

# ETLA

**ELINKEINOELÄMÄN TUTKIMUSLAITOS**

THE RESEARCH INSTITUTE OF THE FINNISH ECONOMY  
Lönnrotinkatu 4 B 00120 Helsinki Finland Tel. 358-9-609 900  
Telefax 358-9-601 753 World Wide Web: <http://www.etla.fi/>

## **Keskusteluaiheita - Discussion papers**

No. 624

Johanna Pohjola

**CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN  
KANSANTALOUDELLISET VAIKUTUKSET:**

**Tuloksia polttoainerakenteen muutokset  
huomioonottavasta CGE-mallista**



**POHJOLA, Johanna, CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KANSANTALOUDEL-  
LISET VAIKUTUKSET: Tuloksia polttoainerakenteen muutokset huomioonottavasta  
CGE-mallista.** Helsinki: ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of  
the Finnish Economy, 1997, 52 s. (Keskusteluaiheita, Discussion Papers, ISSN 0781-6847;  
No. 624).

**TIIVISTELMÄ:** Työssä arvioidaan CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen taloudellisia vaikutuksia  
numeerista yleisen tasapainon mallia käyttäen. Laajennettu energiasektori sisältää useita polt-  
toaineita, jolloin päästöjä voidaan vähentää siirtymällä päästöintensiivisistä polttoaineista vä-  
hemmän päästöjä aiheuttaviin polttoaineisiin.

Suomen vähentäessä yksipuolisesti päästönsä vuoden 1990 tasolle vuonna 2010 bruttokan-  
santuote aleni laskelman mukaan 0.8 % ja hyvinvointitappio oli 5.9 mrd mk. Kun päästövero-  
tulot käytettiin sova-maksun alentamiseen könttäsummatulonsiirron sijaan, BKT:n vähennys  
jäi selvästi pienemmäksi. Sen sijaan ero hyvinvoinnissa oli vähäisempi. Hyvinvointitappiota  
voitiin selvästi pienentää olettamalla, että massa- ja paperiteollisuus pystyy vaikuttamaan  
vientihintaansa. Kun reaalipalkka oletettiin jäykäksi, BKT aleni vajaa 3 % työttömyyden kas-  
vaessa selvästi.

Sähkön ja lämmön tuotannossa tapahtui selvää siirtymistä hiilestä ja turpeesta maakaasuun.  
Maakaasunkin kulutus vähentyi kuitenkin referenssiskenaarioon verrattuna sähkön ja lämmön  
tuotannon alentuessa. Päästöjä vähennettiin myös tuotantorakennetta muuttamalla. Massa- ja  
paperiteollisuus kärsi selvästi eniten päästörajoitteesta sen tuotannon vähentyessä peruslas-  
kelmassa 20 % referenssiskenaarioon verrattuna. Massa- ja paperiteollisuuden tuotannon  
muutos jäi kuitenkin selvästi pienemmäksi, kun sillä oletettiin olevan markkinavoimaa tai kun  
rauta- ja terästeollisuuden päästöjä verotettiin. Päästörajoitteesta hyötyivät erityisesti työvoima-  
ja pääomaintensiiviset vientisektorit.

**AVAINSANAT:** CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen, CGE-malli, polttoainerakenne

**POHJOLA, Johanna, CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KANSANTALOUDEL-  
LISET VAIKUTUKSET: Tuloksia polttoainerakenteen muutokset huomioonottavasta  
CGE-mallista.** Helsinki: ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of  
the Finnish Economy, 1997, 52 p. (Keskusteluaiheita, Discussion Papers, ISSN 0781-6847;  
No. 624).

**ABSTRACT:** In this study the economywide effects of reducing CO<sub>2</sub>-emissions are evaluated  
with computable general equilibrium model. The energy sector of the model was modified in  
order to take into account the possibility to reduce emissions by shifting from emission inten-  
sive fuels to less emission intensive fuels.

When Finland decreases unilaterally CO<sub>2</sub>-emissions to the level of year 1990 by year 2010,  
GDP was reduced by 0.8 % and the welfare loss was 5.9 billion FIM. If carbon tax revenue  
was used to reduce the employer's social security payment instead of lump sum transfer to  
households, the reduction of GDP was clearly smaller while welfare loss was only slightly  
smaller. The welfare loss could be reduced significantly by assuming that paper and pulp in-  
dustry has market power. In case of fixed real wage, GDP reduced 3 % due to the unemploy-  
ment.

In the production of electricity and heat it was a remarkable shift from coal and peat to natural gas. However, also the use of natural gas was reduced compared to reference scenario in due to the reduction of production of electricity and heat. Emissions were also reduced with reallocation of production. The pulp and paper industry suffered most. Its production was 20 % below the reference level. Reduction was however clearly smaller when paper and pulp industry was assumed to have some market power or when emissions from iron and steel industry were taxed. The export oriented labor and capital intensive sectors benefitted from emission reduction.

**KEY WORDS:** reduction of CO<sub>2</sub>-emissions, CGE-model

## TEKIJÄN ESIPUHE

Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksessa toteutettiin vuonna 1996 kauppaja- ja teollisuusministeriön rahoittama hanke "Tuotantosektorien sopeutuminen hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen - kilpailuaseman, verotuksen ja työllisyyspolitiikan vaikutukset". Hankkeen tavoitteena oli lisäksi CGE-mallin energiasektorin kehittäminen. Hankkeen vastuullisena johtajana toimi tutkimusjohtaja Kari Alho Elinkeinoelämän Tutkimuslaitoksesta ja yhdyshenkilönä kauppaja- ja teollisuusministeriössä oli ylitarkastaja Pekka Tervo.

Tässä raportissa esitetään laajennetun energiasektorin sisältävän mallin tuottamia arvioita CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen vaikutuksista tuotantorakenteeseen ja muuhun kansantalouteen. Mallissa tarvittavan energia-aineiston laadinnasta vastasivat yliaktuaari Kari Grönfors ja suunnittelija Mikko Kauppinen Tilastokeskuksesta. Laskelmissa hyödynnetään myös muulla rahoituksella tehtyä mallinkehitystyötä.

Kiitän Pekka Tervoa ja Kari Alhoa raportin kommentoinnista. Erityiset kiitokset haluan esittää Kari Grönforsille energiasektorin toimintaa koskevasta insinööritiedosta. Tätä arvokasta tietoa voitiin kuitenkin valitettavan vähän hyödyntää mallinkehitystyössä. Työn puutteista ja mahdollisista virheistä vastaan itse.

Helsingissä joulukuussa 1997

Johanna Pohjola

Yhteystiedot:

METLA

Unioninkatu 40 A

00170 Helsinki

email:johanna.pohjola@metla.fi

## SISÄLLYS

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CGE-MALLIN KUVAUS</b>	<b>3</b>
	<b>2.1 CGE-mallien yleiset ominaisuudet</b>	<b>3</b>
	<b>2.2 Energiasektori</b>	<b>3</b>
	2.2.1 Polttoaineiden kysyntä	4
	2.2.2 Polttoaineiden tarjonnat ja hinnat	4
	2.2.3 Sähkön ja lämmön tarjonta ja kysyntä	5
	<b>2.3 Päästöt ja päästövero</b>	<b>6</b>
	<b>2.4 Tuotantoteknologia</b>	<b>7</b>
	<b>2.5 Kulutus ja työn tarjonta</b>	<b>8</b>
	<b>2.6 Julkinen sektori</b>	<b>9</b>
	<b>2.7 Ulkomaankauppa</b>	<b>10</b>
	2.7.1 Yleistä	10
	2.7.2 Ulkomaankauppa mallissa	10
	<b>2.8 Dynamiikka ja säästämis-investointikäyttäytyminen</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>LASKELMISTA</b>	<b>14</b>
	<b>3.1 Keskeiset oletukset</b>	<b>14</b>
	<b>3.2 Päästöveron vaikutuskanavat</b>	<b>15</b>
	<b>3.3 Referenssiskenaario</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN RAJOITTAMINEN VUODEN 1990 TASOLLE VUONNA 2010</b>	<b>19</b>
	<b>4.1 Peruslaskelma</b>	<b>19</b>
	4.1.1 Päästövero sekä vaikutukset päästöihin ja polttoaineiden hintoihin ja kulutuksiin	19
	4.1.2 Vaikutukset hyvinvointiin, bruttokansantuotteeseen, panosten määriin ja hintoihin sekä investointeihin	25
	4.1.3 Vaikutukset tuotantosektoreihin	26
	4.1.4 Vaikutukset panoskysyntöihin tuotantosektoreittain	29
	4.1.5 Vaikutukset kulutushyödykkeiden kysyntöihin	32
	4.1.6 Vaikutukset ulkomaankauppaan	33
	<b>4.2 Herkkyyslaskelmat</b>	<b>35</b>
	4.2.1 Keskeiset tulokset: hyvinvointi ja tuotantojen tasot	35
	4.2.2 Päästöverotulojen käyttö sova-maksun alentamiseen	41
	4.2.3 Rauta- ja terästeollisuuden päästöjä verotetaan	43
	4.2.4 Palkkajäykkyys	43
	4.2.5 Energiamuotojen väliset substitutiojoustot	44
	4.2.6 Massa- ja paperiteollisuudella markkinavoimaa	45
	4.2.7 Korkeammat viennin ja tuonnin hintajoustot	46
	4.2.8 Työn tarjonnan palkkajousto	46
<b>5</b>	<b>CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KUSTANNUKSET PÄÄSTÖVÄHENNYKSEN KASVAESSA</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>LOPUKSI</b>	<b>49</b>

## **LÄHTEET**

## **LIITTEET**

Liite 1 Tuotantosektorit ja kulutushyödykkeet

Liite 2 Tuotantosektorien kustannusrakenteet v. 1990

Liite 3 Tutkimuksessa käytettyjen joustojen arvoja

L3.1 Tuotantopanosten väliset substituutiojoustot

L3.2 Työn tarjonnan ja eri kulutushyödykkeitten hinta- ja tulojoustot

L3.3 Viennin ja tuonnin joustot

Liite 4 Energia-aineisto ja päästöt v. 1990

L4.1 Yleistä

L4.2 Polttoaineiden kulutukset

L4.3 Hiilidioksidipäästöt

L4.4 Polttoaineiden hinnat

L4.5 Sähkön ja lämmön kulutus

L4.6 Sähkön ja lämmön tuotanto





# 1 JOHDANTO

Kasvihuoneilmiötä pidetään yhtenä merkittävimmistä ympäristöongelmista. Ilmaston lämpenemisen aiheuttaa kasvihuonekaasujen pitoisuuksien lisääntyminen ilmakehässä. Hiilidioksidipitoisuuden kasvun vähentämiseksi onkin kansainvälisissä neuvotteluissa ehdotettu toimenpiteitä. Rion sopimuksessa esitettiin, että CO<sub>2</sub>-päästöt olisi tulevaisuudessa vähennettävä vuoden 1990 tasolle. Koska sopimus ei kuitenkaan ollut sitova, päästöjen vähentäminen on jäänyt yksittäisten maiden toimenpiteiden varaan. Joissakin maissa päästöjä onkin pyritty vähentämään mm. energia- tai päästöverojen avulla. Suomi otti ensimmäisenä maana maailmassa käyttöön ympäristöveron vuonna 1990. Vero perustui merkittävältä osin polttoaineiden hiilipitoisuuksiin ja sitä on kasvatettu jatkuvasti. Vuoden 1997 alusta verotuksen rakennetta muutettiin siirtymällä tuotantopanosten verotuksesta kulutuksen verottamiseen sähkön osalta. Koska Kioton ilmastokokouksessa joulukuussa 1997 päästiin tietyin varauksin sopimukseen teollisuusmaiden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä, on päästöjen vähentämisen keinojen ja kustannusten arvioiminen entistä tärkeämpää.

Päästöverojen tai päästörajoitteen taloudellisia vaikutuksia energiasektoriin ja muuhun talouteen voidaan arvioida eri tyyppisiä malleja käyttäen. Tässä vaikutuksia tarkastellaan numeerisella yleisen tasapainon mallilla (CGE-malli). Kokonaistaloudellisena mallina CGE-malli ottaa huomioon eri sektorien välisen vuorovaikutuksen sekä tulovaikutuksen ja epäsuorat hintavaikutukset. Toisaalta energiasektori on mallissa kuvattu selvästi karkeammin kuin pelkän energiasektorin sisältävissä osittaistaspainomalleissa, kuten esim. EFOM-mallissa (ks. Lehtilä ja Pirilä, 1993).

Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää muuttamalla fossiilisten polttoaineiden kulutusrakennetta vähemmän hiili-intensiiviseksi, siirtymällä käyttämään uusiutuvia energiamuotoja, tehostamalla energian tuotantoa ja siirtoa, tehostamalla energian loppukulutusta sekä vähentämällä paljon energiaa sisältävien tuotteiden tai palvelujen kulutusta. Kulutusta voidaan vähentää sekä korvaamalla energiaa ja energiaintensiivisiä panoksia ja hyödykkeitä muilla panoksilla ja hyödykkeillä tuotannossa ja kulutuksessa että alentamalla kokonaistuotantoa ja kulutusta. Aiemmissa CGE-mallilaskelmissa päästöjä voitiin vähentää ainoastaan energian kulutusta vähentämällä. Maakaasun osuuden merkittävää kasvattamista sähkön ja lämmön tuotannossa pidetään kuitenkin yhtenä keskeisimmistä keinoista, joilla päästötavoitteet voidaan saavuttaa. Työn tavoitteena olikin eri polttoaineiden lisääminen CGE-mallin energiasektoriin. Sen sijaan toista keskeistä keinoa eli energian käytön tehostamista ei edelleenkään pystytä ottamaan huomioon.

Laskelmissa arvioidaan hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisia vaikutuksia, kun päästöt vähennetään vuoden 1990 tasolle vuoteen 2010 mennessä EU:n Suomelle asettaman päästötavoitteen mukaisesti. Laskelmissa on kuitenkin jouduttu oletamaan, että päästörajoite koskee vain Suomea, jolloin energiaintensiivisten vientisektorien kilpailukyky heikkenee selvästi maailmanmarkkinoilla. Päästöjä vähennetään hiilidioksidiveron avulla, joka kohdistuu fossiilisiin polttoaineisiin niiden hiilipitoisuuden

mukaisesti. Verotus vastaa siis aiempaa verotusjärjestelmää<sup>1</sup>. Rauta- ja terästeollisuuden päästöt on vallitsevan käytännön mukaisesti jätetty CO<sub>2</sub>-veron ulkopuolelle. Vaihtoehtolaskelmassa sen päästöjä verotetaan samoin kuin muitakin päästöjä. Tällöin rauta- ja terästeollisuuden kilpailuasema maailmanmarkkinoilla heikkenee, mutta toisaalta päästöjä vähennetään tehokkaammin.

Verotulojen käytön on havaittu olevan tärkeä tekijä päästöverotuksen vaikutuksia arvioitaessa. Peruslaskelmassa päästöverotulot palautetaan könttäsumatulonsiirtona kotitalouksille. Könttäsummavero tai -tulonsiirto on neutraali vaihtoehto, sillä se ei vääristä päätöksentekoa. Ns. kaksoishyöty-keskustelussa on esitetty, että jos päästöverotulot käytetään vääristävien verojen alentamiseen, voitaisiin mahdollisesti saavuttaa tehokkuushyöty, joka kumoaisi energiaverojen aiheuttamat kustannukset, vaikka ympäristöhyötyjä ei otettaisikaan huomioon. Vaikka kaksoishyötyä ei saavutettaisikaan, vääristävien verojen alentaminen pienentää energiaverojen aiheuttamia kustannuksia. Lisäksi ympäristöverojen ei haluta nostavan verotuksen tasoa. Vaihtoehtolaskelmassa päästöverotulot käytetäänkin työnantajan sosiaalivakuutusmaksun alentamiseen. Tulosten herkkyyttä tarkastellaan lisäksi eri energiakomponenttien välisten substituutiojoustojen, viennin ja tuonnin joustojen, työn tarjonnan palkkajousten sekä palkkajäykkyyden suhteen.

Laskelmissa käytetyn CGE-mallin ominaisuudet kuvataan luvussa 2. Pääpaino on energiasektorin kuvaamisessa. Luvussa 3 esitellään laskelmien ja mallin keskeiset oletukset, tarkastellaan päästöveron vaikutuskanavia taloudessa sekä esitetään laskelmissa käytetty referenssiskenaario. Tulokset CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen taloudellisista vaikutuksista kun päästöt vähennetään vuoden 1990 tasolle vuonna 2010 raportoidaan luvussa 4. Päästöjen vähentämisen rajakustannuskäyrä sekä eri päästövähennysmäärien vaikutukset bruttokansantuotteeseen, hyvinvointiin sekä päästöveroon esitetään luvussa 5. Lopuksi esitetään keskeiset tulokset. Sektoriluokitus, kustannusrakenteet, joustojen arvot sekä laskelmissa käytetty energia-aineisto kuvataan liitteissä.

---

<sup>1</sup> Erona on kuitenkin, että mallilaskelmissa päästövero määräytyy pelkästään hiilipitoisuuden mukaan kun taas vuoteen 1997 saakka voimassa olleessa verotuksessa 75 % verosta määräytyi hiilipitoisuuden ja 25 % energiasisällön mukaan.

## 2 CGE-MALLIN KUVAUS

Tämän työn tavoitteena oli kehittää CGE-mallin energiasektoria siten, että polttoaineita voidaan korvata toisillaan. Laajennuksia ja muutoksia julkaisussa Jerkkola ym. (1993) raportoituun malliversioon nähden on lisäksi tehty päästöjen määräytymisen, metsäsektorin, dynamiikan, ulkomaankaupan, julkisen sektorin ja verotuksen, kuluksen mallittamisen, työvoiman tarjonnan sekä hyvinvoinnin muutoksen mittaamisen osalta. Seuraavassa esitetään mallin ominaisuudet sektoreittain.

### 2.1 CGE-mallien yleiset ominaisuudet

Numeeriset yleisen tasapainon mallit (CGE-mallit) pohjautuvat vahvasti talousteoriana siten että kotitalouksien käyttäytyminen perustuu hyödyn ja yrityksien käyttäytyminen voiton maksimointiin. Perusmallissa hinnat ovat täysin joustavat ja että ne tasapainottavat kysynnän ja tarjonnan kaikilla markkinoilla. Lisäksi tyypillisesti oletetaan täydellinen kilpailu ja resurssien täyskäyttö. Koska perusoletukset eivät aina kuvaa todellisuutta kovinkaan hyvin, on malleihin toisinaan lisätty jäykkyyksiä ja sallittu markkinoiden epätasapaino. Esimerkiksi työttömyyttä voidaan kuvata oletamalla palkat jäykiksi.

Kokonaistaloudellisten mallien, kuten CGE-malli, etuna osittaistasapainomalleihin on, että ne ottavat huomioon kaikki substituutio- ja tulovaikutukset sekä eri sektorien välisen vuorovaikutuksen. Jos tarkasteltava sektori on merkityksellinen koko kansantalouden kannalta, siihen kohdistuva politiikkatoimenpide tai ulkoinen shokki vaikuttaa myös kokonaistaloudellisiin muuttujiin kuten kotitalouksien tuloihin ja tuotantopanosten hintoihin. Näillä tekijöillä on puolestaan kerrannaisvaikutuksia tarkasteltavaan sektoriin sen tuotteiden kysyntöjen ja tuotantokustannusten muutoksen kautta.

CGE-mallit on tarkoitettu lähinnä pitkän aikavälin rakenteellisten muutosten ja hyvinvointivaikutusten tarkasteluun. Ne eivät pyri ennustamaan talouden kehitystä, kuten suhdannemallit, vaan niillä voidaan analysoida erilaisten talouspoliittisten skenaarioiden vaikutuksia talouteen. CGE-malleja on käytetty kansainvälisesti 1980-luvulta alkaen mm. vero-, kauppaa- sekä ympäristö- ja energiapoliittisten toimenpiteiden vaikutusten tarkastelussa.

### 2.2 Energiasektori

Mallin energiasektori käsittää sähkön, lämmön ja polttoaineiden kysynnän ja tarjonnan. Kaikki sähkö ja lämpö tuotetaan toimialalla sähkö- ja lämpöhuolto, joka siis sisältää myös tuotantosektorien (lähinnä massa- ja paperiteollisuuden) oman sähkön ja lämmön tuotannon kansantalouden tilinpidon mukaisesti. Alkuperäisen malliversioon energiasektori oli varsin yksinkertainen. Koska polttoaineet oli mallitettu aggregaattina, päästöjä ei voitu vähentää siirtymällä vähemmän päästöjä aiheuttaviin polttoaineisiin. Päästöjen vähentämisen kustannukset siis yliarvioitiin tältä osin. Sähkön ja lämmön tuotanto oli myös mallitettu hyvin yksinkertaisesti.

### 2.2.1. Polttoaineiden kysyntä

Laajennettu energiasektori sisältää useita polttoaineita, jotka ovat liikennepolttoaineet, kevyt polttoöljy, raskas polttoöljy, hiili, maakaasu, turve ja puu. Mallissa tuotantosektorit (pl. sähkö ja lämpöhuolto) käyttävät kaikkia muita polttoaineita paitsi turvetta<sup>2</sup>. Sähkön ja lämmön tuotannossa puolestaan käytetään muita polttoaineita paitsi liikennepolttoaineita. Tehokas polttoainekombinaatio valitaan sekä tuotantosektoreilla että sähkön ja lämmön tuotannossa yksitasoista CES-funktiota käyttäen, jolloin polttoaineita korvataan toisillaan niiden suhteellisten hintojen muutosten mukaisesti. Tuotantoteknologiaoletuksesta seuraa, että korvaamismahdollisuudet ovat samat kaikkien polttoaineiden välillä. Todellisuudessa ne riippuvat mm. käytössä olevista kattilatyypeistä. Teollisuudessa yleisiä ovat leijukerroskattilat, joissa voidaan käyttää useita eri polttoaineita. Tällöin polttoaineiden suhteellisten hintojen muuttuessa voidaan melko helposti siirtyä polttoaineesta toiseen. Yhdyskuntien sähkön ja lämmön tuotannossa polttoaineiden korvaaminen toisillaan on jonkin verran vaikeampaa. Pitkällä tähtäimellä polttoaineiden suhteellisten hintojen muutokset johtavat myös uusiin kattilainvestointeihin. Tuotantosektorien (lähinnä kuljetus) käyttämien liikennepolttoaineiden oletetaan olevan vakio-osuus tuotannosta, joten suhteellisten hintojen muutokset eivät vaikuta niiden kulutukseen. Sähkön ja lämmön tuotantoteknologia esitetään kuviossa 1 ja tuotantosektorien kuviossa 2.

Kotitalouksien polttoaineiden kysynät johdetaan lineaarisesta menojärjestelmästä. Lineaarinen menojärjestelmä sisältää liikennepolttoaineet, muun kuin lämmityssähkön ja lämmityksen. Lämmitys puolestaan jakautuu öljy-, sähkö-, kauko- sekä puulämmitykseen suhteellisten hintojen perusteella. Kotitalouksien kulutus käsitellään kokonaisuudessaan luvussa 2.5.

### 2.2.2 Polttoaineiden tarjonta ja hinnat

Tuontipolttoaineita mallissa ovat liikennepolttoaineet, kevyt polttoöljy, raskas polttoöljy, hiili ja maakaasu. Mallissa oletetaan, että koko käyttö tuodaan, joten se ei sisällä öljynjalostustoimialaa. Polttoaineiden hinnat määräytyvät maailmanmarkkinoilla ja niiden tarjonta maailmanmarkkinahinnalla on täysin joustavaa. Todellisuudessa maakaasun tuontia rajoittaa kuitenkin lyhyellä aikavälillä maakaasuputkiston kapasiteetti. Puu ja turve ovat kotimaisia polttoaineita. Puun tuontia ei oteta mallissa huomioon. Puun tarjonta riippuu puun hinnasta, korosta ja puuvarannosta.

Polttoaineiden hinnat poikkeavat todellisuudessa sektoreittain. Polttoaineiden sektori-kohtaiset hintaerot on säilytetty mallissa, koska päästöveron aiheuttamat prosentuaaliset muutokset polttoaineiden hintoihin ja siten suhteellisten hintojen muutokset riippuvat verottomien hintojen lähtötasosta. Sektorikohtaiset hintaerot voidaan mallittaa helpoimmin olettamalla, että maailmanmarkkinahinnat ovat sektori-kohtaiset. Hinnat eroavat sektoreittain ainoastaan tuontipolttoaineiden osalta. Turpeen hinta on mallissa eksogeeninen ja tarjonta joustaa rajattomasti. Asettamalla turpeen hinta

<sup>2</sup> Joidenkin polttoaineiden, kuten kivihiilen ja maakaasun, käyttö on useimpien tuotantosektorien kohdalla hyvin pieni. Yksinkertaisuuden vuoksi kaikki tuotantosektorit mallitettiin kuitenkin samalla tavalla. Turve jätettiin pois, koska sen osuus oli vähäinen kaikilla tuotantosektoreilla.

eksogeenisesti kuten tuontipolttoaineiden hinnatkin saadaan fossiilisten polttoaineiden välinen kilpailutilanne todennäköisesti kuvattua realistisemmin kuin tapauksessa, jossa turpeen hinta joustaisi vapaasti, sillä täysin joustavan hinnan muutokset olisivat todennäköisesti epärealistisen suuria. Puun hinta sen sijaan oletettiin täysin joustavaksi ja se tasapainottaa puun kysynnän ja tarjonnan.

### 2.2.3 Sähkön ja lämmön tarjonta ja kysyntä

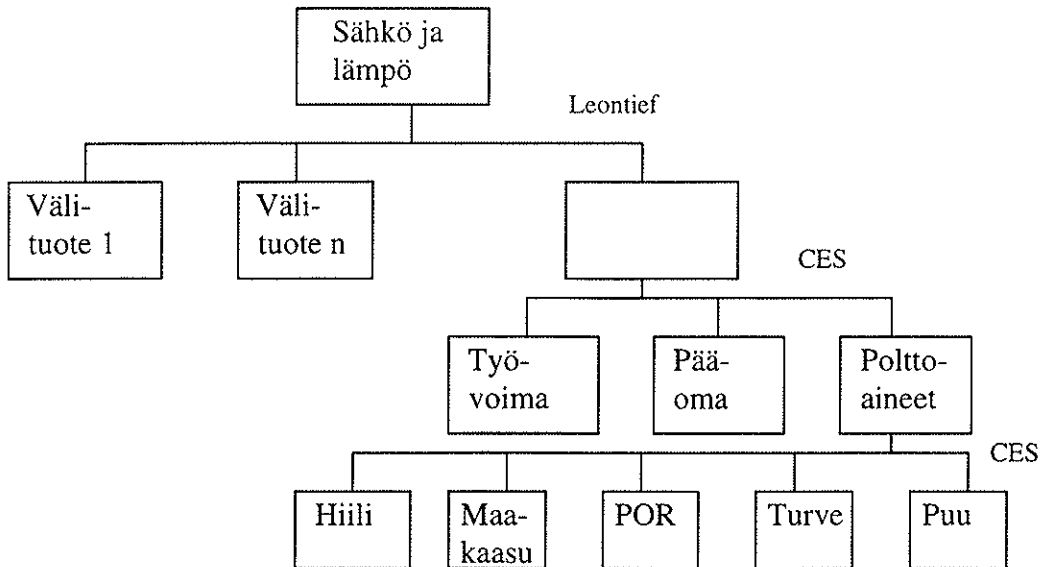
Alkuperäisessä malliversiossa sähkön tuotanto oli jaettu kahteen osaan. Ydinvoiman ja vesivoiman tuotannot sekä sähkön tuonti annettiin malliin lähtötietoina kun taas fossiililla polttoaineilla tuotetun sähkön määrä saatiin mallin tuloksena. Tämä jako säilytettiin energiasektoria kehitettäessä. Ydinvoiman lisärakentaminen on poliittinen päätös eikä vesivoiman lisärakentamiseen ole enää juurikaan mahdollisuuksia. Vesivoiman määrä vaihtelee melko paljon vuosittain, mutta vaihtelut johtuvat ilmastollisista eivätkä taloudellisista tekijöistä. Sen sijaan sähkön tuonti määräytyy nykyisin lähinnä markkinatekijöistä, joten sen määräytymistä eksogeenisesti ei voi pitää yhtä perusteltuna kuin vesi- ja ydinvoiman.

