

ELINKEINOELÄMÄN TUTKIMUSLAITOS

Lönnrotinkatu 4 B, FIN-00120 HELSINKI

Puh. (09) 609 900, Telefax (09) 601 753, <http://www.etla.fi>

Elinkeinoelämän Tutkimuslaitoksen edeltäjä Taloudellinen Tutkimuskeskus perustettiin vuonna 1946 suorittamaan taloudellista ja talouspoliittista päätöksentekoa palvelevaa kansantaloudellista, liiketaloudellista ja sosiaalipoliittista tutkimustyötä. Laitosta ylläpitävän kannatusyhdistyksen jäseniä ovat nykyisin Teollisuuden ja Työnantajain Keskusliitto ry ja Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto ry ja Palvelutyönantajat ry sekä Sampo Pankki Oyj, Nordea AB (publ), Osuuspankkiryhmä sekä Finnvera Oyj, Kesko Oyj ja Suomen Osuuskauppojen Keskuskunta SOK. Laitoksessa suoritetaan tutkimuksia myös kannatusyhdistyksen ulkopuolisella rahoituksella. Tätä toimintaa varten ETLA on perustanut erillisen projektitutkimusyksikön. Tutkimus- ja ennustetoiminnan tuloksia julkaistaan laitoksen eri julkaisusarjoissa.

KANNATUSYHDISTYKSEN HALLITUS

Jäsenet

Krister Ahlström, pj
Kari Jordan, vpj
Georg Ehrnrooth
Matti Honkala
Jukka Härmälä
Peter Johansson
Jyrki Juusela
Johannes Koroma
Jere Lahti
Martti Mäenpää
Markku Mäkinen
Arto Ojala
Timo Poranen
Jukka Rantala
Juhani Ristimäki
Veli Sundbäck
Antti Tanskanen

Varamiehet

Jaakko Rauramo
Juha Ahtola
Juha Niemelä
Lasse Mitronen
Jaakko Ihamuotila
Tarja Heinonen
Stig Gustavson
Jussi Mustonen
Jukka Salminen
Hannu Vornamo
Veijo Ojala
Harri Koulumies
Terho Salo
Olli-Pekka Ruuskanen
Björn Mattsson
Pekka Sairanen
Heikki Vitie

TUTKIMUSNEUVOSTO

Jussi Mustonen*, pj
Juha Ahtola*, vpj
Timo Airaksinen
Tarja Heinonen
Erkki Hellsten
Pekka Karkovirta
Harri Koulumies
Esa-Jukka Käär

Timo Lindholm
Harri Miettinen
Lasse Mitronen
Arto Ojala*
Olli-Pekka Ruuskanen
Pekka Sairanen*
Pentti Vartia*

* johtokunnan jäsen

Juha Forsström – Juha Honkatukia

EV-MALLI:

**TALOUELLIS-TEKNINEN
TASAPAINOMALLI SUOMELLE**

Julkaisija: Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, ETLA

Kustantaja: Taloustieto Oy

Helsinki 2001

Kansi: Mainos MayDay, Vantaa 2001

ISBN 951-628-355-1

ISSN 0357-959X

Painopaikka: Tummavuoren Kirjapaino Oy, Vantaa 2001

Forsström, Juha – Honkatukia, Juha, EV-MALLI: TALOUDELLIS-TEKNINEN TASAPAINOMALLI SUOMELLE. Helsinki: ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 2001, 121 s. (C, ISSN 0357-959X; nro 78). ISBN 951-628-355-1.

TIIVISTELMÄ: Tässä tutkimusraportissa esitellään Suomelle kehitetty taloudellis-tekninen hybridimalli, jossa yhdistetään energiasektorin tekninen kuvaus kokonaistaloudelliseen tasapainomalliin. Tällaisen hybridilähestymistavan etuna on tulosten parempi ymmärrettävyys ja suurempi yksityiskohtaisuus. Malli on Suomessa ensimmäinen laatuun, ja maailmanlaajuisestikin hybridimalleja on kehitetty varsin harvoja. Mallin taustaa lähestytään sekä teknisen että taloudellisen mallinnustradition kautta. Raportissa selvennetään teknisten ja taloudellisten mallien eroja ja yhtäläisyyksiä. Raportti pyrkii auttamaan tasapainomalleihin entuudestaan perehtymätöntä, ennen kaikkea teknisen tai taloudellisen koulutuksen saanutta, lukijakuntaa ymmärtämään tasapainomalleja ja niiden käyttöä.

