä ja T_{it} nettomääräisiä tuoteveroja ja tukipalkkioita.

Taulukossa 4.2 tarkastellaan yksittäisen vuoden panoskertoimien määrittelyä, jolloin muuttujien aikaindeksit t voidaan jättää pois. Tässä vaiheessa oletetaan panos-tuotosmallien perusajatuksen mukaisesti, että panoskertoimet kuvaavat toimialojen tuotannon määrällisiä riippuvuuksia. Merkitään toimialojen panos- ja tuotostasoa siten, että I_{ij} tarkoittaa toimialan i tuotteiden käyttöä toimialalla j ja Y_i tarkoittaa toimialan i tuotoksen määrää. Panoskertoimet määritellään taulukon 4.2 kuvaamalla tavalla toimialojen välituotekäyttönä suhteessa käyttäjätoimialojen tuotokseen. Tällöin saadaan taulukon 4.3 kuvaamat ratkaistut panoskertoimet $a_{ij} = I_{ij}/Y_j$ ja niiden avulla määriteltä välituotekauppa toimialojen i ja j välille $a_{ij}Y_{jt}$. Panoskertoimet osoittavat kuinka paljon toimialan i tuotosta tarvitaan tuotosyksikköä kohden toimialalla j .

Taulukko 4.1 Panos-tuotostaulu

I_{11t}	...	I_{1nt}	I_{1t}^O	F_{1t}	Y_{1t}
...	...	...	...	...	...
I_{n1t}	...	I_{nnt}	I_{nt}^O	F_{nt}	Y_{nt}
I_{1t}^I	...	I_{nt}^I	I_t	F_t	Y_t
M_{1t}	...	M_{nt}	M_t	M_t^F	
V_{1t}	...	V_{nt}	V_t		
T_{1t}	...	T_{nt}	T_t		
Y_{1t}	...	Y_{nt}	Y_t		

Taulukko 4.2 Panoskerroimien määrittely

$(I_{11}/Y_1)Y_1$	...	$(I_{1n}/Y_n)Y_n$	I_1^O	F_1	Y_1
...	...	...	...	...	...
$(I_{n1}/Y_1)Y_1$	...	$(I_{nn}/Y_n)Y_n$	I_n^O	F_n	Y_n
I_1^I	...	I_n^I	I	F	Y
...	...	...	...		
Y_1	...	Y_n	Y		

Taulukko 4.3 Välituotekäyttö tuotoksen ja panoskerroimien avulla määriteltynä

$a_{11}Y_{1t}$	...	$a_{1n}Y_{nt}$	I_{1t}^O	F_{1t}	Y_{1t}
...	...	...	...	...	...
$a_{n1}Y_{1t}$	...	$a_{nn}Y_{nt}$	I_{nt}^O	F_{nt}	Y_{nt}
I_{1t}^I	...	I_{nt}^I	I_t	F_t	Y_t
...	...	...	...		
Y_{1t}	...	Y_{nt}	Y_t		

Taulukon 4.3 kuvaamat panos-tuotosriippuvuudet voidaan esittää tiivistetysti matriisimuodossa

$$Y_t = AY_t + F_t, \quad (4.1)$$

missä $Y_t = (Y_{1t}, \dots, Y_{nt})'$ on toimialojen tuotosvektori, $F_t = (F_{1t}, \dots, F_{nt})'$ on toimialojen tuotoksen kotimaisesta loppukäytöstä ja viennistä koostuva kysyntävektori ja A on kertoimista a_{ij} muodostettu panoskerroinmatriisi.

Panos-tuotosmallilla tarkoitetaan yhtälöryhmää, jossa toimialojen tuotosvektori Y_t ratkaistaan eksogeenisen kysyntävektorin F_t suhteen perusvuoden panoskerroinmatriisin A avulla

$$Y_t = (I - A)^{-1}F_t. \quad (4.2)$$

Mallissa kysyntävektorin kertojaksi tulee Leontiefin käänteismatriisi $(I-A)^{-1}$, jonka elementit ovat panoskertoimien a_{ij} vakoisuusoletuksesta johtuen myös vakioita. Todellisuudessa panoskertoimet ja siten myös panos-tuotosmallin Leontiefin käänteismatriisin elementit muuttuvat ajassa. Tämän tutkimuksen keskeinen hypoteesi on, että muutosten taustalla voi olla muun muassa tuotekehityksen aikaansaama toimialojen tuotannon laadun paraneminen ja jalostusasteen nousu.

4.2 Tuotteiden laadun muutokset ja panos-tuotosrakenteen muutokset

Kansantalouden tilinpidossa arvioidaan tuotantoa ja kysyntää käyvin hinnoin. Tuotannon ja kysynnän erille lasketaan myös hintaindeksejä. Näitä deflaattoreita käyttäen tuotanto- ja kysyntäerät voidaan ilmaista kiinteähintaisina aikasarjoina, joiden tavallisesti ajatellaan mittaavan tuotannon ja kysynnän määrällistä kehitystä. Jos tuotannon ja kysynnän hintaindeksit todella oikein mittaavat hintojen muutosta, kansantalouden tilinpidon kiinteähintaisiin tuotanto- ja kysyntäaikasarjoihin tulee itse asiassa kuitenkin mukaan myös tuotteiden laadun muutosten vaikutus. Voidaan hyvin ajatella, että eri toimialojen tuotteiden laatu muuttuu ajan kuluessa erilaisella vauhdilla, jolloin toimialojen välisillä laadun muutosten eroilla on todennäköisesti vaikutusta kansantalouden tilinpidon aineistolla kuvattuihin toimialojen tuotannon, kysynnän, välituotemarkkinoiden ja panos-tuotosrakenteen muutoksiin.

Laadun muutosten kirjaaminen kiinteähintaisiin aikasarjoihin on todettu selkeästi kansantalouden tilinpidon laskentaperiaatteissa. Nykyisin Suomessa käytössä olevan Euroopan kansantalouden tilinpitojärjestelmän (EKT) laskentaohjeissa todetaan muun muassa, että tuotteen fysikaalisten ominaisuuksien muuttamisesta johtuvaa laadun muutosta ei pidetä hinnan, vaan volyymin muutoksena. Volyymin tarkoitetaan EKT-käsitteistössä arvosarjasta hintaindeksillä deflatoitua kiinteähintaista sarjaa (Eurostat 1997).

Siirrytään seuraavaksi tarkastelemaan toimialojen tuotteiden laadun muutosten vaikutusta välituotemarkkinoihin ja toimialojen panos-tuotosriippuvuuksiin. Merkitään toimialan i tuotteiden laatua vuonna t indeksimuuttujalla Q_{it} . Oletetaan, että kunkin toimialan sisällä tuotteet ovat laadultaan homogeenisia. Laatuindeksit on lisäksi ajateltava skaalatuiksi siten, että indeksien taso on kullakin toimialalla perusvuoden kohdalla ykkönen, jotta panos-tuotostaulun identiteetit pysyvät voimassa. Laatuindeksit huomioonottaen toimialojen panoskertoimien määrittely muuttuu taulukoiden 4.2 ja 4.3 kuvaamasta tilanteesta taulukoiden 4.4 ja 4.5 mukaiseksi. Taulukossa 4.4 oletetaan havainnollisuuden vuoksi, että toimialojen tuotoksia $Y_i Q_{it}$ muuttaa ainoastaan tuotteiden laadun Q_{it} muutos, siten että tuotannon määrä Y_i pysyy vakiona. Asetelmassa 4.5 toimialojen tuotokset Y_{it} muuttuvat sekä määrän että laadun muutosten seurauksena.

Panoskertoimia laskettaessa panos-tuotostaulun sarakkeiden kuvaama toimialojen välituotekäyttö ilmaistaan suhteessa käyttäjätoimialan tuotokseen. Sen takia asetelman

4.5 kuvaamiin laadun muutokset huomioonottaviin panoskertoimiin $a_{ij}(Q_{it}/Q_{jt})$ tulee kertojaksi valmistajatoimialan laatuindeksi Q_{it} ja jakajaksi sen toimialan laatuindeksi Q_{jt} , joka välituotteita käyttää. Lisäksi on huomattava, että jos laatu on kullakin toimialalla tässä oletetulla tavalla homogeeninen, kunkin toimialan sisäisen välituotekäytön panoskerroin pysyy vakiona, koska $a_{ii}(Q_{it}/Q_{it}) = a_{ii}$. Panoskertoimien vaihtuminen taulukon 4.5 kuvaamalla tavalla laatuindekseistä riippuviksi muuttujiksi $a_{ij}(Q_{it}/Q_{jt})$ merkitsee samalla sitä, että panos-tuotosmallin (4.2) Leontiefin käänteismatriisi tulee panoskerroinmatriisiin lailla ajassa muuttuvaksi.

Taulukko 4.4 Laadun muutoksin täydennetty panos-tuotostaulu

$(I_{11}/Y_1)(Q_{1t}/Q_{1t})Y_1Q_{1t}$	...	$(I_{1n}/Y_n)(Q_{1t}/Q_{nt})Y_nQ_{nt}$	I^O_{1t}	F_1Q_{1t}	Y_1Q_{1t}
...	...	...	...	...	...
$(I_{n1}/Y_1)(Q_{nt}/Q_{1t})Y_1Q_{1t}$	...	$(I_{nn}/Y_n)(Q_{nt}/Q_{nt})Y_nQ_{nt}$	I^O_{nt}	F_nQ_{nt}	Y_nQ_{nt}
I^I_{1t}	...	I^I_{nt}	IQ_t	FQ_t	YQ_t
...	...	...	...		
Y_1Q_{1t}	...	Y_nQ_{nt}	YQ_t		

Taulukko 4.5 Laatuindekseihin korjatut panoskertoimet

$a_{11}(Q_{1t}/Q_{1t})Y_{1t}$	...	$a_{1n}(Q_{1t}/Q_{nt})Y_{nt}$	I^O_{1t}	F_{1t}	Y_{1t}
...	...	...	...	...	...
$a_{n1}(Q_{nt}/Q_{1t})Y_{1t}$	...	$a_{nn}(Q_{nt}/Q_{nt})Y_{nt}$	I^O_{nt}	F_{nt}	Y_{nt}
I^I_{1t}	...	I^I_{nt}	I_t	F_t	Y_t
...	...	...	...		
Y_{1t}	...	Y_{nt}	Y_t		

Käytännön esimerkkinä tuotteiden laadun muutosten vaikutuksista tuotannon rakennemuutoksiin ovat jalostusalojen ja alkutuotantoalojen tuotannon kasvuerot. Keskeinen trendi toimialojen panos-tuotosrakenteiden muutoksissa on se, että alkutuotannon tuotteiden käyttö vähenee suhteessa jalostusalojen tuotannon kehitykseen. Esimerkiksi metsäklusterissa tämä näkyy siten, että vaikka metsätalouden tuotanto menee lähes yksinomaan metsäteollisuuden käyttöön, metsätalouden tuotannon määrä kasvaa selvästi metsäteollisuutta hitaammin. Tämä johtuu metsäteollisuuden jalostusasteen noususta ja sen tuotteiden laadun paranemisesta, joka kansantalouden tilinpidossa heijastuu metsäteollisuuden tuotannon volyyymiin. Samankaltainen havainto voidaan tehdä elintarvikeklusterissa maatalouden ja elintarviketeollisuuden tuotannon välisestä riippuvuudesta (Rantala 2001). Toimialojen tuotannon kehitystä ennustettaessa tällaisia toimialojen panos-tuotosrakenteen muutoksia ei voida käsitellä tavanomaisella kiinteäkertoimisella panos-tuotosmallilla, joka laskee toimialojen tuotannon täsmälleen oikein vain sen vuoden kohdalla, jolta panoskertoimet on laskettu. Jos tuotannon laatu ei muuttuisi eikä uusia tuotteita kehitettäisi, esimerkiksi paperiteollisuus valmistaisi annetusta

raakapuumäärästä aina saman tonnimäärän laadultaan samanlaisena pysyvää paperia. Tällöin kiinteäkertoimin panos-tuotosmalli toimisi hyvin siinä mielessä, että se kuvaisi oikein toimialojen tuotannon ja välituotekäytön määrällisiä riippuvuuksia.

4.3 Tuotekehityksen välituotevaikutusten malli

Tuotekehityksen tehokkuuden arvioinnin perusajatuksena on tässä yhteydessä rakentaa mittaamiseen soveltuva ekonometrista mallia lähtökohdasta, jossa on yhtäältä käytettävissä tiedot toimialojen panos-tuotosriippuvuuksista perusvuodelta 1995 ja toisaalta kansantalouden tilinpidon aikasarjatiedot vuosilta 1975-1999 panos-tuotostaulun reunajakaumamuuttujista, kuten toimialojen tuotoksesta, tuotteiden loppukäytöstä ja välituotekäytöstä. Kansantalouden tilinpidon aikasarja-aineistoa käyttäen tuotoksen Y_{it} ja loppukäytön F_{it} erotuksena voidaan laskea aikasarjat toimialojen välituotevalmistukselle I_{it}^O . Toisaalta vähentämällä kansantalouden tilinpidossa lasketusta toimialojen kokonaisvälituotekäytöstä kokonaistuonnin ja loppukäyttöön ohjautuneen tuonnin erotuksena arvioitu toimialojen välituotekäyttöön mennyt tuonti voidaan laskea aikasarjat toimialojen kotimaasta ostamille välituotteille I_{it}^I (liite 2). Edellä esitetyn perushypoteesin mukaan tuotteiden laadun muutokset heijastuvat välituotevalmistukseen I_{it}^O ja välituotekäyttöön I_{it}^I , jotka ovat ekonometrisen mallin selitettäviä muuttujia. Mallin selittävinä muuttujina ovat tuotteiden laatuindeksien tuotekehitysriippuvuuksin mallinnetut perusvuoden 1995 panoskertoimin lasketut toimialojen väliset välituotemyynnit ja -ostot.

Tuotekehityksen vaikutus toimialojen tuotteiden laatuun mallinnetaan edellä luvussa 2 täsmennetyllä ja luvussa 3 sovelletulla potenssifunktiolla

$$Q_{it} = R_{it}^{\gamma_i}. \quad (4.3)$$

Mallin mukaan tuotekehityksellä ei ole lainkaan vaikutusta tuotannon laatuun ja panoskertoimiin, jos tuotekehitystä ei tapahdu ollenkaan siinä mielessä, että suhteellinen t&k-varanto on koko ajan perusvuoden tasolla $R_{it} = R_{i0} = 1$, jolloin myös $Q_{it} = Q_{i0} = 1$. Toisaalta tuotekehityksellä ei ole lainkaan vaikutusta, jos t&k-varannon tuotantofunktion tehokkuusparametri $\gamma_i = 0$, jolloin $Q_{it} = 1$. Joustoparametrin γ_i suuruus määrittää t&k-varannon rajatuottavuutta. Rajatuottavuus on positiivinen, mutta vähenevä, kun $0 < \gamma_i < 1$.

Tämän tutkimuksen keskeisenä tavoitteena on selvittää, kuinka tuotekehityspanostukset vaikuttavat tuotannon laadun muutosten kautta panoskertoimien muutoksina ilmeneviin toimialojen välituotemarkkinoiden rakennemuutoksiin. Parametrin γ_i estimointitulosten perusteella voidaan arvioida tutkimuksen ja tuotekehityksen tehokkuutta eri toimialoilla ja laskea toimialoille tuotannon laatuindeksit Q_{it} t&k-varantoindeksien R_{it} kehityksen perusteella. Varioimalla t&k-varannon poistumaparametrin δ arvoa eri estimointikokeissa voidaan lisäksi tehdä päätelmiä t&k-osaamisen kumuloitumisesta sekä tuotekehityspanostusten vaikutusten viipeistä ja näiden panostusten merkityksestä osana tulevaa toimialakehitystä ennakoivaa informaatiota.

Panos-tuotostaulun 4.5 perusteella voidaan kirjoittaa malli (4.4a) toimialojen välituotevalmistukselle. Yhtälössä (4.4b) toimialojen väliset välituotemyynnit on

esitetty aikasarjoina $I_{ijt} = a_{ij}Y_{jt}$ kertomalla tuotosaikasarjat Y_{jt} perusvuoden panoskertoimilla a_{ij} .

$$I_{it}^O = a_{i1}(Q_{it}/Q_{1t})Y_{1t} + \dots + a_{in}(Q_{it}/Q_{nt})Y_{nt}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.4a)$$

$$= I_{i1t}(Q_{it}/Q_{1t}) + \dots + I_{int}(Q_{it}/Q_{nt}). \quad (4.4b)$$

Vastaavasti voidaan kirjoittaa malli (4.5a) toimialojen kotimaisille välituoteostoille. Yhtälössä (4.5b) toimialojen välituotekauppa on esitetty aikasarjoina $I_{jit} = a_{ji}Y_{it}$.

$$I_{it}^I = a_{i1}(Q_{1t}/Q_{it})Y_{it} + \dots + a_{ni}(Q_{nt}/Q_{it})Y_{it}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.5a)$$

$$= I_{i1t}(Q_{1t}/Q_{it}) + \dots + I_{nit}(Q_{nt}/Q_{it}). \quad (4.5b)$$

Malleihin (4.4b) ja (4.5b) voidaan nyt kirjoittaa laatuindeksien paikalle yhtälössä (4.3) täsmennetty laatuindeksien Q_{it} riippuvuus reaalisen t&k-varannon indekseistä R_{it} . Tällöin saadaan

$$I_{it}^O = I_{i1t}(R_{it}^{\gamma_i} / R_{1t}^{\gamma_1}) + \dots + I_{int}(R_{it}^{\gamma_i} / R_{nt}^{\gamma_n}), \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.6a)$$

$$= R_{it}^{\gamma_i} \sum_j^n I_{ijt} R_{jt}^{-\gamma_j}, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (4.6b)$$

$$I_{it}^I = I_{i1t}(R_{1t}^{\gamma_1} / R_{it}^{\gamma_i}) + \dots + I_{nit}(R_{nt}^{\gamma_n} / R_{it}^{\gamma_i}), \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.7a)$$

$$= R_{it}^{-\gamma_i} \sum_j^n I_{jit} R_{jt}^{\gamma_j}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (4.7b)$$

Malleja voidaan havainnollistaa muuntamalla yhtälöt (4.6b) ja (4.7b) logaritmiseen muotoon

$$\log I_{it}^O = \gamma_i \log R_{it} + \log(\sum_j^n I_{ijt} R_{jt}^{-\gamma_j}), \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (4.8)$$

$$\log I_{it}^I = -\gamma_i \log R_{it} + \log(\sum_j^n I_{jit} R_{jt}^{\gamma_j}), \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (4.9)$$

Yhtälön (4.8) oikean puolen ensimmäisestä termistä havaitaan, että tuotekehityksen tehokkuusparametri γ_i mittaa joustoa, jolla toimialan välituotevalmistus I_{it}^O lisääntyy toimialan reaalisen t&k-varannon R_{it} kasvaessa. Jälkimmäinen termi ottaa huomioon muiden toimialojen tuotekehityksen ja laadun paranemisen vähentävän vaikutuksen näiden toimialojen käyttämiin välituotepanoksiin painotettuna välituotevalmistuksen toimialajakaumalla. Yhtälön (4.9) oikean puolen ensimmäisestä termistä havaitaan, että parametri γ_i kuvaa myös sitä, kuinka toimiala ”säästää” välituotekäytössään I_{it}^I , kun sen omien tuotteiden suhteellinen laatutaso paranee tuotekehityspanostusten kasvaessa. Jälkimmäinen termi ottaa huomioon välituotekäytön toimialajakaumalla painotettuna eri toimialojen tuotteiden laadun paranemisesta johtuvan välituotteiden lisäkäytön toimialalla i .

Jotta yhtälöiden (4.6) ja (4.7) väliset kerroinriippuvuudet ja kaikki käytettävissä oleva informaatio tuotekehityksen vaikutuksista toimialarakenteeseen tulisi otettua huomioon, mallit (4.6) ja (4.7) on estimoitava yhtälöjärjestelmänä. Estimoitavassa mallissa on kunkin toimialan osalta kaksi yhtälöä, toinen välituotevalmistukselle I_{it}^O

ja toinen kotimaisille välituoteostoilta I_{it}^I . Jos kansantalous on jaettu n toimialaan, estimoitavaan mallijärjestelmään tulee siis kaikkiaan $2n$ yhtälöä.

Mallien estimointiin liittyvien näkökohtien tarkastelemiseksi on tarpeen kirjoittaa yhtälöihin mukaan jäännöstermit u_{it} ja v_{it} . Jäännöstermien voidaan tulkita kuvaavan sekä muuttujiin I_{it}^O ja I_{it}^I liittyviä mittaus- ja selitysvirheitä että t&k-panostusten R_{it} vaikutuksiin liittyvää epävarmuutta. Jäännöstermein täydennetyt mallit ovat

$$I_{it}^O = R_{it}^{\gamma_i} \sum_j^n I_{ijt} R_{jt}^{-\gamma_j} + u_{it}, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (4.10)$$

$$I_{it}^I = R_{it}^{-\gamma_i} \sum_j^n I_{ijt} R_{jt}^{\gamma_j} + v_{it}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (4.11)$$

Mallijärjestelmän (4.10)-(4.11) estimoinnissa kolme vaihtoehtoista menetelmää ovat tavallinen pienimmän neliösumman estimointimenetelmä, painottava pienimmän neliösumman estimointimenetelmä ja SUR-estimointimenetelmä (Seemingly Unrelated Regression). Yksinkertaisin estimointimenetelmä on tavallinen iteratiivinen pienimmän neliösumman estimointimenetelmä. Koska toimialat ovat kuitenkin välituotevalmistuksen I_{it}^O ja välituotekäytön I_{it}^I suhteen eri kokoisia ja jäännöstermien u_{it} ja v_{it} välillä on siten suuria eroja toimialoittain, mallijärjestelmän estimointiin voitaisiin soveltaa myös painottavaa pienimmän neliösumman estimointimenetelmää jäännöstermien heteroskedastisuuden huomioonottamiseksi.