Alkuperäisessä malliversiossa sähkön tuotantoteknologia oli yksinkertaisempi kuin muilla tuotantosektoreilla kun taas lämmön tuotanto oli mallitettu kuten muut tuotantosektorit. Lämmön ja sähkön tuotannot eivät siis riippuneet toisistaan. Suomessa merkittävä osa sähköstä ja lähes kaikki lämpö tuotetaan kuitenkin yhteistuotannossa, joten sähkön ja lämmön tuotannot liittyvät läheisesti toisiinsa. Uudessa malliversiossa kaikki sähkön (pl.ydin- ja vesivoima) ja lämmön tuotanto onkin mallitettu yhdessä<sup>3</sup>. Tuotanto sisältää siis erilliset sähkön ja lämmön tuotannot sekä yhteistuotannon. Kokonaistuotanto jaetaan sähköön ja lämpöön osuusparametria käyttäen. Sähkön osuutta kasvatetaan ajan kuluessa, sillä yhteistuotannossa rakennusaste eli tuotetun sähkön ja lämmön suhde on kasvamassa.

Sähkön ja lämmön tuotantoteknologia on kuvattu Leontief-CES-funktiolla kuvion 1 mukaisesti. Tuotantopanoksina ovat eri polttoaineet, työvoima, pääoma sekä väli tuotteet<sup>4</sup>. Aluksi valitaan polttoaineiden ja seuraavaksi polttoaineaggregaatin, työvoiman ja pääoman tehokas kombinaatio suhteellisten hintojen perusteella. Väli tuotekäytöt sekä peruspanosaggregaatti ovat kiinteitä osuuksia bruttotuotannosta, joten suhteellisten hintojen muutokset eivät vaikuta niiden käyttösuhteeseen.

<sup>3</sup> Yhteistuotanto ja erillistuotannot oli alunperin tarkoitus mallittaa erikseen. Tätä ei kuitenkaan onnistuttu vielä toteuttamaan. Jatkossa tullaan mahdollisesti erottamaan myös teollisuuden ja yhdyskuntien sähkön ja lämmön tuotannot, sillä niiden polttoainekäytöt eroavat.

<sup>4</sup> Alkuperäinen malliversio ei sisältänyt väli tuotekäyttöä.



Kuvio 1. Sähkön ja lämmön tuotannon tuotantoteknologia.

Alkuperäisessä malliversiossa sähkön kysyntä riippui sen suhteellisesta hinnasta ja tuotannon/kulutuksen tasosta. Sähkö ja polttoaineet muodostivat energia-aggregaatin. Lämmön kysyntä saatiin väliuotekäyttönä, joka oli kiinteä osuus tuotannosta. Uudessa malliversiossa sekä sähkön että lämmön kysynät riippuvat niiden suhteellisista hinnoista sekä tuotannon ja kulutuksen tasoista. Sähkön ja lämmön kysynät ovat tuotantosektorien tuotantoteknologiassa samalla tasolla polttoaineaggregaatin kanssa (ks. luku 2.4). Kotitalouksien sähkön kulutus on jaettu sähkölämmitykseen ja muuhun sähköön. Sähkön (pl. lämmitys) määrä valitaan yhtä aikaa muiden hyödykkeiden kanssa kun taas sähkölämmityksen ja kaukolämmön kulutukset valitaan yhtä aikaa muiden lämmitysmuotojen kanssa.

### 2.3 Päästöt ja päästövero

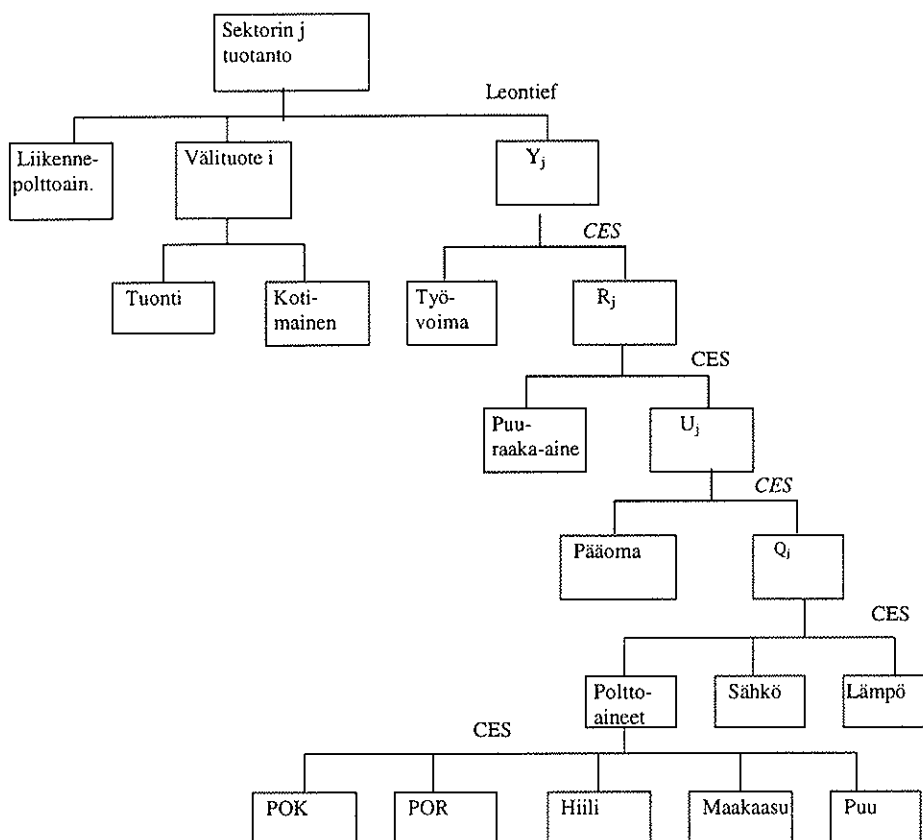
Päästöjen rajoittamista voidaan laskelmissa tarkastella kahdesta näkökulmasta. Malliin voidaan antaa tietty vero/verot, jolloin mallin avulla arvioidaan kuinka suuren päästövähennyksen annettu vero saa aikaan. Toisaalta laskelmissa voidaan kiinnittää päästötaso, jolloin malli arvioi, kuinka suuri vero tarvitaan halutun päästötason saavuttamiseksi vähimmin kokonaistaloudellisin kustannuksin.

Toisin kuin rikki- ja typpipäästöjen tapauksessa hiilidioksidipäästöjen puhdistaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Hiilidioksidipäästöjen määrä ei siis riipu teknologiasta, vaan päästöjen määrä saadaan suoraan polttoaineiden käytöstä niiden hiilipitoisuutta koskevien tietojen perusteella. Alkuperäisessä malliversiossa päästöt laskettiin sektoreittain, koska malli ei sisältänyt eri polttoaineita. Nykyisessä versiossa päästöt lasketaan puolestaan polttoainekohtaisesti käyttäen kunkin polttoaineen päästökerrointa (ks. liite 4) ja mallista määräytyvää kulutusta.

Tämän työn laskelmissa polttoaineita verotetaan niiden hiilipitoisuuden mukaan kaikilla sektoreilla rauta- ja terästeollisuutta lukuunottamatta. Vero(t) voidaan kuitenkin asettaa myös jonkin muun periaatteen mukaan ja ne voivat poiketa polttoaineittain, sektoreittain ja/tai vuosittain.

## 2.4 Tuotantoteknologia

Tuotantoteknologia on mallitettu hierarkkista Leontief-CES-funktiota käyttäen. Panokset kombinoidaan kuvion 2 mukaisesti. Tuotantosektorien käyttämät väliuotepanokset ovat kiinteitä osuuksia brutto-tuotannosta. Kunkin hyödykkeen väliuotekäyttö koostuu kotimaassa tuotetusta hyödykkeestä ja tuontihyödykkeestä. Näiden osuudet määräytyvät CES-funktion mukaisesti kotimaisen tuotantohinnan ja tuontihinnan suhteen perusteella.



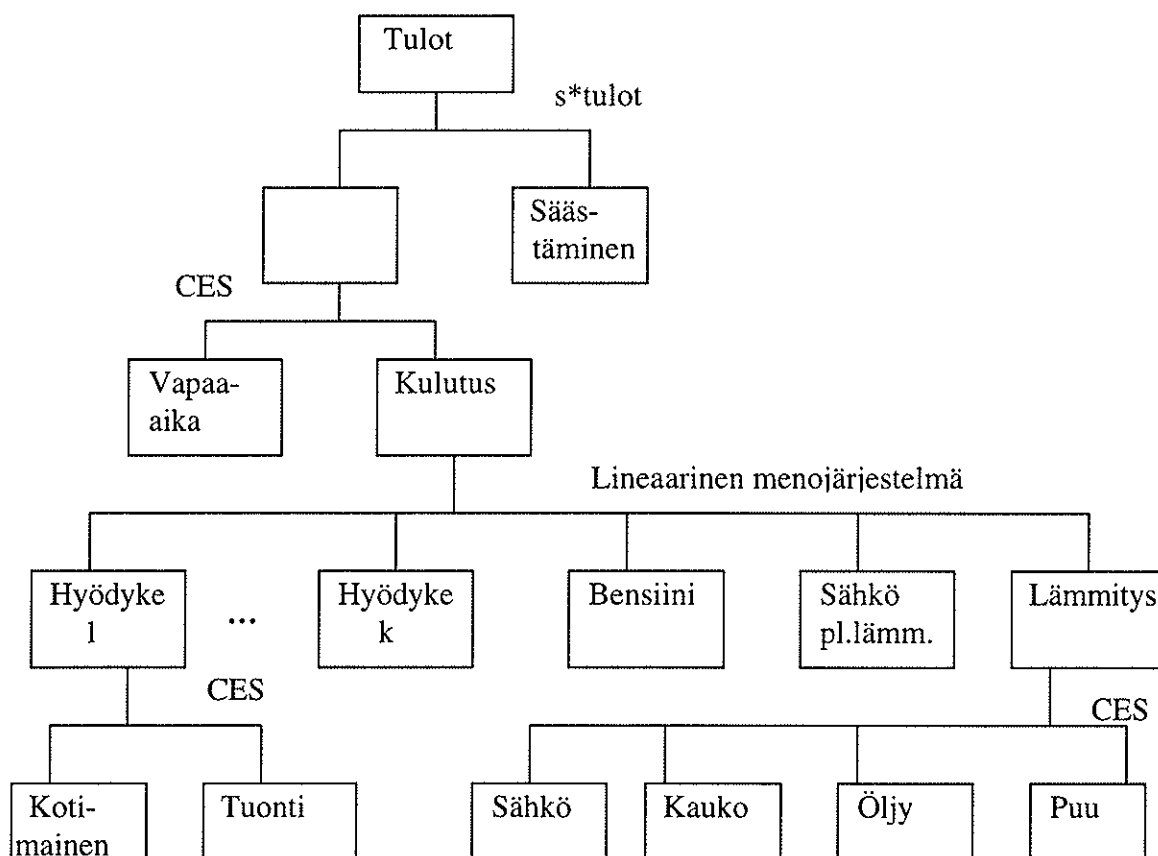
Kuvio 2. Tuotantosektorien tuotantoteknologia.

Peruspanokset kombinoidaan hierarkkista CES-funktiota käyttäen. Kullakin tasolla panosten kombinaatio määräytyy niiden suhteellisten hintojen ja korvaamismahdollisuuksien perusteella siten että kustannukset minimoituvat. Alimmalla tasolla valitaan polttoaineiden tehokas kombinaatio. Tuotantosektorien käyttämiä polttoaineita ovat kevyt polttoöljy, raskas polttoöljy, hiili, maakaasu sekä puu. Toisella tasolla valitaan polttoaineagregaatit, sähkön ja lämmön, kolmannella energian ja

pääoman, neljännellä pääoma-energia-aggregaatin ja raaka-ainepuun sekä ylimmällä puu-pääoma-energia-aggregaatin ja työvoiman tehokas kombinaatio. Peruspanosten kokonaismäärä on vakio-osuus bruttotuotannosta. Panosten välisiä korvaamismahdollisuuksia kuvaavien substituutiojoustojen arvot esitetään liitteessä 3. Tuotantosektorien luokitus esitetään puolestaan liitteessä 1.

## 2.5 Kulutus ja työn tarjonta

Malli sisältää yhden, edustavan kuluttajan, joka käyttää tulonsa säästämiseen, vapaa-aikaan ja kulutushyödykkeisiin. Kuluttajan valintaongelma esitetään kuviossa 3. Säästämisen oletetaan olevan vakio-osuus tuloista säästämisasteen määräytyessä perusvuoden aineistosta. Vapaa-ajan ja kulutushyödykkeiden kysynät riippuvat niiden suhteellisista hinnoista sekä käytettävissä olevista tuloista. Kuluttaja valitsee ensin vapaa-ajan ja hyödykkeiden kokonaiskulutuksen määrät, jonka jälkeen hän jakaa kulutukseen varaamansa tulot eri kulutushyödykkeille. Energiahyödykkeitä ovat bensiini, sähkö (pl. lämmitys) ja lämmitys. Kunkin kulutushyödykkeen kohdalla energiahyödykkeitä lukuunottamatta tehdään valinta kotimaisen hyödykkeen ja tuonti-hyödykkeen välillä. Lisäksi eri lämmitysmuotojen osuudet määräytyvät niiden suhteellisten hintojen perusteella.



Kuvio 3. Kuluttajan valintaongelma.



Kulutushyödykkeiden valinta on mallitettu lineaarista menojärjestelmää käyttäen. Linearisessa menojärjestelmässä hyödykkeiden kulutukset jakautuvat välttämättömyyskulutukseen ja suhteellisten hintojen perusteella määräytyvään kulutukseen. Lineaarinen menojärjestelmä on joustavampi kuin CES-funktio, sillä siinä tulojoustoja ei ole rajoitettu ykköseen kuten CES-funktiossa. Lisäksi hintajoustot voidaan valita vapaammin. Hyödykkeiden luokitus esitetään liitteessä 1 ja hyödykkeiden hinta- ja tulojoustot liitteessä 3. Hyödykkeiden jako kotimaiseen ja tuontikomponenttiin sekä lämmitysmuotojen valinta perustuvat puolestaan CES-funktioon.

Aiemmassa malliversiossa työn tarjonta ei määräytynyt mallista. Nykyisessä versiossa työn tarjonta määräytyy edellä kuvatusta kuluttajan ongelmasta, jossa valitaan vapaaajan määrä. Työn tarjonta saadaan tällöin potentiaalisen työvoiman tarjonnan ja vapaaajan erotuksena. Työn tarjonnan palkka- ja tulojoustot esitetään liitteessä 3. Raportissa esitetään myös vaihtoehtolaskelma, jossa reaali-palkka oletetaan jäykäksi toisin kuin peruslaskelmassa, jossa se on täysin joustava. Reaali-palkan ollessa kiinni työvoiman tarjonta oletetaan puolestaan täysin joustavaksi ja työvoiman määrä määräytyy annetulla reaali-palkalla pelkästään kysynnästä. Työvoiman tarjonta tasapainottaa siis työmarkkinat. Kuluttajan valintaongelmasta poistetaan vapaa-aika.

## 2.6 Julkinen sektori

Julkinen sektori on mallitettu kuluttajana, joka jakaa kulutuksensa eri hyödykkeisiin suhteellisten hintojen perusteella yksitasoisen CES-funktion mukaisesti. Julkisen sektorin energian kulutus sisältää sähkön, lämmön, kevyen ja raskaan polttoöljyn sekä liikennepolttoaineet. Myös julkiseen kulutukseen sisältyvä työvoima on sisällytetty julkisen sektorin hyötyfunktioon ja sen kysyntä riippuu suhteellisesta hinnasta. Mallissa siis oletetaan, että työvoima voi jossain määrin liikkua yksityisen ja julkisen sektorin välillä.

Julkisen sektorin mallitusta on parannettu lisäämällä eksplisiittinen julkisen sektorin budjettirajoitus sekä veroista työnantajan sosiaalivakuutusmaksu ja liikennepolttoaineiden polttoainevero. Ennestään mallissa on liikevaihtovero ja hyödykeverot tuotannossa sekä päästövero. Julkisen sektorin tulot koostuvat näistä verotuloista. Lisäksi julkinen sektori suorittaa tulonsiirtoja. Julkinen sektori maksaa itselleen veroa käyttämästään energiasta ja työvoimasta. Tällöin tulovaikutus kumoutuu, mutta hintavaikutus säilyy. Julkisen vallan budjetti on aina tasapainossa, joten velkaantumista ei ole käsitelty.

Verorakenteen muutoksen vaikutuksia tarkastellaan yleensä olettaen, että verokertymä ei muutu ("differential tax incidence"). Tarkastelun etuna on, että siinä pystytään erottamaan verorakenteen muutoksen vaikutukset verokertymän muutoksen aiheuttamista vaikutuksista. Koska veromuutokset muuttavat suhteellisia hintoja, verokertymä on vakioitava reaalisena. Näissä laskelmissa julkisen sektorin hyöty vakioidaan. Laskelmissa, joissa päästöverotulot käytetään sova-maksun alentamiseen, reaaliset tulonsiirrot pidetään referenssiskenaarion tasolla.

## 2.7 Ulkomaankauppa

### 2.7.1 Yleistä

Ulkomaankauppaa mallitettaessa voidaan olettaa, että kotimaiset ja ulkomaiset tuotteet ovat joko homogeenisia tai heterogeenisia. Oletukset tuotteiden suhteesta eri markkinoilla vaikuttavat siihen, onko pienen maan oletus voimassa. Pienen maan oletus tarkoittaa, että vaihtosuhte eli vienti- ja tuontihintojen suhde on annettu. Vientikysyntä ja tuontitarjonta ovat täysin joustavia, joten pieni maa voi annetulla maailmanmarkkinahinnalla tuoda tai viedä haluamansa määrän.

Perinteisissä kaupan teorian malleissa kotimaiset ja ulkomaiset tuotteet ovat homogeenisia. Tähän oletukseen perustuva yleisen tasapainon malli tuottaa kuitenkin tuloksia, joita on yleisesti pidetty epärealistisina. Taloudessa tapahtuu huomattavaa erikoistumista, sillä useilla sektoreilla tuotanto tulee kannattamattomaksi ja kotimainen kysyntä tyydytetään kokonaan tuonnilla. Teoreettisesti on osoitettu, että tuotantoa voi olla vain niin monella sektorilla kuin mallissa on panoksia. Lisäksi tällaisessa mallissa ei voida tarkastella ristikkäiskauppaa, joka kuitenkin muodostaa merkittävän osan kaupankäynnistä.

Numeerisissa yleisen tasapainon malleissa käytetäänkin yleisesti ns. Armingtonin oletusta (Armington, 1969). Armington-oletuksen mukaan kotimaiset ja ulkomaiset hyödykkeet eivät ole täydellisiä substituutteja. Tästä seuraa, että kotimaiset ja ulkomaiset hinnat voivat poiketa toisistaan. Tuontikysynnässä Armington-oletus ei riko pienen maan oletusta, sillä tuontihinta määräytyy maailmanmarkkinoilta eikä kotimaa voi siis vaikuttaa siihen. Kotimainen hinta voi kuitenkin poiketa tuontihyödykkeen maailmanmarkkinahinnasta. Sen sijaan viennissä Armington-oletus on ristiriidassa pienen maan oletuksen kanssa, sillä Armington-oletusta käytettäessä vientihinta voi poiketa maailmanmarkkinahinnasta eikä vaihtosuhte ole enää annettu. Tällöin vientiä verottamalla voidaan kasvattaa hyvinvointia. Vaihtosuhteivaikutus voidaan estää käyttämällä korkeita viennin hintajoustoja, sillä mitä korkeampi viennin hintajousto on, sitä riippuvaisempi vientihinta on maailmanmarkkinahinnasta. Yleisempi ratkaisu vaihtosuhteivaikutuksen estämiseksi on kuitenkin jäykkyyden lisääminen tarjontapuolelle Armington-vientikysynnän käyttämisen sijaan. Tämä tehdään olettamalla, että kotimaiseen kysyntään ja vientiin menevät tuotteet eivät ole homogeenisia. Tällöin vientihinta määräytyy maailmanmarkkinoilta, jolloin vaihtosuhteeseen ei pystytä vaikuttamaan. Kotimainen hinta voi kuitenkin poiketa vientihinnasta.

### 2.7.2 Ulkomaankauppa mallissa

Tuotantosektorien tuonti ja vienti on mallitettu käyttäen Armington-oletusta. Viennin ja tuonnin joustojen valitseminen on ongelmallista. Bergmanin (1991) Ruotsia kuvaavassa malliversiossa, johon julkaisussa Jerkkola ym. (1993) raportoitu malliversio suurelta osin perustuu, perusmetalli- ja kemianteollisuus sekä paperi- ja selluteollisuus ottavat maailmanmarkkinahinnan annettuna. Viennin hintajousto on siis ääretön. Myös muilla sektoreilla viennin hintajousto on oletettu melko korkeiksi antamalla niille arvoksi -5. CGE-malleissa, joissa vienti on kuvattu Armington oletusta käyttäen

viennin hintajoustopot ovatkin yleensä olleet korkeita vaihtosuhteivaikutuksen estämi-  
seksi (ks. esim. Harrison ja Kriström, 1997). Bergmanin (1991) mallissa tuonti-  
aggregaatti oli vakio-osuus bruttotuotannosta. Tuonin ja kotimaisen hyödykkeen  
väliset substituutiojoustopot ovat CGE-malleissa olleet yleensä hyvin pieniä myös pien-  
ten avotalouksien tapauksessa.

Tässä työssä tuotantosektorit on jaettu kahteen ryhmään käyttämällä niille varsin  
erilaisia joustopojen arvoja. Ensimmäisen ryhmän sektorien on oletettu olevan huo-  
mattavasti herkempiä kustannustenmuutoksille kuin toisen ryhmän sektorien. Jos  
niiden hinnat poikkeavat maailmanmarkkinahinnasta, ne menettävät siis vienti-  
markkinoilla selvästi enemmän markkinaosuuttaan kuin toisen ryhmän sektorit.  
Peruslaskelmissa joustopoiksi on asetettu -10. Toiseen ryhmään kuuluvat sektorit voivat  
siirtää kustannusten nousua hintoihinsa huomattavasti enemmän. Hintajoustopo on  
tällöin huomattavasti pienempi. Viennin hintajoustopoille on annettu arvo -2. Tuonin  
substituutiojoustopot ovat "hinnanottajasektoreiden" tuottamille hyödykkeille 10 ja  
muille hyödykkeille 2/1.5.

Sektoreita/hyödykkeitä, joilla viennin/tuonin joustopot on oletettu melko korkeiksi  
ovat:

- rauta- ja terästeollisuus
- muu perusmetalliteollisuus
- teollisuuskemikaalien valmistus
- lannoitteiden valmistus
- muu kemianteollisuus
- massa- ja paperiteollisuus
- paperituotteiden valmistus

Sektorijakoa muodostettaessa on käytetty hyväksi Sukselaisen (1986)<sup>5</sup> sekä Honka-  
tukian (1993,1995)<sup>6</sup> tutkimuksia. Kemianteollisuuden sekä perusmetalliteollisuuden  
hinnat seurasivat Sukselaisen mukaan kiinteästi ulkomaisia hintoja. Myös Honka-  
tukian (1995) mukaan nämä sektorit olisivat suhteellisesti herkimpiä kustannus-  
tenmuutoksille. Massa- ja paperiteollisuuden hinnoitteluun vaikuttivat Sukselaisen  
mukaan sekä ulkomaiset hinnat että kysyntä sekä tuotantokustannukset. Honkatukian  
(1993 ja 1995) mukaan massa- ja paperiteollisuus oli jossain määrin riippuvainen  
maailmanmarkkinahinnoista. Massa- ja paperiteollisuuden hintajoustopojen suhteen on  
CGE-mallilla tehty herkkyysanalyysia. Massa- ja paperiteollisuus on laskelmien  
kannalta tärkeä sektori, sillä se käyttää huomattavan osan sähköstä.

CGE-mallissa on oletettu, että vaihtotase on kiinni, ja valuuttakurssi tasapainottaa  
vaihtotaseen. Valuuttakurssi on siis joustava. Kiinteä kurssi voitaisiin helpoimmin  
mallittaa olettamalla vaihtotaseen vaje endogeeniseksi. Tällöin maa voisi kuitenkin  
velkaantua rajattomasti, joten lähestymistapaa ei voida pitää suositeltavana.

<sup>5</sup> Tutkimuksessa tarkasteltiin Suomen tehdasteollisuuden hinnanmuodostuksen keskeisimpiä piirteitä.  
Vientihintojen muutoksia selitettiin ulkomaisten kilpailijoiden hintojen, tuotantokustannusten sekä  
kysynnän muutoksilla.

<sup>6</sup> Honkatukia (1993) on tarkastellut vientiteollisuuden markkinavoimaa ristikkäiskaupan teorioiden ja  
estimoidun kysynnän perusteella. Tulosten mukaan teollisuudessa on löydettävissä tuotedifferointia ja  
epätäydellistä kilpailua. Vahvin evidenssi tästä on metallituoteollisuudessa. Honkatukia (1995) on  
estimoinut viennin hintajoustopot ja mark up-termit eri toimialoille.

Mallin oletukset tuonnista, viennistä ja vaihtotaseesta ovat seuraavat:

1. Tuontikysyntä: Tuontihyödykkeet ovat epätäydellisiä substituutteja kotimaisten hyödykkeiden kanssa Armington-oletuksen mukaisesti.
2. Vientikysyntä: Viennin kysyntäkäyrä on alaspäin laskeva Armington-oletuksen mukaisesti. "Hinnanottajasektoreilla" vientikysyntä on hinnan suhteen melko joustava.
3. Tuontitarjonta on täysin joustava "pienen maan" oletuksen mukaisesti.
4. Vientitarjonta: Kotimaahan tuotetut hyödykkeet ovat täydellisiä substituutteja vientiin tuotettujen hyödykkeiden kanssa.
5. Vaihtotase on eksogeenisesti annettu.

## 2.8 Dynamiikka ja säästämis-investointikäyttäytyminen

Julkaisussa Jerkkola ym. (1993) raportoitu malliversio on staattinen. Staattisella mallilla voidaan tehdä ns. komparatiivista statiikkaa eli verrata kahta tasapainotilaa toisiinsa. Malli ei siis tuota uraa, jolla tasapainoon päästään. Staattisella mallilla voidaan kuitenkin tehdä myös ns. kvasidynaamisia simulointeja, jolloin talouden kehitys annetaan malliin eksogeenisesti. Tällöin ei pystytä kuitenkaan ottamaan huomioon esim. päästöveron vaikutusta pääomakannan muutokseen. Staattinen malli muutettiin rekursiivisesti dynaamiseksi yhteistyössä Pekka Sulamaan kanssa (ks. Sulamaa ja Pohjola, 1995). Rekursiivisesti dynaamisesta mallista saadaan sarja tasapainoja eli aikaura. Tasapainot kullakin periodilla ovat kuitenkin toisistaan riippumattomia siinä mielessä, että päätöksenteossa ei ole otettu huomioon periodien vaikutusta toisiinsa eli päätöksiä vaikutusta tulevaisuuteen. Tämän työn laskelmissa käytetyn CGE-mallin dynamiikka muodostuu siis vain pääoman ja puuvarannon kumuloitumisyhtälöistä.

Pääomakannan kumuloituminen määräytyy säästämisen kautta. Yritysten investointipäätöksiä ei ole mallitettu vaan investoinnit määräytyvät säästämisestä. Kokonais-säästäminen sisältää kotitalouksien säästämisen, ulkomaisen säästämisen ja kulumi-sen. Kotitalouksien säästäminen on vakio-osuus tuloista kun taas ulkomainen sääs-täminen on eksogeenisesti annettu<sup>7</sup>.

Pääoman on oletettu olevan homogeenista eikä sektorikohtaista. Täten se voi vapaasti allokoitua joka periodilla. Pääoman hinta on siis sama jokaisella sektorilla. Tämä oletus on yleinen teollisuusmaita koskevissa malleissa, koska se on konsistentti täydellisten pääomamarkkinoiden oletuksen kanssa. Sen sijaan kehitysmaiden mal-leissa oletetaan usein, että pääoma on sektorikohtaista. Myös Sulamaan ja Pohjolan (1995) mallissa pääoma oli sektorispesifi. Tällöin pääoman sektorikohtaiset tuotto-

<sup>7</sup> Laskelmissa se on oletettu nollassa.

asteet joustivat laskelmissa huomattavasti. Pääoman jäykkyys aiheutti sen, että malli ei pystynyt löytämään ratkaisua kovinkaan suurilla päästövähennyksillä.