Mallin sovelluksena esitetään mallilla lasketut kokonaistaloudelliset kustannusarviot kansallisen ilmastostrategian toteuttamisesta. Arvioiden perusteella ilmastostrategian kustannusten Suomessa voidaan sanoa riippuvan ennen kaikkea siitä, millä keinoin kasvava sähkönkysyntä tulevaisuudessa tyydytetään. Laskelmien mukaan kokonaistaloudelliset kustannukset jäävät selvästi alemmiksi ydinvoiman lisärakentamiseen perustuvan sähköntuotantovaihtoehdon yhteydessä kuin maakaasuun perustuvassa vaihtoehdossa. Kustannuksiin vaikuttavat kuitenkin muutkin ohjauskeinot. Taloudellisten ohjauskeinojen käyttö – energiaverojen korottaminen - näyttäisi olevan perusteltua, koska niiden myötä päästöjen vähentäminen olisi kustannustehokkaampaa kuin puhtaassa normiohjauksessa, jonka vaikutukset olisivat kaikkien kielteisimmät. Verokertymän kierrätystavalla sen sijaan ei ole suurta merkitystä kokonaiskustannusten kannalta.

Forsström, Juha – Honkatukia, Juha: TALOUDELLIS-TEKNINEN TASAPAINOMALLI SUOMELLE. Helsinki: ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 2001, 121 p. (C, ISSN 0357-959X; No. 78). ISBN 951-628-355-1.

ABSTRACT: This report presents an economic-technological, computable general equilibrium model for Finland. The model is a hybrid combining an engineering model of the energy sector to an economic CGE-model. This approach makes the model's results more accessible to a wider audience and facilitates a much more detailed analysis of energy-related policies than standard approaches. The report presents the model's background both from an engineering and an economic perspective, and discusses the differences between the two approaches.

The report also presents the results of an application of the model to evaluating the costs of the Finnish climate change strategy. The strategy is based on extensive surveys of the current situation with respect to greenhouse gas emissions in Finland, as well as the mitigation measures necessary for meeting the Kyoto target. The costs of Kyoto in Finland turn out to depend crucially on the source of new electricity capacity and, to a lesser extent, on the comprehensiveness of economic measures used in the implementation of the emission reductions. For meeting the Kyoto target, investment in nuclear power is clearly more economical than investment in natural gas-fired capacity. Energy taxes can contribute to the cost-efficiency of abatement but the scope for using revenue recycling to lower the costs of abatement is much more restricted than that of the power-generation choice. CAC policies turn out to be the most costly strategy.

Tekijöiden esipuhe

Numeeristen tasapainomallien käyttö etenkin politiikka-analyysiin on viime vuosina yleistynyt nopeasti. Niiden tuloksiin vedotaan monissa yhteyksissä, mutta suurelle osalle yleisöstä ne jäävät mustiksi laatikoiksi ja niiden tulokset uskon asioiksi. Tasapainomallien metodologia on kuitenkin hyvin vakiintunutta ja niiden käyttö siksi kurinalaista, että niiden logiikan ymmärtäminen on mahdollista, vaikkei aiheeseen yksityiskohtia myöten paneutuisikaan.

Teknisten ja taloudellisten tasapainomallien lähtökohdat poikkeavat jossain määrin toisistaan. Teknologiamalleissa keskitytään usein vain joihinkin talouden osiin ja jätetään yhteydet eri toimialojen välillä vähemmälle huomiolle, kun taas toimialojen väliset yhteydet ovat useimmiten taloudellisten mallien keskeisimpiä piirteitä. Tästä syystä ne tuottavat usein toisistaan poikkeavia tuloksia, kun niitä sovelletaan samojen kysymysten analysoimiseen. Teknologisen ja taloudellisen lähestymistavan välillä ei kuitenkaan ole ristiriitaa, kysymys on yleensä erilaisesta näkökulmasta. Lähestymistavat ovat myös sovitettavissa yhteen. Tällaisen hybridilähestymistavan etuna on tulosten parempi ymmärrettävyys ja suurempi yksityiskohtaisuus.

Tässä tutkimusraportissa esitellään ETLAn ja VTT Energian kehittämä taloudellis-tekninen hybridimalli sekä yleistajuisesti että perinpohjaisesti. Malli on Suomessa ensimmäinen laatuaan, ja maailmanlaajuusetiikin hybridimalleja on kehitetty varsin harvoja. Mallin taustaa lähestytään sekä teknisen että taloudellisen mallinnustradition kautta. Raportin tavoite on auttaa tasapainomalleihin entuudestaan perehtymätöntä, ennen kaikkea teknisen tai taloudellisen koulutuksen saanutta, lukijakuntaa ymmärtämään tasapainomalleja ja niiden käyttöä.

Raportissa pyritään myös selventämään teknisten ja taloudellisten mallien eroja ja yhtäläisyyksiä. Mallin sovelluksena esitetään mallilla lasketut kokonaistaloudelliset kustannusarviot kansallisen ilmastostrategian toteuttamisesta.