SUR-estimointimenetelmällä voidaan ottaa huomioon se, että jäännöstermit saattavat olla toimialojen kesken korreloituneita. Jäännöstermien keskinäinen korrelaatio on mahdollista, koska toimialojen välituotevalmistuksen I_{it}^O ja välituotekäytön I_{it}^I aikasarja-aineisto sekä perusvuoden panoskertoimin lasketut mallin kerroinmuuttujat I_{ijt} toteuttavat panos-tuotostaulun ja kansantalouden tilinpidon identiteetit. Laskemalla toimialakohtaiset yhtälöt (4.10) yhteen ja laskemalla toisaalta myös yhtälöt (4.11) yhteen havaitaan, että jäännöstermit summautuvat nolleen yli toimialojen

$$\sum_i^n u_{it} = -\sum_i^n v_{it} = \sum_i^n I_{it}^O - \sum_i^n I_{it}^I = 0, \quad i = 1, \dots, n. \quad (4.12)$$

Summarajoitteen takia jäännöstermien u_{it} välillä on todennäköisesti negatiivista korrelaatiota siten, että yhden toimialan jäännösvirhe kumoutuu joidenkin muiden toimialojen vastakkaismerkkisillä jäännösvirheillä. Samoin jäännöstermien v_{it} välillä on todennäköisesti negatiivista korrelaatiota. Ääritapauksessa $n = 2$ jäännöstermit ovat vastalukuja $u_{1t} = -u_{2t}$ ja $v_{1t} = -v_{2t}$.

Jäännöstermit u_{it} ja v_{it} voivat olla myös autokorreloituneita, koska tasomallit (4.10) ja (4.11) kuvaavat lähinnä pitkän ajan riippuvuuksia toimialojen välituotemarkkinoiden rakenteen, tuotteiden laadun ja tuotekehityspanostusten välillä eivätkä ota huomioon muiden mahdollisten tekijöiden vaikutuksia ja suhdanneluonteisia dynaamisia riippuvuuksia. Mahdollisen autokorrelaation huomioonottamiseksi malleja on testattava myös jäännöstermien vaihtoehtoisin AR-täsmennyksin. Nollasummarajoitteen (4.12) takia jäännöstermien mahdolliset AR-mallit rajoittuvat muotoon

$$u_{it} = \sum_k \alpha_k u_{i,t-k} + \varepsilon_{it}^u, \quad k=1, \dots, p, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.13a)$$

$$v_{it} = \sum_k \beta_k v_{i,t-k} + \varepsilon_{it}^v, \quad k=1, \dots, q, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.13b)$$

missä jäännöstermin u_{it} autokorrelaatiokertoimet α_k ovat samoja kaikilla toimialoilla ja toisaalta myös jäännöstermin v_{it} autokorrelaatiokertoimet β_k ovat samoja kaikilla toimialoilla ja ε_{it}^u ja ε_{it}^v ovat autokorreloimattomia, mutta mahdollisesti keskenään korreloituneita satunnaisprosesseja. Tällöin tulosta (4.12) soveltaen havaitaan, että myös yhtälöt (4.13a-b) summautuvat nolleen yli toimialojen. Mallijärjestelmän (4.10)-(4.11) alustavien estimointitulosten perusteella jäännöstermien autokorrelaation mallintamiseen voidaan itse asiassa soveltaa mallia (4.13a-b) siten yksinkertaistettuna, että siinä on vain yksi jäännöstermien ensimmäisen kertaluvun autokorrelaatiota mittaava parametri $\rho_1 = \alpha_1 = \beta_1$.

4.4 Mallin soveltaminen käytäntöön

Tämän tutkimuksen yhtenä tavoitteena on kehittää ETLAssa toimialaennustamiseen käytettyä runsaan 30 toimialan panos-tuotosmallia sillä tavoin, että panoskertoimien muutosten taustalla olevat tuotekehityksen aikaansaamat tuotannon laadun muutosten vaikutukset saadaan mukaan toimialaennustemalliin. Tämä on tärkeää etenkin pyrittäessä parantamaan panos-tuotosmallia pitkän ajan toimialakehityksen ennustevälineenä.

30 toimialan tasolla sovellettuna estimoitavaan mallijärjestelmään (4.10)-(4.11) tulee 60 estimoitavaa yhtälöä. Käytännössä jo edellä esitetyt estimointitekniset seikat huomioon ottaen tällaisen mallijärjestelmän estimointiin liittyy paljon ongelmia. Sen takia seuraavassa tarkastellaan huomattavasti karkeampaa kansantalouden jakoa yhdeksään toimialaan.

Koska on mahdollista, että tuotekehityksen tehokkuus poikkeaa toimialoittain niiden tutkimus- ja tuotekehitysintensiivisyyden mukaan, toimialajaottelun pohjaksi otetaan teollisuustoimialojen osalta OECD:n soveltama toimialojen teknologiatasoluokittelu (Tilastokeskus 2001). OECD:n teknologialuokittelussa teollisuustoimialat jaetaan tutkimus- ja tuotekehitysintensiivisyyden perusteella korkean teknologian, korkean keskitason teknologian, matalan keskitason teknologian ja matalan teknologian toimialoihin (liite 1). Lisäksi myös tietoliikenteen ja liike-elämän palveluiden toimialoilla tehdään huomattavia tutkimus- ja kehittämispanostuksia ja sen takia nämä tietointensiiviset palvelualat on seuraavassa otettu erikseen tarkasteltaviksi toimialoiksi. Tietointensiivisiin palveluihin voidaan lukea muitakin toimialoja (Eurostat 2000). Suomessa t&k-panostus on muilla palvelualoilla kuitenkin huomattavasti vähäisempää kuin tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa.

Teollisuustoimialoista on korkean teknologian toimialaksi OECD:n luokittelua vastaavasti luettu elektroniikkateollisuus. Elektroniikkateollisuuden t&k-intensiteetti on ollut selvästi korkeampi kuin muilla toimialoilla keskimäärin. Samoin elektroniikkateollisuuden t&k-varanto ja t&k-menot ovat kasvaneet selvästi keskimääräistä nopeammin. Ilmailu- ja avaruusteollisuutta ja lääketeollisuutta ei OECD:n luokittelua vastaavasti ole tässä luettu korkean teknologian toimialoihin lähinnä sen takia, että näillä toimialoilla on verrattain vähäinen osuus Suomen teollisuudesta ja toisaalta siksi, ettei niistä ole ollut käytävissä tarvittavia kansantalouden tilinpidon aikasarja- ja panos-tuotostietoja ja t&k-menojen pitkiä aikasarjoja.

OECD:n teknologialuokittelua vastaavasti matalan teknologian teollisuuteen on luettu elintarviketeollisuus, tevanake-teollisuus, metsäteollisuus ja graafinen teollisuus. Kun nämä matalan teknologian teollisuusalat ja korkean teknologian teollisuutta edustava elektroniikkateollisuus erotetaan koko tehdasteollisuudesta, jää jäljelle tässä keskitason teknologian teollisuudeksi kutsuttujen toimialojen ryhmä. OECD:n luokittelun mukaista toimialojen erottelua korkean keskitason teknologian toimialoihin ja matalan keskitason teknologian toimialoihin ei ole tässä yhteydessä tehty, vaan nämä toimialaryhmät on koottu yhdeksi keskitason teknologian toimialojen ryhmäksi. Mallien estimoinnissa keskitason teknologian teollisuudesta otetaan erikseen tarkasteltavaksi metalliteollisuus ja kemikaaliteollisuus ja matalan teknologian teollisuudesta metsäteollisuus.

Taulukosta 4.6 havaitaan, että tietointensiivisiin palveluihin kuuluvissa tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa t&k-intensiteetti on ollut samaa luokkaa kuin teollisuudessa. T&k-panostusten kasvu on ollut tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa jopa voimakkaampaa kuin elektroniikkateollisuudessa. Muut palvelualat, rakentaminen, energia- ja vesihuolto ja alkutuotanto muodostavat tarkastelussa residuaaliryhmän muut toimialat.

Taulukko 4.6 T&k-panostukset toimialojen teknologiatason mukaan

	T&k-intensiteetti, t&k-menot/ arvonlisäys, % 1975-1999	Reaalisen t&k-varannon vuosikasvu, % 1976-1999	Reaalisten t&k-menojen vuosikasvu, % 1976-1999
<i>Korkean teknologian teollisuus</i>			
Elektroniikkateollisuus	15.9	11.0	12.5
<i>Keskitason teknologian teollisuus</i>			
Metalliteollisuus pl. elektroniikkateollisuus	3.8	7.0	6.4
Kemikaaliteollisuus	9.3	7.3	7.0
Muu keskitason teknologian teollisuus	3.4	6.2	5.2
Öljynjalostus-, muovi- ja rakennusaineteollisuus			
<i>Matalan teknologian teollisuus</i>			
Metsäteollisuus	1.6	1.5	3.5
Muu matalan teknologian teollisuus	0.9	6.5	6.4
Elintarvike-, tevanake-, graafinen ja muu teollisuus			
<i>Tietointensiiviset palvelut ja muut toimialat</i>			
Tietoliikenne	1.8	14.0	15.5
Liike-elämän palvelut	0.7	11.7	12.6
Muut toimialat	0.1	4.9	7.2
Alkutuotanto, energiahuolto, rakentaminen, muut palvelut			
<i>Toimialat yhteensä</i>	1.2	7.6	9.2

Mallijärjestelmä (4.10)-(4.11) on estimoitu käyttämällä kansantalouden tilinpidon ja toimialojen ulkomaankaupan vuosien 1975-1999 aikasarja-aineiston pohjalta laskettua aineistoa toimialojen välituotevalmistuksesta ja kotimaisesta välituotekäytöstä (liite 2). Perusaineisto on laskettu ETLAn toimialaennustejärjestelmässä käytetyllä 33 toimialan tasolla. Yritysten tutkimus- ja tuotekehitysmenojen aikasarjat on muodostettu vastaavalla 33 toimialan jaottelulla.

T&k-menojen osalta on käytetty perustietoina Tilastokeskuksen ja OECD:n kokoamia toimialakohtaisia aikasarjoja. Tilastokeskuksen aineistossa on aikasarjat vuosille 1971-1989 (Virtaharju ja Åkerblom 1993). Vuodesta 1990 lähtien on käytetty OECD:n kokoamaa aineistoa, jota on ollut saatavilla Suomen osalta vuoteen 1999. Estimointiin käytetyn aineiston ryhmittely edellä kuvatulle toimialojen teknologiaintensiivisyyden mukaiselle yhdeksän toimialan tasolle on tehty aggregoimalla 33 toimialan aikasarjoista.

Taulukkoon 4.7 on koottu mallin (4.10)-(4.11) estimointitulokset vuosilta 1976-1999. Jäännöstermin autokorrelaation mallintamiseen on sovellettu AR(1)-täsmennystä mallin (4.13a-b) rajoitteella, jossa koko mallijärjestelmään (4.10)-(4.11) sovelletaan vain yhtä jäännöstermin ensimmäisen kertaluvun autokorrelaatioparametria $\rho_1 = \alpha_1 = \beta_1$. Estimoinnit on tehty reaalisen t&k-varannon poistuma-asteille $\delta = 0.1$ ja $\delta = 1$. Taulukossa 4.7 esitetään iteratiivisen SUR-menetelmän tuottamat estimointitulokset. Tavallinen ja painottava iteratiivinen pienimmän neliösumman estimointimenetelmä tuottavat samaa suuruusluokkaa olevia tehokkuusparametrin γ_i estimaatteja, mutta niiden hajonta on yleensä suurempi kuin SUR-menetelmällä estimoitaessa.

Taulukko 4.7 Välituotevalmistuksen I^O_{it} ja välituotekäytön I^I_{it} mallien estimointitulokset vuosilta 1976-1999

	Tuotekehityksen tehokkuus			
	$\delta = 0.1$		$\delta = 1$	
	γ_i	t	γ_i	t
Elektroniikkateollisuus	0.19	5.9	0.10	4.5
Muu metalliteollisuus	0.03	0.2	-0.06	-0.9
Kemikaaliteollisuus	0.08	2.3	0.04	2.6
Muu keskitason teknologian teollisuus	-0.09	-1.3	-0.05	-2.0
Metsäteollisuus	0.28	6.0	0.01	1.1
Muu matalan teknologian teollisuus	0.10	3.5	-0.02	-2.1
Tietoliikenne	0.21	15.5	0.01	3.7
Liike-elämän palvelut	0.25	7.5	0.09	5.1
Muut toimialat	0.11	4.5	-0.01	-3.6
Jäännöstermin autokorrelaatio ρ_1	0.88	43.1	0.88	48.5

t = t-testisuureen arvo.

Estimointitulosten mukaan t&k-panostuksilla on ollut tilastollisesti merkitsevää vaikutusta tuotannon laatuun elektroniikkateollisuudessa, kemikaaliteollisuudessa, metsäteollisuudessa, muussa matalan teknologian teollisuudessa, tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa. Luvussa 3 esitettyjä tuloksia vastaavasti tässäkin yleisenä tuloksena on se, että tuotekehityksellä aikaansaatuun tuotannon laadun paranemiseen pätee vähenevän rajatuottavuuden laki, sillä reaalisen t&k-varannon tuotantofunktion tehokkuusparametri γ_i on säännönmukaisesti selvästi ykköstä pienempi. Viennin laadun osalta saatuja estimointituloksia vastaava tulos on myös se, että tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutukset näyttävät olevan kumuloituvia. Mallien estimointitulokset ovat yleensä jonkin verran parempia t&k-varannon alhaisella poistuma-asteella $\delta = 0.1$ verrattuna välittömän poistuman $\delta = 1$ oletuksella saatuihin tuloksiin.

Edellä mallijärjestelmä estimoitiin siten, että siinä olivat mukana sekä välituotevalmistuksen yhtälöt (4.10) että kotimaisen välituotekäytön yhtälöt (4.11). Suomessa kansantalouden tilinpidon laskennassa useimmilla toimialoilla noudatettava käytäntö, jossa kiintein hinnoin laskettu toimialan kokonaisvälituotekäyttö ja samalla kiinteähintainen arvonlisäys oletetaan vakio-osuudeksi kiinteähintaisesta tuotoksesta, on kuitenkin ongelmallinen toimialojen kotimaisen välituotekäytön arvioinnin kannalta. Toimialojen kotimaisten välituoteostojen arviointiin liittyvän epävarmuuden takia on perusteltua estimoida tuotekehityksen tehokkuusparametrit myös pelkästään välituotevalmistuksen mallista (4.10). Tämän malliversion estimointitulokset t&k-varannon poistuman $\delta = 0.1$ ja jäännöstermin kahden autokorrelaatiovaihtoehdon tapauksessa on esitetty taulukossa 4.8.

Taulukko 4.8 Välituotevalmistuksen I^O_{it} mallin estimointitulokset vuosilta 1976-1999

	Tuotekehityksen tehokkuus $\delta = 0.1$			
	γ_i	t	γ_i	t
Elektroniikkateollisuus	1.01	7.5	0.67	12.1
Muu metalliteollisuus	0.87	3.2	0.53	7.0
Kemikaaliteollisuus	0.35	2.9	0.11	3.6
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.23	1.7	0.00	0.1
Metsäteollisuus	0.99	3.2	0.53	4.9
Muu matalan teknologian teollisuus	0.28	2.5	0.05	1.6
Tietoliikenne	0.58	8.6	0.38	14.2
Liike-elämän palvelut	0.59	7.1	0.36	13.4
Muut toimialat	0.39	3.8	0.18	5.7
Jäännöstermin autokorrelaatio ρ_1	0.76	17.6	0.00	..

t = t-testisuureen arvo.

Yleinen tulos toimialojen välituotevalmistukselle täsmennetyn mallijärjestelmän (4.10) estimoinnista verrattuna koko systeemin (4.10)-(4.11) estimointiin on, että tulokset paranevat selvästi reaalisien t&k-varannon alhaisen poistuma-asteen $\delta = 0.1$ tapauksessa, mikä voidaan todeta muun muassa tuotekehityksen tehokkuusparametrien γ_i tilastollisen merkitsevyyden ja mallien selitysasteiden kohoamisena sekä jäännöstermin autokorrelaation pienenemisenä. Sen sijaan reaalisien t&k-varannon korkean poistuma-asteen $\delta = 1$ tapauksessa tulokset muuttuvat pikemminkin huonompaan suuntaan. Tulosten paremmuus alhaisen poistuma-asteen tapauksessa viittaa nyt entistäkin selvemmin t&k-osaamisen kumuloituihin vaikutuksiin. Tuotekehityksen vaikutusten välittyminen t&k-varannon kautta tuotannon laatuun merkitsee samalla sitä, että tuotekehityksen vaikutukset ovat dynaamisia ja tulevaa talouden kasvua ja toimialakehitystä ennakoivia.

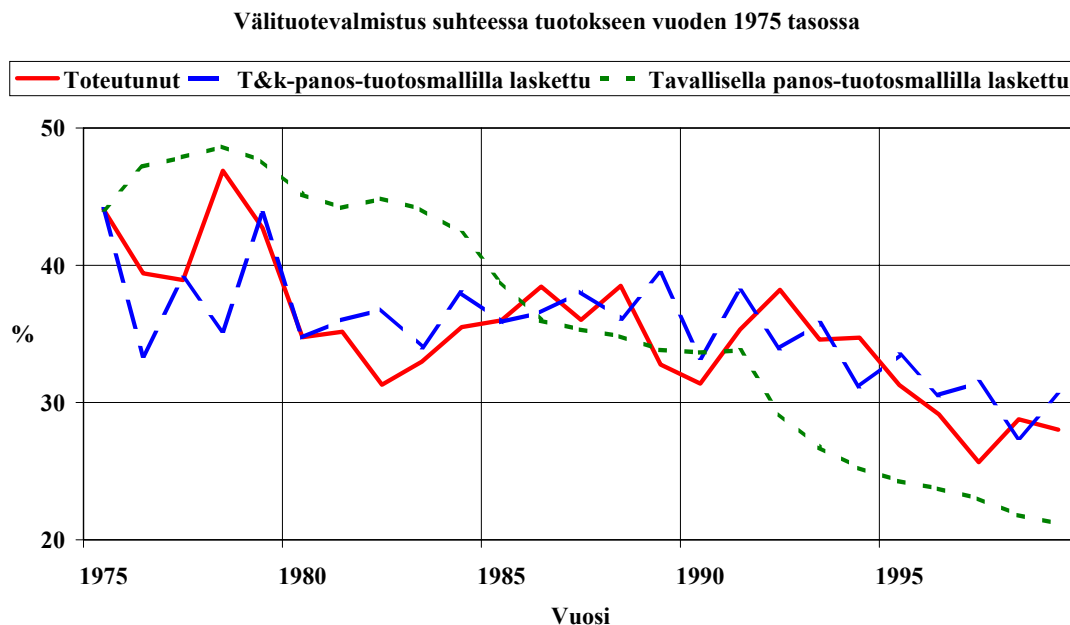
Taulukoita 4.7 ja 4.8 vertaamalla havaitaan, että elektroniikkateollisuuden, muun metalliteollisuuden, metsäteollisuuden, tietoliikenteen, liike-elämän palveluiden ja muidenkin toimialojen t&k-tehokkuusparametrien γ_i arvot ovat välituotevalmistuksen mallista (4.10) estimoituina selvästi suurempia kuin mallijärjestelmästä (4.10)-(4.11) estimoituina. Taulukosta 4.8 havaitaan, että kun jäännöstermin autokorrelaatio

rajoitetaan nollassa, $\rho_1 = 0$, parametrin γ_i arvot ovat pienempiä kuin tapauksessa $\rho_1 > 0$, mutta toisaalta useimmilla toimialoilla tilastollisesti merkitsevämpiä.

Mallien tilastollisia ominaisuuksia voidaan arvioida vertaamalla niillä laskettua toimialojen välituotevalmistusta yhtäältä toteutuneeseen kehitykseen ja toisaalta tavallisella kiinteäkertoimisella panos-tuotosmallilla laskettuun historialliseen kehitykseen. Tällä tavoin menneisyydessä toteutuneeseen kehitykseen peilattavien simulointien avulla voidaan vertailla edellä estimoidun mallin ja tavanomaisen panos-tuotosmallin paremmuutta tulevan toimialakehityksen ennakoinnissa.