Koska pääoma ei ole sektorikohtaista, investoinnit lisäävät kokonaispääomakantaa. Investoinnit koostuvat lähinnä kone- ja laiteinvestoinneista, rakennusinvestoinneista sekä tuonti-investoinneista (koneet ja laitteet). Arvo-osuudet on annettu eksogeenisesti. Reaalisiin investointeihin vaikuttavat sekä tulojen että hintojen muutokset. Jos kotitalouksien tulot esim. alenevat, säästäminen ja sitä kautta investointeihin käytettävät varat vähenevät. Jos taas investointihyödykkeet esim. halpenevat, reaaliset investoinnit kasvavat.

### 3 LASKELMISTA

#### 3.1 Keskeiset oletukset

Laskelmissa tarkastellaan CO<sub>2</sub>-päästöjen<sup>8</sup> rajoittamisen taloudellisia vaikutuksia. Taloudellisia vaikutuksia tarkastellaan yksityiskohtaisesti tilanteessa, jossa päästöt vähennetään vuoden 1990 tasolle vuonna 2010. Lisäksi muodostetaan päästöjen vähentämisen rajakustannuskäyrä sekä arvioidaan päästöveron suuruus ja BKT:n ja hyvinvoinnin muutokset eri päästövähennystasoilla.

Peruslaskelman keskeisiä oletuksia ovat:

- Päästöjä vähennetään yksipuolisesti, jolloin energiaintensiivisten vientisektorien kilpailukyky maailmanmarkkinoilla heikkenee.
- Kaikkia polttoaineita verotetaan kaikilla sektoreilla hiilipitoisuuden mukaan. Poikkeuksen muodostavat rauta- ja terästeollisuuden käyttämät polttoaineet, jotka ovat verotuksen ulkopuolella nykykäytännön mukaisesti<sup>9</sup>.
- Referenssiskenaariossa ei ole nykyisiä energiaveroja. Liikennepolttoaineisiin kohdistuu kuitenkin fiskaalinen polttoainevero.
- Päästöverotulot palautetaan kotitalouksille könttäsummatulonsiirtona.

Tulosten kannalta keskeisimpiä mallin rakenteeseen liittyviä oletuksia ovat peruslaskelmassa puolestaan:

- Kaikki panokset voivat liikkua vapaasti sektorilta toiselle kullakin periodilla.
- Hinnat ovat täysin joustavat.
- Työttömyyttä ei esiinny.
- Osa sektoreista ei voi juurikaan vaikuttaa maailmanmarkkinahintaan, osa taas pystyy siirtämään kustannustennousua hintaansa menettämättä markkinaosuuttaan.
- Ympäristöhyötyjä ei oteta huomioon hyvinvointivaikutuksia arvioitaessa.

Koska ympäristöhyötyjä ei oteta huomioon, päästöjen rajoittaminen aiheuttaa kustannuksia eli hyvinvointi alenee. Poikkeuksen voi kuitenkin muodostaa tilanne, jossa päästöverotulot käytetään toisen vääristävän veron alentamiseen. Jos hyvinvointi tällöin kasvaa referenssiskenaarioon verrattuna, saavutetaan ns. kaksoishyöty (double dividend).

Herkkyystarkasteluissa arvioidaan sekä laskelmiin että mallin rakenteeseen liittyvien oletusten merkitystä. Ensimmäisessä vaihtoehtolaskelmassa päästöverotulot käytetään työnantajan sosiaalivakuutusmaksun alentamiseen. Toisessa laskelmassa myös rauta- ja terästeollisuuden päästöjä verotetaan. Tällöin sen kilpailukyky maailmanmarkkinoilla heikkenee, mutta toisaalta verotus on päästöjen vähentämisen kannalta tehokkaampaa. Laskelmassa, jossa reaali-palkka oletetaan jäykäksi, voi esiintyä työt-

<sup>8</sup> Päästöt sisältävät vain fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuneet päästöt. Tulevassa päästösopimuksessa saatetaan kuitenkin ottaa huomioon myös hiilinielut.

<sup>9</sup> Metallurgisissa prosesseissa käytettävä kivihiili on verovapaata. Tämä käytäntö on voimassa niissä Euroopan maissa, joissa kivihiiltä verotetaan. Lisäksi rauta- ja terästeollisuuden raskaan polttoöljyn käyttö on raaka-ainekäyttöä, joka on verotuksen ulkopuolella.

tömyyttä. Hyvinvointivaikutusten on havaittu riippuvan merkittävästi viennin hintajoustoista. Herkkyytstarkastelussa massa- ja paperiteollisuuden viennin hintajoustoja pienennetään, jolloin se pystyy vaikuttamaan maailmanmarkkinahintaan. Viennin hintajoustojen vaikutusta arvioidaan myös nostamalla viennin hintajoustojen arvoja kaikilla ”hinnanottajasektoreilla”. Lisäksi tulosten herkkyyttä tarkastellaan energia- muotojen välisten substituu-tiojoustojen sekä työn tarjonnan palkkajouston suhteen.

Mallin perusvuotena on vuosi 1990. Malli ratkaistaan viiden vuoden välein. Tuloksia tarkastellaan lähinnä vuoden 2010 osalta. Keskeisimmät tulokset on raportoitu myös vuosille 2000 ja 2020. Ensin ratkaistaan ns. referenssiskenaario ja tämän jälkeen päästörajoiteskenaario. Päästörajoitteen vaikutukset saadaan selville vertaamalla näitä skenaarioita. Tulokset raportoidaan vertaamalla päästörajoiteskenaariion lukuja vastaavan vuoden referenssiskenaariion lukuihin. Esimerkiksi jos BKT alenee 1 % vuonna 2010, se tarkoittaa että BKT on päästörajoiteskenaariossa 1 % referenssiskenaariota alemmalla tasolla vuonna 2010. Myös hintojen muutokset raportoidaan suhteessa referenssiskenaarioon. On kuitenkin muistettava, että koska mallista määräytyvät vain suhteelliset hinnat, yksittäisten hintojen samoin kuin nimellisten muuttujien muutokset referenssiskenaarioon verrattuna riippuvat siitä, mikä muuttuja kiinnittää mallin hintatason eli toimii ns. numerairena<sup>10</sup>. Koska numerairena on käytetty kulutushintaindeksiä, hintojen muutokset tarkoittavat ko. hinnan muutosta suhteessa kulutushintaindeksiin.

### 3.2 Päästöveron vaikutuskanavat

Päästöjä voidaan laskelmissa käytetyssä CGE-mallissa vähentää siirtymällä päästö-intensiivisistä polttoaineista vähemmän päästöjä aiheuttaviin polttoaineisiin sekä vähentämällä polttoaineiden kokonaiskulutusta. Polttoaineiden kokonaiskulutusta voidaan vähentää korvaamalla polttoaineita sekä sähköä ja lämpöä muilla tuotannon-tekijöillä tuotannossa sekä muilla hyödykkeillä kulutuksessa, muuttamalla tuotanto-rakennetta sekä alentamalla tuotannon ja kulutuksen tasoa. Mallissa ei sen sijaan oteta huomioon energian säästön vaikutusta päästöihin.

Mallilaskelmissa päästöjä vähennetään päästöveron avulla. Päästövero nostaa suoraan polttoaineiden hintoja sekä välillisesti sähkön ja lämmön hintoja muuttaen suhteellisia hintoja sekä tuotannossa että kulutuksessa. Päästöverot vääristävät siis panos- ja kulutushyödykevalintoja<sup>11</sup>. Suhteellisten hintojen muutokset aiheuttavat kulutuksessa ja tuotannossa siirtymää energiaintensiivisistä panoksista ja hyödykkeistä muihin panoksiin ja hyödykkeisiin.

Koska substituu-tiomahdollisuudet ovat rajalliset, energiakustannusten nousu nostaa tuotantokustannuksia. Kotimaiset tuotantohinnat riippuvat maailmanmarkkinahinnoista, koska sekä viennissä että tuonnissa kotimaisia ja ulkomaisia hyödykkeitä voidaan korvata toisillaan. Muiden panosten hintoihin aiheutuukin painetta joustaa alaspäin, jotta kilpailukyky säilyisi suhteessa ulkomaisiin hyödykkeisiin. Koska tuo-

<sup>10</sup> Esimerkiksi peruslaskelmassa työvoiman hinta alenee 2.9 % ja pääoman 5.6 % kun numerairena on ostovoimaindeksi. Pääoman hinta laskee siis työvoiman hintaan verrattuna 2.7 %. Jos numerairena olisikin käytetty työvoiman hintaa, se ei olisi muuttunut ja pääoman hinta olisi alentunut 2.7 %.

<sup>11</sup> Mallissa ei oteta huomioon päästöjen vähenemisestä aiheutuvaa hyötyä.

tantosektorien kustannusrakenteet eroavat merkittävästi, myös niiden suhteelliset tuotantokustannukset muuttuvat. Energiaintensiivisten tuotantosektorien kannattavuus heikkeneekin suhteessa työ- ja pääomaintensiivisiin sektoreihin, joten tuotantorresursseja kannattaa siirtää energiaintensiivisiltä sektoreilta työ- ja pääomaintensiivisille sektoreille.

Mitä suuremmat substituutiomahdollisuudet ovat, sitä pienemmällä suhteellisten hintojen muutoksilla päästöjä saadaan vähennettyä. Päästövero jää tällöin pienemmäksi. Muiden panoshintojen joustotarve on sitä suurempi, mitä vähemmän tuotantosektorit pystyvät siirtämään kustannustennousua hintoihinsa. Tuotantorakenteen muutoksen laajuus riippuu mm. siitä, onko mallissa sektorispesifejä panoksia. Sektorispesifit panokset aiheuttavat jäykkyyttä substituutiomahdollisuuksista riippuen. Koska näissä laskelmissa on oletettu, että kaikki panokset voivat liikkua vapaasti sektorilta toiselle kullakin periodilla, tuotantorakenteessa voi tapahtua suuriakin muutoksia.

Koska panosten korvaamismahdollisuudet ovat rajoitetut, kotimaisten energiaintensiivisten hyödykkeiden hinnat nousevat ja työ- ja pääomaintensiivisten hyödykkeiden hinnat laskevat suhteessa vastaaviin ulkomaisiin hyödykkeisiin. Sekä vienti- että tuontikysynnöissä tapahtuu siirtymistä kotimaisten ja ulkomaisten hyödykkeiden välillä suhteellisten hintojen muutosten mukaisesti. Kotimaassa kulutettavien hyödykkeiden suhteellisten hintojen muutokset eivät olekaan yhtä suuret kuin kotimaan tuotantohintojen muutokset, sillä tuontihinnat lieventävät jossain määrin vaikutusta. Kysynnässä tapahtuu siirtymää energiaintensiivisistä hyödykkeistä työ- ja pääomaintensiivisiin hyödykkeisiin. Suhteellisten hintojen lisäksi hyödykkeiden kysyntään vaikuttaa myös tulojen muutos. Päästövero alentaa reaalisia tuloja ja siten kotimaista kysyntää. Vientikysyntä ei sen sijaan muutu tulojen muutoksen takia, koska päästöjä rajoitetaan yksipuolisesti. Energiaintensiivisten hyödykkeiden kysyntä vähenee, sillä ne kärsivät sekä suhteellisten hintojen että tulojen muutoksesta. Tulojen alenemisen kautta tuleva vaikutus jää kuitenkin sitä vähäisemmäksi, mitä suurempi osuus tuotannosta menee vientiin. Työvoima- ja pääomaintensiivisten pääosin vientiin menevien hyödykkeiden kysyntä todennäköisesti lisääntyy, sillä ne hyötyvät suhteellisten hintojen muutoksesta vientimarkkinoilla kun taas kotimaan reaalityulojen alenemisen aiheuttama negatiivinen vaikutus jää vähäiseksi. Sen sijaan kotimarkkinoilla kulutettavat työ- ja pääomaintensiiviset hyödykkeet kärsivät tulojen alenemisesta, mutta hyötyvät suhteellisten hintojen muutoksesta.

Tuotannossa käytettäviä primääripanoksia mallissa ovat työvoima, pääoma, puu, sähkövaranto sekä turve. Päästövero vaikuttaa työn tarjonnan ja vapaa-ajan suhteeseen ja siten tuotannossa käytettävän työpanoksen määrään. Päästövero onkin työvoiman implisiittinen vero. Pääoman määrä on annettu kullakin periodilla, mutta päästöjen rajoittaminen vaikuttaa seuraavien periodien pääomakantaan investointien kautta. Päästövero vääristää siis talouden kehitystä yli ajan, koska se vaikuttaa pääomahyödykkeiden tuotantokustannuksiin. Lisäksi päästövero vääristää myös puun ja turpeen tarjontaa.



### 3.3 Referenssiskenaario

Dynaamisen kalibroinnin yleisperiaatteita käsittelevät mm. Pereira ja Shoven (1988). Referenssiskenaario voidaan muodostaa kahdella tavalla. Yleisemmin käytetty tapa on kalibroida malli siten, että referenssiskenaariossa ollaan tasapainoisen kasvun uralla, jossa suhteelliset hinnat eivät muutu. Tällöin talouden kaikki sektorit kasvavat samaa vauhtia. Rekursiivisesti dynaamista mallia ja tasapainoisen kasvun uran muodostamista tarkastelevat esimerkin valossa Ballard ym. (1985). Tasapainoisen kasvun uraa on pidetty tulosten tulkinnan kannalta selkeämpänä, koska se voidaan johtaa kasvuteoriasta. Tasapainoisen kasvun urasta on toisinaan kuitenkin luovuttu, koska on haluttu, että referenssiskenaario jäljittelisi ennustetta talouden todellisesta kehityksestä. Pereira ja Shoven kutsuvat tätä kvalitatiiviseksi kalibroinniksi.

Tässä tutkimuksessa referenssiskenaarion haluttiin noudattavan tasapainoisen kasvun uraa<sup>12</sup>. Jos taloudessa olisi vain pääomakantavaranto, säästämisaste voitaisiin kalibroida siten, että tasapainoisen kasvun ura saavutettaisiin automaattisesti. Tutkimuksen mallissa on kuitenkin pääomakannan lisäksi endogeenisesti kehittyvä puuvaranto sekä eksogeeninen sähkön tuotantokapasiteetti, jota ei haluttu kasvattaa. Mallin kalibroiminen siten että tasapainoisen kasvun ura saavutettaisiin automaattisesti on tällöin hyvin hankalaa tai jopa mahdotonta. Ura, jossa suhteelliset hinnat pysyvät lähes muuttumattomina, onkin muodostettu kokeilujen kautta.

Polttoaineiden maailmanmarkkinahintojen ei oleteta muuttuvan reaalisesti referenssiuralla. Turpeen hinta on mallissa eksogeeninen (ks. luku 2.2.2) ja myös se pidetään reaalisesti perusvuoden tasolla. Koska polttoaineiden suhteelliset hinnat eivät muutu, teknistä kehitystä ei ole mallitettu ja tuotantosektorit kasvavat samaa vauhtia, kaikkien polttoaineiden kulutukset kasvavat referenssiskenaariossa talouden yleisen kasvuvauhdin mukaan. Tästä seuraa että vaikka öljyn kulutus on vähentynyt 1970-luvun öljykriisistä lähtien, mallin referenssiskenaariossa tämä trendi ei jatku.

Referenssiskenaarion parametriarvot valittiin siten, että vuoden 2010 kokonaispäästöt saadaan energiasektorimallien tuottamien arvioiden tasolle. Referenssiskenaario on tehty olettaen, että CO<sub>2</sub>-päästöjä ei veroteta eli että niihin ei kohdistu nykyisin voimassa olevia veroja. Liikennepolttoaineisiin kohdistuu kuitenkin polttoainevero, joka on fiskaalinen eikä ympäristövero. CO<sub>2</sub>-päästöt referenssiskenaariossa on esitetty taulukossa 3.1. sekä kuviossa 4 (s.19). Vuoden 1990 jälkeiset päästöt ovat mallin tuottamia arvioita, jotka siis riippuvat referenssiskenaarion oletuksista. CO<sub>2</sub>-päästöt ovat mallissa 79 Mt vuonna 2010. Tämä on lähellä EFOM-mallin tuottamaa arviota (81 Mt) tapauksessa, jossa energia- ja hiilidioksidiveroja ei oteta käyttöön eikä lisäydinvoimaa rakenneta (ks. Lehtilä ja Pirilä 1993, s.64). Esim. KTM:n energiamaarkkina-skenaariossa (ks. Energiatalous 2025, 1997) oletetaan, että nykyiset ympäristöverot ovat voimassa, jolloin päästöt jäävät alhaisemmalle tasolle.

<sup>12</sup> Tulosten tulkintaan liittyvien etujen lisäksi tasapainoisen kasvun uran käytöllä on myös käytännöllisiä etuja. Tasapainoisen kasvun ura helpottaa nimittäin herkkyysanalyysin tekoa. Jos suhteelliset hinnat muuttuisivat referenssiskenaariossa, tästä seuraisi, että joustojen arvojen muuttaminen vaikuttaisi referenssiskenaarioon. Tällöin esim. päästöt olisivat aina eri tasolla riippuen käytetyistä joustojen arvoista.

Taulukko 3.1. CO<sub>2</sub>-päästöt referenssi-skenaariossa, Mt CO<sub>2</sub>.

1990	52.1
2000	64.3
2010	78.8
2020	96.0

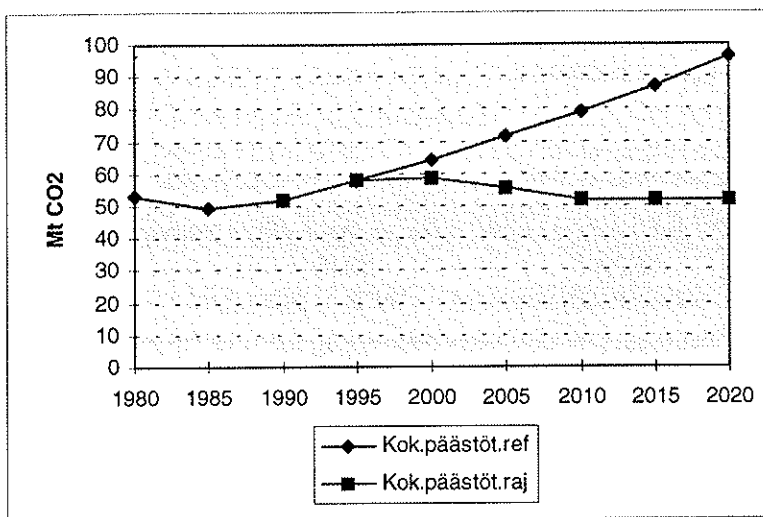
Päästöt saadaan EFOM-mallin arvion tasolle asettamalla talouden yleiseksi kasvuvauhdiksi n. 1.7 % vuodessa. Bruttokansantuote kasvaa siis hieman hitaammin kuin on ennustettu. Koska mallissa energiatehokkuuden paranemista ei ole otettu huomioon toisin kuin EFOM-mallin em. skenaariossa, talouden kasvun on oltava ennustettua alhaisempaa päästöjen saamiseksi ennustetulle tasolle. Jotta kasvuvauhdiksi saadaan 1.7 %, työvoimaa ja vientikysyntöjä kasvatetaan eksogeenisesti 1.7 % vuodessa. Työvoiman kasvu voidaan tulkita tuottavuuden kasvuksi. Pääomakanta saadaan kasvamaan samaa vauhtia valitsemalla kulumisaste sopivasti. Ydin- ja vesivoimalla tuotetun sähkön määrä haluttiin pitää perusvuoden tasolla. Tällöin sähkö tulee niukemmaksi hyödykkeeksi ja sen suhteellinen hinta nousee. Tämän estämiseksi sähkön osuutta sähkön ja lämmön yhteistuotannosta nostetaan ajan kuluessa. Vaihtotaseen on oletettu olevan tasapainossa jo perusvuonna.

Koska kaikkien polttoaineiden kulutukset lisääntyvät talouden yleisen kasvuvauhdin mukaisesti, myös eri polttoaineiden päästöt kasvavat samaa vauhtia. Päästöjen kehitys esitetään polttoaineittain kuviossa 5 (s.21). Vuosien 1980 ja 1985 päästöt perustuvat "Energia ja päästöt"-julkaisuun<sup>13</sup>, vuoden 1990 päästöt on laskettu CGE-mallia varten laaditun aineiston polttoaineiden kulutustiedoista (ks. liite 4) ja vuodesta 1995 alkaen päästöt ovat CGE-mallin tuottama arvio.

<sup>13</sup> Vuonna 1990 CGE-mallin päästöt eivät täysin vastanneet "Energia ja päästöt"-julkaisun päästötietoja. Tästä syystä vuosien 1980 ja 1985 päästöjä on muutettu CGE-mallin ja julkaisun päästöjen suhdetta käyttäen.

## 4 CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN RAJOITTAMINEN VUODEN 1990 TASOLLE VUONNA 2010

Seuraavissa laskelmissa CO<sub>2</sub>-päästöt rajoitetaan vuoden 1990 tasolle eli 52.1 milj. tonniin vuonna 2010, jonka jälkeen ne pidetään tällä tasolla. Päästöjen rajoittaminen aloitetaan asteittain jo vuonna 2000, jolloin niiden sallitaan kuitenkin edelleen kasvaa hieman edelliseen periodiin eli vuoteen 1995 verrattuna. Kuviossa 4 esitetään kokonaispäästöt referenssi- ja päästörajoiteskenaarioissa. Koska päästöt ovat mallissa 78.8 Mt vuonna 2010 (ks. luku 3.3) ja 96 Mt vuonna 2020, on päästöjä vastaavasti vähennettävä 26.7 Mt eli 34 % vuonna 2010 ja 43.9 Mt eli 46 % vuonna 2020. Peruslaskelmassa päästöverotulot palautetaan könttäsummatulonsiirtona kotitalouksille.



Kuvio 4. Hiilidioksidipäästöt referenssi- ja rajoiteskenaarioissa, Mt CO<sub>2</sub>.

### 4.1 Peruslaskelma

#### 4.1.1 Päästövero sekä vaikutukset päästöihin ja polttoaineiden hintoihin ja kulutuksiin

Päästöjen rajoittamisen vaikutukset päästöihin ja polttoaineiden kulutuksiin esitetään kuviossa 5 ja taulukossa 4.1. Päästörajoitteen saavuttamiseksi tarvittavan päästöveron suuruus esitetään taulukossa 4.1. Bruttopäästöt saadaan laskelman mukaan vuoden 1990 tasolle (52.1 Mt CO<sub>2</sub>) vuonna 2010 verolla, jonka suuruus on 275 mk/t CO<sub>2</sub><sup>14</sup>. Vuonna 2020 veron tulisi olla 538 mk/t CO<sub>2</sub>. Vuonna 2010 hiilen kulutus ja päästöt<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Koska päästövero on mallitettu yksikköverona todellisuudenmukaisesti, sen suuruus riippuu numerairien valinnasta. Numeraireksi kutsutaan hintaa, joka kiinnittää mallin hintatason eli johon hinnat suhteutetaan. Laskelmissa numerairena käytetään ostovoimaindeksiä. Käytettäessä valuuttakurssia numerairena ostovoimaindeksin sijaan päästöveron suuruus on 277 mk/t CO<sub>2</sub>. Vero on lähes samansuuruinen, koska tässä laskelmassa valuuttakurssin ja ostovoimaindeksin suhde pysyy lähes samana. Näin ei kuitenkaan välttämättä ole. Jos taas hinnat suhteutettaisiin työvoiman hintaan, joka alenee suhteessa ostovoimaindeksiin 4 %, päästöveron suuruus olisi 286 mk/t CO<sub>2</sub>.

<sup>15</sup> Kulutuksen ja päästöjen prosenttimuutos on sama, koska päästöt saadaan kertomalla kulutus päästökertoimella, joka on vakio.

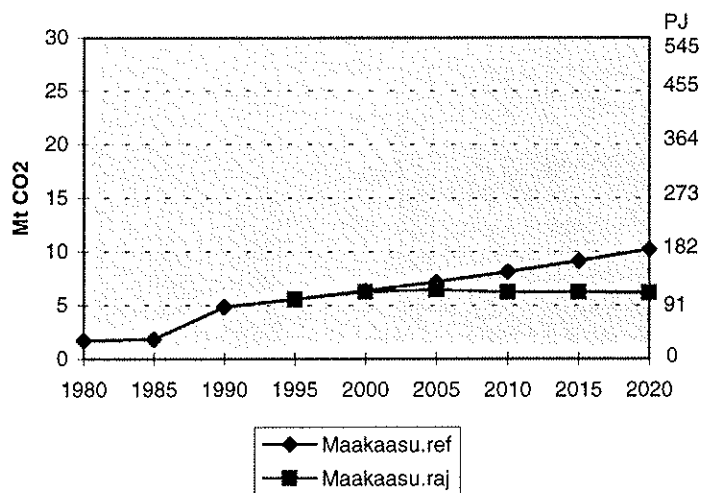
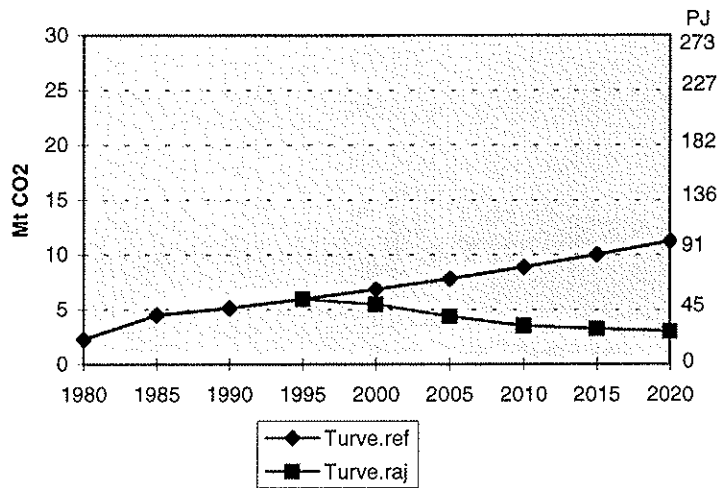
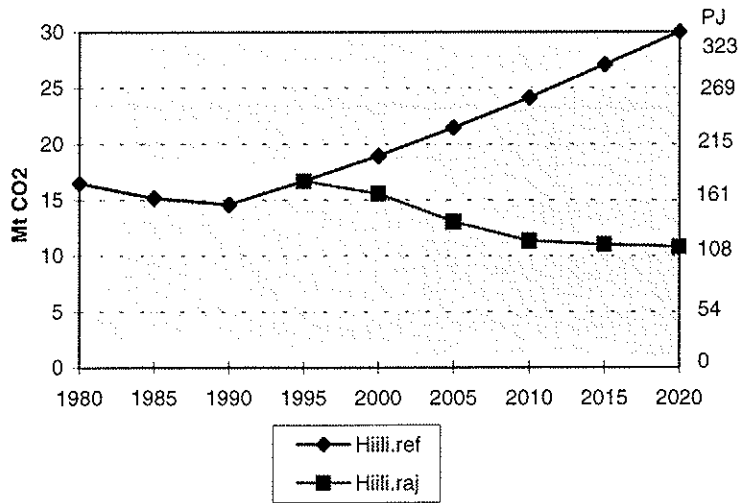
vähenevät 53 %, turpeen 61 %, raskaan polttoöljyn 33 %, kevyen polttoöljyn 27 %, maakaasun 23 % sekä liikennepolttoaineiden 7 %. Liikennepolttoaineiden vähennys jää pienemmäksi kuin muiden polttoaineiden, koska tuotantosektoreilla liikennepolttoaineiden kulutus on kiinteä osuus bruttotuotannosta eikä siis riipu panoshintojen suhteellisista muutoksista. Vaadittavasta 27 Mt päästövähennyksestä vuonna 2010 noin puolet eli 13 Mt saavutetaan hiilen käytöstä aiheutuneita päästöjä vähentämällä. Turpeen päästöt vähenevät yli 5 Mt, sekä raskaan että kevyen polttoöljyn vajaa 3 Mt ja maakaasun vajaa 2 Mt. Liikennepolttoaineet ovat merkittävä päästölähde. Liikennepolttoaineiden kulutuksen 7 % vähennys vastaa kuitenkin vain 1 Mt päästövähennystä.

Hiilen ja turpeen kulutus ja päästöt ovat päästörajoiteskenaariossa vuonna 2010 selvästi vuotta 1990 alhaisemmalla tasolla. Raskaan ja kevyen polttoöljyn kulutus ja päästöt ovat suunnilleen vuoden 1990 tasolla kun taas maakaasun ja liikennepolttoaineiden selvästi korkeammalla. Referenssiskenaariossa hiili aiheutti selvästi eniten päästöjä, mutta päästörajoite vähentää hiilen päästöjä niin paljon että liikennepolttoaineista tulee merkittävin päästölähde.