Hankkeen valvojana on toiminut ylitarkastaja Pekka Tervo kauppa- ja teollisuusministeriöstä, jota haluamme lämpimästi kiittää miellyttävästä yhteistyöstä ja rakentavista kommentteista. Olemme myös hyötynneet keskusteluista monien kollegoiden kanssa. Erityisesti haluamme kiittää Pekka Sulamaata ja Antti Lehtilää sekä Eero Tammista. Mallin

mittavan aineiston kokoamisessa ja työstämisessä saimme suurta apua
Johanna Alatalolta.

Helsingissä 4.12. 2001

Juha Honkatukia

Juha Forsström

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Johdatus tasapainoanalyysiin	6
2.1	Taloudellinen malli	6
2.1.1	Yrityksen ongelma	6
2.1.2	Kuluttajan ongelma	9
2.1.3	Tasapaino	11
2.2	Tuotantofunktiosta kokonaistaloudelliseen malliin	12
2.2.1	Tuotantofunktio ja substituoitajousto	12
2.2.2	Substituoitajousto ja kysynnän hintajousto	13
2.2.3	Tuotannon hierarkkinen kuvaus	15
2.3	Kokonaistaloudellisen mallin laadinta	16
2.3.1	Mukautettu panostuotos-taulu	16
2.3.2	Esimerkkimallin periaatteelliset tasapaino-ehdot	18
2.3.3	Tuotannon malli ja sen kalibrointi	20
2.3.4	Kuluttajan malli ja sen kalibrointi	22
2.3.5	Esimerkkimallin yhtälöt	24
2.4	Taloudellisten ja teknisten mallien erot	25
2.4.1	Energianiukkuuteen sopeutuminen taloudellisessa mallissa	26
2.4.2	Energiantuotannon teknisessä mallissa	29
2.4.3	Tuotannon kuvaaminen teknologianipulla	31
2.4.4	Johtopäätöksiä taloudellisten ja teknisten mallien eroista	34
2.5	Synteesi teknologia- ja kansantalousmallien välillä	35
3	EV-malli: Suomen taloudellis-tekninen tasapainomalli	38
3.1	Mallin rakenne	38
3.1.1	Aineisto	38
3.1.2	Joustoestimaatit	40
3.1.3	Toimialojen tuotantorakenteet	41
3.1.4	Poikkeukselliset toimialat	43
3.1.4.1	Metsäteollisuus	43
3.1.4.2	Polttoaineiden tuotanto	44
3.1.4.3	Lämmön ja sähkön tuotanto	45
3.1.4.4	Julkinen sektori	47

3.1.5	Kulutuskysyntä	47
3.1.6	Investoinnit	49
3.1.7	Vienti, tuonti ja maksutase	49
3.2	EV:n matemaattinen rakenne	50
3.2.1	Tuotanto ja hinnanmuodostus	50
3.2.2	Tavanomaisten toimialojen tuotantorakenne	51
3.2.3	Poikkeuksellisten toimialojen tuotantorakenne	55
3.2.3.1	Paperi- ja kartonkiteollisuus	55
3.2.3.2	Öljynjalostus ja kaivannaistoiminta	55
3.2.3.3	Lämmön ja sähkön tuotanto	56
3.2.3.4	Julkinen sektori	57
3.2.3.5	Investoinnit	57
3.2.4	Kotitaloudet	58
3.2.5	Vientikysyntä	61
3.2.6	Markkinoiden tasapaino	61
4	Mallin sovellus	65
4.1	Johdanto	65
4.2	Kustannuslaskelmien perusura	66
4.2.1	Taloukasvu	66
4.2.2	Työvoima ja työn tuottavuus	67
4.2.3	Energian maailmanmarkkinahinnat	67
4.2.4	Energiatehokkuuden kasvu	68
4.2.5	Sähköntuotanto	69
4.2.6	Päästöt perusuralla	69
4.3	Toimenpiteet päästöjen rajoittamiseksi	70
4.3.1	Energiansäästöohjelma ja uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma	70
4.3.2	Energiansäästöohjelma	71
4.3.3	Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma	71
4.3.4	Sähkönhankintavaihtoehdot	72
4.3.5	Energiaverotus	72
4.3.6	Energiaverotuksen vaihtoehdot	72
4.3.7	Energiaverojen kierrätysvaihtoehdot	73
4.4	Ilmastostrategian kokonaistaloudelliset kustannusarviot	74
4.4.1	Laskelmissa määritellyt strategiavaihtoehdot	74
4.4.2	Suorat kustannukset	75
4.4.2.1	Yksikköverot	75
4.4.2.2	Energiaverokertymä	76
4.4.3	Investointikustannukset	77
4.5	Kokonaistaloudelliset vaikutukset	79
4.5.1	Kansantuote	79