Kuvio 4.1 esittää elektroniikkateollisuuden välituotevalmistuksen kehitystä, siten että toteutunut ja simuloitu kehitys on suhteutettu elektroniikkateollisuuden tuotoksen toteutuneeseen kehitykseen. Simulointi alkaa vuodesta 1975 siten, että edellä täsmennetyin ja estimoidun dynaamisen mallijärjestelmän (4.10) endogeenisten muuttujien alkuarvot on asetettu vuonna 1975 toteutuneen välituotevalmistuksen tasolle. Mallilla on näistä alkuarvoista lähtien laskettu välituotevalmistuksen kehitys soveltamalla taulukon 4.8 mukaisia estimoituja t&k-varannon tuotantofunktion tehokkuusparametreja γ_i ja jäännöstermin autokorrelaatiokerrointa tapauksessa $\rho_1 > 0$ ja poistumaoletuksella $\delta = 0.1$, eli olettamalla kaikilla toimialoilla reaalisen t&k-varannon poistumaksi 10 prosenttia vuodessa. Kuviossa 4.1 ja muissa seuraavissa mallivertailuissa myös vuoden 1995 panoskertoiimiin perustuvalla kiinteäkertoimisella panos-tuotosmallilla lasketun välituotevalmistuksen aikasarjat on skaalattu lähtemään vuonna 1975 toteutuneelta tasolta.

Kuvio 4.1 Elektroniikkateollisuuden välituotevalmistus



Kuvion 4.1 mukaan edellä estimoidulla tuotekehityksen vaikutuksia mittaavalla muuttuvakertoimisella panos-tuotosmallilla voidaan selittää elektroniikkateollisuuden välituotevalmistuksen kehitystä tuntuvasti paremmin kuin kiinteäkertoimisella panos-tuotosmallilla. Tavallisen panos-tuotosmallin mukaan elektroniikkateollisuuden välituotevalmistus olisi vähentynyt selvästi suhteessa toimialan tuotokseen vuodesta

1975 lähtien, sillä kiinteäkertoiminen panos-tuotosmalli ei ota huomioon elektroniikkateollisuuden tuotekehityksen välituotevalmistuksen tuotososuutta kasvattavaa vaikutusta.

Muilla toimialoilla tulokset ovat samantyyppisiä kuin kuvion 4.1 esittämässä elektroniikkateollisuuden tapauksessa. Tämä voidaan todeta taulukosta 4.9, joka esittää ennustevirheiden mittana usein käytettyä keskineliövirheen neliöjuurta (RMSE) laskettuna kuvion 4.1 esittämää mallivertailua vastaavasti vuosilta 1976-1999 kaikille mallin estimointiin sisällyneille toimialoille. Mallin ennustekyky on sitä parempi mitä pienempi RMSE-luku sillä lasketuille ennusteille saadaan.

Taulukossa 4.9 vertaillaan edellä täsmennetyn ja estimoidun muuttuvakertoimisen t&k-panos-tuotosmallin ja tavallisen kiinteäkertoimisen panos-tuotosmallin ennustekykyä taulukoissa 4.7 ja 4.8 esitetyillä parametriestimaateilla arvioituna. Kummankin estimointituloksen tapauksessa tuotekehityksen aikaansaamat tuotannon laadun muutokset ja jalostusasteen nousun huomioonottava malli toimii yleensä jonkin verran paremmin kuin tavallinen kiinteäkertoiminen panos-tuotosmalli. Ero tavalliseen panos-tuotosmalliin on suurin tietoliikenteen ja liike-elämän palveluiden kohdalla.

Taulukko 4.9 Mallien ennustekyvyn vertailu

	RMSE-virhemitat* vuosilta 1976-1999 muuttujalle välituotevalmistus / tuotos, %		
	T&k-pt-malli (4.10)	T&k-pt-malli (4.10)-(4.11)	Tavallinen pt-malli
Elektroniikkateollisuus	3.9	7.7	7.0
Muu metalliteollisuus	3.3	4.4	3.6
Kemikaaliteollisuus	3.6	4.8	5.5
Muu keskitason teknologian teollisuus	4.4	5.0	4.1
Metsäteollisuus	2.3	1.7	2.4
Muu matalan teknologian teollisuus	1.3	2.2	3.2
Tietoliikenne	7.7	8.6	20.9
Liike-elämän palvelut	4.6	4.3	16.8
Muut toimialat	0.6	0.5	1.6

* RMSE (keskineliövirheen neliöjuuri) = $((1/n)\sum_t (L_t - T_t)^2)^{1/2}$,
missä L_t = mallilla laskettu arvo vuonna t , T_t = toteutuma vuonna t ja n = havaintojen lukumäärä.

Edellä on koko ajan oletettu, että kullakin toimialalla tuotannon laatuun ja uusien tuotteiden kehittämiseen vaikuttaa vain kyseisen toimialan oma reaalinen t&k-varanto tuotantofunktion (4.14a) kautta. Toisaalta voitaisiin olettaa, että yksittäisen toimialan tuotannon laatuun vaikuttaa myös muiden toimialojen tuotekehitysosaaminen joko konkreettisesti muilta toimialoilta ostettujen välituotepanosten kautta tai epäsuoremmin uuden kasvuteorian esille nostamien t&k-osaamisen ulkoisvaikutusten kautta. Siten yksinkertaiselle t&k-tuotantofunktiospesifikaatiolle (4.14a) vaihtoehtoisina malleina voidaan esittää myös esimerkiksi mallien (4.14b) ja (4.14c) kaltaiset täsmennykset, joissa toimialan i tuotannon laatuindeksi riippuu kaikkien toimialojen reaalin t&k-varannon indeksien painotetusta keskiarvosta.

$$Q_{it} = R_{it}^{\gamma_i}, \quad (4.14a)$$

$$Q_{it} = (\Pi_j^n R_{jt}^{w_{ji}})^{\gamma_i}, \quad \sum_j w_{ji} = 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad (4.14b)$$

$$Q_{it} = (\sum_j^n w_{ji} R_{jt})^{\gamma_i}, \quad \sum_j w_{ji} = 1, \quad j = 1, \dots, n. \quad (4.14c)$$

Malleja (4.14b) ja (4.14c) testattiin edellä käytetyllä yhdeksän toimialan aineistolla siten, että painoina sovellettiin toimialojen panoskertoimista laskettuja välituotekäytön osuuksia $w_{ji} = a_{ji}/\sum_j a_{ji}$. Välituotevalmistuksen malliin (4.10) oletuksella $\delta = 0.1$ sovellettuna estimointitulokset eivät parantuneet taulukossa 4.8 esitetyistä, vaan pikemminkin hieman huononivat tehokkuusparametrien merkitsevyyden, mallien selitysasteen ja jäännöstermin autokorrelaation osalta. Poikkeuksena oli tietoliikenteen toimiala, jonka kohdalla t&k-tuotantofunktion tehokkuusparametrin arvo γ_i ja mallin selitysaste nousivat, mutta tässäkin tapauksessa tehokkuusparametrin tilastollinen merkitsevyys heikkeni. Nämä tulokset panos-tuotosriippuvuuksiin perustuvalla painotuksella viittaavat siihen, että on vaikea löytää painojärjestelmää, jolla voitaisiin testata tuotekehityksen ulkoisvaikutusten olemassaoloa siten, että tuloksille saataisiin vahvaa tilastollista tukea.

Edellä muuttuvakertoimisen panos-tuotosmallin parametrien estimoinnin yhteydessä viitattiin muiden mahdollisten tekijöiden vaikutukseen panoskertoimien muutosten taustalla. Eräs tällainen tekijä saattaisi olla kotimaisten toimialojen hintakilpailukyky suhteessa vastaaviin ulkomaisiin toimialoihin. Tämä voisi selittää etenkin kansainvälisillä markkinoilla kilpailevan teollisuuden panos-tuotosrakenteiden muutoksia. Tätä testattiin sisällyttämällä malliin (4.10) teollisuustoimialojen yhtälöihin toimialakohtaiset kilpailukykykymuuttujat, joina käytettiin kunkin toimialan kilpailevan tuonnin hintaa P^*_{it} suhteessa toimialan tuotannon hintaan P_{it} . Tuotannon hintamuuttujina käytettiin kansantalouden tilinpidon mukaisia toimialojen tuotoksen deflaattoreita ja kilpailevan tuonnin hintoina Tilastokeskuksen toimialakohtaista tuontihintojen aikasarja-aineistoa (Parkkinen, Manninen ja Mäenpää 2000). Teollisuustoimialojen välituotevalmistuksen mallit täsmennettiin muotoon

$$I^O_{it} = R_{it}^{\gamma_i} (\sum_j^n I_{ijt} R_{jt}^{-\gamma_j}) (P^*_{it}/P_{it})^{\mu_i} + u_{it}. \quad (4.10')$$

Hintaindeksit P^*_{it} ja P_{it} skaalattiin siten, että niiden arvo perusvuonna 1995 on ykkönen, jolloin kilpailukykytekijän vaikutus neutraloituu täsmennyksessä (4.10') perusvuoden kohdalla siten, että panos-tuotostaulun identiteetit pysyvät voimassa. Estimointitulokset eivät kuitenkaan olleet täysin selkeitä kilpailukykykymuuttujien tilastollisen merkitsevyyden osalta ja toisaalta niiden sisällyttäminen malleihin voi haitata tuotekehityksen vaikutusten arviointia. Kilpailukykytekijöiden mahdollinen vaikutus samoin kuin mallien estimointitulosten tietty herkkyys toimialaryhmittelyn ja havaintojen määrän suhteen sekä epälineaarisen mallin estimointiin liittyvät yleiset epävarmuustekijät on kuitenkin syytä ottaa huomioon edellä esitettyjä tuloksia arvioitaessa.

5 TUOTEKEHITYKSEN VAIKUTUS TUOTTAVUUTEEN

5.1 Tuotannon laadun paraneminen ja sen heijastuminen kulutus- ja investointitavaroiden laatuun

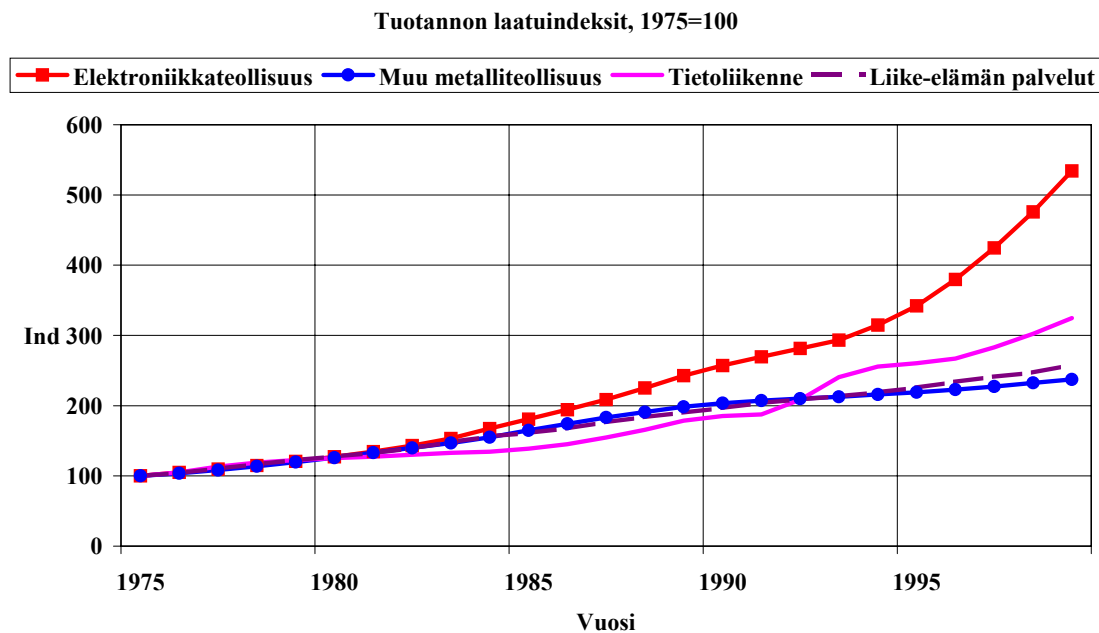
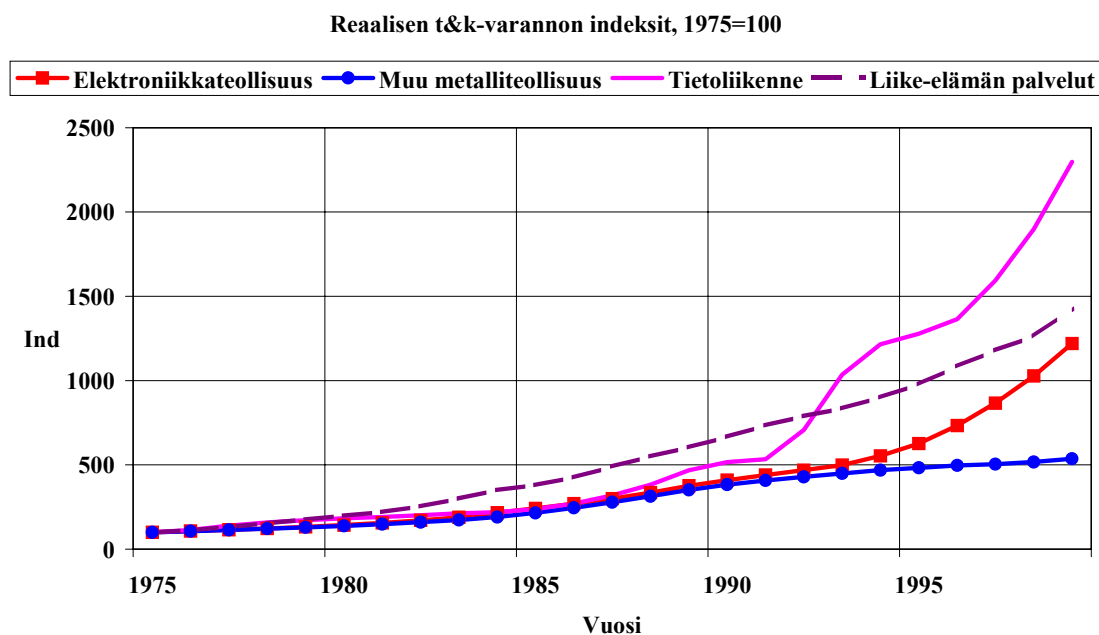
Edellä rakennettiin mallijärjestelmä, jonka estimoinnin tuloksena saatiin arviot tuotekehityspanostusten vaikutuksista tuotannon laatuun eri toimialoilla. Reaalisen t&k-varannon toteutuneen kehityksen ja estimoitujen t&k-panostuksen tehokkuusparametrien γ_i avulla voidaan t&k-tuotantofunktiota (4.3) käyttäen laskea toimialojen tuotannon laadun toteutuneen kehityksen indeksit. Taulukko 5.1 ja kuvio 5.1 esittävät tällä tavoin arvioitua toimialojen tuotannon laadun paranemista vuodesta 1976. Laskennan pohjana ovat taulukossa 5.1 ja kuviossa 5.2 esitetyt arviot tuotekehityspanostusten kasvusta. Laskelmat on tehty käyttämällä toimialakohtaisina parametrien γ_i arvoina taulukossa 4.8 esitettyjä välituotevalmistuksen mallin estimoinnista täsmennyksellä $\rho_1 = 0$ saatuja tuloksia.

Arvioidun tuotannon laadun kehityksen vertailukohtana taulukossa 5.1 on esitetty kansantalouden tilinpidon mukainen toimialojen kiinteähintaisen arvonlisäyksen keskimääräinen vuosikasvu vuodesta 1976, jonka jakson 4.2 tarkastelun perusteella oletetaan sisältävän myös tuotannon laadun muutoksen. Vertailukelpoisuuden parantamiseksi lamavuosien 1991-1993 muutokset on jätetty pois tuotannon volyymin keskimääräisen kasvuvauhdin laskelmista. Luvut eivät tosin ole muutoinkaan täysin vertailukelpoisia, koska laadun muutokset ovat puhtaasti mallipohjaisia arvioita pitkän ajan kehityksestä, joka sisältää periaatteessa sekä olemassa olevien tuotteiden laadun paranemisen että uusien tuotteiden vaikutuksen tuotantoon. Toisaalta kansantalouden tilinpito saattaa tuotannon hintojen laskentakäytännöstä johtuen aliarvioida tuotannon laadun ja volyymin kehitystä erityisesti korkeamman teknologian teollisuudessa, esimerkiksi tietokoneteollisuudessa (vrt. Niininen 2001).

Taulukko 5.1 Toimialojen tuotannon kasvu ja laadun paraneminen sekä t&k-panostusten kasvu

	Tuotannon volyymin kasvu, % vuodessa, 1976-1999*	Tuotannon laadun paraneminen, % vuodessa, 1976-1999	Reaalisen t&k-varannon kasvu, % vuodessa, 1976-1999
Elektroniikkateollisuus	11.8	7.2	11.0
Muu metalliteollisuus	4.8	3.7	7.0
Kemikaaliteollisuus	5.1	0.8	7.3
Muu keskitason teknologian teollisuus	4.3	0.0	6.2
Metsäteollisuus	4.8	0.8	1.5
Muu matalan teknologian teollisuus	2.0	0.3	6.5
Tietoliikenne	7.7	5.0	14.0
Liike-elämän palvelut	5.5	4.0	11.7
Muut toimialat	2.9	0.9	4.9
Toimialat yhteensä	3.6	1.3	7.6

*Pl. vuodet 1991-1993.

Kuvio 5.1 Toimialojen tuotannon laatu**Kuvio 5.2 Toimialojen tuotekehityspanostukset**

Taulukon 5.1 esittämät arviot tuotekehityksen vaikutuksesta tuotannon laadun paranemiseen eivät ehkä ole täysin uskottavia kaikkien toimialojen kohdalla. Tarkastelulla pyritään tuomaan esiin lähinnä toimialojen eroja tuotekehityspanostusten tehokkuudessa ja tässä suhteessa tulokset ovat ainakin suuntaa-antavia, vaikka otetaan huomioon tuotekehityksen vaikutusten ekonometriseen mittaukseen liittyvät monet epävarmuustekijät.

Arvion mukaan tuotannon laatu on kohonnut elektroniikkateollisuudessa nopeammin kuin muilla tutkituilla toimialoilla. Tämä johtuu yhtäältä siitä, että

elektroniikkateollisuuden tuotekehityspanostus on kasvanut keskimääräistä voimakkaammin ja toisaalta siitä, että estimointitulosten mukaan tuotekehityspanostuksilla on ollut suuri vaikutus tuotannon laatuun korkeaa teknologiaa edustavassa elektroniikkateollisuudessa. Taulukossa 5.1 esitetyn arvion mukaan tuotannon laadun paraneminen ja uusien tuotteiden kehittäminen voi selittää jopa puolet kansantalouden tilinpidon mukaisesta elektroniikkateollisuuden tuotannon kasvusta.

Tuotannon laatu on kohonnut keskimääräistä nopeammin myös tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa. Näillä tietointensiivisillä palvelualoilla tuotannon laadun paraneminen ei johdu erityisestä tuotekehityksen tehokkuudesta, vaan t&k-panostusten voimakkaasta kasvusta. Taulukon 5.1 mukaan tietointensiivisissä palveluissa laadun nousulla on ollut suhteellisesti jopa suurempi vaikutus tuotannon kasvuun kuin elektroniikkateollisuudessa.

Arvion mukaan t&k-panostuksilla on ollut vaikutusta tuotannon laatuun ja jalostusasteen nousuun myös metalliteollisuudessa, kemikaaliteollisuudessa, metsäteollisuudessa ja muillakin toimialoilla. Näillä toimialoilla tuotekehityksen tehokkuusparametrin γ_i arvo on alempi kuin elektroniikkateollisuudessa, mutta samaa luokkaa kuin tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa. Arvion mukaan tuotannon laatu on kuitenkin kohonnut perinteisessä teollisuudessa hitaammin kuin tietointensiivisissä palveluissa ja elektroniikkateollisuudessa. Tämä johtuu keskimääräistä hitaammasta t&k-panostusten kasvusta. Etenkin metsäteollisuus on jäänyt reaalisen t&k-varannon kasvuvauhdissa jälkeen muista teollisuuden päätoimialoista ja tietointensiivisistä palvelualoista, mikä johtuu osittain siitä, ettei kaikkia uuden tuotantoteknologian käyttöönotosta aiheutuvia kustannuksia tilastoida metsäteollisuuden tutkimus- ja kehittämistoiminnan menoiksi. Taulukon 5.1 mukaan koko kansantalouden tuotannon kasvusta jopa kolmannes on voinut olla peräisin tuotannon laadun paranemisesta ja uusien tuotteiden kehittämisestä.

Toimialojen tuotannon laatuindeksien pohjalta voidaan arvioida myös kulutus- ja investointitavaroiden laadun kehitystä. Kuvio 5.3 esittää vuoden 1995 panos-tuotoslaskelman kulutuksen muuntomatriisin avulla toimialojen tuotannon laatuindekseistä painotettua kulutustavaroiden laatuindeksiä ja kuvio 5.4 investointien muuntomatriisin perusteella painotettua investointitavaroiden laatuindeksiä. Huomattava osa kulutus- ja investointitavaroista on ulkomaista alkuperää ja tässä yhteydessä joudutaan oletamaan, että tuontitavarat ovat laadultaan samanlaisia kuin vastaavat kotimaiset tuotteet.