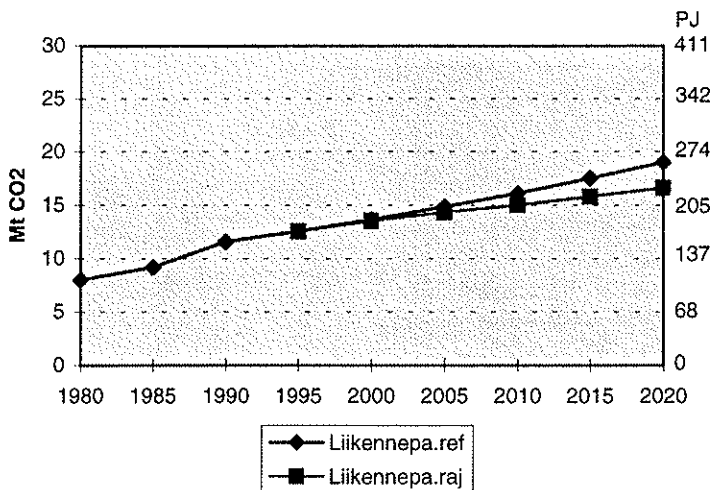
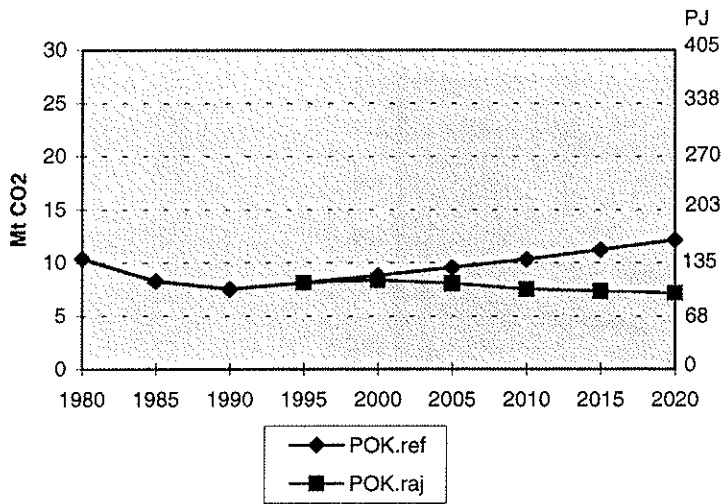
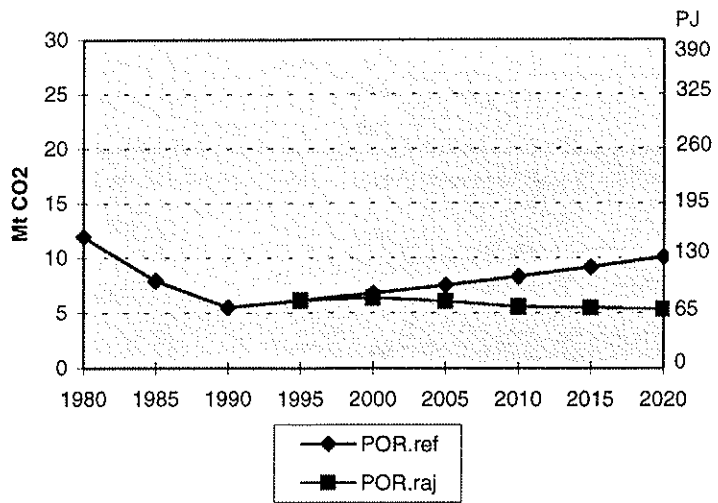
*Taulukko 4.1. CO<sub>2</sub>-päästöjen rajoittamisen vaikutukset kokonaispäästöihin, polttoaineiden kulutuksiin ja niiden aiheuttamiin päästöihin vuosina 2000, 2010 ja 2020 sekä päästövero, jolla päästötavoite saavutetaan.*

	2000	2010	2020
CO <sub>2</sub> -päästöt referenssi- ja rajoiteskenaarioissa sekä päästöjen vähennys referenssiskenaarioon verrattuna.			
Refer.sken.,Mt CO <sub>2</sub>	64.3	78.8	96.0
Rajoitesken.	58.5	52.1	52.1
Vähennys, Mt CO <sub>2</sub>	-5.8	-26.7	-43.9
Vähennys, %	-9.1	-33.9	-45.7
Päästövero, mk/t CO <sub>2</sub>			
Vero	37	275	538
Polttoaineiden kulutus /päästöt referenssiskenaarioon verrattuna, %.			
Hiili	-17.9	-53.1	-64.2
Turve	-19.6	-60.5	-73.1
Maakaasu	-1.5	-23.2	-39.8
Raskas polttoöljy	-6.3	-32.9	-47.0
Kevyt polttoöljy	-5.1	-27.4	-41.1
Liikennepolttoain.	-1.0	-7.0	-12.7
Päästöjen vähennys referenssiskenaarioon verrattuna, Mt CO <sub>2</sub>			
Hiili	-3.4	-12.8	-19.4
Turve	-1.3	-5.4	-8.2
Maakaasu	-0.1	-1.9	-4.1
Raskas polttoöljy	-0.4	-2.7	-4.7
Kevyt polttoöljy	-0.4	-2.8	-5.0
Liikennepolttoain.	-0.1	-1.1	-2.4

Kuvio 5. Päästöt, Mt CO<sub>2</sub>, ja polttoaineiden kulutukset, PJ, referenssi- ja päästö- rajoiteskenaarioissa, v. 1980-2020.



Kuvio 5. jatkuu



Taulukossa 4.2 esitetään sähkön ja lämmön tuotannon<sup>16</sup> polttoaineiden hintojen ja kulutuksen muutokset vuonna 2010. Koska polttoaineiden tuontitarjonta on annettulla maailmanmarkkinahinnalla täysin joustava, vero siirtyy täysimääräisesti polttoaineiden kuluttajahintoihin kuluttajien maksettavaksi. Päästörajoitteen saavuttamiseksi tarvittava päästövero 275 mk/t CO<sub>2</sub> nostaa sähkön ja lämmön tuotannossa hiilen hintaa 310 %, turpeen 287 %, raskaan polttoöljyn 137 % ja maakaasun 118 % kulutushintaindeksiin verrattuna. Polttoaineiden suhteelliset hinnat muuttuvat siis huomattavasti. Koska esim. hiilen päästökerroin on selvästi suurempi kuin maakaasun, myös hiilen päästövero energiayksikköä kohti on huomattavasti korkeampi. Suhteellisten hintojen muutoksiin vaikuttavat polttoaineiden hiilipitoisuuksien lisäksi polttoaineiden verottomat hinnat. Hiilen veroton hinta on vain 65 % maakaasun verottomasta hinnasta. Päästövero nostaakin hiilen hintaa suhteellisesti enemmän kuin maakaasun. Hiilen verollinen hinta on 21 % korkeampi kuin maakaasun. Lähtöhinnan vaikutus huomataan selvemmin verrattaessa hiilen ja turpeen hintoja. Vaikka turpeen hiilisisältö energiayksikköä kohti on suurempi kuin kivihiilen, vero nostaa hiilen hintaa prosentuaalisesti hieman enemmän, sillä turpeen veroton hinta on korkeampi kuin hiilen. Puun hinta sen sijaan alenee vajaa 8 %. Tämä johtuu siitä, että puuperäisiä päästöjä ei veroteta ja että puun hinta joustaa kysynnän ja tarjonnan mukaan.

Taulukko 4.2. Polttoaineiden hinnat\* ja kulutukset sekä niiden muutokset sähkön ja lämmön tuotannossa vuonna 2010.

	Hiili	Maakaasu	POR	Turpe	Puu**
Hintayksikkö	mk/t	mk/1000m <sup>3</sup>	p/kg	mk/MWh	mk/m <sup>3</sup>
Veroton hinta	211	460	63	38	281
Vero	653	543	86	109	-
Veroll. hinta	864	1003	149	147	260
Muutos, %	310	118	137	287	-8

Polttoaineiden määrät referenssi- ja rajoiteskenaarioissa, PJ, sekä %-muutos.

Referenssi, PJ	193	126	47	81	1.9 Mm <sup>3</sup>
Rajoite, PJ	72	100	33	32	4.2 Mm <sup>3</sup>
Muutos, %	-63	-21	-29	-61	121

\* Hinnat ovat liikevaihtoverottomia hintoja vuoden 1990 hinnoissa mitattuina ja ne ovat suhteessa kulutushintaindeksiin.

\*\* Puuperäisiä päästöjä ei veroteta. Veroton hinta-rivillä oleva luku on puun hinta referenssiskenaariossa ja verollinen hinta-rivillä oleva luku kysynnän ja tarjonnan tasapainottavaa puun hintaa päästörajoite-skenaariossa.

Polttoainekustannusten nousu vähentää sähkön ja lämmön tuotantoa (plydin- ja vesivoima) 31 %. Sähkön ja lämmön tuotannossa hiilen kulutus ja päästöt vähenevät 63 %<sup>17</sup>, turpeen 61 %, raskaan polttoöljyn 29 % ja maakaasun 21 %. Sähkön ja lämmön tuotannossa tapahtuu siis selvää siirtymistä päästöintensiivisistä polttoaineista kuten turpeesta ja hiilestä vähemmän päästöjä aiheuttaviin polttoaineisiin kuten raskaaseen polttoöljyyn ja erityisesti maakaasuun. Vaikka substituutiovaikutus lisää maakaasun kulutusta, senkin kulutus vähenee, koska tuotannon vähenemisen kautta tuleva vaikutus on voimakkaampi. Maakaasu nousee kuitenkin eniten käyte-

<sup>16</sup> Koska polttoaineiden hinnat eroavat sektoreittain, päästöveron aiheuttamat prosenttimuutokset polttoaineiden hintoihin eroavat myös sektoreittain.

<sup>17</sup> Esimerkiksi KTM:n EPO1-skenaariossa (ks. Energiatalous 2025, 1997) päästöt saadaan vuoden 1990 tasolle vuonna 2025. Tällöin hiilen käytöstä on luovuttu lähes kokonaan.

tyksi polttoaineeksi, koska päästöjen rajoittaminen vähentää hiilen kulutusta selvästi enemmän kuin maakaasun.

Fossiililla polttoaineilla ja puulla tuotetun sähkön määrä vähenee 31 %. Sen sijaan ydin ja vesivoimalla tuotetun sähkön määrä on eksogeenisesti annettu. Sähkön kulutus väheneekin vain 15 %. Taulukossa 4.3 esitetään sähkön kulutus referenssi- ja rajoite-skenaarioissa sähkön käyttäjäryhmittäin. Vuonna 2010 sähkön kulutus vähenee teollisuudessa 15 %, palvelusektorilla 9 % ja julkisella sektorilla 9 %. Kotitalouksien sähkön kulutus vähenee 22 % eli prosentuaalisesti eniten (kotitalouksien sähkön kysynnän muutosta käsitellään tarkemmin luvussa 4.1.5). Tuotantosektoreista sähkön käyttö vähenee sekä absoluuttisesti että prosentuaalisesti eniten massa- ja paperiteollisuudessa. Muita sähköintensiivisiä sektoreita ovat teollisuuskemikaalien valmistus, jossa sähkön kulutus vähenee 18 % sekä rauta- ja terästeollisuus, jossa kulutus vähenee 14 %. Mallin sektoreista absoluuttisesti merkittäviä sähkön käyttäjiä ovat palvelusektori, jossa vähennys on 10 % sekä metallituote- ja konepajateollisuus, jossa vähennys on 8 %.

*Taulukko 4.3. Sähkön kulutus sektoreittain referenssi- ja rajoite-skenaarioissa v. 1990-2010, TWh.*

	1990	2000	2010
Teollisuus.ref	33.2	38.6	45.3
Teollisuus.raja		37.8	38.8
%-muutos		-2.6	-14.9
Palvelut.ref	6.6	7.8	9.2
Palvelut.raja		7.7	8.4
%-muutos		-1.5	-8.9
Julkinen sektori.ref	3.5	4.2	4.9
Julkinen sektori.raja		4.1	4.5
%-muutos		-1.6	-9.0
Kotitaloudet.ref	12.6	15.1	18.1
Kotitaloudet.raja		14.5	14.0
%-muutos		-4.3	-22.4
Yhteensä.ref	55.9	65.7	77.5
Yhteensä.raja		64.1	65.7
%-muutos			-15.2

Tuotantosektorien sähkön kulutuksen %-muutoksia .

Massa ja paperi	-4.1	-23.0
Palvelut	-1.7	-9.7
Teoll.kemikaalit	-3.2	-17.9
Rauta ja teräs	-2.5	-13.9
Metallituote	-1.4	-7.8
Elint.ja tevanake	-1.0	-6.6



#### 4.1.2 Vaikutukset hyvinvointiin, bruttokansantuotteeseen, panosten määriin ja hintoihin sekä investointeihin

Panosten hintojen muutokset esitetään taulukossa 4.4. Polttoaineiden hintojen nousu nostaa erityisesti sähkön ja lämmön tuotantokustannuksia. Sähkön hinta nouseekin 34 % ja lämmön 73 % kulutushintaindeksiin verrattuna. Sähkön hinta nousee vähemmän kuin lämmön, koska osa sähköstä tuotetaan ydin- ja vesivoimalla, joita ei veroteta. Tuotantosektorien energiakustannusten huomattava nousu aiheuttaa sopeutumispainetta muihin panoshintoihin. Reaalipalkka aleneekin 3 % ja pääoman hinta kulutushintaindeksiin verrattuna 5.6 %. Pääoman hinta alenee suhteessa työvoiman hintaan, koska on oletettu, että energiaa on vaikeampi korvata pääomalla kuin työvoimalla. Puun hinta alenee kulutushintaindeksiin verrattuna vajaa 8 % metsäteollisuuden puun kysynnän laskiessa sähkön hinnannousun seurauksena.

*Taulukko 4.4. Panoshintojen prosenttimuutokset kulutushintaindeksin suhteen referenssiskenaarioon verrattuna.*

	2000	2010	2020
Työvoima	-0.4	-2.9	-5.1
Pääoma	-0.9	-5.6	-9.6
Sähkö	5.3	34.2	62.7
Lämpö	10.9	72.7	132.4
Puu	-1.4	-7.6	-12.4

Bruttokansantuote on päästöjä rajoitettaessa 0.8 % alemmalla tasolla kuin referenssiskenaariossa vuonna 2010. Vuonna 2020 BKT alenee päästörajoitteen seurauksena jo 1.4 %. Hyvinvointitappion rahallinen arvo on 5.9 mrd mk<sup>18</sup> vuonna 2010 ja 13.3 mrd mk vuonna 2020.

*Taulukko 4.5. Päästörajoitteen vaikutukset investointeihin, pääomakantaan, työn tarjontaan, bruttokansantuotteeseen, vapaa-aikaan, kokonaiskulutukseen ja hyvinvointiin vuosina 2000, 2010 ja 2020 referenssiskenaarioon verrattuna.*

	2000	2010	2020
Investoinnit, %	-0.0	-0.1	-0.3
BKT, %	-0.1	-0.8	-1.4
Pääomakanta, %	-0.0	-0.0	-0.1
Työn tarjonta, %	-0.1	-0.4	-0.6
Hyvinvointi, mrd mk	-0.6	-5.9	-13.3
Kokonaiskulutus, %	-0.3	-2.3	-4.4
Vapaa-aika, %	0.6	3.5	6.1

Bruttokansantuotteen muutokseen vaikuttavat sekä panosten uudelleenallokoinnista aiheutuva tuottavuuden vähentyminen että panosten määrissä tapahtuvat muutokset. Hyvinvointiin vaikuttaa edellisten lisäksi vapaa-ajan määrän muutos. Työvoiman

<sup>18</sup> Hyvinvointitappion rahallista arvoa on tässä mitattu ekvivalenssivariaatiota käyttäen.

Kompensatiovariaatiota käyttäen hyvinvointitappio on 1.6 milj.mrk pienempi, joten se tuottaa hyvin samanlaisen tuloksen kuin ekvivalenssivariaatiokin.

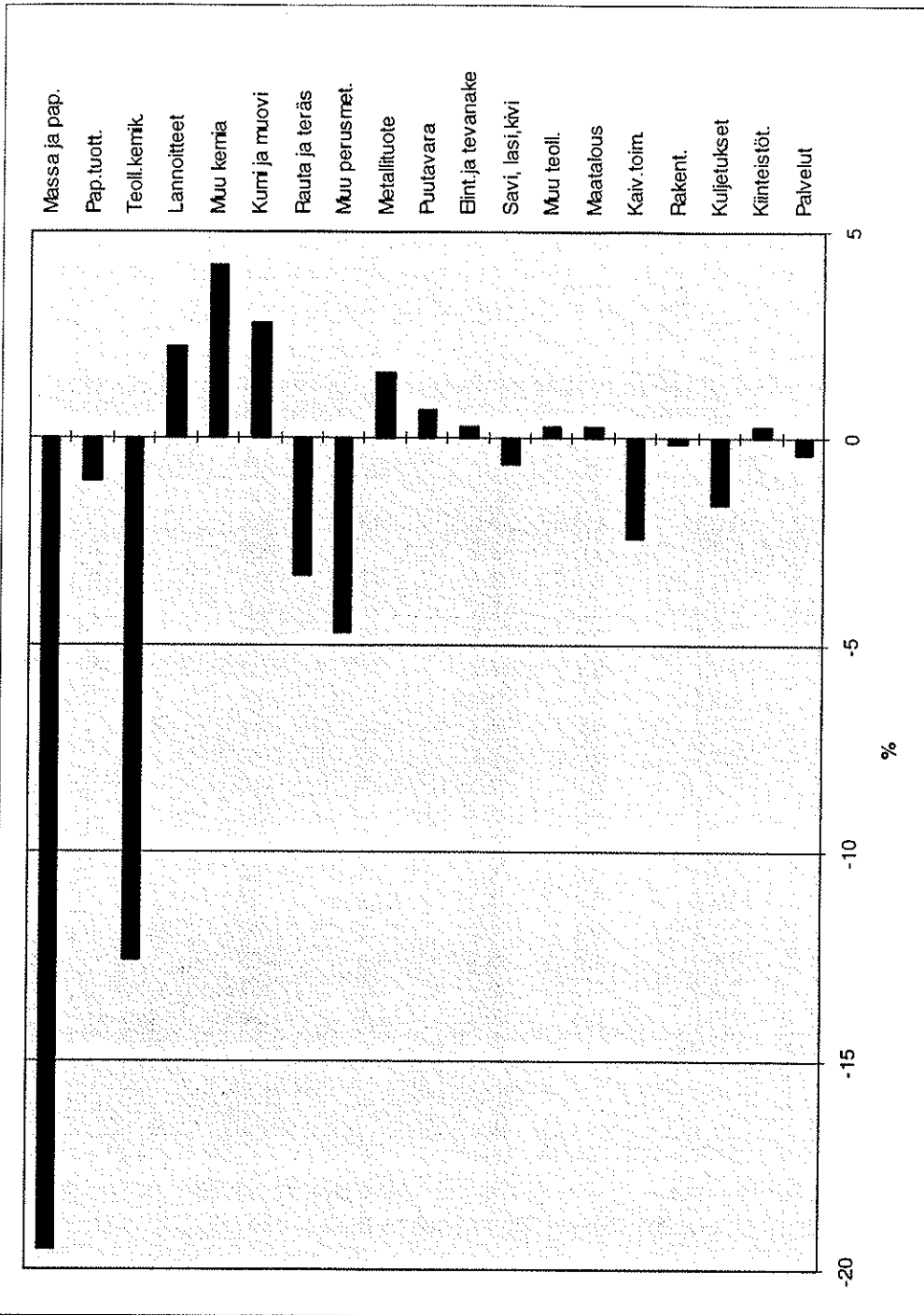
tarjonta vähentyy 0.4 % vuonna 2010 reaali-palkan alentuessa. Pääomakanta muuttuu hyvin hitaasti investointien kautta. Investoinnit vähentyvät 0.1 % vuonna 2010. Pääomakannassa investointien vähentyminen näkyy vasta vuonna 2020, jolloin pääomakanta on 0.1 % alemmalla tasolla kuin referenssiskenaariossa. Muutokset käytävissä olevien panosten määrissä jäävät siis pieniksi. Työn tarjonnan vähentyminen lisää vapaa-aikaa. Vapaa-ajan muutos on suurempi kuin työn tarjonnan, sillä sen hintajousto on suurempi. Vaikka kokonaiskulutus alenee vähemmän kuin vapaa-aika lisääntyy, hyvinvointi alenee, sillä vapaa-ajan paino on selvästi pienempi kuin kokonaiskulutuksen.

#### 4.1.3 Vaikutukset tuotantosektoreihin

Seuraavaksi tarkastellaan päästörajoituksen vaikutusta tuotantosektoreihin. Vaikutukset tuotantojen määriin vuonna 2010 esitetään sekä kuviossa 6 että taulukossa 4.6. Koska tuotantosektorien panosrakenteet eroavat toisistaan, myös niiden tuotantokustannukset muuttuvat eri tavoin (ks. tuotantosektorien kustannusrakenteet liitteessä 2). Tuotantokustannusten ja siten hintojen muutokset esitetään ulkomaanvaluutassa mitattuna taulukossa 4.6. Kuten taulukosta nähdään, tuotantokustannukset ja siten tuotantohinnat nousevat suhteessa maailmanmarkkinahintoihin kilpailukykyä heikentäen energiaintensiivisillä sektoreilla, kuten massa- ja paperiteollisuudessa, teollisuuskemikaalien valmistuksessa, rauta- ja terästeollisuudessa, muussa perusmetalliteollisuudessa, kaivannaistoiminnassa sekä savi-, lasi- ja kiviteollisuudessa. Eniten kustannukset nousevat massa- ja paperiteollisuudessa, jonka hinta suhteessa maailmanmarkkinahintaan nousee 2.4 %. Rauta- ja terästeollisuus on hyvin polttoaineintensiivinen sektori, mutta sen tuotantokustannuksia nostaa ainoastaan sähkön hinnannousu, sillä sen käyttämät polttoaineet on nykyisen verotuskäytännön mukaisesti jätetty päästöverotuksen ulkopuolelle. Pääoma- ja työvoimaintensiivisten sektoreiden kustannukset puolestaan alenevat suhteessa maailmanmarkkinahintoihin ja luonnollisesti myös suhteessa kotimaisiin energiaintensiivisiin hyödykkeisiin, joita em. sektorien lisäksi ovat myös kuljetukset. Eniten muuttuu massan ja paperin sekä kiinteistöpalvelujen suhteellinen hinta massan ja paperin kallistuessa kiinteistöpalveluihin nähden 5.7 %.

Tuotanto alenee referenssiskenaarioon verrattuna energiaintensiivisillä sektoreilla eli massa- ja paperiteollisuudessa, teollisuuskemikaalien valmistuksessa, rauta- ja terästeollisuudessa, muussa perusmetalliteollisuudessa, kaivannaistoiminnassa, savi-, lasi- ja kiviteollisuudessa sekä kuljetuksissa ja toisaalta reaalisten tulojen alenemisesta kärsivällä palvelusektorilla. Päästöjen rajoittaminen vähentää selvästi eniten massan ja paperin valmistusta, jonka tuotanto on 20 % referenssiskenaarion alapuolella vuonna 2010. Tuotanto on edelleen kuitenkin hieman korkeammalla kuin vuonna 1990. Päästörajoitteesta hyötyvät pääoma- ja työvoimaintensiiviset sektorit eli lannoitteiden valmistus, muu kemianteollisuus, kumi- ja muoviteollisuus, paperituotteiden valmistus, metallituote- ja konepajateollisuus, maatalous, elintarvike- ja tevanake-teollisuus, muu teollisuus, puutavaran valmistus sekä kiinteistötoiminta. Raken-tamiseen päästörajoitteella ei ole vaikutusta.

Kuvio 6. Tuotantojen %-muutokset v. 2010.



Tuotannon muutosta kullakin sektorilla voidaan tarkastella sen tuottaman hyödykkeen kysyntöjen muutosten kautta. Tuotantosektorin tuotanto menee välituotekäyttöön, kotitalouksien kulutukseen, julkiseen kulutukseen, investointeihin sekä vientiin, joiden muutoksista koostuu siis tuotannon muutos. Eri käyttömuotojen osuudet eroavat huomattavasti tuotantosektoreittain. Suhteellisten hintojen muutokset eivät vaikuta välituotekäyttöihin, joten välituotekäytöt muuttuvat ainoastaan aktiviteetti-vaikutuksen kautta eli jos ko. hyödykettä käyttävien tuotantosektorien tuotannon tasot muuttuvat. Kotitalouksien kulutuskysyntään<sup>19</sup> vaikuttavat sekä substituutio- että tulovaikutus. Investointeihin vaikuttavat myös sekä tulovaikutus että investointi-hyödykkeiden suhteellisten hintojen muutos. Koska päästörajoite asetettiin kansallisesti, ulkomaiset tulot eivät muutu. Vientikysyntään vaikuttaa siis ainoastaan kotimaan ja maailmanmarkkinahinnan suhteen muutos. Eri komponenteista vienti on herkin päästörajoitteelle, koska hintajoustot on oletettu korkeiksi joillakin sektoreilla. Mallissa tällaisia sektoreita ovat massa- ja paperiteollisuus, teollisuuskemikaalien valmistus, lannoitteiden valmistus, muu kemianteollisuus, kumi- ja muoviteollisuus, rauta- ja terästeollisuus, muu perusmetalliteollisuus sekä paperituotteiden valmistus. Tuotannon muutokset voivat siis olla suurimmat niillä sektoreilla, joiden tuotannosta merkittävä osa menee vientiin ja joilla on korkea viennin hintajousto.

Taulukko 4.6. Tuotantojen, hyödykkeiden kysyntäkomponenttien sekä ulkomaan valuutassa mitatun tuotantohinnan prosenttimuutokset referenssiskenaarioon verrattuna vuonna 2010.

	Hinta	Tuotanto	Välit.	Yks.kul	Julk.kul	Invest.	Vienti
Massa ja paperi	2.4	-19.5	-6.2	-1.2	-1.1	-	<b>-21.4</b>
Paperituotteet	-0.2	1.0	<b>-3.9</b>	-0.9	-0.4	-	<b>1.8</b>
Teoll.kemik.	1.7	-12.6	<b>-9.7</b>	-	-0.8	-	<b>-15.3</b>
Lannoitteet	-1.2	2.2	<b>0.2</b>	-0.2	-0.1	-	12.4
Muu kemia	-1.2	4.2	<b>-0.1</b>	-0.7	-0.3	-	13.4
Kumi ja muovi	-0.8	2.8	<b>1.0</b>	-0.6	-0.3	-	7.9
Rauta ja teräs	0.5	-3.2	<b>-0.5</b>	-	-0.6	-	<b>-5.0</b>
Muu perusmet.	0.5	-4.7	-2.6	-	-0.6	-	<b>-5.1</b>
Metallituote	-1.6	1.6	-1.2	-0.6	-0.3	0.2	<b>3.2</b>
Puutavara	-2.7	0.7	<b>-3.0</b>	-0.7	0.3	-	<b>5.5</b>
Elint. ja tevanake	-1.2	0.3	-0.3	<b>-0.4</b>	-0.2	-	2.4
Savi,lasi ja kivi	1.1	-0.6	<b>-0.4</b>	-	-0.8	-	-2.2
Muu teollisuus	-1.5	0.3	<b>0.1</b>	<b>-0.4</b>	-0.1	-	3.0
Maatalous	-1.2	0.3	<b>0.3</b>	-0.4	-0.2	-	2.5
Kaivannaistoim.	0.6	-2.4	<b>-3.3</b>	-0.5	-0.5	-	-1.1
Rakentaminen	-1.4	-0.1	-1.0	-	-0.0	<b>0.0</b>	-
Kuljetukset	-0.0	-1.6	<b>-3.2</b>	<b>-1.1</b>	-0.5	-	0.0
Kiinteistötoim.	-3.3	0.3	<b>-0.5</b>	<b>0.5</b>	0.4	-	7.0
Palvelut	-1.8	-0.4	-0.5	<b>-0.8</b>	0.1	0.4	3.6

Tärkeimmät komponentit lihavoitu.

Massa- ja paperiteollisuuden tuotannosta suurin osa menee vientiin. Koska on oletettu, että massa- ja paperiteollisuus ei voi juurikaan vaikuttaa maailmanmarkkinahintaan, energiakustannusten noustessa massa- ja paperiteollisuus menettää kilpailukykyään maailmanmarkkinoilla. Sen vienti väheneekin 21 %. Myös teollisuuskemikaalien tuotanto vähenee selvästi erityisesti viennin vähenemisen takia. Rauta- ja terästeollisuuden sekä muun perusmetalliteollisuuden tuotantokustannusten nousu jää

<sup>19</sup> Kulutushyödykkeiden luokitus eroaa tuotantosektorien luokituksesta.

selvästi pienemmäksi kuin teollisuuskemikaalien valmistuksen. Tästä syystä niiden vienti ja tuotanto alenevat vähemmän kuin teollisuuskemikaalien. Työvoima- ja pääomakustannusten aleneminen puolestaan lisää selvästi lannoitteiden valmistuksen, muun kemian teollisuuden sekä muovi- ja kumiteollisuuden vientiä korkean hintajouston takia. Koska niiden tuotannoista kovin suuri osa ei kuitenkaan mene vientiin, tuotantojen lisäykset jäävät selvästi pienemmiksi.

Kaivannaistoiminnan sekä savi-, lasi- ja kiviteollisuuden tuotannoista suurin osa menee välituotekäyttöön. Vaikka kaivannaistoiminnan kustannukset nousevat vähemmän kuin savi-, lasi- ja kiviteollisuuden, sen tuotanto vähenee enemmän. Kaivannaistoiminnan tuotteista merkittävä osa käytetään massa- ja paperiteollisuudessa, jonka huomattava vähentyminen alentaa samassa suhteessa sen käyttämiä kaivannaistoiminnan tuotteita. Kuljetusten väheneminen johtuu erityisesti massa- ja paperiteollisuuden välituotekysynnän pienenemisestä. Lisäksi kotitalouksienkin kuljetuksiin kohdistuva kysyntä supistuu reaalityulojen alentuessa ja kuljetusten kallistuessa suhteessa muihin hyödykkeisiin energiaa lukuunottamatta.

Sektoreista, joiden viennin hintajousto on alhainen, metallituote- ja konepajateollisuuden tuotanto kasvaa eniten. Viennin osuus tuotannosta on selvästi korkeampi kuin muilla sektoreilla (pl. puutavateollisuus), joten viennin lisäys näkyy tuotannon kasvuna. Myös puutavateollisuus hyötyy viennin kasvusta puun hinnan laskun alentaessa tuotantokustannuksia. Sen vienti kasvaakin enemmän kuin metallituote- ja konepajateollisuuden. Puutavateollisuuden tuotteista merkittävä osa käytetään kuitenkin massa- ja paperiteollisuudessa, joten viennin kasvusta huolimatta puutavateollisuuden tuotanto kasvaa vain hieman. Sektoreita, joiden tuotannosta merkittävä osa menee kotitalouksien kulutukseen, ovat elintarvike- ja tevanake-teollisuus, kiinteistötoiminta sekä palvelut. Kotimarkkinoille tuottavat sektorit kärsivät reaalityulojen alenemisesta, joka heikentää tai jopa kumoaa suhteellisten hintojen alenemisen tuottaman substituutiovaikutuksen. Kotitalouksien elintarvikkeiden ja tekstiilien sekä palvelujen kysyntä väheneekin. Elintarvike- ja tevanake-teollisuus hyötyy kuitenkin hieman päästörajoitteesta viennin kasvun takia. Palvelusektorin tuotannosta pienempi osa menee vientiin, joten sen kasvu ei pysty kompensoimaan kotimaisen kulutuskysynnän vähentymistä. Muun teollisuuden tuotanto kasvaa hieman lisääntyneiden välituote-, ja vientikysyntöjen seurauksena. Rakentamisesta suurin osa menee investointeihin, jotka pysyvät lähes ennallaan.

#### 4.1.4 Vaikutukset panoskysyntöihin tuotantosektoreittain

Tuotantopanosten käytössä tapahtuneet muutokset sekä polttoaineaggregaatin hinnan muutos esitetään taulukossa 4.7. Panosten korvaamismahdollisuuksia kuvaavat substituutiojoustot esitetään liitteessä 3. Päästövero kohdistuu suoraan polttoaineisiin nostoen niiden hintoja huomattavasti. Koska sektorien polttoainerakenteet ja polttoaineiden lähtöhinnat poikkeavat toisistaan, polttoaineiden keskimääräinen hinnannousu poikkeaa sektoreittain. Polttoainekustannukset nousevat eniten teollisuuskemikaalien valmistuksessa (157 % kulutushintaindeksiin verrattuna), kuljetuksissa (146 %), savi-, lasi- ja kiviteollisuudessa (145 %) sekä massa- ja paperiteollisuudessa (127 %). Rauta- ja terästeollisuudessa kivihiili ja raskas polttoöljy on vapautettu verosta, joten kustannusten nousu jää pieneksi. Tuotantopanosten suhteellisten hinto-

jen muuttuminen aiheuttaa substituutiota panosten välillä. Samoin kuin sähkön ja lämmön tuotannossa (ks. luku 4.1.1) myös tuotantosektoreilla hiili-intensiivisiä polttoaineita korvataan vähemmän päästöjä aiheuttavilla polttoaineilla.

Seuraavassa vaiheessa ostosähköä, ostolämpöä ja polttoaine-aggregaattia korvataan keskenään. Koska lämmön hinta nousee enemmän kuin sähkön, kaikilla sektoreilla tapahtuu siirtymää lämmöstä sähköön. Myös polttoaineita korvataan sähköllä<sup>20</sup>, sillä useimmilla sektoreilla polttoaineiden hinta nousee enemmän kuin sähkön. Lämmön ja polttoaineiden suhteellisen hinnan muutos vaihtelee sektoreittain, joten osa sektoreista korvaa ostettua lämpöä polttoaineilla ja osa polttoaineita ostetulla lämmöllä. Vaikka energia-aggregaatin sisällä tapahtuu siirtymää sähköön, senkin käyttö vähenee kuitenkin kaikilla sektoreilla, koska energia-aggregaatin kulutus alenee huomattavasti. Esimerkiksi massa- ja paperiteollisuudessa energian kulutus vähenee 31 % polttoaineiden kulutuksen alentuessa 50 %, ostetun lämmön kulutuksen 37 % ja ostetun sähkön kulutuksen 23 %. Savi-, lasi- ja kiviteollisuudessa polttoaineiden hinta nousee suhteessa sähkön ja lämmön hintoihin enemmän kuin useimmilla sektoreilla. Siirtymä onkin suurempaa, sillä polttoaineiden kulutus alenee 39 % mutta sähkön vain 1 % energian kokonaiskulutuksen vähentyessä 24 %. Massa- ja paperiteollisuuden lisäksi sähkön käyttö vähenee huomattavasti teollisuuskemikaalien valmistuksessa (18 %) sekä perusmetalliteollisuudessa (n. 14 %).

Energia-aggregaattia ja pääomaa korvataan tämän jälkeen toisillaan. Energia-aggregaatin hinnan nousu saadaan sähkön, lämmön ja polttoaineaggregaatin hinnan nousuista. Energia-aggregaatin hinta nousee suhteessa pääoman hintaan vähintään 50 % rauta- ja terästeollisuutta sekä kiinteistötoimintaa lukuunottamatta. Koska substituutiojousto on oletettu pieneksi, siirtymä energiasta pääomaan ei ole yhtä huomattava. Pääoman kustannusosuus on useimmilla sektoreilla selvästi suurempi kuin energian. Tästä seuraa, että monilla sektoreilla tuotantokustannukset alenevat jo energia-pääoma-aggregaatin osalta suhteessa vastaavan hyödykkeen maailmanmarkkinahintaan. Koska työvoiman hinta alenee suhteessa pääoma-energia-aggregaatin hintaan muilla sektoreilla paitsi metallituote- ja konepajateollisuudessa, kuljetuksissa sekä kiinteistötoiminnassa, pääoma-energia-aggregaattia korvataan työvoimalla. Tällä on pääoman kysyntää alentava vaikutus. Pääoman osuus voi siis laskea, vaikka toisaalta tapahtuu siirtymistä energiasta pääomaan. Tässä laskelmassa pääoman osuus suhteessa tuotantoon kasvaa kuitenkin kaikilla sektoreilla. Sen sijaan referenssiskenaarioon verrattuna pääoman käyttö alenee joillakin sektoreilla.

Puuta käytetään merkittävässä määrin ainoastaan massa- ja paperiteollisuudessa sekä puutavarateollisuudessa. Massa- ja paperiteollisuudessa pääoma-energia-aggregaatin hinta nousee huomattavasti. Puun hinta puolestaan alenee, joten energiaa ja pääomaa korvataan puulla. Korvaamista rajoittaa kuitenkin alhainen substituutiojousto. Puutavarateollisuudessa pääoma-energia-aggregaatin hinta nousee huomattavasti vähemmän, joten substituutio jää vähäisemmäksi. Puun käyttö vähenee massa- ja

<sup>20</sup> Vastaava ilmiö on tapahtunut historiassakin, sillä ajanjaksolla 1970-1991 polttoaineita on korvattu sähköllä (ks. Turunen, 1993).

Taulukko 4.7. Tuotantopanosten määrien sekä polttoaine-aggregaatin hinnan %- muutokset sektoreittain vuonna 2010.

	X	L	R	NR	U	K	Q	E	H	F	PF
Massa ja paperi	-19.5	-14.7	-21.4	-19.2	-23.0	-15.9	-30.7	-23.0	-37.1	-49.5	127.2
Paperituotteet	-1.0	-0.0	-2.3	-0.8	-2.3	-0.1	-16.9	-9.5	-26.0	-22.8	63.8
Teoll.kemik.	-12.6	-7.4	-15.4	-12.8	-15.4	-10.9	-27.0	-17.9	-32.9	-51.2	156.9
Lannoitteet	2.2	2.3	2.2	3.2	2.2	3.4	-11.7	-8.6	-25.4	-20.3	59.1
Muu kemia	4.2	5.0	3.4	4.8	3.4	5.3	-15.4	-1.1	-19.2	-27.3	97.2
Kumi ja muovii	2.8	3.9	1.5	3.0	1.5	3.7	-12.7	-7.0	-24.0	-23.7	71.9
Rauta ja teräs	-3.3	0.3	-6.2	-3.8	-6.2	-2.2	-10.2	-13.9	-20.2	-7.5	5.6
Muu perusmet.	-4.7	-0.6	-7.6	-5.1	-7.6	-3.4	-18.7	-13.5	-29.3	-27.2	66.6
Metallituote	1.6	1.5	1.7	2.7	1.7	2.8	-13.5	-7.8	-24.7	-24.4	72.0
Puutavara	0.7	-0.0	1.0	1.7	-0.6	3.2	-14.0	-6.5	-23.6	-5.5	32.5
Elint. ja tevanake	0.3	1.8	-2.2	-0.3	-2.2	0.7	-18.0	-6.6	-23.7	-31.5	97.8
Savi,lasi ja kivi	-0.6	3.9	-5.1	-2.2	-5.1	-0.1	-24.3	-0.5	-18.7	-38.5	145.0
Muu teollisuus	0.3	0.6	-0.3	0.9	-0.3	1.2	-14.6	-9.5	-26.0	-27.7	77.8
Maatalous	0.3	1.3	0.2	1.5	0.2	1.8	-15.5	-7.4	-24.3	-18.1	56.6
Kaivannaistoim.	-2.4	1.1	-4.2	-2.1	-4.2	-0.7	-18.0	-9.3	-25.9	-33.1	96.5
Rakentaminen	-0.1	0.2	-0.6	0.5	-0.6	0.9	-17.3	-7.1	-24.1	-23.9	72.3
Kuljetukset	-1.6	-2.0	-1.2	-0.3	-1.2	-0.4	-19.5	-7.0	-24.0	-42.6	145.6
Kiinteistötoim.	0.3	-1.5	1.1	1.5	1.1	1.1					
Palvelut	-0.4	-0.0	-1.6	-0.3	-1.6	0.2	-16.1	-9.7	-26.2	-23.4	64.8

X tuotanto, L työvoima, R puu-pääoma-energia-aggregaatti, NR puuraaka-aine, U pääoma-energia-aggregaatti, K pääoma-energia-aggregaatti, E sähkö, H lämpö, F polttoaine-aggregaatti, PF polttoaineaggregaatin hinta. (ks. kuvio 2)

paperiteollisuudessa selvästi tuotannon vähentyessä. Puutavarateollisuudessa puun käyttö lisääntyy enemmän kuin tuotanto.

Koska useimmat sektorit eivät käytä juurikaan puuta, on pääoma-energia-aggregaatin hinta niillä sama kuin puu-pääoma-energia-aggregaatin. Kuten edellä todettiin, useimmilla sektoreilla korvataan (puu-)pääoma-energia-aggregaattia työllä. Koska substituutiojousto on oletettu melko korkeaksi, korvaaminen on helppoa. Työvoiman kysyntä kasvaakin referenssiskenaarioon verrattuna myös rauta- ja terästeollisuudessa, kaivannaistoiminnassa sekä savi-, lasi- ja kiviteollisuudessa, vaikka niiden tuotannot vähenevät. Työvoiman käyttö väheneekin suhteessa referenssiskenaarioon ainoastaan muussa perusmetalliteollisuudessa, massa- ja paperiteollisuudessa, teollisuus-kemikaalien valmistuksessa, kuljetuksissa, kiinteistötoiminnassa<sup>21</sup> sekä sähkön ja lämmön tuotannossa (mallitettu erikseen).

Energiaintensiiviset sektorit eivät ole merkittäviä työllistäjiä. Vaikka työvoiman käyttö väheneekin massa- ja paperiteollisuudessa 15 %, kokonaistyövoiman kannalta tällä ei ole juurikaan merkitystä. Massa- ja paperiteollisuuden työvoiman vähennys on alle 0.5 % kokonaistyövoimasta. Voimakkaasti kasvavat sektorit kuten lannoitteiden valmistus ja muu kemianteollisuus eivät myöskään ole merkittäviä työllistäjiä. Massa- ja paperiteollisuuden sekä sähkö- ja lämpöhuollon työvoima siirtyykin lähinnä metallituote- ja konepajateollisuuteen sekä elintarvike- ja tevanaketeollisuuteen.

#### 4.1.5 Vaikutukset kulutushyödykkeiden kysyntöihin

Kulutushyödykkeiden hintojen ja kulutusten muutokset vuonna 2010 esitetään taulukossa 4.8. Kulutushyödykkeiden suhteelliset hinnat energiaa lukuunottamatta muuttuvat melko vähän, sillä ne kaikki ovat peräisin työ- ja pääomaintensiivisiltä sektoreilta. Sähköä, lämmitystä ja liikennepolttoaineita korvataan muilla hyödykkeillä. Tulojen alentuminen aiheuttaa kuitenkin sen, että ainoastaan asumisen (pl.energia) kulutus lisääntyy referenssiskenaarioon verrattuna. Hyödykkeiden kulutukset alentuvat kuitenkin melko vähän energiaa lukuunottamatta. Bensiinin kulutus alenee 12 %. Lämmityksen ja sähkön suhteelliset hinnat nousevat eniten. Lämmitys väheneekin 27 % ja sähkön kulutus (pl. lämmitys) 22 %. Sähkön ja lämmityksen kulutukset alenevat huomattavasti, koska mallissa ei ole otettu huomioon energiatehokkuuden parantamista. Todellisuudessa päästövero johtaisikin energiankulutuksen tehostumiseen. Lisäksi vaikka vähennys onkin huomattava referenssiskenaarioon verrattuna, sähkön ja lämmön kulutukset ovat silti hieman suuremmat kuin vuonna 1990. Mallin mukaan sähkölämmityksen osuus kasvaisi, koska sähkön hinta nousee vähemmän kuin kaukolämmön.

<sup>21</sup> Kiinteistötoimintaa koskevia tuloksia tarkasteltaessa on syytä muistaa, että sen energiankäyttö on siirretty kotitalouksille. Työvoiman käytön aleneminen johtuu siitä, että pääoman hinta alenee työvoimaa enemmän, jolloin työvoimaa korvataan pääomalla.



*Taulukko 4.8. Kulutushyödykkeiden hintojen ja määrien prosenttimuutokset referenssiskenaarioon verrattuna vuonna 2010.*

	Hinta	Kulutus
Elintarvikkeet	-1.7	-0.5
Juomat ja tupakka	-1.8	-1.0
Vaatetus	-1.4	-1.6
Asuminen pl.energia	-5.0	0.6
Kodinkoneet	-1.6	-1.0
Terveys	-1.8	-1.1
Liikenne pl. liik.pa	-1.3	-1.5
Koulutus	-1.7	-1.0
Muu kulutus	-1.8	-1.3
Liik.polttoaineet	14.2	-11.8
Lämmitys	47.2	-27.4
Sähkö pl. lämmitys	34.2	-22.3

#### 4.1.6 Vaikutukset ulkomaankauppaan

Päästörajoitteen vaikutukset ulkomaankauppaan esitetään taulukossa 4.9. Vaihtosuhte eli vienti- ja tuontihintojen suhde heikkenee hieman. Tuontihyödykkeiden hankkimiseen tarvitaan siis suuremmat vientitulot kuin referenssiskenaariossa. Viennin määrä alenee 4 % vuonna 2010. Viennin muutokset sektoreittain esitettiin taulukossa 4.6. Viennistä suurimman osan muodostavat metallituote- ja konepajateollisuuden vienti, joka kasvaa yli 3 % ja massa- ja paperiteollisuuden vienti joka puolestaan vähenee yli viidenneksen. Tuonti pl. polttoaineet alenee 2 % ja polttoaineiden tuonti 30 %.

*Taulukko 4.9. Vaihtosuhteen sekä viennin, tuonnin (pl. polttoaineet) ja tuontipolttoaineiden määrien prosenttimuutokset referenssiskenaarioon verrattuna vuosina 2000, 2010 ja 2020.*

	2000	2010	2020
Vaihtosuhte	-0.2	-0.4	-0.9
Vienti	-0.7	-3.9	-6.2
Tuonti,pl. polttoain.	-0.3	-2.0	-3.4
Tuontipolttoaineet	-7.3	-29.8	-41.7

Esimerkkinä tuontihyödykkeen ja kotimaisen hyödykkeen korvaamisesta Armington-oletuksen mukaisesti tarkastellaan välituotteiden käyttöä metallituote- ja konepajateollisuudessa. Tulokset esitetään taulukossa 4.10. Metallituote- ja konepajateollisuuden tuotanto kasvaa 1.6 %, joten jokaisen hyödykkeen välituotekäyttö kasvaa myös 1.6 % Leontief-oletuksen mukaisesti. Massa- ja paperiteollisuudessa, paperituotteiden valmistuksessa, kemianteollisuudessa sekä perusmetalliteollisuudessa kotimaisen ja tuontihyödykkeen välinen substituutiojousto on 5, muilla tuotantosektoreilla 2 ja palveluissa 1.5. Metallituote- ja konepajateollisuuden käyttämistä välituotekomponenteista massassa ja paperissa, teollisuuskemikaaleissa, raudassa ja teräksessä, muissa perusmetalleissa, kaivannaistuotteissa sekä savi-, lasi- ja kivituohteissa kotimaista hyödykettä korvataan tuontihyödykkeellä kotimaisen hyödykkeen kallis-

tuessa suhteessa maailmanmarkkinahintaan. Muiden hyödykkeiden hinnat puolestaan halpenevat suhteessa maailmanmarkkinahintoihin, jolloin kotimaisten hyödykkeiden osuus kasvaa suhteessa tuontihyödykkeeseen.

*Taulukko 4.10. Kotimaisen ja tuontivälituotteen prosenttimuutokset hyödykkeittäin metallituote- ja konepajateollisuudessa vuonna 2010.*

	Hintasuhde	Kotim. käyttö	Tuontikäyttö
Massa- ja paperiteoll.	2.4	1.1	14.1
Paperituotteet	-0.2	1.7	0.8
Teoll.kemikaalit	1.7	-3.6	4.7
Lannoitteet	-1.2	2.0	-3.8
Muu kemianteoll.	-1.3	4.1	-2.3
Kumi- ja muoviteoll.	-0.8	3.4	-0.5
Rauta- ja terästeoll.	0.5	0.4	3.1
Muu perusmet.teoll.	0.5	0.1	2.7
Metallituoteteoll.	-1.6	3.3	0.1
Puutavarateoll.	-2.7	1.9	-3.5
Elint.- ja tevanaketeoll.	-1.2	2.6	0.2
Savi-,lasi- ja kiviteoll.	1.1	1.2	3.5
Muu teollisuus	-1.5	2.5	-0.5
Maatalous	-1.2	1.9	-0.5
Kaivannaistoiminta	0.6	1.2	2.4
Kuljetukset	-0.0	1.6	1.6
Kiinteistötoiminta	-3.3	1.6	-3.4
Palvelut	-1.8	2.5	-0.2

## 4.2 Herkkyystarkastelut

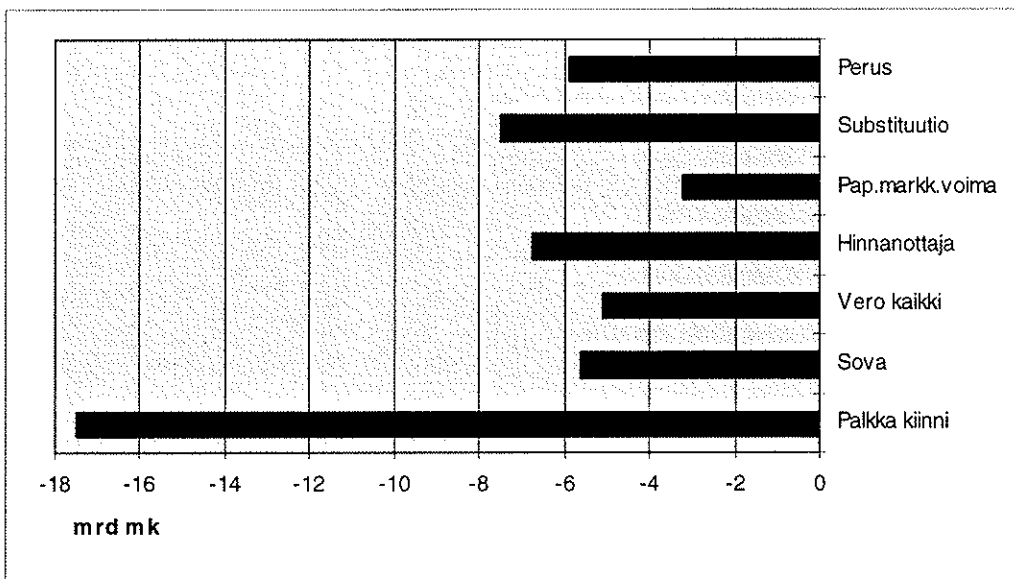
### 4.2.1 Keskeiset tulokset: hyvinvointi ja tuotantojen muutokset

Tulosten herkkyyttä on tarkasteltu sekä joidenkin laskelmissa käytettyjen oletusten että parametrien arvojen suhteen. Seuraavassa tarkastellaan hyvinvointitappion ja tuotantosektorien muutosten herkkyyttä. Yksityiskohtaisemmat tulokset esitetään luvuissa 4.2.2- 4.2.8.

*Taulukko 4.11. Herkkyystarkastelut*

SUBSTITUUTIO	Energiakomponenttien substituutiojoustoja pienennetty tuotantosektoreilla sekä sähkön ja lämmön tuotannossa joustot: 1.2 => 0.7, 0.8 => 0.5
PAP.MARKK.VOIMA	Massa- ja paperiteollisuuden viennin hintajoustoa pienennetty jousto: -10 => -2
HINNANOTTAJA	Viennin ja tuonnin joustoja kasvatettu joustot: -10 => -20, -5 => -10
VERO KAIKKI	Rauta- ja terästeollisuutta ei ole vapautettu päästöverosta
SOVA	Päästöverotulot käytetään sova-maksun alentamiseen
PALKKA KIINNI	Reaalipalkka ei joustaa

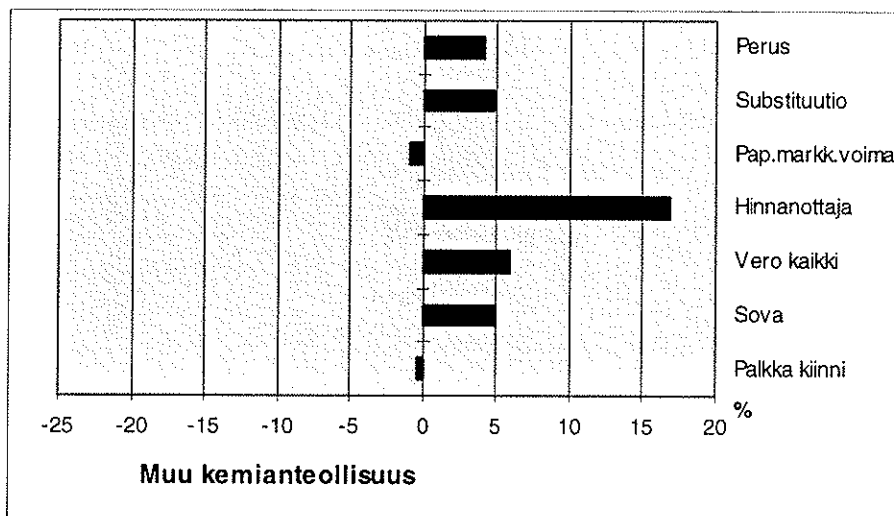
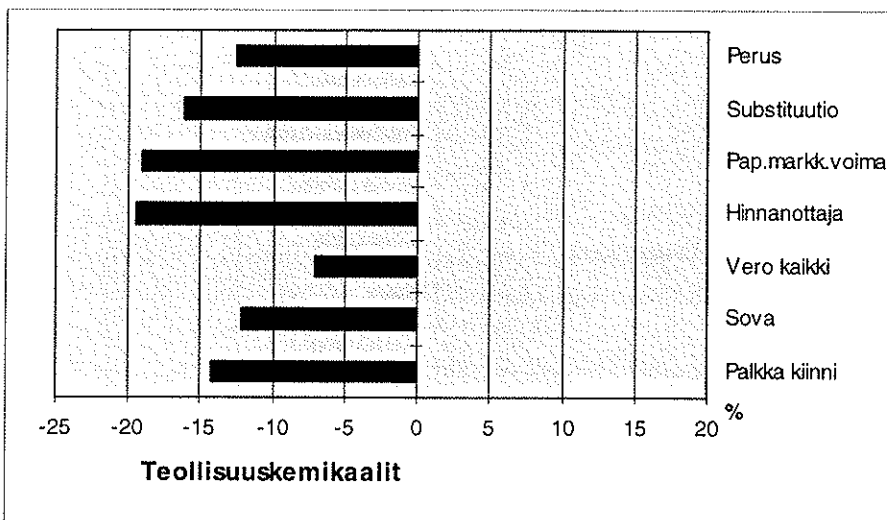
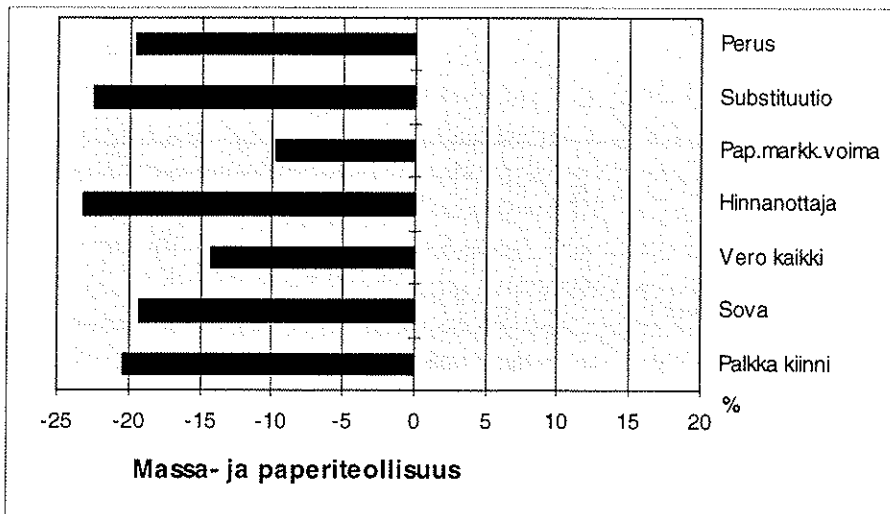
Hyvinvointitappion herkkyyttä havainnollistetaan kuviossa 7. Hyvinvointitappio lähes puolittuu kun massa- ja paperiteollisuuden viennin hintajoustoa pienennetään. Substituutiojoustojen pienentäminen puolestaan kasvattaa hyvinvointitappiota merkittävästi. Verotuksen ulottaminen myös rauta- ja terästeollisuuden päästöihin pienentää hyvinvointitappiota jonkin verran. Päästöverotulojen käytöllä sova-maksun alentamiseen tulonsiirron sijaan ei sen sijaan ole juurikaan vaikutusta hyvinvointitappioon. Hintojen joustavuutta koskeva oletus osoittautuu selvästi merkittävimäksi. Kun reaalipalkka oletetaan jäykäksi, hyvinvointitappio kasvaa noin kolminkertaiseksi.