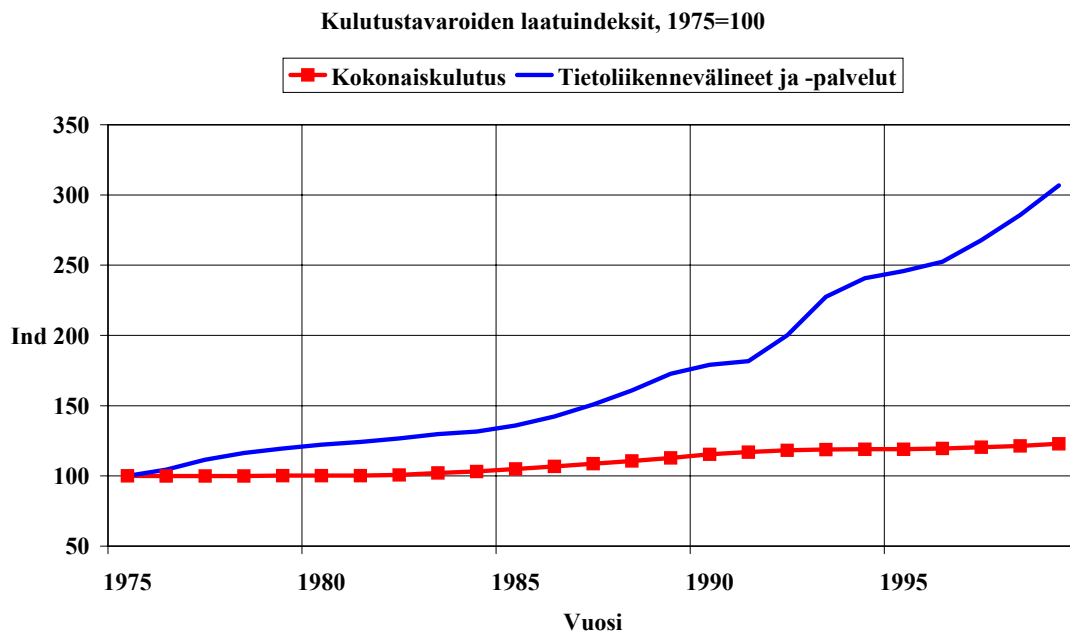
Kulutushyödykeryhmän j laatuindeksi Q_{Cjt} on laskettu liitteessä 3 esitetyn kulutuksen muuntomatriisin elementeillä C_{ij} painotettuna keskiarvona toimialojen tuotannon laatuindekseistä Q_{it}

$$Q_{Cjt} = \sum_i (C_{ij} / \sum_i C_{ij}) Q_{it}. \quad (5.1)$$

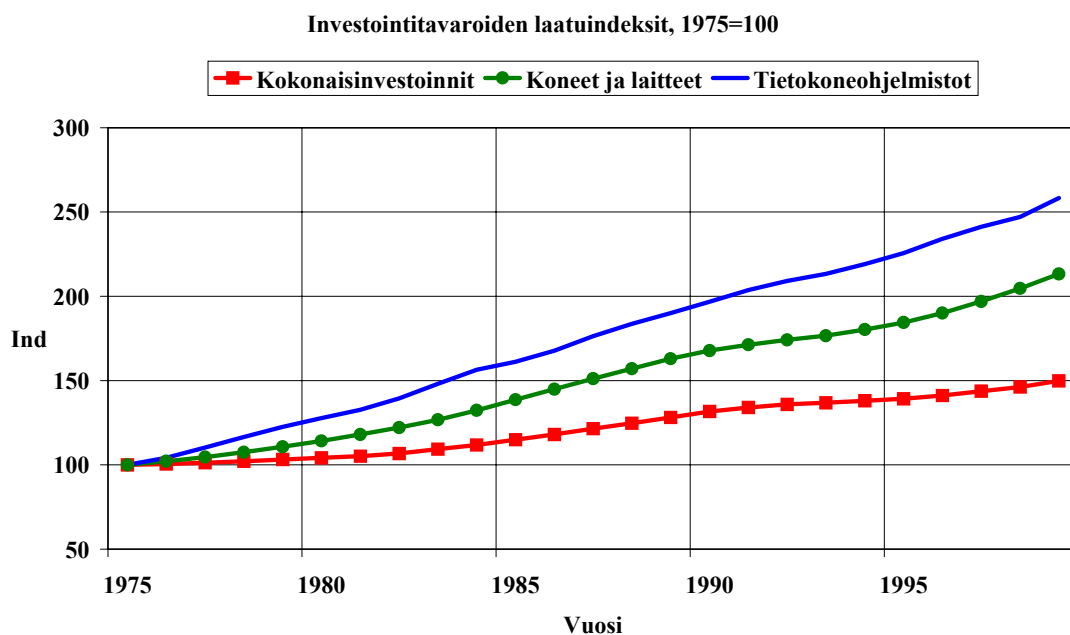
Vastaavasti investointitavararyhmän k laatuindeksi Q_{Ikt} on investointien muuntomatriisin elementeillä I_{ik} painotettu keskiarvo toimialojen tuotannon laatuindekseistä Q_{it}

$$Q_{Ikt} = \sum_i (I_{ik} / \sum_i I_{ik}) Q_{it}. \quad (5.2)$$

Kuvio 5.3 Kulutustavaroiden laatu



Kuvio 5.4 Investointitavaroiden laatu



Suuri osa kotitalouksien kulutusmenoista on elintarvikkeiden ja muiden sellaisten hyödykkeiden kulutusta, joiden laatutaso muuttuu suhteellisen hitaasti. Tämä näkyy kuviossa 5.3 siten, että kokonaiskulutuksen laatuindeksi on noussut verrattain vähän. Vertailukohtana kuviossa on esitetty kotitalouksien tietoliikennevälineiden ja tietoliikenteen kulutusmenoerän laatuindeksin kehitys. Se osoittaa huomattavasti koko kulutuskorin keskimääräistä laatutasoa voimakkaampaa kasvua, koska tietoliikennekulutuksen laatuikomponentin kehitystä määrittää lähinnä elektroniikkateollisuuden ja tietoliikenteen tuotannon laadun nousu.

Kuviosta 5.4 havaitaan, että investointitavaroiden laatu on kohonnut yleensä nopeammin kuin kulutustavaroiden laatu. Investointitavaroiden laadun paranemista tapahtuu etenkin elektroniikkateollisuuden ja muun metalliteollisuuden tuottamisessa koneissa ja laitteissa sekä liike-elämän palveluiden kehittämissä tietokoneohjelmistoissa. Sen sijaan rakentamisen laatu paranee keskimääräistä hitaammin.

Investointitavaroiden laatuindeksien avulla voidaan laskea pääomakannan laatuindeksit pääomatavararyhmittäin ja toimialoittain. Pääomatavararyhmän k laadun muutoksista puhdistettu investointien määrä I_{ikt} toimialalla i saadaan kansantalouden tilinpidon mukaisista kiintein hinnoin lasketuista investoinneista I'_{ikt} ja investointien laatuindeksistä Q_{ikt} siten, että

$$I_{ikt} = I'_{ikt} / Q_{ikt}. \quad (5.3)$$

Toimialan i pääomatavararyhmän k laadunmuutoksista puhdistetun pääomakannan määrä K_{ikt} vuonna t lasketaan kyseisen vuoden investointien määrästä I_{ikt} , poistuma-asteesta d_{ikt} ja edellisvuoden pääomakannasta investointikertymämallilla

$$K_{ikt} = I_{ikt} + (1 - d_{ikt})K_{ik,t-1}. \quad (5.4)$$

Näiden pääomakantalaskelmien alkuarvoina ovat kansantalouden tilinpidon mukaiset kiinteähintaisen pääomakannan tiedot vuodelta 1975. Kokonaispääomakannan laatu Q_{Kit} määräytyy toimialan i pääomatavararyhmittäin aggregoidun kansantalouden tilinpidon mukaisen pääomakannan $\sum_k K'_{ikt}$ ja laadun muutoksista puhdistetun kokonaispääomakannan $\sum_k K_{ikt}$ suhteena

$$Q_{Kit} = \sum_k K'_{ikt} / \sum_k K_{ikt}. \quad (5.5)$$

Tässä yhteydessä toimialojen investointimuuttujina I'_{ikt} käytetään kansantalouden tilinpidon kiintein hinnoin laskettuja investointeja ja pääomakantamuuttujina K'_{ikt} kiinteähintaisen bruttopääomakannan aikasarjoja vuodesta 1975 liitteissä 2 ja 3 kuvatulla investointien pääomatavararyhmityksellä. Pääomatavararyhmittäisten poistuma-asteiden aikasarjat d_{ikt} on laskettu toimialoittain kaavalla

$$d_{ikt} = (I'_{ikt} - (K'_{ikt} - K'_{ik,t-1})) / K'_{ik,t-1}. \quad (5.6)$$

Kansantalouden tilinpidossa kiinteän pääoman kulumisen lasketaan monimutkaisemmin, mutta kaava (5.6) toimii siinä mielessä kohtuullisesti, että sillä lasketut toimialoitteiset poistuma-asteet eri pääomatavararyhmissä pysyvät melko vakaina ajassa.

5.2 Tuotantofunktio ja tuotekehityksen vaikutus tuotantoteknologiaan

Tuottavuuskehityksen arviointiin voidaan soveltaa tuotannon ja tuotantopanosten määräindeksien suhteelliseen kehitykseen perustuvaa indeksilaskennan lähestymistapaa, lineaariseen ohjelmointiin pohjautuvia tehokkuustutkimuksen menetelmiä ja tuotantofunktion ekonometriseen estimointiin perustuvaa arviointia. Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuotekehityksen tuottavuusvaikutusten arviointi, mikä rajaa jonkin verran sovellettavissa olevia menetelmiä.

Seuraavassa toimialojen tuotekehityksen tuottavuusvaikutuksia arvioidaan tuotantofunktiota estimoimalla ja simuloimalla. Useimmissa muissakin tähänastisissa tutkimuksen ja tuotekehityksen empiirisissä vaikutusarvioinneissa on nojaututtu tuotantofunktion ekonometriseen estimointiin. Useimmiten tuotannon riippuvuus peruspanoksista ja t&k-panostuksesta on täsmennetty Cobb-Douglas-tyyppiseksi tuotantofunktioksi (esim. Terleckyj 1980, Coe ja Helpman 1995, Sakurai, Papaconstantinou ja Ioannides 1997, Los ja Verspagen 2000). Tuottavuusvaikutusten perusteellisemmän arvioinnin kannalta on kuitenkin paikallaan lähteä yleisemmästä funktiomuodosta, kuten CES-tuotantofunktiosta.

Tässä yhteydessä CES-tuotantofunktio täsmennetään muotoon

$$Y_{it} = A_i(\alpha_i K_{it}^{\beta_i} + (1-\alpha_i)L_{it}^{\beta_i})^{1/\beta_i} T_{it}, \quad (5.7a)$$

$$T_{it} = Q_{it} Q_{K_{it}}^{\delta_i}, \quad (5.7b)$$

$$Q_{it} = R_{it}^{\gamma_i}. \quad (5.7c)$$

Tuotantofunktiossa (5.7a) Y_{it} tarkoittaa kansantalouden tilinpidossa mitattua ja siis tuotannon laadun muutoksen sisältävää toimialan i kiinteähintaista arvonlisäystä vuonna t , K_{it} pääomakannan määrää ja L_{it} työpanosta. Muuttuja T_{it} viittaa teknologiatekijään, jonka sisältöön mennään jäljempänä. Periaatteessa tuotantofunktio voitaisiin määritellä arvonlisäyksen sijasta tuotoksen volyymille siten, että toimialan välituotekäyttö olisi tuotantopanoksena pääoma- ja työpanoksen ohella. Jos kansantalouden tilinpidon laskentakäytäntönä on pääsääntöisesti kuitenkin se, että toimialojen välituotekäyttö on kiinteä osuus tuotoksesta, tuotantofunktio voidaan täsmentää suoraan kiinteähintaiselle arvonlisäykselle.

Tavanomaisessa pääoma- ja työpanokselle määritellyssä CES-tuotantofunktiossa kerroin A_i ($A_i > 0$) on ns. tehokkuusvakio, α_i ($0 < \alpha_i < 1$) on ns. jakaumaparametri tai pääomaintensiivisyyttä kuvaava parametri ja β_i ($\beta_i < 1$) on ns. substituuтиoparametri. CES-tuotantofunktio sisältää erilaisia yksinkertaisempia malleja, joissa pääoman ja työn substituuтиjousto $1/(1-\beta_i)$ voi vaihdella äärettömästä nollaan. Kun $\beta_i = 1$, tuotantofunktio on lineaarinen $Y_{it} = A_i(\alpha_i K_{it} + (1-\alpha_i)L_{it})$ pääoman ja työn suhteen ja niiden substituuтиjousto on ääretön, eli pääoma ja työ ovat täydellisiä substituuтиteja. Kun $\beta_i = 0$, tuotantofunktio on Cobb-Douglas-muotoa $Y_{it} = A_i^{\gamma_i} K_{it}^{\alpha_i} L_{it}^{1-\alpha_i}$, jossa pääoman ja työn substituuтиjousto on ykkönen. Kun β_i pienenee miinus äärettömään, tuotantofunktio on Leontief-tyyppiä $Y_{it} = \min(v_{K_i} K_{it}, v_{L_i} L_{it})$, jolloin pääoman ja työn substituuтиjousto on nolla (esim. Barro ja Sala-i-Martin 1995).

CES-täsmennys (5.7a) on muutoin tavanomainen paitsi teknologian kokonaistuottavuusvaikutuksia kuvaavan termin T_{it} osalta. Perinteisesti teknologian kehitys on oletettu eksogeeniseksi ja täsmennetty usein eksponenttifunktiolla $T_{it} = \exp(\phi t)$ tasaisen kasvuvauhdin ϕ aikauraksi. Uuden kasvuteorian kehittelyn ja testaamisen yhteydessä on alettu selvittää teknologian endogeenista muuttumista ja riippuvuutta muun muassa tutkimuksesta ja tuotekehityksestä.

Tässä yhteydessä oletetaan, että teknologian kehitystä ja kokonaistuottavuuden kasvua mittaava tekijä T_{it} koostuu yhtälön (5.7b) mukaisesti toimialan i tuotannon

laatukomponentista Q_{it} , jonka riippuvuus toimialan reaalisesta t&k-varannosta R_{it} on täsmennetty tuotekehityksen tuotantofunktiolla (5.7c). Lisäksi tuotantoteknologian kehitys T_{it} oletetaan yhtälön (5.7b) mukaisesti riippuvaksi toimialan i pääomakannan laadusta Q_{Kit} . Parametri δ_i mittaa tehoa, jolla pääomakannan laadun paranemista hyödynnetään toimialan i tuotantoprosessissa. Parametrin δ_i estimointi on itse asiassa tässä yhteydessä tehtävän ekonometrisen selvityksen päätavoitteita, koska teknologiatekijään T_{it} tuotannon laadun Q_{it} kautta vaikuttavat toimialojen t&k-panostusten tehokkuusparametrit γ_i on jo estimoitu edellä luvussa 4 esitetyn mallikehittelyn yhteydessä.

Tuotantofunktiossa (5.7a) pääomakanta K_{it} on laadun muutoksista puhdistettuna. Sen sijasta voitaisiin käyttää kansantalouden tilinpidon mukaista kiintein hinnoin laskettua pääomakantaa, joka sisältää pääomakannan laadun muutokset $K'_{it} = Q_{Kit}K_{it}$. Pääomakantamuuttujan valinta vaikuttaa parametrien α_i , β_i ja δ_i estimaatteihin, mutta se ei muuta käytännöllisesti katsoen lainkaan tuotekehityksen tuottavuusvaikutusten arvioita. Mallitäsmennykseen on tässä yhteydessä vaikuttanut lähinnä se, että tuotekehityksen tuottavuusvaikutuksia on helpompi hahmottaa ja laskea tuotantofunktiosta, jossa teknologian kehityksen vaikutus on keskitetty muuttujaan T_{it} , eikä ole pääomakantaan sitoutunutta.

Selittävien muuttujien multikollineaarisuuden takia tuotantofunktiota on vaikea estimoida suoraan yhtälön (5.7) muodossa. Malli voidaan sen sijaan estimoida kaksivaiheisesti lähtemällä tuotannon optimitilanteesta, jossa CES-tuotantofunktion tapauksessa pääoman ja työn rajatuottavuuksien suhde riippuu toimialan pääoma-työvoimasuhteesta (Bodkin ja Klein 1967). Merkitsemällä toimialan i arvonlisäyksen hintaa muuttujalla P_{it} ja työvoimakustannuksia työpanosyksikköä kohden muuttujalla W_{it} päästään loglineaariseen riippuvuuteen toimintaylijäämän $P_{it}Y_{it} - W_{it}L_{it}$ ja työvoimakustannusten $W_{it}L_{it}$ suhdeluvun sekä pääoma-työpanossuhteen K_{it}/L_{it} välillä (Tarkka, Willman ja Rasi 1990)

$$\log((P_{it}Y_{it} - W_{it}L_{it})/W_{it}L_{it}) = \log(\alpha_i/(1-\alpha_i)) + \beta_i \log(K_{it}/L_{it}) + u_{it}, \quad (5.8a)$$

$$u_{it} = \sum_k \pi_{ik} u_{i,t-k} + \varepsilon_{it}^u, \quad k = 1, \dots, p. \quad (5.8b)$$

Yhtälössä (5.8a) esitetyn riippuvuuden oletetaan kuvaavan pitkän ajan tasapainoa funktionaalisessa tulonjaossa. Lyhyellä ajalla pääomatulojen suhde työtuloihin voi suhdannetekijöistä johtuen poiketa pitkän ajan tulonjakotasapainosta ja nämä poikkeamat pyritään ottamaan huomioon jäännöstermin u_{it} AR-mallilla (5.8b). Käytännössä tähän sovelletaan AR(2)-täsmennystä.

Toisessa vaiheessa estimoidaan jäljellä olevat tuntemattomat parametrit A_i ja δ_i mallista

$$\log(Y_{it}/((\alpha_i K_{it}^{\beta_i} + (1-\alpha_i)L_{it}^{\beta_i})^{1/\beta_i} R_{it}^{\gamma_i})) = \log A_i + \delta_i \log Q_{Kit} + v_{it}, \quad (5.9a)$$

$$v_{it} = \sum_k \rho_{ik} v_{i,t-k} + \varepsilon_{it}^v, \quad k = 1, \dots, q. \quad (5.9b)$$

Tässäkin tapauksessa mallin selitettävässä muuttujassa on suhdannevaihteluja muun muassa kapasiteetin käyttöasteen muutoksista johtuen. Nämä suhdannevaihtelut

pyritään ottamaan huomioon jäännöstermin v_{it} AR-täsmennyksellä (5.9b). Jäännöstermin autokorrelaation mallintamiseen soveltuu jälleen AR(2)-malli.

Mallijärjestelmän (5.8)-(5.9) estimoinnit on tehty käyttämällä toimialakohtaisina parametrien γ_i arvoina taulukossa 4.8 esitettyjä välituotevalmistuksen mallista täsmennyksellä $\rho_1 = 0$ saatuja estimointituloksia. Kun näin kiinnitettyä parametrin γ_i arvoja käyttäen lasketaan tuotannon ja investointitavaroiden laatuindeksit, laadun muutoksista puhdistetut pääomakantasarjat K_{it} ja pääomakannan laatuindeksit Q_{Kit} , estimoidaan mallit (5.8a-b) ja saatuja parametrien α_i ja β_i arvoja käyttäen estimoidaan mallit (5.9a-b), saadaan estimaatit kokonaistuottavuuden joustolle pääomakannan laadun suhteen, eli parametrit δ_i . Liike-elämän palveluiden tapauksessa kerroin sai kuitenkin alustavassa estimoinnissa negatiivisen arvon, mikä ei ole järkevä lähtökohta tuottavuusvaikutusten arvioinnille. Sen takia tämän toimialan kohdalla parametri δ_i on seuraavassa rajoitettu nollassa.

CES-tuotantofunktion (5.7a-c) keskeisten parametrien estimointitulokset on koottu taulukkoon 5.2. Vertailun vuoksi taulukossa 5.3 on esitetty Cobb-Douglas-tuotantofunktion estimointitulokset, joissa tulonjakoparametrin α_i arvot on saatu mallin (5.8a) muunnelmasta $(P_{it}Y_{it} - W_{it}L_{it})/P_{it}Y_{it} = \alpha_i + u_{it}$. Joillakin toimialoilla parametrien α_i arvot ovat taulukoissa 5.2 ja 5.3 huomattavan erilaisia, mutta merkittävää tässä yhteydessä on se, että kokonaistuottavuuden joustot pääomakannan laadun suhteen, eli parametrien δ_i estimaatit ovat CES-tuotantofunktion ja sen CD-erikoistapauksen estimointituloksissa lähes samanlaisia sekä tasoltaan että tilastolliselta merkitsevyydeltään.