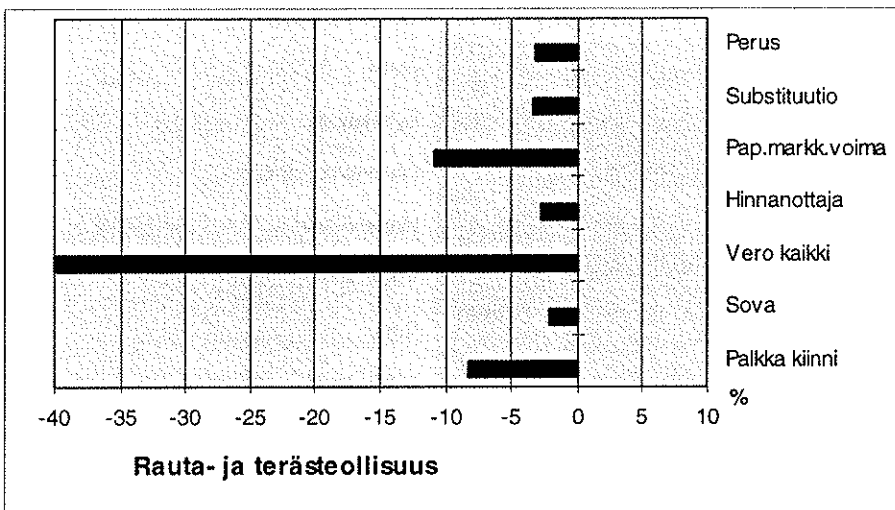
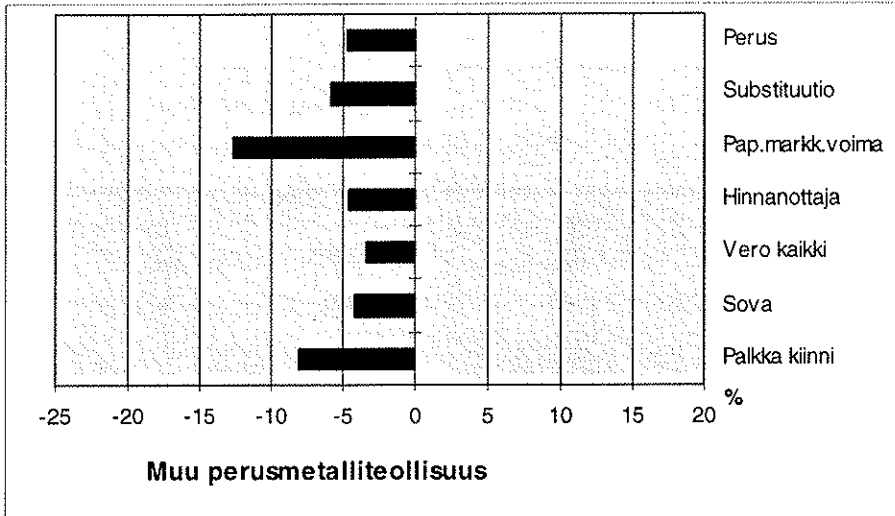


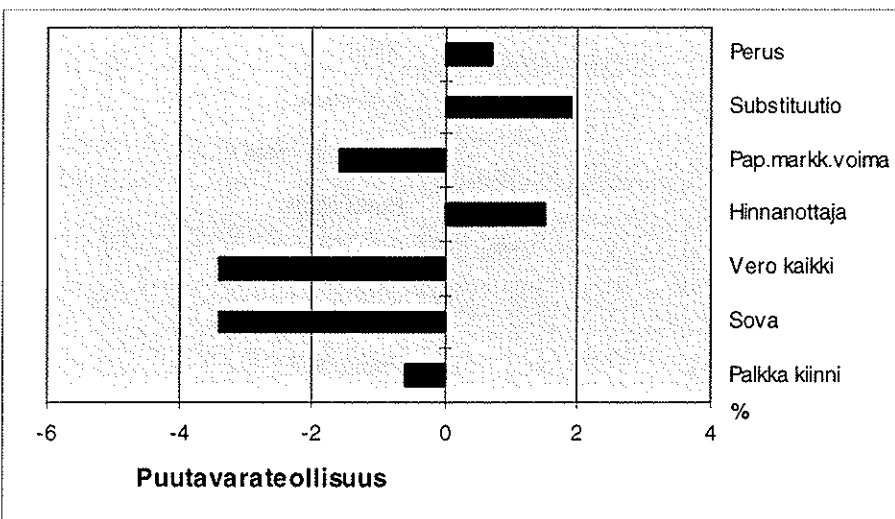
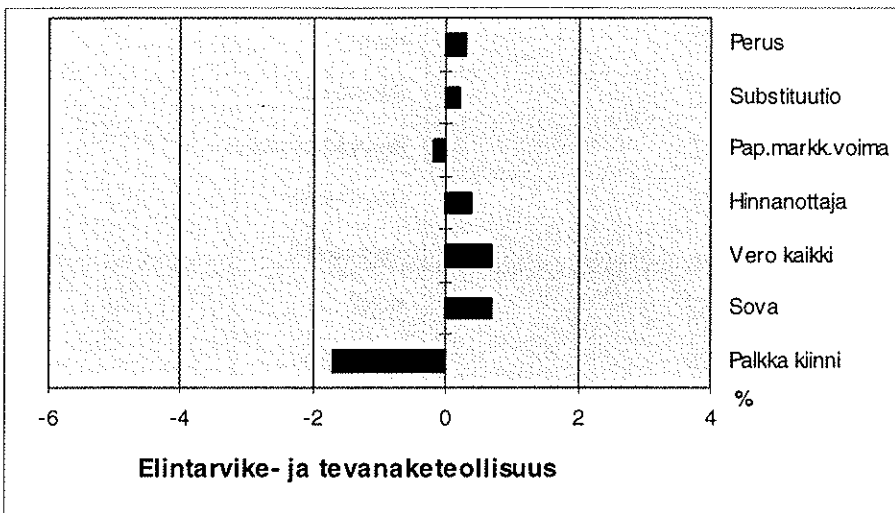
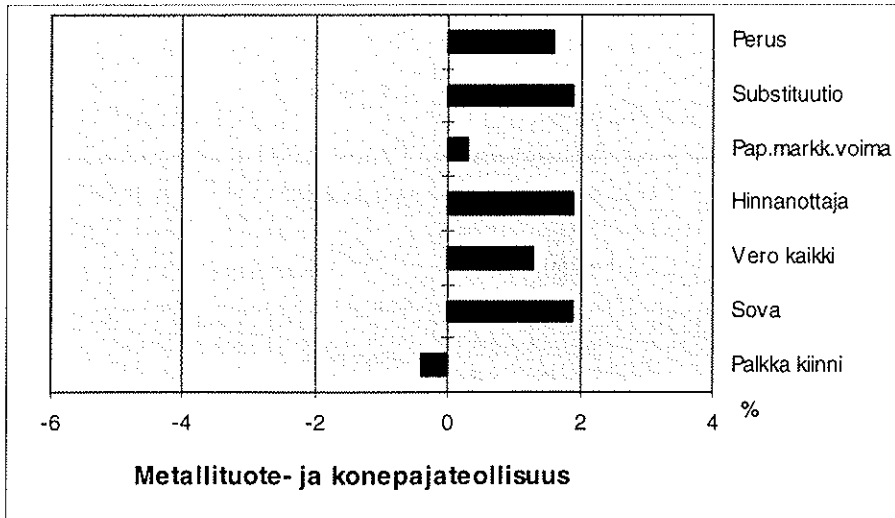
*Kuvio 7. Hyvinvointitappio, mrd mk.*

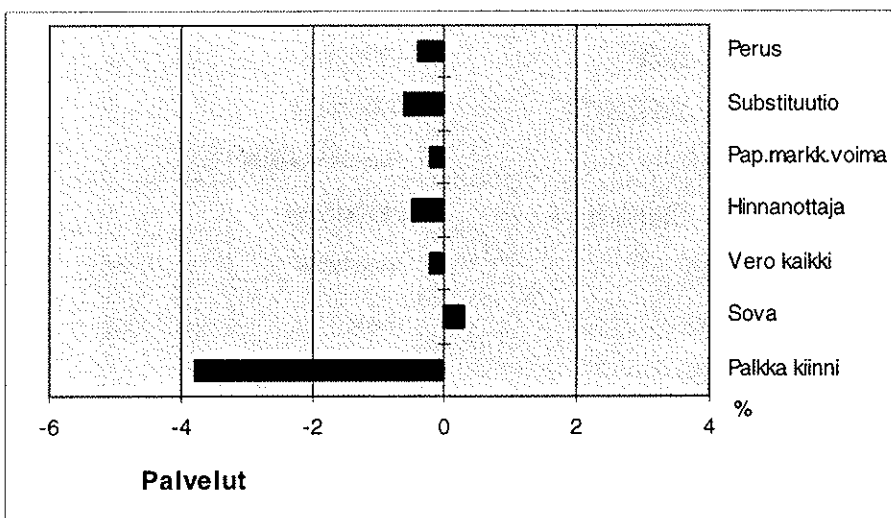
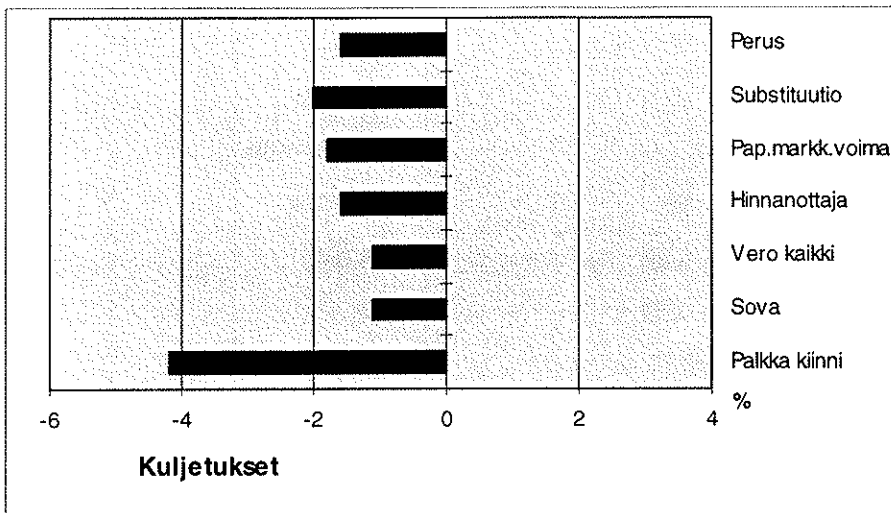
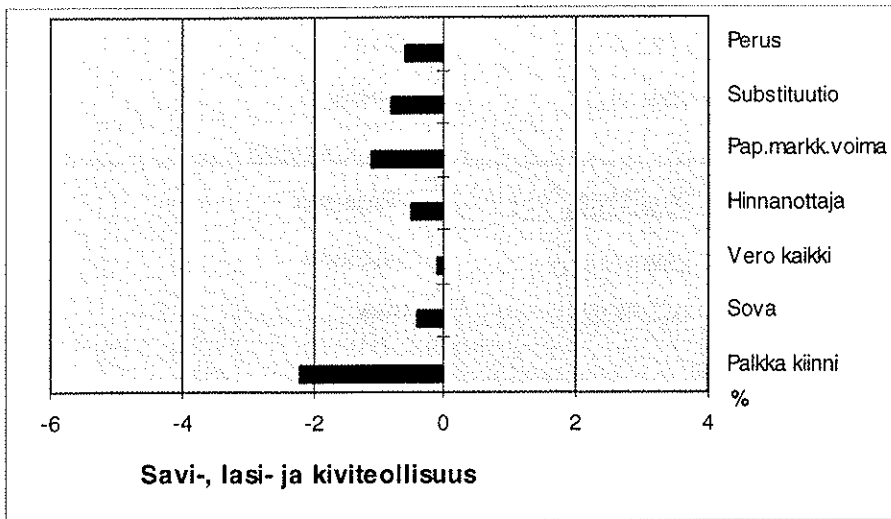
Tuotantojen muutosten herkkyyttä havainnollistetaan kuviossa 8. Massa- ja paperiteollisuuden, teollisuuskemikaalien valmistuksen, muun perusmetallin, rauta- ja terästeollisuuden, savi-, lasi- ja kiviteollisuuden sekä kuljetussektorin tuotannot alenevat kaikissa tarkastelluissa tapauksissa. Metallituote- ja konepajateollisuus puolestaan hyöttyy päästörajoitteesta kaikissa muissa paitsi palkkajäykkyysslaskelmissa. Muussa kemianteollisuudessa, puutavarateollisuudessa, elintarvike- ja tevanaketeollisuudessa sekä palveluissa tuotannon muutoksen suunta riippuu laskelmissa käytetyistä oletuksista. Tuotannon muutoksen suunta peruslaskelmaan verrattuna vaihtuu muussa kemianteollisuudessa sekä elintarvike- ja tevanake-teollisuudessa alennettaessa massa- ja paperiteollisuuden viennin hintajoustoja sekä olettaessa palkkajäykkyys ja palvelusektorilla kun päästöverotulot käytetään sova-maksun alentamiseen. Sektoreilla, joilla viennin hintajousto on alhainen, palkkajäykkyys vaikuttaa eniten tuotannon muutoksen suuruuteen. Peruslaskelmissa korkean viennin hintajouston omaavilla sektoreilla tuotannon taso on herkin viennin hintajoustoja koskeville oletuksille sekä sille, verotetaanko rauta- ja terästeollisuuden päästöjä.

Kuvio 8. Tuotantosektorien %-muutoksia vuonna 2010 perus- ja vaihtoehtoislaskelmissa.











#### 4.2.2 Päästöverotulojen käyttö sova-maksun alentamiseen

Tässä laskelmassa päästöverotulot käytetään työnantajan sosiaalivakuutusmaksun alentamiseen. Päästövero on samansuuruinen kuin peruslaskelmassa. Sova-maksuja alennettaessa päästövero on 282 mk/t CO<sub>2</sub> vuonna 2010 kun se tulonsiirron tapauksessa oli 275 mk/t CO<sub>2</sub>. Päästöjä ja polttoaineiden kulutuksia koskevat tulokset ovat myös hyvin samankaltaiset.

Vaikutukset kokonaistaloudellisiin muuttujiin esitetään taulukossa 4.12. Muutokset panosten hinnoissa (vrt. taulukko 4.4) ovat hyvin samanlaiset palkkoja lukuunottamatta. Kun verotulot käytetään sova-maksujen alentamiseen, reaali-palkka nousee toisin kuin tulonsiirto-laskelmassa, jossa reaali-palkka aleni 3 %. Tuotantosektorien kannalta oleellinen kysymys on työvoiman kokonaiskustannusten muutos eli verottoman palkan ja sova-maksun yhteisvaikutus. Kun sova-maksua alennetaan, työvoimakustannukset alenevat vajaa 4 %<sup>22</sup> eli enemmän kuin tulonsiirto-laskelmassa. Pääoman reaali-hinta laskee puolestaan jonkin verran vähemmän kuin tulonsiirto-laskelmassa, joten työvoiman ja pääoman suhteellinen hinta muuttuu selvästi vähemmän.

Verottoman reaali-palkan nousu lisää hieman työvoiman tarjontaa. Vuonna 2010 se on 0.3 % korkeampi kuin referenssiskenaariossa. Peruslaskelmassa, jossa päästöverotulot palautettiin tulonsiirtona, työn tarjonta aleni 0.4 %. Sekä vienti että tuonti alenevat hieman vähemmän kuin tulonsiirto-laskelmassa. Sova-maksuja alennettaessa investoinnit kasvavat hieman kun taas tulonsiirto-laskelmassa ne pienenevät. Koska muutos on pieni, se ei näy pääomakannassa vielä vuonna 2010. Bruttokansantuotteen aleneminen jää selvästi pienemmäksi kuin tulonsiirtojen tapauksessa. BKT alenee vain 0.4 % kun se tulonsiirtojen tapauksessa aleni 0.8 %. Ero bruttokansantuotteessa johtuu työvoiman tarjonnan kasvusta. Hyvinvointitappio on 5.6 mrd mk eli ero on selvästi pienempi. Hyvinvointiin vaikuttaakin myös vapaa-aika, joka vähenee työn tarjonnan kasvaessa. Sova-maksun alentaminen ei aiheuttanut kaksoishyötyä, sillä hyvinvointi ja bruttokansantuote vähenivät referenssiskenaarioon verrattuna. Työn tarjonta lisääntyi, mutta sen tulkitseminen työttömyyden vähenemiseksi on kuitenkin kyseenalaista, sillä mallissa työttömyys on vapaaehtoista.

Tuotantorakenteen muutokset ovat hyvin samanlaiset kuin tulonsiirtojen tapauksessa. Hyötyjät ja kärsijät ovat samat lukuunottamatta palvelusektoria, joka hyötyy hieman sova-maksuja alennettaessa. Lisäksi vaikutus rakentamiseen on lievästi positiivinen kun taas tulonsiirto-laskelmassa se oli lievästi negatiivinen. Koska kokonaistuotannon taso jää korkeammalle sova-maksuja alennettaessa, tuotannon kasvut ovat jonkin verran suuremmat ja vastaavasti tuotannon supistumiset jäävät pienemmiksi kuin tulonsiirto-laskelmassa.

<sup>22</sup> Sektorikohtaiset erot johtuvat siitä, että sova-maksun osuus työvoimakustannuksista vaihtelee sektoreittain.

*Taulukko 4.12. Päästöjen rajoittamisen vaikutukset kun päästöverotulot käytetään sova-maksun alentamiseen vuonna 2010.*

Tuotannon %-muutoksia referenssiskenaarioon verrattuna.

Massa ja paperi	-19.3
Teollisuuskemikaalit	-12.1
Muu kemianteollisuus	4.9
Rauta ja terästeollisuus	-2.1
Metallituote- ja konepajat.	1.9
Puutavateollisuus	0.9
Palvelut	0.3

Tuotantopanosten hintojen %-muutoksia.

Työvoima	0.6
Työvoima+sova	-3.1 - -4.1
Pääoma	-5.1
Sähkö	35.0
Puu	-7.4

Viennin, tuonnin ja investointien %-muutokset.

Vienti	-3.6
Tuonti, pl.polttoaineet	-1.8
Tuontipolttoaineet	-29.8
Investoinnit	0.1

Hyvinvoinnin ja BKT:n muutokset.

Hyvinvointi, <b>mrd mk</b>	-5.6
Kulutushyödykkeet, %	-1.6
Vapaa-aika, %	-2.7
BKT, %	-0.4
Työvoiman tarjonta, %	0.3
Pääoma, %	0.0

Vaikutukset verokertymiin esitetään taulukossa 4.13. Myös muut verokertymät muuttuvat suhteellisten hintojen ja tuotannon tasojen muuttuessa, vaikka verot säilyvätkin ennallaan. Laskelmissa julkisen sektorin hyöty pidetään referenssiskenaarion tasolla ja se on siis sama molemmissa laskelmissa. Nimelliset tulot/menot kuitenkin pienenevät julkisen sektorin kuluttamien hyödykkeiden hintojen alentuessa.

*Taulukko 4.13. Verokertymien muutokset, Mmk.*

	Tulonsiirto	Sova
Päästövero	+12 190	+ 12 480
Tulonsiirrot	-11 190	0
Sovamaksut	-2 670	-14 591
Välill.verot	-107	- 30
Polttoaineverot	-1 170	- 1 110
Tulot/menot	-2 950	-2 160

#### 4.2.3 Rauta- ja terästeollisuuden päästöjä verotetaan

Rauta- ja terästeollisuuden polttoainekäytön aiheuttamat päästöt olivat 3.6 Mt vuonna 1990 kokonaispäästöjen ollessa 52 Mt. Rauta- ja terästeollisuuden käyttämät hiili (koksi) ja raskas polttoöljy vapautettiin peruslaskelmassa päästöverosta vallitsevan käytännön mukaisesti, koska näiden polttoaineiden käyttöä ei lueta energiakäytöksi. Seuraavassa arvioidaan kuinka paljon tehottomuutta aiheuttaa se, että osa päästöistä on jätetty verotuksen ulkopuolelle. Tulokset koskevat vuotta 2010.

Jos rauta- ja terästeollisuuden hiiltä ja raskasta polttoöljyä verotetaan niiden hiilisisällön mukaisesti, rauta- ja terästeollisuuden tuotanto alenee 40 %. Rauta- ja terästeollisuudessa polttoainekustannusten osuus on huomattava. Tuotantokustannukset nousevatkin 8 % maailmanmarkkinahintaan verrattuna. Koska viennin hintajousto on oletettu suureksi, vienti vähenee puoleen. Rauta- ja terästeollisuuden polttoainekäytöstä syntyneet päästöt vähenevät 3 Mt. Tämä vastaa yli kymmenesosaa koko päästövähennyksestä. Päästövero jää selvästi pienemmäksi kuin peruslaskelmassa. Kun kaikkia päästöjä verotetaan, vero on 220 mk/t CO<sub>2</sub> kun se peruslaskelmassa oli 275 mk/t CO<sub>2</sub>.

Koska sähkön hinta nousee vähemmän kuin peruslaskelmassa, muut energia-intensiiviset vientisektorit kärsivät vähemmän. Massa- ja paperiteollisuuden tuotanto alenee 14 % ja teollisuuskemikaalien valmistus 7 %. Lannoitteiden valmistus, muu kemianteollisuus sekä kumi- ja muoviteollisuus hyötyvät puolestaan enemmän kuin peruslaskelmassa. Bruttokansantuote alenee 0.1 prosenttiyksikköä vähemmän kuin peruslaskelmassa. Hyvinvointitappio on 5 100 Mmk. Rauta- ja terästeollisuuden päästöjen vapauttaminen verosta aiheuttaa siis laskelman mukaan n. 800 Mmk suuruisen hyvinvointitappion.

#### 4.2.4 Palkkajäykkyys

Peruslaskelmassa oletettiin, että palkka on täysin joustava tasapainottaen työvoiman kysynnän ja tarjonnan. Tällöin työttömyyttä ei voi esiintyä. Tässä esitettävässä laskelmassa reaali-palkka on puolestaan oletettu jäykäksi. Palkan sijasta mallissa joustaa työvoiman määrä. Mallista on poistettu vapaa-aika-kulutushyödykevalinta.

Palkkajäykkyys alentaa jonkin verran päästötavoitteen saavuttamiseksi tarvittavaa päästöveroa. Jäykkien palkkojen tapauksessa päästövero on 247 mk/t CO<sub>2</sub> kun se joustavien palkkojen tapauksessa oli 275 mk/t CO<sub>2</sub>. Työvoima vähenee 3.6 %. Koska tuotantopanoksia on vähemmän käytettävissä, tuotannon taso alenee. Sektorittaiset tuotannon kasvut jäävät siis alhaisemmiksi ja tuotannon supistumiset ovat suurempia. Päästörajoitteesta hyötyy enää lannoitteiden valmistus. Rauta- ja terästeollisuuden tuotanto vähenee 8 % kun se joustavien palkkojen tapauksessa supistui 3 %. Teollisuuskemikaalien valmistuksen sekä erityisesti massa- ja paperiteollisuuden kohdalla ero jäykkien ja joustavien palkkojen välillä on selvästi pienempi. Kotitalouksien reaalityövoimien selvästi suurempi aleneminen näkyy erona kotimarkkinoille tuottavilla toimialoilla kuten palveluissa. Joustavien palkkojen tapauksessa palvelusektorin tuotanto aleni vain hieman kun taas reaali-palkan ollessa jäykkä sen tuotanto vähenee 4 %. Bruttokansantuotteeseen ja hyvinvointiin palkkajäykkyydellä on huo-

mattava vaikutus. BKT alenee vajaa 3 % kun se joustavan palkan tapauksessa aleni 0.8 %.

#### 4.2.5 Energiamuotojen väliset substitutiojoustot

Arviot eri polttoaineiden ja sähkön välisistä korvaamismahdollisuuksista vaihtelevat suuresti. Seuraavassa laskelmassa tarkastellaankin tulosten herkkyyttä pienentämällä sekä eri polttoaineiden välisiä korvaamismahdollisuuksia että polttoaineaggregaatin, sähkön ja lämmön välisiä korvaamismahdollisuuksia peruslaskelmaan verrattuna. Peruslaskelmassa eri polttoaineiden välinen substitutiojousto oli sähkön ja lämmön tuotannossa sekä tuotantosektoreilla 1.2. Herkkyystarkastelussa substitutiojoustoille annetaan arvo 0.7. Polttoaineaggregaatin, sähkön ja lämmön välinen substitutiojousto oli tuotantosektoreilla peruslaskelmassa 0.8 ja herkkyyslaskelmassa 0.5. Kotitalouksien energian kysynnän hinta- ja tulojoustoja ei muutettu.

Substituutiomahdollisuuksien vähentäminen kasvattaa päästörajoitteen saavuttamiseen tarvittavaa veroa selvästi. Vero on 354 mk/t CO<sub>2</sub> pienempien ja 275 mk/t CO<sub>2</sub> suurempien korvaamismahdollisuuksien tapauksessa. Kun korvaamismahdollisuudet ovat pienet, taloudessa tapahtuu vähemmän siirtymistä päästöintensiivisistä polttoaineista vähemmän päästöjä aiheuttaviin polttoaineisiin. Sähkön ja lämmön tuotannon turpeen käyttö vähenee 56 %, kivihiilen 58 %, raskaan polttoöljyn 36 % ja maakaasun 32 % kun korvaamismahdollisuudet ovat pienemmät. Peruslaskelmassa muutokset olivat 61 %, 63 %, 29% ja 21 %. Joustojen pienentämisellä ei siis kuitenkaan ole kovin suurta vaikutusta suhteellisiin polttoainekäyttöihin. Maakaasu nousee myös tässä laskelmassa hiilen ohi eniten käytetyksi polttoaineeksi. Jos jouston arvoksi annettaisiin nolla, ei suhteellisten hintojen muutoksella olisi vaikutusta kysyntöihin. Tällöin polttoaineiden kysynät muuttuisivat ainoastaan aktiviteettivaikutuksen kautta, jolloin kysynät vähenisivät yhtä paljon.

Energiamuotojen korvaamismahdollisuuksien pienentäminen kasvattaa energia-kustannuksia, joka puolestaan lisää muiden panoshintojen sopeutumispainetta. Sähkön hinta nousee 37 % ja lämmön 110 % kulutushintaindeksiin verrattuna kun substitutiomahdollisuuksia pienennettiin. Reaalipalkka alenee 3.5 % ja reaalin pääoman hinta 6.8 % kun peruslaskelmassa reaalipalkka aleni 2.9 % ja reaalin pääoman hinta 5.6 %. Myös tuotantojen muutokset ovat hieman suuremmat kun korvaamismahdollisuuksia pienennetään. Esimerkiksi massan ja paperin valmistus vähentyy 19.5 % suurempien ja 22.5 % pienempien korvaamismahdollisuuksien tapauksessa.

Eri energiamuotojen välisten korvaamismahdollisuuksien pienentäminen kasvattaa myös kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Bruttokansantuote alenee 0.94 % pienempien ja 0.8 % suurempien korvaamismahdollisuuksien tapauksessa. Vaikutukset hyvinvointiin ovat saman suuntaiset. Pienemmällä substitutiojoustoilla hyvinvointitappio on 7.5 mrd mk.

#### 4.2.6 Massa- ja paperiteollisuudella markkinavoimaa

Peruslaskelmassa joidenkin sektorien (perusmetalliteollisuus, kemianteollisuus sekä massa- ja paperiteollisuus) viennin hintajoustot olivat korkeat. Tällöin sektorien tuotantohinnat ovat hyvin riippuvaisia maailmanmarkkinahinnasta, sillä pienikin hinnannousu vähentää huomattavasti markkinaosuutta. Kun maailmanmarkkinahinnat ovat lähes annetut, myöskään vaihtosuhteivaikutusta (vientihintojen nousua tuonti-hintoihin verrattuna) ei voi esiintyä. Herkkyyslaskelmassa massa- ja paperiteollisuuden viennin hintajoustoa pienennetään. Massa- ja paperiteollisuuden asema hinnanottajana on kyseenalaisin, sillä joissakin paperilaaduissa Suomi on markkina- asemassa, jossa se pystyy vaikuttamaan hintaan. Viennin hintajoustolle annettiin arvo -2.