Taulukko 5.2 CES-tuotantofunktion estimointitulokset vuosilta 1977-1999

	α_i	β_i	t	γ_i	δ_i	t
Elektroniikkateollisuus	0.50	-0.98	-1.1	0.67	1.40	1.3
Muu metalliteollisuus	0.44	0.58	3.9	0.53	0.44	0.7
Kemikaaliteollisuus	0.54	0.26	1.5	0.11	1.76	6.7
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.37	-0.80	-4.5	0.00	2.40	14.1
Metsäteollisuus	0.42	0.78	1.9	0.53	2.69	5.2
Muu matalan teknologian teollisuus	0.35	0.05	0.7	0.05	2.36	13.6
Tietoliikenne	0.31	-0.20	-0.4	0.38	0.41	1.1
Liike-elämän palvelut	0.37	-0.11	-1.0	0.36	0.00	..
Muut toimialat	0.41	0.19	0.5	0.18	0.46	1.5

t = t-testisuureen arvo.

Taulukko 5.3 CD-tuotantofunktion estimointitulokset vuosilta 1977-1999

	α_i	t	β_i	γ_i	δ_i	t
Elektroniikkateollisuus	0.89	0.4	0.00	0.67	1.43	1.2
Muu metalliteollisuus	0.30	23.7	0.00	0.53	0.44	0.7
Kemikaaliteollisuus	0.53	50.0	0.00	0.11	1.76	6.7
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.47	17.7	0.00	0.00	2.40	12.6
Metsäteollisuus	0.45	14.5	0.00	0.53	2.69	5.5
Muu matalan teknologian teollisuus	0.34	65.9	0.00	0.05	2.36	13.6
Tietoliikenne	0.34	8.5	0.00	0.38	0.38	1.1
Liike-elämän palvelut	0.38	64.6	0.00	0.36	0.00	..
Muut toimialat	0.40	29.7	0.00	0.18	0.46	1.5

t = t-testisuureen arvo.

Kokonaistuottavuuden jousto pääomakannan laadun suhteen, eli parametri δ_i saa tilastollisesti merkitsevimpiä arvoja keskitason ja matalan teknologian teollisuusaloilla. Näyttää siis siltä, että muilta toimialoilta – ennen muuta elektroniikkateollisuudelta ja muulta metalliteollisuudelta – ostettujen investointitavaroiden laadun paranemisen kautta tuleva tuotantoteknologian kehitys selittää kokonaistuottavuuden kasvua etenkin niillä teollisuusaloilla, joiden oma tuotekehityspanostus kasvaa keskimääräistä hitaammin tai vaikuttaa tuotannon laatuun keskimääräistä vähemmän.

5.3 Tuotekehityksen vaikutus tuottavuuteen

Taulukossa 5.2 esitettyjä tuotantofunktion estimointituloksia käyttäen arvioidaan seuraavaksi tuotekehityksen lisäyksen vaikutuksia toimialojen tuottavuuden kasvuun. Tarkastelu rajataan tuotantofunktion (5.7) teknologiakomponenttiin T_{it} , jonka muutokset kuvaavat kokonaistuottavuuden kehitystä, eli sitä osaa tuotannon kasvusta, joka ei selity pääoman ja työpanoksen lisäyksellä. Seuraavassa simulointiarviossa pääoman määrä K_{it} ja työpanoksen määrä L_{it} mallissa (5.7) pidetäänkin vakioina ja tarkastellaan tilannetta, jossa ainoastaan tuotekehitysmenoja lisätään tietystä ajankohdasta lähtien aiempaa suuremmiksi. Jos mallien (5.8)-(5.9) estimointiin olisi käytetty kansantalouden tilinpidon mukaista pääoman laadun muutokset sisältävää pääomakantaa $K'_{it} = Q_{Kit}K_{it}$, pääomakantaan sitoutuneen teknologisen kehityksen vaikutus pitäisi ottaa tuottavuusvaikutusten arvioinnissa huomioon varsinaisen teknologiamuuttujan T_{it} kautta välittyvien vaikutusten ohella.

Yhtälöistä (5.7b-c) havaitaan, että tuotantofunktion teknologiakomponentin ja samalla kokonaistuottavuuden kehitystä annetusta reaalisesta t&k-varannon kehityksestä käsin määrittävät parametrit γ_i ja δ_i . Yhtälön (5.7c) mukaan parametri γ_i kuvaa tehoa, jolla toimialan i reaalisesta t&k-varanto vaikuttaa kyseisen toimialan tuotannon laatuun Q_{it} . Parametri δ_i taas mittaa tehoa, jolla toimialan pääomakannan laadun Q_{Kit} paraneminen vaikuttaa toimialan kokonaistuottavuuden kasvuun. Pääomakannan laatu muuttajan kautta kunkin toimialan kokonaistuottavuuteen välittyvät periaatteessa kaikkien toimialojen tuotekehityspanostusten vaikutukset. Suurin merkitys on kuitenkin niiden toimialojen t&k-panostuksilla, jotka tuottavat eniten investointitavaroita ja joilla toisaalta reaalisesta t&k-varannon vaikutus tuotannon laatuun on suuri. Tässä suhteessa

keskeisiä toimialoja ovat paljon investointitavaroita valmistava elektroniikkateollisuus ja muu metalliteollisuus ja laadultaan nopeasti kehittyviä tietokoneohjelmistoja tuottava liike-elämän palveluiden toimiala.

Taulukon 5.4 sekä kuvioden 5.5 ja 5.6 esittämässä simuloinnissa oletetaan, että reaaliset t&k-menot kaksinkertaistetaan kaikilla toimialoilla vuodesta 1 alkaen pysyvästi lähtötasoon verrattuna. Kaikilla toimialoilla reaaliset t&k-menot kasvavat siis ensimmäisenä vuonna 100 prosenttia ja sen jälkeen reaalisten t&k-menojen kasvuvauhti palaa nollassa. Taulukosta 5.4 havaitaan, että tämä johtaa reaalisen t&k-varannon 10 prosentin kasvuun vuonna 1 ja sen jälkeen 10 prosentin vuotuisen poistuman kautta suunnilleen viiden vuoden välein puoliintuvaan t&k-varannon kasvuun.

Taulukko 5.4 Tuotekehityksen lisäyksen vaikutus kokonaistuottavuuden kasvuun

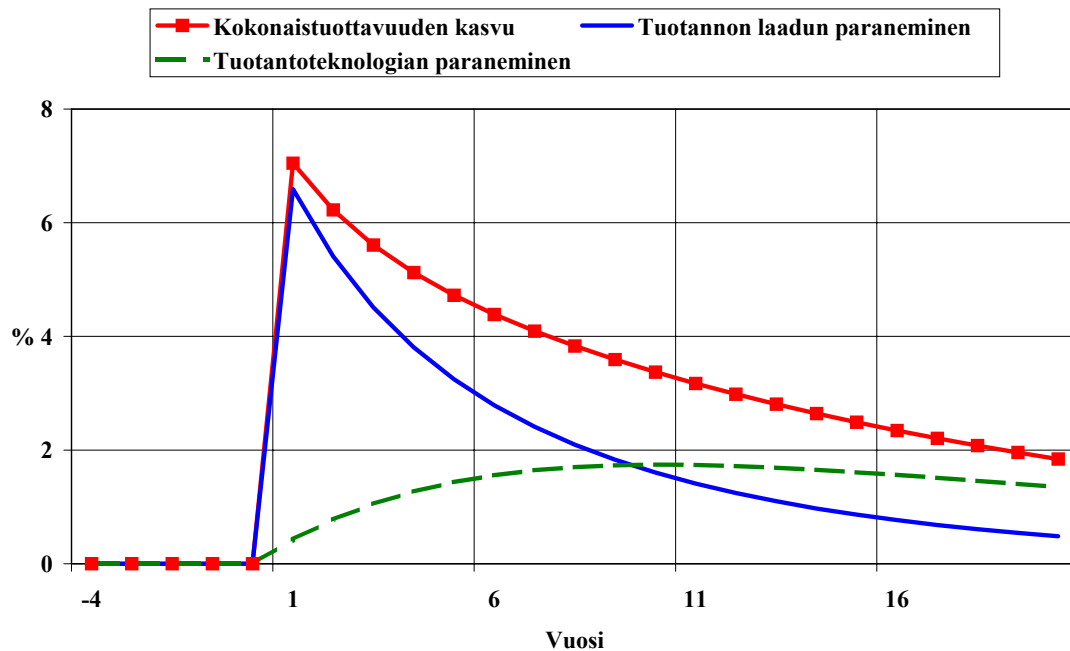
	Vuonna 1	Vuonna 5	Vuonna 10	Vuonna 20
T&k-panostusten kasvu, % vuodessa				
Reaaliset t&k-menot	100.0	0.0	0.0	0.0
Reaalinen t&k-varanto	10.0	4.9	2.4	0.7
Kokonaistuottavuuden kasvu, % vuodessa				
Elektroniikkateollisuus	7.0	4.7	3.4	1.8
Muu metalliteollisuus	5.3	2.9	1.7	0.8
Kemikaaliteollisuus	1.4	1.7	1.9	1.6
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.5	1.9	2.4	2.2
Metsäteollisuus	6.0	5.5	5.0	3.4
Muu matalan teknologian teollisuus	1.3	2.9	3.3	2.4
Tietoliikenne	3.7	2.1	1.3	0.6
Liike-elämän palvelut	3.5	1.7	0.9	0.3
Muut toimialat	1.8	1.0	0.6	0.3
Toimialat yhteensä	2.9	2.0	1.5	1.0
Tuotannon laadun paraneminen, % vuodessa				
Elektroniikkateollisuus	6.6	3.2	1.6	0.5
Muu metalliteollisuus	5.2	2.6	1.3	0.4
Kemikaaliteollisuus	1.0	0.5	0.3	0.1
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.0	0.0	0.0	0.0
Metsäteollisuus	5.1	2.5	1.3	0.4
Muu matalan teknologian teollisuus	0.5	0.2	0.1	0.0
Tietoliikenne	3.6	1.8	0.9	0.3
Liike-elämän palvelut	3.5	1.7	0.9	0.3
Muut toimialat	1.8	0.9	0.4	0.1
Toimialat yhteensä	2.7	1.4	0.7	0.2
Tuotantoteknologian paraneminen, % vuodessa				
Elektroniikkateollisuus	0.4	1.4	1.7	1.4
Muu metalliteollisuus	0.1	0.4	0.5	0.4
Kemikaaliteollisuus	0.3	1.2	1.6	1.5
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.5	1.8	2.4	2.2
Metsäteollisuus	0.8	2.9	3.7	3.0
Muu matalan teknologian teollisuus	0.8	2.7	3.2	2.4
Tietoliikenne	0.1	0.3	0.4	0.3
Liike-elämän palvelut	0.0	0.0	0.0	0.0
Muut toimialat	0.0	0.2	0.2	0.2
Toimialat yhteensä	0.2	0.6	0.8	0.8

Tuotekehityksen lisäyksen aikaansaama toimialojen kokonaistuottavuuden kasvu jakaantuu taulukon 5.4 sekä kuvioiden 5.5 ja 5.6 esittämällä tavalla kahteen komponenttiin, eli tuotannon laadun paranemiseen ja tuotantoteknologian paranemiseen. Tuotannon laadun paraneminen riippuu reaalisen t&k-varannon kasvurasta ja tehokkuusparametrin γ_i . Tehokkainta t&k-panostus on edellä esitettyjen arvioiden mukaan ollut elektroniikkateollisuudessa, jossa tuotannon laatu paranee ensimmäisenä vuonna lähes 7 prosenttia ja sen jälkeen reaalisen t&k-varannon kasvun mukaisesti hidastuen. Samalla tavoin muillakin toimialoilla tuotannon laadun paranemisen kasvuvauhti ajan mittaan laantuu, kun poistuma vähitellen hidastaa t&k-varannon kasvuvauhtia. Taulukossa 5.4 toimialojen tuottavuuden kasvuarviot on painotettu yhteen vuoden 2001 kiinteähintaisen arvonnäytteen mukaisesti. Tällä tavoin laskien t&k-menojen kaksinkertaistaminen johtaa koko kansantaloudessa tuotannon laadun paranemiseen alkuvaiheessa noin 2.5 prosentilla.

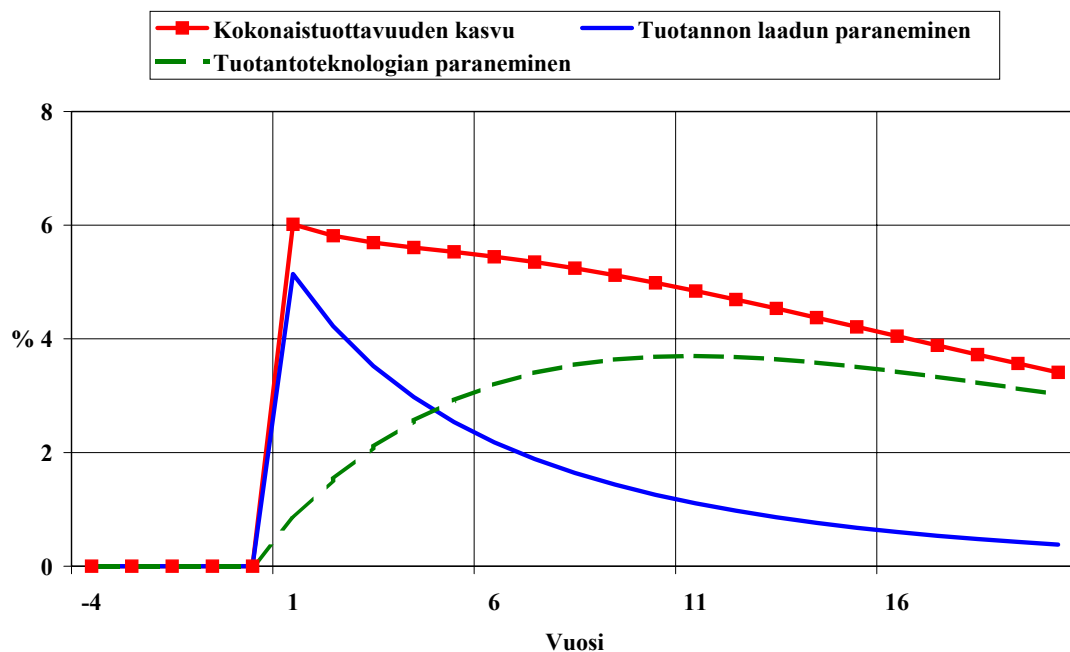
Tuotantoteknologian paranemisen aikaansaama kokonaistuottavuuden kasvu on aikauraltaan erilainen kuin edellä käsitelty tuotannon laadun paranemisen aikaansaama tuottavuusvaikutus. Tuotantoteknologiaan vaikuttaa yhtäältä kunkin toimialan pääomakannan laadun Q_{Kit} reagointi tuotekehityksen lisäämiseen ja toisaalta toimialakohtainen parametri δ_i , joka välittää pääomakannan laatu-tekijän vaikutuksen toimialan kokonaistuottavuuteen. Pääomakannan laatu paranee tuotekehitysmenojen lisäyksen jälkeen alkuvuosina nopeutuvalla tahdilla, kun investointitavaroiden tuotannossa laadun paraneminen on voimakkaimmillaan. Tällöin kasvava osuus pääomakannasta on laadultaan parantuneita investointitavaroita. Vähitellen koko pääomakanta uusiutuu laadultaan. Pääomakannan laadun paranemisen vauhti on voimakkainta noin kymmenentenä vuonna tuotekehitysmenojen lisäyksestä jonkin verran toimialoittain vaihdellen niiden pääomakannan rakenteesta riippuen. Myöhemmin vuosina pääomakannan poistuman vaikutus ylittää investointitavaroiden laadun paranemisen aikaansaaman kasvun ja tällöin pääomakannan laadun paranemisen vauhti alkaa hidastua.

Parametrin δ_i suuruus määrittää sitä, millainen vaikutus pääomakannan laadun kohoamisen aikaansaamalla tuotantoteknologian paranemisella on toimialojen kokonaistuottavuuden kasvuun. Taulukosta 5.4 havaitaan, että tämä kokonaistuottavuuden kasvun komponentti on merkittävin metsäteollisuudessa ja muussa matalan teknologian teollisuudessa. Matalan teknologian teollisuus hyödyntää siis arvion mukaan tehokkaimmin pääomakannan laadun paranemista. Kuvioita 5.5 ja 5.6 vertaamalla havaitaan, että tuotekehityksen lisäyksen aikaansaama kokonaistuottavuuden kasvuvaihtelu kestää metsäteollisuudessa pitempään kuin elektroniikkateollisuudessa juuri sen takia, että metsäteollisuus hyödyntää pääomakannan laadun paranemisen vaikutuksia suhteellisesti enemmän kuin elektroniikkateollisuus.

Kuvio 5.5 Tuotekehityksen lisäyksen vaikutus elektroniikkateollisuuden kokonaistuottavuuden kasvuun



Kuvio 5.6 Tuotekehityksen lisäyksen vaikutus metsäteollisuuden kokonaistuottavuuden kasvuun

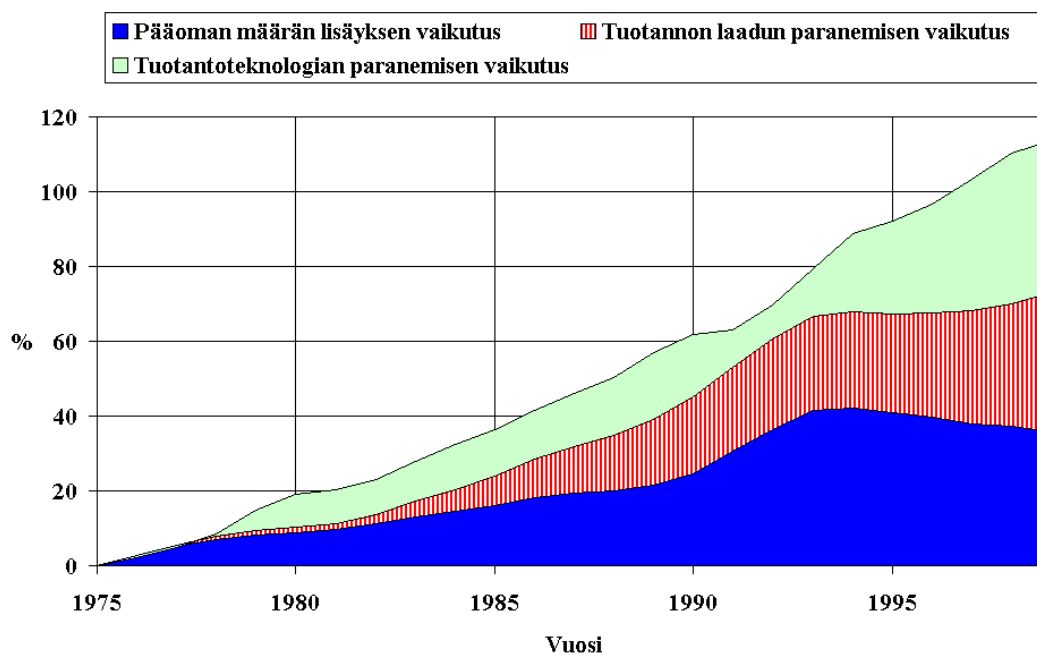


Edellä esitetystä tarkastelun keskeisimpiä tuloksia on se, että tuotekehityksen lisäyksen vaikutukset kokonaistuottavuuden kasvuun voivat olla varsin pitkäaikaisia. Tuotekehityksen voimakkain vaikutus tuotannon kasvuun sen laadun paranemisen kautta ajoittuu välittömästi tuotekehityspanostuksen lisäyksen jälkeiseen aikaan.

Tuotekehityksen lisäyksen vaikutus tuotannon laadun paranemiseen kestää sinänsä pitkään, mutta laadun paranemisen vauhti hidastuu t&k-varannon kasvun hidastumisen myötä. Sen sijaan pääomakannan laadun paranemisen vauhti nopeutuu tuotekehitysmenojen tasomuutoksen seurauksena jopa kymmenkunta vuotta, kunnes pääomakannan poistuma alkaa sitä vähitellen hidastaa. Tämä tuotantoteknologian paranemisen pitkäkestoisuus johtaa siihen, että kertaluonteisenkin tuotekehityksen tasomuutoksen vaikutukset kokonaistuottavuuden kasvuvauhtiin säilyvät hyvin pitkään. Estimointi- ja simulointitulosten mukaan tämä investointitavarateollisuuden tuotekehityksen lisääntymisen aikaansaama kokonaistuottavuusvaikutus on merkittävin sellaisilla matalan teknologian teollisuusaloilla, joiden oma tuotekehityspanostus on määrältään ja vaikuttavuudeltaan keskimääräistä vähäisempää.

Tuottavuuden kasvuun vaikuttavien tekijöiden merkityksen havainnollistamiseksi kuviossa 5.7 esitetään vielä koko kansantalouden työn tuottavuuden kasvu vuodesta 1975 jaettuna kolmeen osatekijään CD-tuotantofunktioon perustuen. Työn tuottavuuden kasvuun vaikuttaa pääoman määrän lisäys suhteessa työpanokseen sekä tuotannon laadun paraneminen ja uusien tuotteiden kehittäminen. Kolmas osatekijä eli tuotantoteknologian paranemisen vaikutus on arvioitu vähentämällä kahden edellä mainitun osatekijän vaikutukset kansantalouden tilinpidon mukaisesta työn tuottavuuden kasvusta. Havaitaan, että työn tuottavuuden kasvu on perustunut ajan mittaan kasvavassa määrin ja viime vuosina entistäkin enemmän tuotannon laadun paranemiseen ja uusien tuotteiden kehittämiseen sekä tuotantoteknologian paranemiseen.

Kuvio 5.7 Työn tuottavuuden kasvu vuodesta 1975



5.4 ICT-klusterin tuotekehitys ja uuden talouden tuottavuusvaikutukset

Taloudellisen kasvun tutkimuksen aktiviteetti peilaa aikansa talousolojen vakautta. Toisen maailmansodan jälkeisissä vakaan talouskasvun oloissa kehitettiin intensiivisesti uusklassista kasvuteoriaa aina sofistikoitujen optimaalisen kasvun mallien asteelle, kunnes 1970-luvun öljykriisit vaimensivat kiinnostusta kasvuteoriaan. 1980-luvun vakaammissa talousoloissa käynnistyi endogeenisen kasvun mallien kehittäminen. 1990-luvun alun taantuman jälkeinen vuosikymmenen kestänyt vahvan kasvun kausi Yhdysvalloissa nosti esiin uuden talouden käsitteen ja uskon informaatioteknologiaan talouden ja tuottavuuden kasvun uutena perustana ja jopa parannuskeinona teollisuusmaiden suhdannevaihteluihin ja inflaatioon sekä kehitysmaiden köyhyYTEENKIN. Taantuman iskettyä Yhdysvaltoihin ja muihinkin teollisuusmaihiN 2000-luvun alussa ja monien internet-yritysten kaaduttua uuteN talouteN liittynyt euforia on laantunut.

Uuden talouden käsite on yhdistetty lähinnä tieto- ja viestintäteknologian (information and communication technology, ICT) suoriin ja muiden toimialojen kautta aikaansaamiin kasvu- ja tuottavuusvaikutuksiin (Koski, Rouvinen ja Ylä-Anttila 2001). Empiirisessä tutkimuksessa ei ole kuitenkaan saatu kiistattomia todisteita näistä vaikutuksista. Esimerkiksi kansainvälisellä aineistolla tehtyjen kasvumalliestimointien tuloksena on ollut, että ICT-pääomalla on vaikutusta talouskasvuun teollisuusmaissa, muttei OECD-alueen ulkopuolisissa maissa (Pohjola 2001, Kraemer ja Dedrick 2001), tai ettei sillä ole tilastollisesti merkitsevää vaikutusta talouskasvuun edes korkean tulotason maissa (Pohjola 2002). Suomessa kasvuvaiutus on syntynyt pääasiassa ICT-tuotteiden valmistuksen voimakkaasta kasvusta ja lähinnä vain Yhdysvallat näyttää hyötyneen tieto- ja viestintäteknologian laajamittaisesta käytöstä.

Uuden talouden vaikutusten arvioinnissa käytetty mallinnus ei ehkä ole kuitenkaan tuonut esiin kaikkia ICT-klusterin kasvu- ja tuottavuusvaikutuksia. Seuraavassa kuvaa uuden talouden tuottavuusvaikutuksista Suomessa täydennetään soveltamalla edellä esitettyä tuotantofunktion simulointia siten, että tarkastellaan ICT-klusterin tuotekehityksen lisäyksen tuottavuusvaikutuksia eri toimialoilla ja koko taloudessa. ICT-klusteriin sisällytään tässä yhteydessä elektroniikkateollisuus sekä tietointensiiviset palvelut, eli tietoliikenne ja liike-elämän palvelut.

Taulukon 5.5 esittämässä simuloinnissa oletetaan, että edellä määritellyn ICT-klusterin reaaliset t&k-menot kaksinkertaistetaan vuodesta 1 alkaen pysyvästi lähtötasoon verrattuna. ICT-klusterin toimialoilla reaaliset t&k-menot kasvavat siis ensimmäisenä vuonna 100 prosenttia ja sen jälkeen reaalisten t&k-menojen kasvuvauhti palaa nolllatasolle. Tämä johtaa ICT-klusterin reaalisen t&k-varannon 10 prosentin kasvuun vuonna 1 ja sen jälkeen 10 prosentin vuotuisen poistuman kautta suunnilleen viiden vuoden välein puoliintuvaan t&k-varannon kasvuun.

Tuotannon laadun paraneminen rajoittuu tässä tapauksessa ICT-klusterin toimialoille, eli elektroniikkateollisuuteen, tietoliikenteeseen ja liike-elämän palveluihin. Koko kansantalouden tasolla tämä vaikutus on noin kolmannes taulukossa 5.4 esitetystä kokonaisvaikutuksesta, jonka taustalla oli oletus kaikkien toimialojen samanaikaisesta tuotekehityksen lisäyksestä.

Taulukko 5.5 ICT-klusterin tuotekehityksen lisäyksen vaikutus kokonaistuottavuuden kasvuun

	Vuonna 1	Vuonna 5	Vuonna 10	Vuonna 20
ICT-klusterin t&k-panostusten kasvu, % vuodessa				
Reaaliset t&k-menot	100.0	0.0	0.0	0.0
Reaalinen t&k-varanto	10.0	4.9	2.4	0.7
Kokonaistuottavuuden kasvu, % vuodessa				
Elektroniikkateollisuus	6.8	3.9	2.3	1.1
Muu metalliteollisuus	0.0	0.1	0.2	0.2
Kemikaaliteollisuus	0.1	0.4	0.5	0.5
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.2	0.6	0.9	0.8
Metsäteollisuus	0.3	1.0	1.4	1.2
Muu matalan teknologian teollisuus	0.3	0.9	1.2	0.9
Tietoliikenne	3.7	1.9	1.0	0.4
Liike-elämän palvelut	3.5	1.7	0.9	0.3
Muut toimialat	0.0	0.0	0.1	0.0
Toimialat yhteensä	1.1	0.8	0.6	0.3
Tuotannon laadun paraneminen, % vuodessa				
Elektroniikkateollisuus	6.6	3.2	1.6	0.5
Muu metalliteollisuus	0.0	0.0	0.0	0.0
Kemikaaliteollisuus	0.0	0.0	0.0	0.0
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.0	0.0	0.0	0.0
Metsäteollisuus	0.0	0.0	0.0	0.0
Muu matalan teknologian teollisuus	0.0	0.0	0.0	0.0
Tietoliikenne	3.6	1.8	0.9	0.3
Liike-elämän palvelut	3.5	1.7	0.9	0.3
Muut toimialat	0.0	0.0	0.0	0.0
Toimialat yhteensä	1.0	0.6	0.3	0.1
Tuotantoteknologian paraneminen, % vuodessa				
Elektroniikkateollisuus	0.2	0.6	0.7	0.6
Muu metalliteollisuus	0.0	0.1	0.2	0.2
Kemikaaliteollisuus	0.1	0.4	0.5	0.5
Muu keskitason teknologian teollisuus	0.2	0.6	0.9	0.8
Metsäteollisuus	0.3	1.0	1.4	1.2
Muu matalan teknologian teollisuus	0.3	0.9	1.2	0.9
Tietoliikenne	0.0	0.1	0.1	0.1
Liike-elämän palvelut	0.0	0.0	0.0	0.0
Muut toimialat	0.0	0.0	0.1	0.0
Toimialat yhteensä	0.1	0.2	0.3	0.2

Edellä esitettyä ehkäpä merkittävämpi taulukon 5.5 kuvaama tulos on se, että ICT-klusterin tuotekehityksen lisäyksellä on tuntuva vaikutus pääomakannan laadun paranemisen kautta muilla toimialoilla, muun muassa metsäteollisuuden ja muun matalan teknologian teollisuuden tuotantoteknologiaan ja kokonaistuottavuuteen. Tämä vaikutus syntyy siitä, että muut toimialat käyttävät elektroniikkateollisuuden valmistamia investointitavaroita sekä liike-elämän palveluiden toimialalla kehitettyjä tietokoneohjelmistoja, joiden laatu paranee ICT-klusterin tuotekehityksen lisääntymisen myötä. ICT-klusterin tuotekehityksen vaikutus tuotantoteknologian paranemiseen on useimmilla toimialoilla ja koko kansantaloudessa noin kolmannes taulukon 5.4 esittämästä vaikutuksesta. Tässä mielessä ICT-klusterin tuotekehityksellä ja uudella taloudella voi olla tuntuja ja pitkäaikaisia tuottavuusvaikutuksia muilla toimialoilla ja koko talouden tasolla.

On kuitenkin mahdollista, että jaksoissa 5.3 ja 5.4 esitetyissä tuloksissa pääomakannan laadun paranemisen kautta välittyvät tutkimuksen ja tuotekehityksen tuottavuusvaikutukset ovat tulleet jossain määrin yliarvioituiksi. Tuotantofunktiota estimoitaessa ja tuottavuuden kasvua arvioitaessa pitäisi nimittäin ottaa huomioon myös työvoiman laadun paraneminen (vrt. OECD 2001). Työvoiman laadun paranemista voidaan mitata muun muassa koulutustason kehityksen perusteella, mutta erityisesti tutkimuksen ja tuotekehityksen tuottavuusvaikutusten arvioinnissa on ongelmana se, että myös vaikeasti mitattavissa oleva t&k-osaaminen on kytkeytynyt työvoiman laadun paranemiseen. Työvoiman laadun kehitystä on Suomea koskevassa kasvutilinpitotarkastelussa arvioitu, mutta tulosten mukaan työvoiman laadun paraneminen olisi vuodesta 1975 lähtien ollut vain noin 0.2 prosenttia vuodessa (Jalava 2002). Tämä selittää vain pienen osan kuviossa 5.7 esitetystä työn tuottavuuden kasvusta.

Edellä esitetyissä tuloksissa ja johtopäätöksissä voi tietysti olla muutoinkin epävarmuutta, kuten vastaavissa muissakin tutkimustuloksissa. Aikasarja-aineistoa käyttävissä ekonometrisissa tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutusarvioissa kriittisiä kohtia ovat peruspanosten ja t&k-panostuksen tuotantofunktion täsmentäminen sekä tuotannon ja tuotantopanosten pitkän ajan riippuvuuksien estimointi monenlaista lyhyen ajan suhdannevaihtelua sisältävistä aikasarjoista. Myös t&k-panostuksen ja -osaamisen oikea määrittely ja mittaaminen on ongelmallista. Tähänastisen uuden kasvuteorian kehittelyn ja muun tutkimuksen ja tuotekehityksen kasvuvaiikutuksia käsittelevän perustutkimuksen tai empiirisen tutkimuksen perusteella ei ole vielä syntynyt yleisesti hyväksyttyä mallia t&k-osaamisen mittaamiselle puhumattakaan sen tuotanto- ja tuottavuusvaikutusten, toimialojen välisten vaikutusten sekä mahdollisten ulkoisvaikutusten arvioinnille.

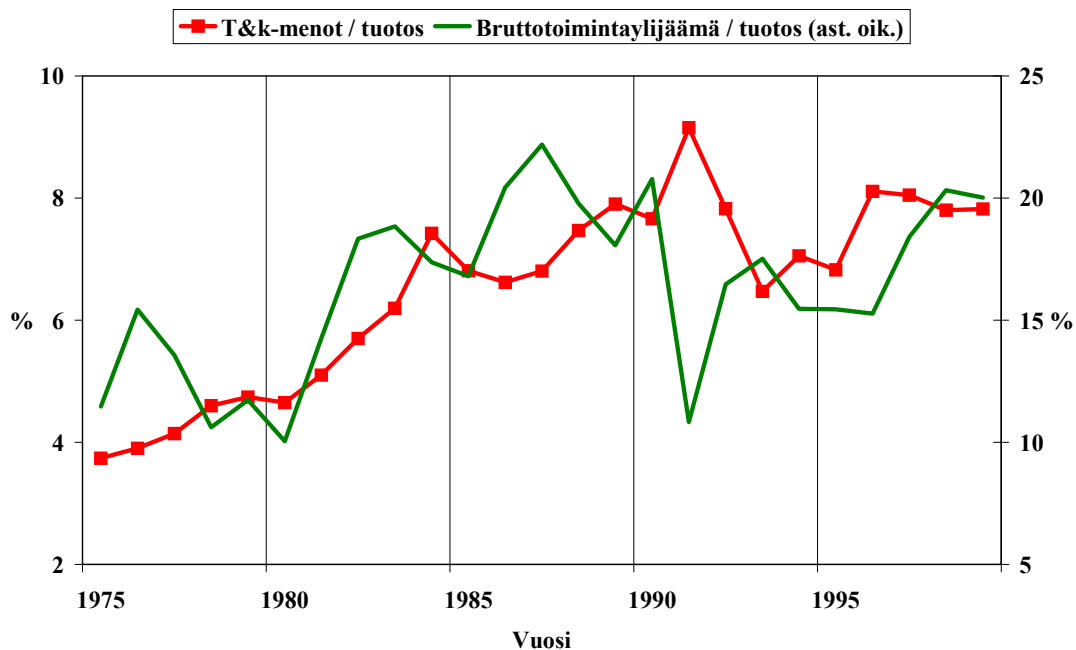
6 YRITYSTEN KASVUN JA KANNATTAVUUDEN VAIKUTUS TUOTEKEHITYSPANOSTUKSIIN

6.1 Tuotekehitysintensiteetti ja kannattavuus

Edellä todettiin, että tutkimuksella ja tuotekehityksellä on merkittävä vaikutus yritysten ja toimialojen tuotannon ja tuottavuuden kasvuun. Tuotekehityspanostus ei luonnollisesti ole eksogeeninen kasvutekijä, vaan riippuvainen yritysten päätöksistä. Mitkä kaikki tekijät yritys- ja toimialatasolla tuotekehityspanostuksiin vaikuttavat on vielä monilta osin avoin kysymys tämän alueen taloustieteen teoreettisessa ja ekonometrisessa tutkimuksessa. On kuitenkin todennäköistä, että yritysten tuotekehityspanostus on muiden investointien lailla jollain lailla yhteydessä niiden kasvuun ja kannattavuuteen. Koska yritysten kasvu riippuu luvuissa 4 ja 5 todetulla tavalla niiden aiemmista tuotekehityspanostuksista, tällaisen mahdollisen takaisinkytkentälinkin olemassaolo on tärkeää ottaa huomioon muun muassa toimialaennustejärjestelmiä kehitettäessä.

Kuvio 6.1 esittää elektroniikkateollisuuden tuotekehitysintensiteetin ja kannattavuuden kehitystä vuodesta 1975 lähtien. Tuotekehitysintensiteettiä on tässä yhteydessä mitattu suhteuttamalla t&k-menot toimialan tuotokseen. Kannattavuutta on puolestaan mitattu suhteuttamalla kansantalouden tilinpidon mukainen bruttotoimintaylijäämä tuotokseen. Useimmilla yrityssektorin toimialoilla kansantalouden tilinpidon tuotos vastaa läheisesti liikevaihtoa ja bruttotoimintaylijäämä käyttökatetta, joten kuvion 6.1 kannattavuusmuuttuja vastaa itse asiassa läheisesti käyttökateprosenttia, joka on yleisesti käytetty liiketaloudellinen yritysten ja toimialojen kannattavuusmittari.

Kuvio 6.1 Elektroniikkateollisuuden tuotekehitysintensiteetti ja kannattavuus



Kuvion 6.1 perusteella elektroniikkateollisuudessa näyttää olleen tietty yhteys tuotekehitysintensiteetin ja kannattavuuden välillä. Elektroniikkateollisuuden ja muiden toimialojen kannattavuudessa esiintyy tosin huomattavia suhdannevaihteluja, jotka eivät suoraan heijastu tuotekehityspanostuksiin.

6.2 Tuotekehityspanostusten määräytyminen

Seuraavassa tuotekehitysintensiteetin yhteyttä yritysten kasvuun ja kannattavuuteen tarkastellaan ekonometrisesti edellä luvuissa 4 ja 5 teknologiatason mukaan luokiteltujen yhdeksän toimialan aineistolla. Lähdetään pitkän ajan riippuvuutta kuvaavasta mallista, jossa toimialan i tuotekehityspanostukset RD_{it} vuonna t riippuvat lineaarisesti toimialan tuotoksesta Y_{it} ja bruttotoimintaylijäämällä Π_{it} mitatusta voitosta

$$RD_{it} = \alpha_{i0} Y_{it} + \beta_{i0} \Pi_{it}. \quad (6.1)$$

Edellisen jakson elektroniikkateollisuutta koskeneen tarkastelun perusteella kannattavuuden muutokset eivät näytä heijastuvan sellaisinaan ja välittömästi tuotekehitysintensiteettiin. Tuotekehitysintensiteetin määräytymistä tarkasteltaessa on otettava huomioon muuttujien välinen dynaaminen riippuvuussuhde, jota voidaan mallintaa muun muassa jakautuneiden viipeiden AR-täsmennyksellä (ADL-mallilla). Tässä tapauksessa osoittautuu, että mallissa tarvitaan vain yhden vuoden viipeet. Jakamalla yhtälön (6.1) molemmat puolet muuttujalla Y_{it} , lisäämällä viivästetyt termit ja jännöstermi ε_{it} päästään tässä yhteydessä estimoitavaan tuotekehitysintensiteetin malliin

$$RD_{it}/Y_{it} = \alpha_{i0} + \alpha_{i1} RD_{i,t-1}/Y_{i,t-1} + \beta_{i0} \Pi_{it}/Y_{it} + \beta_{i1} \Pi_{i,t-1}/Y_{i,t-1} + \varepsilon_{it}. \quad (6.2)$$

Yhtälöstä (6.1) havaitaan, että estimoitavan mallin (6.2) vakiotermi α_{i0} mittaa tuotannon vaikutusta tuotekehityspanostuksiin. Kertoimet β_{i0} ja β_{i1} puolestaan mittaavat kannattavuuden vaikutusta tuotekehitysintensiteettiin. Mallissa pitäisi itse asiassa käsitellä eksogeenisena tekijänä julkisen sektorin yrityksille antamaa tuotekehitystukea. Siitä ei kuitenkaan ole ollut käytettävissä riittävän pitkiä aikasarjoja tämän tutkimuksen toimialajaotuksella.

Mallin (6.2) estimointitulokset on koottu taulukkoon 6.1. Estimointitulosten mukaan toimialojen välillä on merkittäviä eroja kasvun ja kannattavuuden vaikutuksissa tuotekehityspanostuksiin. Elektroniikkateollisuuden, metsäteollisuuden, tietoliikenteen ja residuaalisektorin muut toimialat tuotekehityspanostukset määräytyvät lähinnä kannattavuuskehityksen perusteella. Sen sijaan tuotannon kasvu vaikuttaa kannattavuutta merkittävämmiin tuotekehityspanostusten lisäämiseen muussa metalliteollisuudessa kuin elektroniikkateollisuudessa ja muussa matalan teknologian teollisuudessa kuin metsäteollisuudessa. Kertoimien β_{i0} ja β_{i1} keskinäisen merkitsevyyden perusteella kannattavuus näyttää vaikuttavan useimmissa tapauksissa viipeellä tuotekehitysintensiteettiin sikäli kuin kannattavuudella ylipäätään on vaikutusta tuotekehityspanostuksiin. Poikkeuksena ovat lähinnä tietoliikenne ja osa keskitason teknologian teollisuuden toimialoista. Näillä toimialoilla kannattavuuden muutoksilla näyttää olevan muita toimialoja nopeampi vaikutus tuotekehityspanostuksiin. Kemikaaliteollisuudessa, muussa keskitason teknologian teollisuudessa ja liike-elämän palveluiden toimialalla tuotekehityspanostukset eivät

taulukossa 6.1 esitettyjen estimointitulosten mukaan näytä riippuvan tilastollisesti merkitsevästi sen enempää tuotannon kasvusta kuin kannattavuudestaan.

Taulukko 6.1 Tuotekehityssintensiiteetin mallin estimointitulokset vuosilta 1976-1999

	$100\alpha_{i0}$		α_{i1}		β_{i0}		β_{i1}	
	t		t		t		t	
Elektroniikkateollisuus	0.54	0.9	0.77	8.6	-0.07	-1.8	0.14	3.6
Muu metalliteollisuus	0.48	3.1	0.94	19.5	-0.03	-2.9	0.00	0.0
Kemikaaliteollisuus	0.04	0.1	0.89	9.4	0.02	0.4	0.00	0.1
Muu keskitason teknologian teollisuus	-0.06	-0.2	0.95	13.6	0.02	1.3	-0.01	-0.7
Metsäteollisuus	0.05	0.9	0.91	10.9	-0.02	-4.1	0.02	4.4
Muu matalan teknologian teollisuus	0.55	4.0	1.03	19.3	-0.06	-4.5	0.01	1.1
Tietoliikenne	-1.93	-1.6	0.73	4.9	0.10	1.7	-0.02	-0.5
Liike-elämän palvelut	0.01	0.2	0.99	9.5	-0.01	-0.9	0.01	1.2
Muut toimialat	-0.05	-1.3	0.97	11.0	0.00	-1.6	0.01	2.2

t = t-testisuureen arvo.