Vero suurenee hieman kun massa- ja paperiteollisuuden viennin hintajoustoa pienennetään. Kulutushintaindeksiin suhteutettu vero on 290 mk/t CO<sub>2</sub><sup>23</sup>. Koska veron muutos jää pieneksi, sähkön ja lämmön hinnat nousevat suhteessa kulutushintaindeksiin suunnilleen saman verran kuin peruslaskelmassa. Reaalipalkka laskee hieman vähemmän ja reaalinen pääoman hinta saman verran kuin peruslaskelmassa. Työvoiman ja pääoman suhteellinen hinta siis muuttuu enemmän kuin peruslaskelmassa. Valuuttakurssin ja kulutushintaindeksin suhde muuttuu sen sijaan muuttuu selvästi enemmän kuin peruslaskelmassa.

Kun viennin hintajoustoa pienennetään, massa- ja paperiteollisuus pystyy siirtämään aiempaa enemmän kustannustennousua hintaansa menettämättä osuuttaan maailmanmarkkinoilla. Massa- ja paperiteollisuuden tuotantohinta nousee 5 % suhteessa maailmanmarkkinahintaan kun peruslaskelmassa nousu oli 2.4 %. Sen sijaan vienti ja tuotanto vähenevät vain vajaa 10 % eli selvästi vähemmän kuin peruslaskelmassa. Koska massa- ja paperiteollisuuden tuotanto ja sähkön kulutus vähenevät selvästi vähemmän, muut sähköintensiiviset sektorit puolestaan kärsivät enemmän kuin peruslaskelmassa. Teollisuuskemikaalien tuotanto aleneekin 19 %, rauta- ja terästeollisuuden 15 % sekä muun perusmetalliteollisuuden 14 %. Niiden tuotantoa alentaa erityisesti viennin väheneminen kilpailukyvyn heikentyessä maailmanmarkkinoilla. Myös metallituote- ja konepajateollisuus, lannoitteiden valmistus ja muu kemianteollisuus kärsivät heikentyneestä kilpailukyvystä peruslaskelmaan verrattuna. Metallituote- ja konepajateollisuuden tuotanto kasvaakin vain 0.3 % ja lannoitteiden valmistuksen ja muun kemianteollisuuden tuotannot vähenevät.

Bruttokansantuote alenee 0.7 % eli vähemmän kuin peruslaskelmassa. Hyvinvointitappio jää selvästi pienemmäksi, sillä hyvinvoinnin alenemisen rahallinen arvo on vain 3.2 mrd mk. Tämä johtuu siitä, että mallissa oletetaan, että maa voi vaikuttaa vaihtosuhteeseensa. Vaihtosuhte paraneekin 1.3 %. Tällöin vientiä verottamalla (tässä epäsuorasti) maa voi saavuttaa hyvinvointietuja muun maailman kustannuksella siirtämällä kustannuksiaan ulkomaisten maksettavaksi. Mitä pienempi viennin hintajousto on, sitä enemmän hyvinvointietuja voidaan saavuttaa.

<sup>23</sup> Jos numerairana käytetään valuuttakurssia, päästöveroksi saadaan 300 mk/t CO<sub>2</sub>.

#### 4.2.7 Korkeammat viennin ja tuonnin hintajoustop

Armington-viennin sisältävissä CGE-malleissa viennin hintajoustop asetetaan yleensä korkeiksi vaihtosuhteivaikutuksen estämiseksi. Jotta tuotantosektori olisi täydellinen hinnanottaja, jouston tulisi lähestyä ääretöntä. Tällöin tuotanto saattaa loppua lähes kokonaan. Näin suuria muutoksia ei kuitenkaan pidetty realistisina, joten peruslaskelmassa viennin hintajoustopille annettiin arvo -10 niillä sektoreilla, joilla ei katsottu olevan juurikaan markkinavoimaa. Jouston ollessa -10 vienti vähenee 10 % kun vientihinta nousee 1 % suhteessa maailmanmarkkinahintaan. Tässä herkkyyyslaskelmassa viennin ja tuonnin joustopa kasvattiin jonkin verran. Viennin hintajouston arvoksi annetaan -20 massa- ja paperiteollisuudessa, kemianteollisuudessa sekä perusmetalliteollisuudessa. Näiden hyödykkeiden kotimaisen ja tuontikomponentin välistä substituutiojoustopa kasvattetaan myös antamalla sen arvoksi 10.

Viennin hintajoustopa kasvattaminen aiheuttaa sen että tuotantosektorit voivat siirtää aiempaa vähemmän kustannustennousua hintoihinsa. Tällöin päästöjä saadaan vähennettyä pienemmällä verolla. Tässä vaikutus päästöveroon jää kuitenkin melko pieneksi, sillä päästövero on 264 mk/t CO<sub>2</sub>. Hyvinvointitappio on 6.8 mrd mk eli vajaa miljardin suurempi kuin peruslaskelmassa. BKT vähenee vain hieman enemmän kuin peruslaskelmassa.

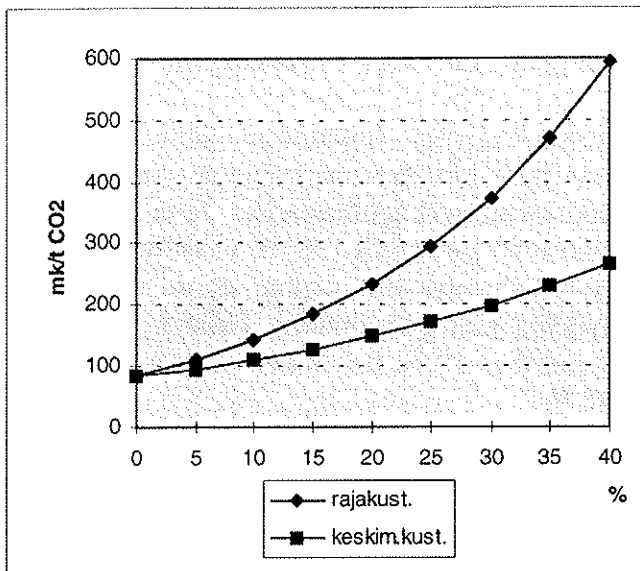
Massa- ja paperiteollisuuden tuotanto vähenee jonkin verran enemmän kuin peruslaskelmassa. Teollisuuskemikaalien valmistuksessa ero on selvästi suurempi, sillä sen tuotanto vähenee tässä laskelmassa vajaa 20 %. Vastaavasti lannoitteiden valmistus sekä muu kemian teollisuus hyötyvät selvästi enemmän kuin peruslaskelmassa, sillä ne pystyvät kasvattamaan vientiään aiempaa enemmän. Vaikka sähkön kulutus vähenee peruslaskelmaa enemmän massa- ja paperiteollisuudessa ja erityisesti teollisuuskemikaalien valmistuksessa, tämä ei juurikaan vaikuta kotitalouksien sähkön ja lämmön käytön vähenemiseen. Esimerkiksi kotitalouksien sähkön (pl. lämmitys) kulutus alenee vain 0.5 % vähemmän kuin peruslaskelmassa.

#### 4.2.8 Työn tarjonnan palkkajoustop

Peruslaskelmassa työn tarjonnan reaali-palkkajoustopa arvo oli 0.1. Herkkyystarkastelussa joustopa annetaan arvot 0.01 ja 0.3. Palkkajoustopa kasvattaminen vähentää työn tarjontaa ja vastaavasti vapaa-aika lisääntyy. Kun palkkajoustopa annetaan arvo 0.3, työn tarjonta on 0.8 % referenssin alapuolella ja vapaa-aika 8 % yläpuolella. Hyvinvointi ja BKT alenevatkin enemmän kuin peruslaskelmassa. Hyvinvointitappio on 300 Mmk suurempi kuin peruslaskelmassa. Bruttokansantuotteessa ero on suurempi, sillä se ei ota huomioon vapaa-ajan korkeampaa tasoa peruslaskelmaan verrattuna. Reaalipalkka alenee hieman vähemmän kuin peruslaskelmassa. Palkkajoustopa pienennettäessä vaikutukset on päinvastaiset. Jouston arvolla 0.01 työn tarjonta alenee 0.1 % ja vapaa-aika lisääntyy 1.1 %. Hyvinvointitappio on tällöin 160 Mmk pienempi kuin peruslaskelmassa.

## 5 CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEN KUSTANNUKSET PÄÄSTÖVÄHENNYKSEN KASVAESSA

Seuraavaksi tarkastellaan miten päästövähennyksen raja- ja keskimääräiset kustannukset muuttuvat päästövähennyksen kasvaessa. Rajakustannuskäyrä ja keskimääräisiä kustannuksia kuvaava käyrä esitetään kuviossa 9. Rajakustannus kuvaa yhden lisäyksikön vähentämisen aiheuttamaa hyvinvointitappiota koko taloudelle<sup>24</sup>. Päästöjä vähennetään vuonna 2010, jota ennen päästöjä ei ole rajoitettu. Tästä seuraa, että päästöjen vähennyksen vaikutusta pääomakantaan ei oteta huomioon toisin kuin luvun 4 laskelmissa.



Kuvio 9. Päästöjen vähentämisen rajakustannuskäyrä ja keskimääräisiä kustannuksia kuvaava käyrä vuonna 2010 kun prosentuaalista päästövähennystä kasvatetaan.

Kuviosta nähdään, että päästöjen vähentämisen rajakustannukset kasvavat epälineaarisesti päästövähennyksen kasvaessa. Tämä johtuu siitä, että substituutiomahdollisuudet pienenevät. Rajakustannus on 5 % vähennyksen kohdalla 109 mk/t CO<sub>2</sub>, 10 % kohdalla 143mk/CO<sub>2</sub>, 20 % vähennyksen kohdalla 234 mk/t CO<sub>2</sub> ja 40 % kohdalla jo 593 mk/t CO<sub>2</sub>. Rajakustannusten nousua on tarkasteltu myös kasvattamalla päästövähennystä tonneissa mitattuna. Rajakustannus on 5 Mt (6.3%) vähennyksen kohdalla 118 mk/t CO<sub>2</sub>, 20 Mt (25.4 %) kohdalla 302 mk/t CO<sub>2</sub> ja 30 Mt (38.1 %) kohdalla 542 mk/t CO<sub>2</sub>.

<sup>24</sup> Rajakustannuskäyrä on laskettu ekvivalenssivariaatiota käyttäen (ks. Goulder ym., 1996, s.16).

Rajakustannus tietyllä päästövähennystasolla saadaan jakamalla ekvivalenttivarioraation muutos päästöjen muutoksella. Rajakustannus päästöjen vähennystasolla  $R$  ( $E_0 - E$ ) on  $EV(E(0), E(R)) - EV(E(0), E(R+e)) / e$ , jossa  $e$  on mielivaltaisen pieni luku. Mitä pienemmäksi  $e$  valitaan, sitä tarkemmin rajakustannuskäyrä saadaan arvioitua pisteessä  $R$ . Tässä  $e$ :lle on annettu arvo 0.01 milj. t. Rajakustannus 5 Mt päästövähennyksen kohdalla saadaan vähentämällä 5 Mt päästövähennyksen aiheuttama hyvinvointitappio 5.01 Mt päästöjen vähennyksen aiheuttamasta hyvinvointitappiosta ja jakamalla tämä erotus 0.01 Mtonnilla.

Rajakustannukset ovat selvästi korkeammat kuin Parry ym. (1997)<sup>25</sup> USA:lle arvioimat rajakustannukset. Parry'n laskelma, jossa päästöjä rajoitetaan päästölupamarkkinoita käyttäen siten, että päästöverotuloja ei kerry, vastaa tässä esitettyjä rajakustannuksia, joissa päästöverotulot palautetaan könttäsummatulonsiirtona, sillä kummassakaan hyvinvointitappiota ei voida pienentää muita veroja alentamalla. Vähennyksen ollessa 10 % rajakustannus on USA:ssa 75 mk/t CO<sub>2</sub> ja 20 % vähennyksen kohdalla 136 mk/t CO<sub>2</sub>.

Päästövähennyksen keskimääräiset kustannukset saadaan jakamalla hyvinvointitappio päästöjen vähennyksellä. Vähennettäessä päästöjä 10 % keskimääräinen kustannus on 110 mk/t CO<sub>2</sub> ja 20 % vähennyksen keskimääräinen kustannus on 148 mk/t CO<sub>2</sub>. Keskimääräiset kustannukset ovat puolestaan alemmat kuin Saksalle arvioidut<sup>26</sup> (ks. Böhringer ja Rutherford, 1997). Saksassa 10 % vähennys aiheuttaa 262 mk/t CO<sub>2</sub> keskimääräisen kustannuksen ja 20 % vähennys 343 mk/t CO<sub>2</sub> kustannuksen.

Taulukossa 5.1 esitetään eri päästövähennysmäärien vaikutukset päästöveroon, hyvinvointiin ja bruttokansantuotteeseen raja- ja keskimääräisten kustannusten lisäksi. Kuten jo rajakustannuskäyrästä nähtiin, vaikutukset ovat epälineaariset. Jotta päästöjä saataisiin vähennettyä 10 %, veron on oltava 40 mk/t CO<sub>2</sub>. 30 % päästövähennys vaatii jo 214 markan suuruisen veron ja 40 % vähennys 400 markan veron. Vaikutus bruttokansantuotteeseen muuttuu myös jyrkästi kun päästörajoite kiristyy. Bruttokansantuote alenee 0.1 % kun päästöjä vähennetään 10 %, 0.6 % kun päästövähennys on 30 % ja 1.1 % kun päästövähennys on 40 %.

*Taulukko 5.1 Päästövero, rajakustannukset, keskimääräiset kustannukset, hyvinvointitappio ja BKT:n vähennys päästörajoitetta kiristettäessä.*

	5%	10%	20%	30%	40%
	-3.9 Mt	-7.9 Mt	-15.8 Mt	-23.7 Mt	-31.5 Mt
Vero, mk/t CO <sub>2</sub>	17	40	105	214	403
Rajakust., mk/t CO <sub>2</sub>	109	143	234	374	593
Keskim.kust.,mk/t CO <sub>2</sub>	95	110	148	198	267
Hyvinvointi, Mmk	-376	-871	-2 331	-4 687	-8 430
BKT, %-muutos	-0.05	-0.12	-0.32	-0.61	-1.07

<sup>25</sup> Parry'n ym. laskelmissa päästöjä mitataan hiilenä eikä hiilidioksidina. 1 tonni hiiltä vastaa 3.67 tonnia hiilidioksidia. Valuuttakurssina on käytetty 1\$=5 mk.

<sup>26</sup> Böhringerin ja Rutherfordin artikkelissa ei ole raportoitu keskimääräisiä kustannuksia vaan ne on laskettu käyttäen hyväksi artikkelissa raportoituja tuloksia. Keskimääräiset kustannukset on laskettu tapauksessa, jossa vero on yhtäläinen ja päästöverotulot palautetaan könttäsummatulonsiirtona.



## 6 LOPUKSI

Tutkimuksessa tarkasteltiin hiilidioksidipäästöjen vähentämisen taloudellisia vaikutuksia tapauksessa, jossa päästöt vähennetään vuoden 1990 tasolle vuonna 2010. Mallin referenssiskenaariossa päästöt olivat 79 Mt CO<sub>2</sub> vuonna 2010, joten päästöjä oli vähennettävä 27 Mt. Päästövähennys saadaan aikaan verolla, jonka suuruus on 275 mk/t CO<sub>2</sub>. Päästövero nostaa hiilen ja turpeen suhteellista hintaa maakaasuun verrattuna noin 220 %. Sähkön ja lämmön tuotannossa tapahtuukin huomattavaa siirtymistä kivihiilestä ja turpeesta maakaasuun. Tätä vaikutusta ei aiemmalla malliversiolla pystytty ottamaan huomioon, jolloin päästörajoitteen aiheuttamat kustannukset yliarvioitiin tältä osin. Tulosten mukaan noin puolet päästövähennyksestä saataisiin aikaan hiilen käyttöä vähentämällä. Turpeen päästöt pienenisivät 5 Mt. Tällöin hiilen ja turpeen kulutukset vähenisivät yli 50 % referenssiskenaarioon verrattuna. Maakaasu nousee laskelman mukaan eniten käytetyksi polttoaineeksi. Maakaasunkin kulutus vähenee kuitenkin päästörajoitteen seurauksena sähkön ja lämmön tuotannon vähentyessä selvästi.

Päästöjen rajoittaminen aiheuttaa taloudessa rakennemuutoksen energiantensiivisten tuotantosektorien kannattavuuden heikentyessä suhteessa työvoima- ja pääoma-intensiivisiin sektoreihin. Peruslaskelmassa massa- ja paperiteollisuuden tuotanto aleni noin 20 % referenssiskenaarioon verrattuna. Tuotanto oli kuitenkin edelleen hieman vuoden 1990 tason yläpuolella. Suuret rakenteelliset muutokset johtuvat mm. siitä että mallissa oletetaan että tuotantopanokset, kuten pääoma, voivat siirtyä vapaasti sektorilta toiselle kunkin periodin aikana. Lisäksi viennin hintajoustot oletettiin korkeiksi massa- ja paperiteollisuudessa, perusmetalliteollisuudessa ja kemianteollisuudessa, jolloin pienikin tuotantokustannusten nousu aiheutti vientikysynnän selvän vähenemisen. Massa- ja paperiteollisuuden lisäksi päästörajoite vähensi selvästi sähköintensiivistä teollisuuskemikaalien tuotantoa. Peruslaskelmassa oletettiin nykykäytännön mukaisesti että rauta- ja terästeollisuuden päästöjä ei veroteta. Vaihtoehtolaskelmassa, jossa verot kohdistettiin kaikkiin päästöihin, rauta- ja terästeollisuuden tuotanto väheni n. 40 % eli selvästi eniten. Tällöin massa- ja paperiteollisuuden tuotanto aleni vajaa 15 %. Useat sektorit hyötyvät päästörajoitteesta työ- ja pääomakustannusten alentuessa. Hyöty koski erityisesti niitä työ- ja pääomavaltaisia sektoreita, joiden tuotannosta merkittävä osa menee vientiin. Kotimarkkinoille tuottavat setorit puolestaan kärsivät reaalisten tulojen alenemisen aiheuttamasta kysynnän vähenemisestä.

Bruttokansantuote aleni peruslaskelmassa 0.8 % ja hyvinvointitappio oli 5.9 mrd mk. Päästöverotulojen käytöllä oli selvä vaikutus bruttokansantuotteen alenemiseen. Laskelmassa, jossa päästöverotulot käytettiin sova-maksun alentamiseen könttösommatulonsiirron sijaan, BKT aleni vain 0.4 % työn tarjonnan kasvaessa. Hyvinvointitappion ero jäi kuitenkin selvästi pienemmäksi, sillä työn tarjonnan lisääntymisestä seuraava vapaa-ajan väheneminen alentaa hyvinvointia. Hyvinvointitappiota voitiin pienentää huomattavasti olettamalla, että massa- ja paperiteollisuus pystyy vaikuttamaan vientihintaansa. Tällöin päästörajoitteen aiheuttamia kustannuksia voidaan siirtää ulkomaiden maksettavaksi. Sekä bruttokansantuoteeseen että hyvinvointiin vaikutti kuitenkin eniten oletus reaali-palkan joustavuudesta. Laskelmassa, jossa reaali-palkka oletettiin jäykäksi, työllisyys väheni huomattavasti alentaen bruttokansantuotetta vajaa 3 %.

Päästöjen vähentämisen rajakustannuskäyrä oli melko epälineaarinen eli päästöjen vähentämisen kustannukset kasvoivat selvästi päästövähennyksen kasvaessa. Esimerkiksi 30 % (24 Mt) päästövähennys aiheutti 4.7 mrd mk hyvinvointitappion kun taas 40 % (32 Mt) vähennyksen tapauksessa hyvinvointitappio oli jo 8.4 mrd mk. Pieni ero päästövähennyksen suuruudessa aiheuttaakin melko suuren eron kustannuksissa, joten referenssiskenaarion päästöennusteen oikeaanosuus on tärkeää arvioitaessa kustannuksia tapauksessa, jossa päästöt vähennetään tietyn vuoden tasolle.

CGE-mallin tulokset päästöjen vähentämisen vaikutuksista eroavat energiasektorimallien tuloksista. Molemmissa mallityypeissä päästöjä vähennetään korvaamalla päästöintensiivisiä polttoaineita vähemmän päästöjä aiheuttavilla polttoaineilla. CGE-mallissa päästöjä kannattaa vähentää myös muuttamalla talouden tuotantorakennetta. Energiasektorimalleissa tätä mahdollisuutta ei voida ottaa huomioon. Energiasektorimalleissa päästöjä saadaan puolestaan vähennettyä energiaa säästämällä, mutta CGE-malleissa päästöveron vaikutusta energiansäästöön ei olla pystytty ottamaan huomioon. Tuloksista nähtiinkin, että esim. kotitalouksien hyötyenergian käyttö aleni huomattavasti. Todellisuudessa energian käyttöä tehostamalla kotitalouksien hyötyenergian alentuminen voi jäädä selvästi sähkön kulutuksen alentumista vähäisemmäksi.

## LÄHTEET

- Armington, P.(1969): *A Theory of Demand for Products Distinguished By Place of Production*. International Monetary Fund Staff Papers.
- Ballard, C., D.Fullerton, J. Shoven and J. Whalley (1985): *A General Equilibrium Model for Tax Policy Evaluation*. The University of Chicago Press.
- Bergman, L. (1991): *General Equilibrium Effects of Environmental Policy: A CGE-Modeling Approach*. Environmental and Resource Economics 1, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Bjerkholt, O., O.Olsen and S. Strom (eds.) (1983): *Analysis of Supply and Demand of Electricity in the Norwegian Economy*. Central Bureau of Statistics of Norway. Samfunnsøkonomiske Studier 53.
- Burniaux, J., G.Nicoletti and J.Oliveira Martins (1992): *The Costs of Reducing CO2 Emissions: Evidence from GREEN*. OECD, Resource Allocation Division, Working Papers No.115.
- Böhringer, C. and T. Rutherford (1997): *Carbon Taxes with Exemptions in an Open Economy: A General Equilibrium Analysis of the German Tax Initiative*. Journal of Environmental Economics and Management 32, 189-203.
- Energiatalous 2025. Skenaariotarkasteluja*. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Julkaisuja 3/1997.
- Goulder, L., I. Parry and D. Burtraw (1996): *Revenue-Raising vs. Other Approaches to Environmental Protection: The Critical Significance of Pre-Existing Tax Distortions*. NBER Working Paper 5641.
- Harrison, G. and B. Kriström (1997): *Carbon Taxes in Sweden*. In "Skatter, miljö och sysselsättning. Underslagsrapporter till Skatteväxlingskommittens slutbetänkande. SOU 1997:11.
- Honkatukia, J. (1993): *Imperfect Competition and Export Demand*. Discussion Paper 118, Labour Institute for Economic Research.
- Honkatukia, J. (1995): *Intraindustry trade, competitiveness, and price rigidities in the Finnish manufacturing industries*. VATT Discussion Papers.
- Ilmakunnas, S. (1997): *Female Labour Supply and Work Incentives*. Labour Institute for Economic Research, Studies 68, Helsinki.
- Jerkkola, J., J.Kinnunen and J. Pohjola (1993): *A CGE Model for Finnish Environmental and Energy Policy Analysis*. Helsinki School of Economics. Discussion Papers No.5.

Kuismanen, M. (1993): *Progressiivisen tuloverotuksen vaikutus miesten työn tarjontaan*. VATT-tutkimuksia 14.

Lehtilä, A. ja Pirilä, P. (1993): *Suomen energiaperäisten hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja verot sen ohjauskeinona*. VTT julkaisuja 785.

Malka, S. (1992): *Tieliikenteen energian kysynnän hinta- ja tulojousto*. VATT, Keskustelualoitteita 21.

Parry, I., R.C. Williams III and L. Goulder (1997): *When Can Carbon Abatement Policies Increase Welfare? The Fundamental Role of Distorted Factor Markets*. NBER Working Paper 5967.

Pereira, A. and J.B.Shoven (1988): *Survey of Dynamic Computational General Equilibrium Models for Tax Policy Evaluation*. Journal of Policy Modeling 10(3).

Sukselainen, T. (1986): *Price Formation in the Finnish Manufacturing Industry in 1969-1981*. Bank of Finland B:42.

Sulamaa, P. and J. Pohjola (1995): *Dynamic Computable Equilibrium Model for Finnish Energy and Environmental Policy Analysis*. Helsinki School of Economics and Business Administration, Department of Economics. Working Papers K-20.

Suoniemi, I. and R. Sullström (1995): *The structure of household consumption in Finland, 1966-1990*. VATT - Tutkimuksia 27.

Turunen, T. (1993): *Massa- ja paperiteollisuuden energiankysyntämalleja*. Paperi ja puu, Vol.75, No.3.

## TILASTOT

Energia ja päästöt. Tilastokeskus, Ympäristö 1996:2.

Energiatilastot 1993. Tilastokeskus, Energia 1994:1.

## LIITE 1

### TUOTANTOSEKTORIT JA KULUTUSHYÖDYKKEET

#### Tuotantosektorit

Rauta- ja terästeollisuus
Muu perusmetalliteollisuus
Teollisuuskemikaalien valmistus
Lannoitteiden valmistus
Muu kemianteollisuus
Kumi- ja muoviteollisuus
Massa- ja paperiteollisuus
Paperituotteiden valmistus
Puutavateollisuus
Metallituote- ja konepajateollisuus
Elintarvike- ja tevanaketeollisuus
Savi-, lasi- ja kiviteollisuus
Muu teollisuus
Maatalous
Kaivannaistoiminta (pl.turvetuotanto)
Rakennustoiminta
Kuljetukset
Kiinteistötoiminta
Palvelut (kauppa, ravitsemus- ja majoitus, tietoliikenne, rahoitus- ja vakuutus)

#### Kulutushyödykkeet

Elintarvikkeet
Juomat ja tupakka
Vaatetus ja jalkineet
Asuminen pl. energia
Kotitaloustarvikkeet
Terveys
Liikenne pl. energia
Virkistys ja koulutus
Muu kulutus
Lämmitysenergia
Sähkö pl. lämmitys
Liikennepolttoaineet

## LIITE 2

## TUOTANTOSEKTORIEN KUSTANNUSRAKENTEET v. 1990

	Rauta- ja terästeoll.	Muu perus- metalliteoll.	Teollisuus- kemikaalit	Lannoitteet	Muu kemia
Välituotteet	39.0	56.8	44.5	53.1	48.9
Verot	1.0	0.4	1.7	0.7	0.9
Liikennepa	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
Muut pa	9.6	1.1	1.0	0.4	0.7
Sähkö	5.0	3.8	5.0	1.5	0.8
Lämpö	0.5	0.7	2.0	0.0	0.3
Työvoima	27.6	18.0	19.2	17.9	25.8
Pääoma	17.2	18.7	26.5	26.3	22.4
	Kumi- ja muoviteoll.	Massa- ja paperiteoll.	Paperituot- teet	Puutavara	Met.tuot.ja koneteoll.
Välituotteet	50.5	30.2	56.9	20.4	36.3
Verot	0.3	0.4	0.3	0.3	1.0
Liikennepa	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1
Muut pa	0.3	0.6	0.4	0.6	0.2
Sähkö	1.7	6.3	1.0	1.4	0.9
Lämpö	0.4	4.6	0.5	1.4	0.2
Puu,raaka-aine	0.0	21.8	0.1	37.1	0.0
Työvoima	27.6	20.2	24.2	24.1	38.9
Pääoma	18.9	15.8	16.0	14.6	22.3
	Elintarv. ja tekstiiliteoll.	Savi-, lasi- ja kiviteoll.	Muu teollisuus	Maatalous	Kaivannais- toiminta
Välituotteet	74.0	43.2	49.6	32.4	41.1
Verot	-15.9	0.7	1.1	3.7	1.3
Liikennepa	0.2	0.4	0.2	0.1	0.7
Muut pa	0.5	2.3	0.2	3.0	2.0
Sähkö	1.0	4.2	1.0	1.1	4.2
Lämpö	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0
Puu,raaka-aine	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Työvoima	25.6	28.3	32.7	8.2	19.1
Pääoma	14.0	22.9	15.0	50.9	31.4
	Rakentami- nen	Kuljetuk- set	Kiinteistö- toiminta	Palvelut	
Välituotteet	47.7	31.6	32.1	46.3	
Verot	8.3	7.6	3.6	2.3	
Liikennepa	0.1	3.8	0.2	0.4	
Muut pa	0.4	0.2	1.0	0.2	
Sähkö	0.4	0.5	0.0	0.6	
Lämpö	0.2	0.1	0.0	0.2	
Työvoima	30.2	30.8	20.1	39.5	
Pääoma	12.4	25.0	42.8	10.5	

## LIITE 3

### TUTKIMUKSESSA KÄYTETTYJEN JOUSTOJEN ARVOJA

#### L3.1 Tuotantopanosten väliset substituutiojoustot

Tuotantopanosten välisiä korvaavuusmahdollisuuksia kuvaavien substituutiojoustojen arvot esitetään taulukossa 1. Substituutiojousto kuvaa hintasuhteen muutoksen vaikutusta määrien suhteeseen. Mitä pienempi jouston arvo on, sitä vaikeampaa panosten välinen korvaaminen on, eli sitä enemmän panosten hintasuhteen täytyy muuttua tietyn panosten määrasuhteen muutoksen saavuttamiseksi. Jos siis energian ja pääoman välisen substituutiojouston arvo on 0.3 ja energia kallistuu suhteessa pääomaan 10 %, energian käyttö vähenee suhteessa pääoman käyttöön 3 %.