Tulokset merkitsevät sitä, että yritysten kannattavuuteen vaikuttava tulopolitiikka voi olla tärkeää pitkän ajan talouskasvuun vaikuttavaa teollisuuspolitiikkaa paitsi yritysten yleisen investointiaktiiviteetin kannalta myös tuotekehityspanostuksia lisäävänä tekijänä. Tulopolitiikalla eri toimialojen työvoimakulujen kasvua rajoitetaan kansantalouden keskimääräisen tuottavuuskehityksen puitteisiin, jolloin tuottavuudeltaan keskimääräistä vahvempien toimialojen kannattavuus saattaa muodostua paremmaksi kuin hajautetumman palkanmuodostusprosessin oloissa. Tällöin tuottavuuttaan voimakkaimmin kasvattavat toimialat ovat käytännössä usein myös niitä aloja, jotka hyvän kannattavuuden mahdollistamin suurin tuotekehityspanostuksin pystyvät nopeimmin kasvattamaan tuotantonsa laatua ja volyymiä. Edellä esitettyjen tulosten perusteella kannattavuus saattaa olla keskeinen yritysten tuotekehityspanostuksiin vaikuttava tekijä ainakin joillakin toimialoilla. Siten tulopolitiikalla vahvistettu takaisinkytkentävaikutus yritysten kasvusta kannattavuuteen, tuotekehityspanostuksiin ja tulevaan kasvuun saattaa johtaa talouden kasvua ruokkivaan ja jopa itseään vahvistavaan kasvudynamiikkaan. Tällaisissa oloissa jonkun yrityksen ja toimialan onnistuminen tuotekehityksessä voi aikaansaada sellaisen pitkäaikaisen positiivisen kasvukierteen, joka Suomen ICT-klusterissa on ollut todettavissa 1990-luvun alkupuolelta lähtien.

7 YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen merkittävin ero tutkimus- ja kehittämistoiminnan vaikutuksista tehtyihin aiempiin tutkimuksiin on se, että tuotannon laadun paranemisen ja uusien tuotteiden kehittämisen kautta kanavoituvia tuotekehityksen vaikutuksia toimialojen tuotannon volyymiin kasvuun arvioitiin toimialojen välituotekaupan riippuvuuksille estimoidusta muuttuvakertoimisesta panos-tuotosmallista. Tuottavuusvaikutusten arvioinnissa merkittävä ero aiempaan tutkimukseen oli tuotantoteknologian kehityksen kytkeminen pääomakannan laadun paranemiseen. Tämä vaikutuskanava huomioon ottamalla voitiin tuoda esiin tuotekehityksen pitkäaikaisia vaikutuksia tuottavuuteen. Tuotekehityksen tuotanto- ja tuottavuusvaikutusten ohella tutkimuksessa käsiteltiin yritysten tuotekehityspanostusten riippuvuutta niiden kasvusta ja kannattavuudesta.

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli vertailla yritysten tuotekehityspanostusten vaikuttavuutta Suomessa ja muissa teollisuusmaissa. Vertailuun käytettiin viennin laadulle viennin yksikköarvoindeksistä ja hintaindeksistä laskettuja laatuindeksejä, jotka mallinnettiin riippuviksi asianomaisten maiden yritysten tuotekehityspanostuksista. Suomesta ja yhdeksästä muusta OECD-maasta tehdyn ekonometrisen selvityksen perusteella tuotekehityspanostukset selittävät useimpien maiden kohdalla tilastollisesti merkitsevästi viennin laadun muutoksia. Tuotekehitys näyttää olleen Yhdysvalloissa, Japanissa, Englannissa ja Ranskassa tehokkaampaa kuin Suomessa ja muissa pienissä maissa. Samaan tapaan tehty Suomen toimialatason ekonometrinen selvitys osoitti, että tuotekehityspanostukset selittävät jossain määrin myös toimialakohtaisten viennin laadun mittareiden kehitystä. Tilastollisesti merkitseväksi vaikutus osoittautui tosin vain kemianteollisuuden ja puutavarateollisuuden kohdalla.

Tutkimuksen keskeisenä tavoitteena oli tuotekehityksen tuotanto- ja tuottavuusvaikutusten arviointi toimialoittain ja koko kansantaloudessa. Keskeisenä tavoitteena on ollut myös kehittää toimialaennustamiseen käytettyä panos-tuotosmallia sillä tavoin, että panoskertoimien muutosten taustalla olevat tuotekehityksen aikaansaamat tuotannon laadun muutosten vaikutukset saadaan mukaan toimialaennustemalliin. Tämä on tärkeää etenkin pyrittäessä parantamaan panos-tuotosmallia pitkän ajan toimialakehityksen ennustevälineenä. Muuttuvakertoimiseen panos-tuotosmalliin pohjautuva tuotekehityksen vaikutusten arviointi on lähestymistapa, jota panos-tuotosmallien kehittelyä tai t&k:n vaikutuksia koskevassa tutkimuksessa ei liene aikaisemmin sovellettu.

Tuotekehityksen tehokkuuden arvioinnin perusajatuksena on ollut rakentaa mittaamiseen soveltuvaa ekonometrista muuttuvakertoimista panos-tuotosmallia lähtökohdasta, jossa on käytettävissä tiedot toimialojen panos-tuotosriippuvuuksista perusvuodelta 1995 sekä kansantalouden tilinpidon aikasarjatiedot vuosilta 1975-1999 panos-tuotostaulun reunajakaumamuuttujista, kuten toimialojen tuotoksesta, tuotteiden loppukäytöstä ja välituotekäytöstä. Kansantalouden tilinpidon aikasarja-aineistoa käyttäen voitiin laskea aikasarjat toimialojen välituotevalmistukselle ja niiden kotimaasta ostamille välituotteille. Tutkimuksen perushypoteesin mukaan tuotteiden laadun muutokset heijastuvat toimialojen välituotevalmistukseen ja välituotekäyttöön, jotka olivat ekonometrisen mallin selitettäviä muuttujia. Mallin selittävinä muuttujina olivat tuotteiden laatuindeksien tuotekehitysrriippuvuuksin

mallinnetut perusvuoden 1995 panoskertoimin lasketut toimialojen väliset välituotemyynnit ja -ostot.

Tavoitteena oli selvittää, kuinka tuotekehityspanostukset vaikuttavat tuotteiden laadun muutosten kautta toimialojen välituotemarkkinoiden rakennemuutoksiin ja sitä kautta tuotannon volyymiin. Tutkimuksessa kansantalous jaettiin toimialojen teknologiatason ja kokonaistaloudellisen merkityksen perusteella yhdeksään toimialaan. Estimointitulosten perusteella toimialojen välillä on suuria eroja tuotekehityksen vaikuttavuudessa. Korkeaa teknologiaa edustava elektroniikkateollisuus näyttää erottuvan muista toimialoista tuotekehityksen tehokkuudessa. T&k-panostuksilla on ollut vaikutusta tuotannon laatuun myös muussa metalliteollisuudessa, metsäteollisuudessa, tietoliikenteessä, liike-elämän palveluissa ja muillakin toimialoilla. Näillä toimialoilla tuotekehityksen tehokkuus näyttää kuitenkin olleen vähäisempi kuin elektroniikkateollisuudessa. Tulokset viittaavat myös t&k-osaamisen kumuloituviin vaikutuksiin. Tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutusten välittyminen t&k-varannon kautta tuotannon laatuun ja volyymiin merkitsee sitä, että tutkimuksen ja tuotekehityksen vaikutukset ovat dynaamisia ja tulevaa talouden kasvua ja toimialakehitystä ennakoivia.

Reaalisen t&k-varannon toteutuneen kehityksen ja estimoitujen t&k-panostusten tehokkuusparametrien avulla oli mahdollista arvioida tutkittujen toimialojen tuotannon tähänastista laadun kehitystä. Tulosten mukaan tuotannon laatu on kohonnut elektroniikkateollisuudessa nopeammin kuin muilla toimialoilla ja tuotannon laadun paraneminen voi selittää jopa puolet kansantalouden tilinpidon mukaisesta elektroniikkateollisuuden tuotannon kasvusta vuosina 1976-1999. Tuotannon laatu on kohonnut keskimääräistä nopeammin myös tietoliikenteessä ja liike-elämän palveluissa. Näillä tietointensiivisillä palvelualoilla tuotannon laadun paraneminen ei johdu erityisestä tuotekehityksen vaikuttavuudesta, vaan t&k-panostusten voimakkaasta kasvusta. Tietointensiivisissä palveluissa laadun nousulla on ollut suhteellisesti jopa suurempi vaikutus tuotannon kasvuun kuin elektroniikkateollisuudessa. Koko kansantalouden tuotannon kasvusta noin kolmannes on voinut olla peräisin tuotekehityksellä aikaansaadusta tuotannon laadun paranemisesta ja uusien tuotteiden kehittämisestä.

Toimialojen tuotannon laatuindeksien pohjalta voitiin arvioida myös kulutus- ja investointitavaroiden laadun kehitystä. Investointitavaroiden laatu on kohonnut yleensä nopeammin kuin kulutustavaroiden laatu. Investointitavaroiden laadun paranemista tapahtuu etenkin elektroniikkateollisuuden ja muun metalliteollisuuden tuottamissa koneissa ja laitteissa sekä liike-elämän palveluiden kehittämissä tietokoneohjelmistoissa. Investointitavaroille laskettujen laatuindeksien avulla voitiin edelleen laskea toimialojen pääomakannan laatuindeksit, joilla oli keskeinen merkitys arvioitaessa tuotantoteknologian paranemisen kautta välittyviä tuotekehityksen tuottavuusvaikutuksia.

Toimialojen tuotekehityksen tuottavuusvaikutuksia arvioitiin tuotantofunktiota estimoimalla ja simuloimalla. Mallissa tuotekehityksen lisäyksen aikaansaama toimialojen kokonaistuottavuuden kasvu jaettiin kahteen komponenttiin, eli tuotannon laadun paranemiseen ja tuotantoteknologian paranemiseen. Tuotantoteknologian tuottavuusefektiin vaikuttaa pääomakannan laadun reagointi tuotekehityksen lisäämiseen ja toisaalta toimialakohtainen kokonaistuottavuuden riippuvuus

pääomakannan laadusta. Tulosten perusteella matalan teknologian teollisuus hyödyntää tehokkaimmin pääomakannan laadun paranemista. Tästä syystä tuotekehityksen lisäyksen aikaansaama kokonaistuottavuuden kasvuvaikutus kestää esimerkiksi metsäteollisuudessa huomattavasti pitempään kuin elektroniikkateollisuudessa.

Tutkimuksen keskeisiä tuloksia oli se, että tuotekehityksen vaikutukset tuottavuuteen voivat olla varsin pitkäaikaisia. Tuotekehityksen voimakkain vaikutus tuotantoon sen laadun paranemisen kautta ajoittuu välittömästi tuotekehityspanostuksen lisäämisen jälkeiseen aikaan. Sen sijaan pääomakannan laadun paranemisen vauhti nopeutuu tuotekehitysmenojen pysyvän lisäyksen seurauksena jopa kymmenkunta vuotta, kunnes pääomakannan poistuma alkaa sitä vähitellen hidastaa. Tämä tuotantoteknologian paranemisen pitkäkestoisuus johtaa siihen, että kertaluonteisenkin tuotekehityksen tasokorotuksen vaikutukset kokonaistuottavuuden kasvuvauhtiin säilyvät pitkään. Estimointi- ja simulointitulosten mukaan tämä investointitavarateollisuuden tuotekehityksen lisääntymisen aikaansaama kokonaistuottavuusvaikutus on merkittävin sellaisilla matalan teknologian teollisuusaloilla, joiden oma tuotekehityspanostus kasvaa keskimääräistä hitaammin tai vaikuttaa tuotannon laatuun keskimääräistä vähemmän.

ICT-klusterin tuotekehityksellä näyttää olevan tuntuja vaikutuksia paitsi klusterin omien tuotteiden laadun paranemiseen myös muiden toimialojen tuotantoteknologian ja kokonaistuottavuuden kehitykseen. Tässä mielessä tutkimuksen tulokset tukevat sitä ”uuden talouden” käsitteeseen liitettyä näkemystä, että elektroniikkateollisuuden uusien tuotteiden sekä uuden tieto- ja viestintäteknologian käyttöönotto parantaa kansantalouksien tuottavuutta.

Tuotekehityksen tuotanto- ja tuottavuusvaikutusten ohella tutkimuksessa käsiteltiin yritysten tuotekehityspanostusten riippuvuutta niiden kasvusta ja kannattavuudesta. Koska yritysten kasvu riippuu tutkimuksessa todetulla tavalla niiden aiemmista tuotekehityspanostuksista, tällaisen mahdollisen talouskasvun ja tuotekehityksen välisen takaisinkytkentälinkin olemassaolo on tärkeää ottaa huomioon muun muassa toimialaennustejärjestelmiä kehitettäessä. Tuotekehityspanostusten määräytymistä tarkasteltaessa pyrittiin ottamaan huomioon yritysten tuotekehityksintensiteetin ja kannattavuuden väliset dynaamiset riippuvuussuhteet. Tuotekehityspanostusten yhteyttä yritysten kasvuun ja kannattavuuteen selvitettiin tutkimuksessa käytetyllä teknologiataason mukaan luokiteltujen yhdeksän toimialan aineistolla.

Estimointitulosten mukaan toimialojen välillä on merkittäviä eroja kasvun ja kannattavuuden vaikutuksissa tuotekehityspanostuksiin. Muun muassa elektroniikkateollisuuden, metsäteollisuuden ja tietoliikenteen tuotekehityspanostukset määräytyvät lähinnä kannattavuuskehityksen perusteella. Sen sijaan tuotannon kasvu vaikuttaa kannattavuutta merkittävämmiin tuotekehityspanostusten lisäämiseen muussa metalliteollisuudessa kuin elektroniikkateollisuudessa ja muussa matalan teknologian teollisuudessa kuin metsäteollisuudessa. Kannattavuus näyttää vaikuttavan useimmissa tapauksissa viipeellä tuotekehityksintensiteettiin sikäli kuin kannattavuudella ylipäätään on vaikutusta tuotekehityspanostuksiin. Poikkeuksena ovat lähinnä tietoliikenne ja osa keskitason teknologian teollisuuden toimialoista. Näillä toimialoilla kannattavuuden

muutoksilla näyttää olevan muita toimialoja nopeampi vaikutus tuotekehityspanostuksiin.

Tulokset merkitsevät sitä, että yritysten kannattavuuteen vaikuttava tulopolitiikka voi olla tärkeää pitkän ajan talouskasvuun vaikuttavaa teollisuuspolitiikkaa paitsi yritysten yleisen investointiaktiiviteetin kannalta myös tuotekehityspanostuksia lisäävänä tekijänä. Tulopolitiikalla eri toimialojen työvoimakulujen kasvua rajoitetaan kansantalouden keskimääräisen tuottavuuskehityksen puitteisiin, jolloin tuottavuudeltaan keskimääräistä vahvempien toimialojen kannattavuus saattaa muodostua paremmaksi kuin hajautetumman palkanmuodostusprosessin oloissa. Tällöin tuottavuuttaan voimakkaimmin kasvattavat toimialat ovat käytännössä usein myös niitä aloja, jotka hyvän kannattavuuden mahdollistamin suurin tuotekehityspanostuksin pystyvät nopeimmin kasvattamaan tuotantonsa laatua ja volyymiä.

Tutkimuksen ekonometristen tulosten perusteella kannattavuus saattaa olla keskeinen yritysten tuotekehityspanostuksiin vaikuttava tekijä ainakin joillakin toimialoilla. Siten tulopolitiikalla vahvistettu takaisinkytkentävaikutus yritysten kasvusta kannattavuuteen, tuotekehityspanostuksiin ja tulevaan kasvuun saattaa johtaa talouden kasvua ruokkivaan ja jopa itseään vahvistavaan kasvudynamiikkaan. Tällaisissa oloissa jonkun yrityksen ja toimialan onnistuminen tuotekehityksessä voi aikaansaada sellaisen pitkäaikaisen positiivisen kasvukierteen, joka Suomen ICT-klusterissa on ollut todettavissa 1990-luvun alkupuolelta lähtien.

Liite 1

Teknologiaryhmät ja niiden toimialat (TOL-95)

OECD:n luokitus*

Korkean teknologian toimialat

Avaruus ja ilmailu (353)
Tieto- ja konttorikoneet (30)
Elektroniikka ja tietoliikennevälineet (321, 322)
Lääkevalmisteet (244)

Korkean keskitason teknologian toimialat

Instrumentit ja hienomekaniikka (33)
Sähkötekniset koneet ja laitteet (2971, 31, 323)
Kulkuneuvot (34, 352)
Kemialliset tuotteet (24 pl. 244)
Koneet ja laitteet (29 pl. 2971)

Matalan keskitason teknologian toimialat

Laivanrakennus (351)
Öljytuotteiden valmistus (23)
Muiden ajoneuvojen valmistus (354, 355)
Kumi- ja muovituotteiden valmistus (25)
Ei-metallisten mineraalituotteiden valmistus (26)
Perusmetallien valmistus (27)
Muu valmistus (36 pl. 361)
Metallituotteiden valmistus (28)

Matalan teknologian toimialat

Elintarvikkeiden valmistus (15, 16)
Tekstiilien ja vaatteiden valmistus (17, 18, 19)
Puutavaran, -tuotteiden ja huonekalujen valmistus (20, 361)
Massan ja paperin valmistus (21)
Kustannus ja painaminen (22)
Kierrätys (37)

Viiden teknologiatason toimialaryhmitys

Korkean teknologian teollisuus

Elektroniikkateollisuus (30-33)

Keskitason teknologian teollisuus

Öljynjalostusteollisuus (23)
Kemikaaliteollisuus (24)
Muovi- ja kumiteollisuus (25)
Rakennusaineteollisuus (26)
Metallinjalostusteollisuus (27)
Metallituoteteollisuus (28)
Koneteollisuus (29)
Kulkuneuvoteollisuus (34-35)

Matalan teknologian teollisuus

Elintarviketeollisuus (15-16)
Tevanake-teollisuus (17-19)
Puutavateollisuus (20)
Paperiteollisuus (21)
Graafinen teollisuus (22)
Muu tehdasteollisuus (36-37)

Tietointensiiviset palvelut

Tietoliikenne (64)
Liike-elämän palvelut (71-74)

Muut toimialat

Maatalous; riista- ja kalatalous (01, 05)
Metsätalous (02)
Kaivannaistoiminta (10-14)
Energia- ja vesihuolto (40-41)
Rakentaminen (45)
Kauppa (50-52)
Majoitus- ja ravitsemistoiminta (55)
Kuljetus ja varastointi (60-63)
Rahoitus- ja vakuutustoiminta (65-67)
Kiinteistötoiminta (70)
Muut yksityiset palvelut ja muu toiminta (90-97)
Julkinen hallinto; pakollinen sosiaalivakuutus (75)
Koulutus; terveydenhuolto- ja sosiaalipalvelut (80, 85)

*Tilastokeskus (2001, liite 1)

Liite 2

Panos-tuotosmallin aikasarja-aineiston laskenta

Toimialojen välituotevalmistus

Toimialojen välituotevalmistuksen aikasarja-aineisto vuodesta 1975 lähtien on laskettu käyttämällä kansantalouden tilinpidossa julkaistua toimialojen tuotoksen ja kotimaisen kysynnän aikasarja-aineistoa vuodesta 1975, vuoden 1995 panos-tuotosaineistoa sekä toimialojen viennin aikasarja-aineistoa vuodesta 1975 (Parkkinen, Manninen ja Mäenpää 2000). Kansantalouden tilinpidossa lasketaan toimialojen tuotosta, joka koostuu tuotannosta toimialojen välituotekäyttöön, myynnistä loppukäyttöön kotimaassa ja viennistä ulkomaille. Välituotevalmistuksen arvioimiseksi tuotoksesta on erotettava tuotannon myynti loppukäyttöön kotimaassa ja vienti ulkomaille.

Toimialojen välituotevalmistus

= toimialojen tuotos kansantalouden tilinpidon mukaan

- toimialojen tuotoksen loppukäyttö kotimaassa
- toimialojen vienti

Toimialojen tuotoksen loppukäyttö kotimaassa

= toimialojen tuotoksen käyttö kotimaassa kulutuserittäin

+ toimialojen tuotoksen käyttö kotimaassa investointierittäin

+ toimialojen tuotoksen käyttö muussa kotimaisessa kysynnässä

Toimialojen tuotoksen kotimaisen loppukäytön ja viennin aikasarjat on muodostettu ETLAssa käytössä olevan 33 toimialan panos-tuotosmallin rakentamisen yhteydessä. Mallin toimialat ja kysyntäerät on lueteltu oheisissa taulukoissa. Tilastokeskuksen julkaisema panos-tuotostaulu kuvaa toimialojen tuotoksen välituotekäytön ohella sitä miten paljon eri toimialojen tuotosta menee kotimaiseen kulutukseen, investointeihin, muuhun kotimaiseen loppukäyttöön sekä vientiin. Eri toimialoilta kotimaiseen loppukäyttöön menneen tuotannon kehitystä voidaan arvioida loppukäytön erien toteutuneen kehityksen ja panos-tuotostaulusta laskettujen toimialakerrointen avulla. Tilastokeskus on panos-tuotostaulun lisäksi laskenut nk. kulutuksen muuntomatriisin ja investointien muuntomatriisin, joiden avulla voidaan arvioida kulutuksen ja investointien vaikutusta toimialojen tuotokseen kulutus- ja investointierittäin. 33 toimialan tasolla tehdyssä laskelmassa on käytetty kotitalouksien kulutusmenojen aikasarja-aineistoa ryhmiteltynä oheisen taulukon kuvaamalla tavalla 19 hyödykeryhmään, investointeja jaettuina 7 pääomatavararyhmään ja muina kotimaisen loppukäytön erinä voittoa tavoittelemattomien yhteisöjen kulutusta, julkisia yksilöllisiä kulutusmenoja ja julkisia kollektiivisia kulutusmenoja. Toimialojen viennistä on ollut käytettävissä valmis aikasarja-aineisto vuodesta 1975 lähtien (Parkkinen, Manninen ja Mäenpää 2000).

Edellä kuvatulla tavalla on laskettu toimialojen tuotoksen loppukäyttö kotimaassa ja vienti ulkomaille. Koska toimialojen tuotos ja tuotoksen loppukäyttö kansantalouden tilinpidon mukaan sekä vienti poikkeavat jonkin verran panos-tuotostaulun luvuista, laskennassa saadut toimialojen välituotevalmistuksen aikasarjat on skaalattu siten, että

ne vuoden 1995 kohdalla vastaavat täsmälleen vuoden 1995 panos-tuotostaulussa olevia lukuja.

Toimialojen välituoteostot kotimaasta

Toimialojen kotimaisen välituotekäytön aikasarja-aineisto on laskettu käyttämällä kansantalouden tilinpidon mukaista toimialojen välituotekäytön aikasarja-aineistoa vuodesta 1975 lähtien, vuoden 1995 panos-tuotosaineistoa sekä eri toimialoilla ulkomailla valmistettujen tavaroiden tuonnin aikasarja-aineistoa vuodesta 1975 lähtien (Parkkinen, Manninen ja Mäenpää 2000). Kansantalouden tilinpidossa lasketaan vain toimialojen koko välituotekäyttöä, johon sisältyvät välituoteostot kotimaasta ja ulkomailta. Kotimaisen välituotekäytön arvioimiseksi koko välituotekäytöstä on erotettava toimialojen välituoteostot ulkomailta.

Toimialojen välituoteostot kotimaasta

= toimialojen koko välituotekäyttö kansantalouden tilinpidon mukaan

- toimialojen välituoteostot ulkomailta

Panos-tuotoslaskennan yhteydessä lasketaan ns. tuonnin käyttötaulukko, joka kuvaa sitä miten paljon eri toimialoilla ulkomailla valmistettuja tavaroita käytetään panoksina kotimaisilla toimialoilla ja miten paljon näitä tavaroita tuodaan kotimaiseen kulutukseen, investointeihin ja muuhun kotimaiseen loppukäyttöön sekä vientiin. Loppukäyttöön menneen tuonnin kehitystä voidaan arvioida loppukäytön erien toteutuneen kehityksen ja panos-tuotostaulusta laskettujen loppukäyttöerien tuontialttiuksien avulla. Tilastokeskus on erikseen laskenut nk. kulutuksen muuntomatriisin ja investointien muuntomatriisin, joiden avulla voidaan arvioida kulutuksen ja investointien vaikutusta tuontiin kulutus- ja investointierittäin. 33 toimialan tasolla tehdyssä laskelmassa on käytetty kotitalouksien kulutusmenojen aikasarja-aineistoa ryhmiteltynä oheisen taulukon mukaisesti 19 hyödykeryhmään, investointeja jaettuina 7 pääomatavararyhmään ja muina kysyntäerinä voittoa tavoittelemattomien yhteisöjen kulutusta, julkisia yksilöllisiä kulutusmenoja, julkisia kollektiivisia kulutusmenoja ja toimialoittaista vientiä. Tällä tavoin on laskettu eri toimialoilla ulkomailla valmistettujen tavaroiden tuonti loppukäyttöön.

Eri toimialoilla ulkomailla valmistettujen tavaroiden tuonti välituotekäyttöön

= eri toimialojen tuotteiden kokonaistuonti

- tuonti kotimaiseen loppukäyttöön

- tuonti vientiin ulkomaille

Tuonti kotimaiseen loppukäyttöön

= tuonti kulutuserittäin

+ tuonti investointierittäin

+ tuonti muuhun kotimaiseen loppukäyttöön

Edellä kuvatulla tavalla on arvioitu loppukäyttöön ohjautunut tuonti ulkomaisten valmistajatoimialojen mukaan eriteltynä. Toisaalta on käytettävissä aikasarja-aineisto eri toimialoilla ulkomailla valmistettujen tavaroiden koko tuonnista vuodesta 1975 lähtien (Parkkinen, Manninen ja Mäenpää 2000). Näiden kahden aikasarja-aineiston avulla voidaan arvioida välituotekäyttöön mennyt tuonti ulkomaisten valmistajatoimialojen mukaan. Sen arvioimiseen miten tämä tuonti jakautuu kullekin

kotimaiselle toimialalle on käytetty panos-tuotoslaskennan tuonnin käyttötaulun mukaisia tietoja toimialojen panostuonnin jakaumasta ulkomaisten valmistajatoimialojen kesken.

Toimialojen välituoteostot ulkomailta

= toimialojen välituotetuonnin jakauma valmistajatoimialoittain

x eri toimialoilla ulkomailla valmistettujen tavaroiden tuonti välituotekäyttöön

Lopuksi edellä kuvatulla tavalla laskettu aikasarja-aineisto on skaalattu siten, että toimialojen välituoteostot ulkomailta vuonna 1995 vastaavat vuoden 1995 panos-tuotostaulussa olevia lukuja. Koska toimialojen koko välituotekäyttö kansantalouden tilinpidon mukaan vuonna 1995 poikkeaa jonkin verran panos-tuotostaulun lukemista, laskennan lopputuloksena saadut aikasarjat toimialojen kotimaisesta välituotekäytöstä on vielä skaalattu siten, että toimialojen välituoteostot kotimaasta vuonna 1995 vastaavat täsmälleen vuoden 1995 panos-tuotostaulussa olevia lukuja.

Toimialat

01, 05	Maatalous, riista- ja kalatalous
02	Metsätalous
10-14	Kaivannaistoiminta
15-16	Elintarviketeollisuus
17-19	Tevanake-teollisuus
20	Puutavarateollisuus
21	Paperiteollisuus
22	Graafinen teollisuus
23	Öljynjalostusteollisuus
24	Kemikaaliteollisuus
25	Muovi- ja kumiteollisuus
26	Rakennusaineteollisuus
27	Metallinjalostusteollisuus
28	Metallituoteteollisuus
29	Koneteollisuus
32	Tietoliikennevälineteollisuus
30, 31, 33	Muu elektroniikkateollisuus
34-35	Kulkuneuvoteollisuus
36-37	Muu teollisuus
40-41	Energia- ja vesihuolto
4501, 4509	Talonrakentaminen, rakennuspalvelutoiminta
4502	Maa- ja vesirakentaminen
50-52	Tukku- ja vähittäiskauppa
55	Majoitus- ja ravitsemistoiminta
60-63	Kuljetus ja varastointi
64	Tietoliikenne
65-67	Rahoitus- ja vakuutustoiminta
7021	Asuntojen omistus ja vuokraus
701, 7022, 703	Muu kiinteistötoiminta
71-74	Liike-elämää palveleva toiminta
90-97	Muut yksityiset palvelut ja muu toiminta
(75)	Valtio ja sosiaaliturvarahastot (julkisen hallinto; pakollinen sosiaalivakuutus)
(80, 85)	Kunnat (koulutus; terveydenhuolto- ja sosiaalipalvelut)

Kysyntäerät

Kotimainen kysyntä

Kotitalouksien kulutus:

Elintarvikkeet, juomat ja tupakka
 Vaatteet ja jalkineet
 Vuokrat
 Energia
 Sisustus ja kodinhoito
 Lääkkeet
 Lääkäripalvelut
 Kulkuvälineet
 Matkustaminen
 Tietoliikennevälineet ja -palvelut
 Vapaa-ajan välineet
 Urheilu- ja kulttuuripalvelut
 Kirjat, sanomalehdet ja paperitarvikkeet
 Valmismatkat
 Koulutus
 Hotellit, kahvilat ja ravintolat
 Sekalaiset tavarat ja palvelut
 Päivähoito-, laitos- ym. sos.palv.maksut
 Vakuutus- ja rahoituspalvelut

Investoinnit:

Asuinrakennusinvestoinnit
 Muut talorakennusinvestoinnit
 Maa- ja vesirakennusinvestoinnit
 Koneet, laitteet ja kuljetusvälineet
 Tietokoneohjelmistot
 Kasvatettavat varat
 Maan ym. perusparannukset

Muu kotimainen kysyntä:

Voittoa tavoittelemattomien yhteisöjen kulutus
 Julkiset yksilölliset kulutusmenot
 Julkiset kollektiiviset kulutusmenot

Vienti

Maatalous, riista- ja kalatalous
 Metsätalous
 Kaivannaistoiminta
 Elintarviketeollisuus
 Tevanake-teollisuus
 Puutavarateollisuus
 Paperiteollisuus
 Graafinen teollisuus
 Öljynjalostusteollisuus
 Kemikaaliteollisuus
 Muovi- ja kumiteollisuus
 Rakennusaineteollisuus
 Metallinjalostusteollisuus
 Metallituoteteollisuus
 Koneteollisuus
 Tietoliikennevälineteollisuus
 Muu elektroniikkateollisuus
 Kulkuneuvoteollisuus
 Muu teollisuus
 Muut toimialat

[illegible]

Kirjallisuus

- Barro R.J. ja Sala-i-Martin X. (1995): "Economic Growth", McGraw-Hill, Inc.
- Bodkin R.G. ja Klein L.R. (1967): "Nonlinear Estimation of Aggregate Production Functions", *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 49, 28-44.
- Coe D.T. ja Helpman E. (1995): "International R&D spillovers", *European Economic Review*, 39, 859-887.
- Eurostat (1997): "Euroopan kansantalouden tilinpitojärjestelmä – EKT 1995", Luxemburg.
- Eurostat (2000): "Towards a European Research Area – Science, Technology and Innovation, Key Figures 2000".
- Forssell O. (1970): "Panoskertoimien muutokset Suomessa vuosina 1954-1965", *Tilastollisia tiedonantoja*, Tilastollinen päätoimisto, 47.
- Forssell O. (1985): "Panos-tuotosmallit", ETLA B 46.
- Griliches Z. (1990): "Patent statistics as economic indicators: A survey", *Journal of Economic Literature*, Vol. 28, 1661-1707.
- Griliches Z. (1992): "The search for R&D spillovers", *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 94, 829-847.
- Jalava J. (2002): "Accounting for growth and productivity: Finnish multifactor productivity 1975-99", *Finnish Economic Papers*, Vol. 15, No. 2, Autumn 2002, 76-86.
- Jones C.I. (1995a): "Time Series Tests of Endogenous Growth Models", *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 110, May, 495-525.
- Jones C.I. (1995b): "R&D-Based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, Vol. 103, No. 4, August, 759-784.
- Koski H., Rouvinen P. ja Ylä-Anttila P. (2001): "Uuden talouden loppu?", ETLA B 184, Sitra 245.
- Kraemer K.L. ja Dedrick J. (2001): "Information Technology and Economic Development: Results and Policy Implications of Cross-Country Studies", teoksessa M. Pohjola (toim.): "Information Technology, Productivity, and Economic Growth – International Evidence and Implications for Economic Development", UNU/WIDER Studies in Development Economics, Oxford University Press.
- Los B. ja Verspagen B. (2000): "R&D spillovers and productivity: Evidence from U.S. manufacturing microdata", *Empirical Economics*, Vol. 25, 127-148.

- Lucas R.E. (1988): "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22, July, 3-42.
- Mankinen M. (1992): "Panos-tuotostaulun päivitys yleisellä ehdollisella pienimmän neliösumman menetelmällä", lisensiaattityö, Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan taloustieteen osasto, tammikuu 1992.
- Nadiri M.I. ja Prucha I.R. (1996): "Estimation of the depreciation rate of physical and R&D capital in the U.S. total manufacturing sector", *Economic Inquiry*, Vol. 34, 43-56.
- Niininen P. (2001): "Computers and Economic Growth in Finland", teoksessa M. Pohjola (toim.): "Information Technology, Productivity, and Economic Growth – International Evidence and Implications for Economic Development", UNU/WIDER Studies in Development Economics, Oxford University Press.
- OECD (2001): "Measuring Productivity – Measurement of Aggregate and Industry-Level Productivity Growth", *OECD Manual*.
- Parkkinen K., Manninen K. ja Mäenpää I. (2000): "Tavaroiden tuonti ja vienti toimialan mukaan Suomessa vuosina 1975-1999", Oulun yliopiston Thule-instituutti, Tilastokeskus, luonnos 28.11.2000.
- Pohjola M. (2001): "Information Technology and Economic Growth: A Cross-Country Analysis", teoksessa M. Pohjola (toim.): "Information Technology, Productivity, and Economic Growth – International Evidence and Implications for Economic Development", UNU/WIDER Studies in Development Economics, Oxford University Press.
- Pohjola M. (2002): "New Economy in Growth and Development", *Wider Discussion Paper* 2002/67, July.
- Rantala O. (2001): "Toimialojen ja avainklustereiden tuotannon ja työllisyyden pitkän ajan kehitys", ETLA keskusteluaiheita No. 754.
- Romer P.M. (1986): "Increasing Returns and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, Vol. 94, October, 1002-1037.
- Romer P.M. (1990): "Endogenous Technical Change", *Journal of Political Economy*, Vol. 98, October, part II, 71-102.
- Sakurai N., Papaconstantinou G. ja Ioannides E. (1997): "Impact of R&D and Technology Diffusion on Productivity Growth: Empirical Evidence for 10 OECD Countries", *Economic Systems Research*, Vol. 9, No. 1, 81-109.
- Tarkka J., Willman A. ja Rasi C-M. (1990): "The BOF4 Quarterly Model of the Finnish Economy", *Bank of Finland*, D:73.
- Ten Raa T. ja Wolff E.N.: "Engines of Growth in the U.S. Economy", *Center for Economic Research*, No. 77.

Terleckyj N.E. (1980): "Direct and Indirect Effects of Industrial Research and Development on the Productivity Growth of Industries", teoksessa J.W. Kendrick ja B. Vaccara (toim.): "New Developments in Productivity Measurement", NBER, New York.

Tilastokeskus (2001): "Teknologian soveltaminen ja siirto", Tiede, teknologia ja tutkimus 2001:5.

Virtaharju M. ja Åkerblom M. (1993): "Technology intensity of Finnish manufacturing industries", Tilastokeskus, Tiede ja teknologia 1993:3.

Wolff E.N. (1997): "Spillovers, Linkages and Technical Change", Economic Systems Research, Vol. 9, No. 1, 9-23.

Vuori S. (1984): "Kokonaistuottavuus ja tutkimus- ja kehitystoiminnan tuottoaste Suomen ja Ruotsin teollisuustoimialoilla v. 1964-80", ETLA C 32.

ELINKEINOELÄMÄN TUTKIMUSLAITOS (ETLA)

THE RESEARCH INSTITUTE OF THE FINNISH ECONOMY

LÖNNROTINKATU 4 B, FIN-00120 HELSINKI

Puh./Tel. (09) 609 900

Int. 358-9-609 900

<http://www.etla.fi>

Telefax (09) 601753

Int. 358-9-601 753

KESKUSTELUAIHEITA - DISCUSSION PAPERS ISSN 0781-6847

- No 809 JUKKA LIIKANEN – PAUL STONEMAN – OTTO TOIVANEN, Intergenerational Effects in the Diffusion of New Technology: The Case of Mobile Phones. 22.05.2002. 16 p.
- No 810 TIMO KAISANLAHTI, Minority Shareholders in the Finnish System of Corporate Governance. 10.06.2002. 71 p.
- No 811 JYRKI ALI-YRKKÖ – RAINE HERMANS, Nokia in the Finnish Innovation System. 19.06.2002. 35 p.
- No 812 ARI HYYTINEN – MIKA PAJARINEN, Small Business Finance in Finland. A Descriptive Study. 25.06.2002. 59 p.
- No 813 ARI HYYTINEN – MIKA PAJARINEN, Financing of Technology-Intensive Small Businesses: Some Evidence on the Uniqueness of the ICT Industry. 29.07.2002. 22 p.
- No 814 ARI HYYTINEN – OTTO TOIVANEN, Does Distance Matter in Deposit Supply? A Bank-level Study. 30.07.2002. 14 p.
- No 815 ERKKI KOSKELA – MARKKU OLLIKAINEN, Optimal Forest Taxation under Private and Social Amenity Valuation. 13.08.2002. 23 p.
- No 816 TARMO VALKONEN, Demographic Uncertainty and Taxes. 21.08.2002. 20 p.
- No 817 ANTTI KAUKHANEN – HANNU PIEKKOLA, Profit Sharing in Finland: Earnings and Productivity Effects. 03.09.2002. 18 p.
- No 818 ISMO LINNOSMAA – RAINE HERMANS – TARU KARHUNEN, Price-Cost Margin in the Pharmaceutical Industry: Empirical Evidence from Finland. 03.09.2002. 20 p.
- No 819 RAINE HERMANS – TERTTU LUUKKONEN, Findings of the ETLA Survey on Finnish Biotechnology Firms. 10.09.2002. 30 p.
- No 820 ARI HYYTINEN – OTTO TOIVANEN, Do Financial Constraints Hold Back Innovation and Growth? Evidence on the Role of Public Policy. 17.09.2002. 31 p.
- No 821 KARI E.O. ALHO, Stabilization Inside and Outside EMU. 27.09.2002. 20 p.
- No 822 HANNU PIEKKOLA, From Creative Destruction to Human Capital Growth: Wage Dispersion Effects in Finland. 27.09.2002. 20 p.
- No 823 ARI HYYTINEN – OTTO TOIVANEN, Misuse and Non-use of Information Acquisition Technologies in Banking. 11.10.2002. 14 p.

- No 824 HELI KOSKI – TOBIAS KRETSCHMER, Entry, Standards and Competition: Firm Strategies and The Diffusion of Mobile Telephony. 14.10.2002. 36 p.
- No 825 PEKKA SULAMAA – MIKA WIDGRÉN, EU-Enlargement and the Opening of Russia: Lessons from the GTAP Reference Model. 15.10.2002. 24 p.
- No 826 JUHA M. ALHO, The Population of Finland in 2050 and Beyond. 11.11.2002. 28 p.
- No 827 JUKKA JALAVA, The Production and Use of ICT in Finland, 1975-2001. 21.10.2002. 23 p.
- No 828 ARI HYYTINEN – TUOMAS TAKALO, Enhancing Bank Transparency: A Re-assessment. 23.10.2002. 23 p.
- No 829 REIJO MANKINEN – PETRI ROUVINEN – PEKKA YLÄ-ANTTILA, Palveluiden tuottavuus – kilpailu ja teknologia muuttavat rakenteita. 31.10.2002. 49 s.
- No 830 PEKKA MANNONEN, The Strategic Response of Banks to an Exogenous Positive Information Shock in the Credit Markets. 31.10.2002. 16 p.
- No 831 JYRKI ALI-YRKKÖ – PEKKA YLÄ-ANTTILA, Pääkonttorien sijainti, kansainvälistyminen ja verotus. 05.11.2002. 38 s.
- No 832 ARI HYYTINEN – LOTTA VÄÄNÄNEN, Government Funding of Small and Medium-sized Enterprises in Finland. 06.11.2002. 50 p.
- No 833 TUOMAS MÖTTÖNEN, Idänkaupan ennusteet 1987-1991. 11.11.2002. 88 s.
- No 834 MARKKU STENBORG, Economics of Joint Dominance. 21.11.2002. 24 p.
- No 835 RAINE HERMANS – ANTTI-JUSSI TAHVANAINEN, Ownership and Financial Structure of Biotechnology SMEs: Evidence from Finland. 12.12.2002. 41 p.
- No 836 MARIANNE PAASI, Economics of Collective Benchmarking – Learning in Research and Innovation Policy. 12.12.2002. 18 p.
- No 837 KARI E.O. ALHO, Kannattaako tulopolitiikkaa jatkaa? 30.12.2002. 22 s.
- No 838 HANNU PIEKKOLA, Palkkaneuvottelut ja työmarkkinat Pohjoismaissa ja Euroopassa. 30.12.2002. 26 s.
- No 839 KARI E.O. ALHO, The Equilibrium Rate of Unemployment and Policies to Lower it: The Case of Finland. 31.12.2002. 26 p.
- No 840 LUIS H.R. ALVAREZ – ERKKI KOSKELA, On Forest Rotation Under Interest Rate Variability. 15.01.2003. 14 p.
- No 841 LUIS H.R. ALVAREZ – ERKKI KOSKELA, Irreversible Investment under Interest Rate Variability: some Generalizations. 22.01.2003. 27 p.
- No 842 OLAVI RANTALA, Tuotekehitys, toimialojen panos-tuotosrakenteen muutokset, tuottavuus ja talouden kasvu. 29.01.2003. 64 s.

Elinkeinoelämän Tutkimuslaitoksen julkaisemat "Keskusteluaiheet" ovat raportteja alustavista tutkimustuloksista ja väliraportteja tekeillä olevista tutkimuksista. Tässä sarjassa julkaistuja monisteita on mahdollista ostaa Taloustieto Oy:stä kopiointi- ja toimituskuluja vastaavaan hintaan.

Papers in this series are reports on preliminary research results and on studies in progress. They are sold by Taloustieto Oy for a nominal fee covering copying and postage costs.