Substituutiojoustoja koskevat estimaatit vaihtelevat suuresti tutkimuksittain. Tässä tutkimuksessa käytetyt substituutiojoustojen arvot eivät perustu mihinkään yksittäiseen tutkimukseen. Ne ovat kuitenkin melko lähellä OECD:n GREEN-mallissa (ks. Burniaux ym., 1992) käytettyjä joustojen arvoja. GREEN-mallissa energiakomponenttien välinen substituutiojousto on 1.2, energian ja pääoman 0.3 sekä työvoiman ja pääoma-energia-aggregaatin 0.6.

*Taulukko 1. Panosten väliset substituutiojoustot.*

Eri polttoaineet	1.2
sähkö - lämpö - polttoaineaggregaatti	0.8
energia - pääoma	0.4
raaka-ainepuu - pääoma&energia	0.2
työvoima - puu&pääoma&energia	0.9

#### L3.2 Työn tarjonnan ja eri kulutushyödykkeiden hinta- ja tulojoustot

Taulukossa 2 esitetään työn tarjonnan sekä eri kulutushyödykkeiden hinta- ja tulojoustot. Hinta- ja tulojoustot eroavat siis hyödykeittäin. Työn tarjonnan palkka- ja tulojoustot perustuvat Ilmakunnaksen (1997) naisten työn tarjontaa ja Kuismasen (1993) miesten työn tarjontaa koskeviin joustoestimaatteihin. Kulutushyödykkeiden hinta- ja tulojoustot pohjautuvat Suoniemen ja Sullströmin (1995) estimaatteihin lukuunottamatta liikennepolttoaineiden joustoja, jotka perustuvat Malkan (1992) estimaatteihin.

Taulukko 2. Työn tarjonnan ja eri kulutushyödykkeiden hinta- ja tulojoustot.

	Hintajousto	Tulojousto
Työn tarjonta	0.1	-0.1
Elintarvikkeet	-0.3	0.4
Juomat ja tupakka	-0.7	1.0
Vaatetus ja jalkineet	-0.9	1.3
Asuminen pl. energia	-0.9	1.2
Kotitaloustarvikkeet	-0.6	0.8
Terveys	-0.8	1.1
Liikenne pl. energia	-0.8	1.1
Virkistys ja koulutus	-0.7	0.9
Muu kulutus	-1.0	1.4
Lämmitysenergia	-0.7	1.1
Sähkö pl. lämmitys	-0.7	1.1
Liikennepolttoaineet	-0.7	1.0

### L3.3 Viennin ja tuonnin joustot

Viennin hintajoustot sekä tuontihyödykkeen ja kotimaisen hyödykkeen väliset substituutiojoustot tuotantosektorien väli tuotekesynnöissä ja julkisessa kulutuksessa esitetään taulukossa 3. Jako "hinnanottajiin" ja markkinavoimaa omaaviin sektoreihin pohjautuu Sukselaisen (1986) ja Honkatukian (1993, 1995) tuloksiin (ks. tarkemmin luku 2.7.2).

Taulukko 3. Viennin hintajoustot sekä tuontihyödykkeen ja kotimaisen hyödykkeen väliset substituutiojoustot.

	Vienti	Tuonti
Massa- ja paperiteollisuus	-10	-5
Paperituotteiden valm.	-10	-5
Teollisuuskemik.valm.	-10	-5
Lannoitteiden valm.	-10	-5
Muu kemianteollisuus	-10	-5
Rauta- ja terästeollisuus	-10	-5
Muu perusmetalliteollisuus	-10	-5
Metallituote- ja konep.teoll.	-2	-2
Puutavateollisuus	-2	-2
Elintarv.- ja tevanaketeoll.	-2	-2
Savi-, lasi- ja kiviteollisuus	-2	-2
Muu teollisuus	-2	-2
Maatalous	-2	-2
Kaivannaistoiminta	-2	-2
Kiinteistötoiminta	-2	-1.5
Kuljetukset	-2	-1.5
Palvelut	-2	-1.5

Kotitalouksien kulutushyödykkeille tuonnin ja kotimaisen välinen substituutiojousto on 2 lukuunottamatta terveydenhoitoa, virkistystä ja koulutusta sekä muuta kulutusta, joiden kohdalla jousto on 1.5.



## LIITE 4

### ENERGIA-AINEISTO JA PÄÄSTÖT v. 1990

#### L4.1 Yleistä

Panos-tuotostaulun energiatoimialoja ovat "Sähkö- ja lämpöhuolto", "Öljytuotteiden ja ydinpolttoaineen valmistus" sekä "Muu mineraalien kaivuu". "Öljytuotteiden valmistus" sisältää liikennepolttoaineiden sekä kevyen ja raskaan polttoöljyn lisäksi maakaasun. "Muu mineraalien kaivuu" sisältää kotimaisen tuotannon osalta turpeen ja tuonnin osalta kivihiihen. Panos-tuotosaineistossa toimialat on käsitelty aggregaateina, joten eri polttoaineita koskevia tietoja ei ollut valmiiksi saatavissa. Tilastokeskuksesta tilattiinkin energian kulutusta ja tuotantoa koskevalla aineistolla laajennettu panos-tuotostaulu.

Panos-tuotostaulun rivit kuvaavat hyödykkeiden kulutuksia tuotantosektorien välituotteina sekä loppukulutuksessa. Rivisuunnassa "Sähkö- ja lämpöhuolto" jaettiin sähköön ja lämpöön, "Öljytuotteiden valmistus" liikennepolttoaineisiin, kevyeen polttoöljyyn, raskaaseen polttoöljyyn ja maakaasuun sekä "Muu mineraalien valmistus" kotimaisen tuotannon osalta turpeeseen ja ei-energiahyödykkeeseen sekä tuonnin osalta kivihiihen ja ei-energiahyödykkeeseen.

Mallissa käytetyt energian kulutusta koskevat tiedot perustuvat Energiatilinpidon, jossa energian kulutus ilmoitetaan sekä markoissa että energiayksiköissä kun taas panos-tuotosaineisto sisältää vain markkatietoja. Ongelmana oli, että Energiatilinpidon ja panos-tuotosaineiston markkaluvut eivät vastanneet toisiaan. Erot saattoivat olla hyvinkin suuria. Koska Energiatilinpidon energiankulutuslukuja pidettiin luotettavampina kuin panos-tuotosaineiston lukuja, käytettiin mallissa Energiatilinpidon lukuja. Panos-tuotosaineiston energiankulutuslukuja korvaaminen Energiatilinpidon luvuilla aiheutti sen, että bruttotuotantoja ja kotitalouksien kokonaiskulutusta oli muutettava vastaavasti, sillä muuten kokonaiskustannukset/menot eivät olisi vastanneet tuotannon/kulutuksen arvoa.

Sarakesuunnassa kuvataan eri tuotantosektorien käyttämät panokset eli kustannusrakenteet ja loppukulutuserien jakautuminen eri hyödykkeisiin. Tilastokeskuksesta saadussa aineistossa "Sähkö- ja lämpöhuolto" on jaettu 13 tuotantomuotoon Teollisuustilaston luokituksen mukaisesti. Tätä jakoa ei kuitenkaan toistaiseksi ole täysin hyödynnetty sähkön ja lämmön tuotannon mallituksessa vaan sähkön ja lämmön tuotanto on CGE-mallissa jaettu kahteen osaan eli eksogeeniseen tuotantoon, joka sisältää ydin- ja vesivoiman sekä endogeeniseen tuotantoon, joka sisältää erillisen sähkön tuotannon, erillisen lämmön tuotannon sekä yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon. Mallin aineistoa muodostettaessa "Öljytuotteiden valmistus" yhdistettiin sarakesuunnassa korjauskomponenttiin, koska "Öljytuotteiden valmistusta" ei myöskään rivisuunnassa ole käsitelty tuotantosektorina. Tämä johtuu mallissa käytetystä oletuksesta, jonka mukaan kaikki öljytuotteet sekä maakaasu tuodaan. "Muu mineraalien kaivuu" jaettiin turpeen tuotantoon ja muuhun tuotantoon olettamalla, että niiden kustannusrakenteet ovat samat.

## L4.2 Polttoaineiden kulutukset

Suurin osa polttoaineista käytetään sähkö- ja lämpöhuollossa. Sähkö- ja lämpöhuolto sisältää myös tuotantosektorien kuten massa- ja paperiteollisuuden oman sähkön ja lämmön tuotannon. Sähkö- ja lämpöhuollossa käytetään 70 % kivihielestä, yli 80 % maakaasusta, vajaa 100 % turpeesta ja 40 % raskaasta polttoöljystä. Rauta- ja terästeollisuus on muista tuotantosektoreista huomattavin polttoaineiden käyttäjä, sillä se käyttää kivihiilestä (ml. koksi) 20 % ja raskaasta polttoöljystä 11 %. Muita merkittäviä käyttäjiä ovat massa- ja paperiteollisuus, joka käyttää raskaasta polttoöljystä 7 % ja maakaasusta 6 %, savi-, lasi- ja kiviteollisuus, joka käyttää 5 % kivihiilestä sekä elintarvike- ja tevanaketeollisuus, joka käyttää 10 % raskaasta polttoöljystä. Kevyen polttoöljyn merkittävimpiä käyttäjiä ovat kotitaloudet, maatalous, rakennustoiminta sekä palvelusektori. Liikennepolttoaineista hieman yli puolet käytetään kotitalouksissa ja vajaa kolmannes kuljetuksissa.

*Taulukko I. Polttoaineiden kokonaiskulutukset ja merkittävimmät käyttäjät v.1990.*

	Määrä, PJ*	%
<b>Kivihiili</b>		
Yhteensä	156.9	100
Sähkö- ja lämpöhuolto	111.5	71
Rauta- ja terästeollisuus	31.1	20
Savi-, lasi- ja kiviteoll.	8.0	5
<b>Maakaasu</b>		
Yhteensä	88.2	100
Sähkö- ja lämpöhuolto	72.8	83
Massa- ja paperiteoll.	5.2	6
<b>Turve</b>		
Yhteensä	46.5	100
<b>Raskas polttoöljy</b>		
Yhteensä	68.4	100
Sähkö- ja lämpöhuolto	27.0	39
Rauta- ja terästeollisuus	7.7	11
Elintarv.- ja tevanaketeoll.	6.6	10
Massa- ja paperiteollisuus	5.0	7
<b>Kevyt polttoöljy</b>		
Yhteensä	94.9	100
Kotitaloudet	38.5	41
Maatalous	21.5	23
Rakentaminen	11.3	12
Palvelut	8.8	9
<b>Liikennepolttoaineet</b>		
Yhteensä	154.7	100
Kotitaloudet	83.7	54
Kuljetukset	47.2	31
Palvelut	11.9	8

Taulukon luvut koskevat mallissa käytettyä aineistoa, jota on hieman yksinkertaistettu Tilastokeskuksesta saatuun lähtöaineistoon verrattuna.

\* PJ =  $10^{15}$  J = 24,6 1000 toe.

### L4.3 Hiilidioksidipäästöt

Hiilidioksidipäästöt saadaan käyttämällä energiankulutustietoja sekä polttoainekohtaisia päästökertoimia, sillä hiilidioksidipäästöt energiayksikköä kohden eivät riipu polttotekniikasta toisin kuin rikin ja typen oksidien. Päästökertoimet esitetään taulukossa 2. Turve sisältää kaksi kertaa enemmän hiiltä energiayksikköä kohden kuin maakaasu. Hiilen päästökerroin on myös korkea.

*Taulukko 2. Päästökertoimet, t CO<sub>2</sub>/TJ.*

Kevyt polttoöljy	74
Raskas polttoöljy	77
Liikennepolttoaineet	73
Maakaasu	55
Hiili	93
Turve	110

Hiilidioksidin kokonaispäästöt (pl. ulkomaanliikenne) olivat 52.1 milj.t. vuonna 1990 Tilastokeskuksen mukaan (ks. Energia ja päästöt, 1996). CGE-mallissa käytettyjen polttoainekulutuslukujen mukaiset päästöt polttoaineittain perusvuonna 1990 esitetään taulukossa 3.

*Taulukko 3. CO<sub>2</sub>-päästöt CGE-mallissa sekä "Energia ja päästöt"-julkaisussa raportoidut CO<sub>2</sub>-päästöt polttoaineittain.*

	Päästöt CGE-mallissa	Päästöt julkaisussa
Kevyt polttoöljy	7.5	7.6
Raskas polttoöljy	5.5	5.8
Liikennepolttoaineet	11.6	11.6
Maakaasu	4.8	4.8
Kivihili	14.6	13.6
Turve	5.1	5.4
Muut	3.0	3.4
Yhteensä	52.1	52.1

CGE-mallin kevyen polttoöljyn kulutuksen mukaiset CO<sub>2</sub>-päästöt ovat 7.5 Mt, joka on hyvin lähellä "Energia ja päästöt"-julkaisun arviota 7.6 Mt. Raskaan polttoöljyn kohdalla ero on hieman suurempi, sillä mallissa CO<sub>2</sub>-päästöt ovat 5.5 Mt kun taas "Energia ja päästöt"-julkaisun arvio on 5.8 Mt. Liikennepolttoaineiden käytön aiheuttamat päästöt ovat sekä mallissa että "Energia ja päästöt"-julkaisussa 11.6 Mt ja maakaasun kulutuksen aiheuttamat päästöt 4.9 Mt. Kivihillen käytöstä aiheutuneet päästöt riippuvat siitä, miten masuunikaasujen aiheuttamat päästöt kohdistetaan. Mallissa päästöt ovat 14.6 Mt, joten ne sisältävät masuunikaasuista aiheutuneet päästöt toisin kuin "Energia ja päästöt"-julkaisussa<sup>1</sup>. Turpeen käytöstä aiheutuneet päästöt ovat mallissa 5.1 Mt ja "Energia ja päästöt"-julkaisussa 5.4 Mt. CGE-mallin energiakulutuskulujen tuottamat päästöt ovat 49.1 Mt CO<sub>2</sub>. Päästöjä aiheutuu lisäksi

<sup>1</sup> Tähän ratkaisuun päädyttiin keskustelussa Kari Grönforsin kanssa, joka on toinen "Energia ja päästöt"-julkaisun laatijoista.

muiden kaasujen käytöstä, joita ei ole mallitettu. Muut kaasut aiheuttavat julkaisun mukaan 3.36 Mt:n suuruiset päästöt. Osa näistä päästöistä sisältyy CGE-mallissa hiilen päästöihin. Jotta kokonaispäästöt saataisiin vastaamaan "Energia ja päästöt"-julkaisun arviota, on fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuneisiin päästöihin lisätty eksogeenisesti erotus eli 3 Mt.

#### L4.4 Polttoaineiden hinnat

Polttoaineiden verottomia (pl. myös lvv) hintoja merkittävimmillä käyttäjäsektoreilla vuonna 1990 esitetään taulukossa 4. Hinnat perustuvat Tilastokeskuksen laatimaan energia-aineistoon. Taulukossa on esitetty myös Energiatilaston hintatietoja (ks. Energiatilastot 1993, 1994 taulukot 12.5, 12.6 ja 12.10.2).

*Taulukko 4. Polttoaineiden verottomia hintoja.*

<u>Kevyt polttoöljy, p/l</u>		<u>Raskas polttoöljy, p/kg</u>	
Maatalous	106.1	Sähkö ja lämpöhuolto	62.8
Rakentaminen	104.6	Rauta- ja terästeoll.	46.4
Palvelut	106.2	Elintarv.- ja tevanaketeoll.	70.8
Metallituote- ja konep.teoll.	98.4	Massa- ja paperiteoll.	60.6
Energiatilasto	107.0	Maatalous	65.0
		Savi-, lasi- ja kiviteoll.	69.7
		Energiatilasto	66.0
<u>Maakaasu, mk/1000m<sup>3</sup></u>		<u>Kivihiili, mk/t</u>	
Sähkö- ja lämpöhuolto	460.3	Sähkö- ja lämpöhuolto	211.3
Energiatilasto	455	Savi-, lasi- ja kiviteoll.	252.3
		Massa- ja paperiteoll.	212.4
		Energiatilasto	192

CGE-mallissa käytetyn aineiston arvo- ja määrätietojen mukaan turpeen hinta oli 37.8 mk/MWh vuonna 1990. Energiatilaston mukaan turpeen hinta käyttöpaikalla oli 47 mk/MWh ja suolla 38 mk/MWh. Turpeen määrä- tai arvotietoja ei olla kuitenkaan lähdetty korjaamaan, koska niiden pitäisi olla luotettavia. Mallissa turvetta käytetään ainoastaan sähkön ja lämmön tuotannossa. Puun hinta on CGE-mallissa 280 mk/m<sup>3</sup>.

#### L4.5 Sähkön ja lämmön kulutus

Sähkön käyttö sektoreittain on esitetty taulukossa 5. Kiinteistötoiminnassa käytetty sähkö on siirretty kotitalouksille Energiatilinpidon käytännön mukaisesti. Energiayksiköissä mitattuna sähköä käytetään eniten massa- ja paperiteollisuudessa. Koska suurteollisuuden sähkön hinta on selvästi alempi kuin esim. kotitalouksien, sähkön kulutuksen arvo on korkein kotitalouksissa. Mallissa on jouduttu

yksinkertaisuuden vuoksi oletetaan, että sähkön hinta on kaikilla sektoreilla sama<sup>2</sup>. Sähköä käsitellään mallissa kiinteähintaisina markkoina. Perusvuoden markkamäärät vastaavat suoraan arvotietoja, koska sähkön hinta indeksoidaan siten, että se on perusvuonna 1. Markkatiedoista lasketut määräosuudet antavat siis virheellisen kuvan suurimmista sähkön käyttäjistä käytetyllä määrällä mitattuna. Sähkön kustannusosuus on kuitenkin oikea kullakin sektorilla.

Kotitalouksien sähkön käyttö on jaettu sähkölämmitykseen ja muuhun sähkөөn Energiatilaston tietojen perusteella. Mallissa on oletettu, että sähkölämmityksen osuus on noin 40 %. Tämä on kuitenkin varsin karkea arvio.

*Taulukko 5. Sähkön kulutus, TJ ja Mmk.*

	TJ	%	Mmk	%
Massa- ja paperiteoll.	62 152	30.9	2 038	18.1
Palvelut	16 214	8.1	1 094	9.7
Teoll.kemik.	10 272	5.1	338	3.0
Rauta- ja terästeoll.	7 634	3.8	358	3.2
Metallituote- ja konep.teoll.	7 233	3.6	517	4.6
Elintarv.- ja tevanaketeoll.	6 154	3.1	417	3.7
Tuotantosektorit yhteensä	143 103	71.1	6835	60.8
Kotitaloudet	45 350	22.5	3 662	32.6
Julkinen sektori	12 756	6.3	740	6.6
Yhteensä	201 208	100.0	11 237	100.0

Lämmön käyttö esitetään taulukossa 6. Kuten sähkönkin kohdalla, kiinteistötoiminnan käyttämä lämpö on siirretty kotitalouksille. Energiayksiköissä mitattuna massa- ja paperiteollisuus käyttää noin puolet lämmöstä. Kotitaloudet (16 %) ja julkinen sektori (7 %) ovat seuraavaksi suurimmat käyttäjät. Tuotantosektoreista merkittäviä käyttäjiä ovat lisäksi puutavateollisuus, teollisuuskemikaalien valmistus, palvelusektori sekä elintarvike- ja tevanaketeollisuus. Markoissa mitattuna osuudet ovat erilaiset kuten sähkönkin kohdalla. Massa- ja paperiteollisuus sekä kotitaloudet käyttävät kumpikin n. 30 % lämmöstä. Julkisen sektorin osuus on 12 % ja palvelusektorin 8 %. Koska lämpö on mallitettu samoin kuin sähkö, siihen liittyvät edellä mainitut ongelmat.

*Taulukko 6. Lämmön kulutus, TJ ja Mmk.*

	TJ	%	Mmk	%
Massa- ja paperiteoll.	117 680	45.8	1 502	30.0
Palvelut	11 313	4.4	379	7.6
Puutavateoll.	11 589	4.5	235	4.7
Elintarv.- ja tevanaketeoll.	10 824	4.2	185	3.7
Rakentaminen	2 495	1.0	158	3.2
Teoll.kemikaalit	11372	4.4	131	2.6
Metallituote- ja konep.teoll.	4 314	1.7	128	2.6
Tuotantosektorit yhteensä	197 603	77.0	2 994	59.9
Kotitaloudet	40 104	15.6	1 433	28.7
Julkinen sektori	19 029	7.4	573	11.5
Yhteensä	256 736	100.0	5 000	100.0

<sup>2</sup> Tämä oletus on käytössä useimmissa ellei kaikissa CGE-malleissa.

#### L4.6 Sähkön ja lämmön tuotanto

Sähkö- ja lämpöhuolto sisältää sähkön ja lämmön erillistuotannot, sähkön ja lämmön yhteistuotannon sekä sähkön ja lämmön jakelun. CGE-mallissa sähkön erillistuotannosta ydin- ja vesivoima kiinnitetään perusvuoden tasolle ja jakelua ei oteta huomioon. Endogeenisesti määräytyvä sähkön ja lämmön tuotanto sisältää siis erillistuotannot pl. ydin- ja vesivoima sekä yhteistuotannon ja sen arvo on 8.8 mrd mk. Lämmön kysynnän arvo on 5.0 mrd mk ja sähkön kysynnän arvo 11.2 mrd mk. Koko lämmön kysyntä tyydytetään endogeenisellä tuotannolla. Tällöin sähkön osuudeksi mallin sähkön ja lämmön tuotannosta jää 3.8 mrd mk eli 43 %. Todellisuudessa sähkön ja lämmön yhteistuotannossa saadaan noin yksi yksikkö sähköä kahta lämpöyksikköä kohti. Yhteistuotannossa sähkön osuus olisi siis 33 %. Suhde koskee kuitenkin määriä energiayksiköissä mitattuna. Koska lämpö on halvempaa kuin sähkö, markoissa mitattuna sähkön osuus kasvaa. Lisäksi mallin endogeeninen tuotanto sisältää myös sähkön erillistuotantoa, jonka arvo on kuitenkin pieni. Loput sähkön kysynnästä tyydytetään sähkövarannolla, joka sisältää ydinvoiman, vesivoiman ja sähkön tuonnin sekä korjaustermin. Sähkövarannon suuruudeksi saadaan 7.4 mrd mk.

**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 596 SYNNÖVE VUORI, Alternative Ways of Measuring Technology Spillovers - Results with Finnish Data. 30.04.1997. 25 p.
- No 597 ERKKI KOSKELA - MARKKU OLLIKAINEN, Optimal Design of Forest and Capital Income Taxation in an Economy with an Austrian Sector. 13.05.1997. 26 p.
- No 598 KNUT A. MAGNUSSEN - METTE ROLLAND, The European Economy. Medium-term perspectives. 20.05.1997. 22 p.
- No 599 RIIKKA KIVIMÄKI, Family Life and Working Life Colouring and Structuring Each Other. Case Examples. 21.05.1997. 15 p.
- No 600 HEATHER JOSHI - PIERELLA PACI, Wage Differentials between Men and Women: Evidence from British Birth Cohort Studies. 21.05.1997. 13 p.
- No 601 JUKKA LASSILA - HEIKKI PALM - TARMO VALKONEN, FOG: Suomen kansantalouden limittäisten sukupolvien malli. 21.05.1997. 83 s.
- No 602 JOUKO NÄTTI, Atypical Employment and Gender in Finland. 02.06.1997. 33 p.
- No 603 MIKA MALIRANTA, The Determinants of Aggregate Productivity, The Evolution of micro-structures and productivity within plants in Finnish manufacturing from 1975 to 1994. 09.06.1997. 38 p.
- No 604 DAN STEINBOCK, The Competitive Advantage of Finland: The Primary Research Projects. 11.06.1997. 41 p.
- No 605 MARKKU KOTILAINEN, Construction in the Nordic Countries. 13.06.1997. 27 p.
- No 606 REIJA LILJA, Similar Education - Different Career and Wages? 30.06.1997. 38 p.
- No 607 RITA ASPLUND, Private vs. Public Sector Returns to Human Capital in Finland. 08.08.1997. 68 p.
- No 608 PETRI ROUVINEN, Suomi - Euroopan kilpailukykyisin? 08.08.1997. 9 s.
- No 609 AIJA LEIPONEN, Yritysten osaamisintensiivisyys ja kansainvälistyminen. 08.08.1997. 27 s.

- No 610 MIKA PAJARINEN, Ulkomaiset suorat sijoitukset ja ulkomaalaisomistus Suomessa: katsaus historiaan ja viimeaikaiseen kehitykseen. 19.08.1997. 48 s.
- No 611 JYRKI RUUTU, Suomalainen työehtosopimusjärjestelmä, palkat ja inflaatio. 20.08.1997. 44 s.
- No 612 MIKA MALIRANTA, Plant Productivity in Finnish Manufacturing. Characteristics of high productivity plants. 22.08.1997. 43 p.
- No 613 PETRI ROUVINEN - PEKKA YLÄ-ANTTILA, Konkurrenskraften i Norden. 08.09.1997. 21 s.
- No 614 HANNU HERNESNIEMI, Toimialojen tuotannon kasvun työllisyysvaikutukset Suomessa vuosina 1980 - 1996. 09.09.1997. 31 s.
- No 615 ATRO MÄKILÄ, Elintarviketeollisuuden osaamistarpeiden ennakointi - kyselytutkimus. 19.09.1997. 41 s.
- No 616 SEPPO LAAKSO, Asuntojen hinnat ja asuntojen ominaisuuksien kysyntä pääkaupunkiseudun asuntomarkkinoilla. 22.09.1997. 16 s.
- No 617 ELISABETH HELANDER, Finland's Research Clusters: Important Assets for a New Member of The European Union. 25.09.1997. 10 p.
- No 618 ATRO MÄKILÄ, Vakuutusyhtiöiden osaamistarpeiden ennakointi - kyselytutkimus. 30.09.1997. 28 s.
- No 619 RITA ASPLUND, The Disappearing Wage Premium of Computer Skills. 03.10.1997. 22 p.
- No 620 ERKKI KOSKELA - MARKKU OLLIKAINEN, Optimal Public Harvesting in an Economy with Multiple-use Forestry. 13.10.1997. 26 p.
- No 621 WANG HUIJIONG - LI SHANTONG, Prospects and Problems of China's Economy. 06.10.1997. 38 p.
- No 622 BIRGITTA BERG-ANDERSSON, Comparative Evaluation of Science & Technology Policies in Lithuania, Latvia and Estonia. 08.12.1997. 76 p.
- No 623 MARKKU KOTILAINEN, Etelä-Suomen talousnäkyvät vuosina 1997-2001. 12.12.1997. 10 s.
- No 624 JOHANNA POHJOLA, CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen kansantaloudelliset vaikutukset: Tuloksia polttoainerakenteen muutokset huomioonottavasta CGE-mallista. 18.12.1997. 52 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.

d:\ratapalo\DP-julk.sam/18.12.1997