4.5.2	Kulutuskysyntä	80
4.5.3	Investoinnit	81
4.5.4	Työllisyys	83
4.5.5	Hyvinvointi	84
4.6	Vaikutukset eri toimialoilla	85
4.6.1	Maa- ja metsätalous	85
4.6.2	Massa- ja paperiteollisuus	86
4.6.3	Kemianteollisuus	88
4.6.4	Metallien valmistus	89
4.6.5	Muu teollisuus	90
4.6.6	Palvelut	91
4.6.7	Muut toimialat	93
4.7	Johtopäätökset sovellusesimerkistä	94
Litteet		
Liite 1.	Yrityksen ongelma	96
Liite 2.	Substituutiojousto	99
Liite 3.	Kuluttajan ongelma	101
Liite 4.	Yleinen tasapaino	103
Liite 5.	Energiatalouden ja kansantalouden suhteesta	111
Liite 6.	Kalibrointi	118
Lähteet		120

1 Johdanto

Numeeristen tasapainomallien käyttö etenkin politiikka-analyysiin on viime vuosina yleistynyt nopeasti. Niiden tuloksiin vedotaan monissa yhteyksissä, mutta suurelle osalle yleisöstä ne jäävät mustiksi laatikoiksi ja tulokset uskon asioiksi. Tasapainomallien metodologia on kuitenkin hyvin vakiintunutta ja niiden käyttö siksi kurinalaista, että niiden logiikan ymmärtäminen on mahdollista, vaikkei aiheeseen yksityiskohtia myöten paneutuisikaan.

Numeeristen tasapainomallien kehitystyöhön liittyy sekä talousteoreettisia että käyttötärpeistä kumpuavia tekijöitä. Poliittikkavaihtoehtojen kvantitatiivinen arviointi edellyttää tietysti sinänsä numeerisia menetelmiä, mutta kuluttajan ja yrityksen teoriaan pohjautuvat tasapainomallit soveltuvat esimerkiksi rakenteellisten kysymysten arviointiin erityisen hyvin. Toisaalta vastaukset moniin teoreettisiin kysymyksiin riippuvat vallitsevista olosuhteista ja vaativat siksi numeerista analyysia. Näin on varsinkin silloin, kun toimialoja on monia ja muutos synnyttää eri suuntiin vieviä kehityslinjoja.

Tasapainomallin käytön suurin etu julkispolitiikan analyysissä vain joitakin toimialoja käsittävään osittaistasapainomalliin verrattuna on vuorovaikutusten huomioiminen johdonmukaisella tavalla läpi koko talouden. Jos politiikan muutos muuttaa hintasuhteita jollain sektorilla, leviää muutos toimialojen vuorovaikutusten seurauksena koko talouteen. Kaikki nämä muutokset tulevat huomioiduksi tasapainomallia käytettäessä.

Numeeriset tasapainomallit voidaan nähdä luonnollisiksi laajennuksiksi panos-tuotos -malleihin, joita on käytetty vuosikymmenet julkispolitiikan vaikutusten arviointiin. Numeeriset tasapainomallit laajentavat panos-tuotosmalleja huomioimalla korvausmahdollisuuden eri pannonsten välillä. Valinta pääoma- tai työvoimaintensiivisen teknologian välillä niiden suhteellisten hintojen mukaan on eräs esimerkki tästä, polttoainekäytön riippuvuus polttoaineiden suhteellisista hinnoista toinen. Lisäksi mallit perustuvat usein panos-tuotosmalleja selvemmin talousteoreettisiin käyttäytymismalleihin.

Malli laaditaan talouden toimialatietokantaan ja talouden toimintaa kuvaavaan matemaattiseen malliin perustuen. Tyypillinen toimialatietokanta on panos-tuotos -taulu, joka määrittelee talouden toimijoiden keskinäisen vaihdannan yhden vuoden aikana. Malli sovitetaan taulukon numeroarvoihin siten, että se toistaa perusvuoden tasapainon rat-

kaisunaan, mikä on analyysin lähtötilanne. Tämän lisäksi on määriteltävä tulojen lähteet ja saajat talouden eri sektoreille. Esimerkiksi palkkatulojen lähteenä ovat yritykset ja julkinen sektori ja saajana kotitaloudet. Tällaisia tietoja panos-tuotos -aineisto ei sisällä, vaan ne on kerättävä muista lähteistä. Tulojen ja menojen kohdentuminen mallissa voidaan myös perustaa talousteoriaan.

Perustaltaan malli on perustaltaan suuri joukko kuluttajan ja yrityksen teoriasta johdettuja käyttäytymissääntöjä, kysyntä- ja tarjontafunktioita, jotka kattavat kaikki markkinat, niin tuotteet kuin tuotannon tekijätkin, sekä kysynnän ja tarjonnan ja tulojen ja menojen kohdentumista koskevia tasapainoehtoja. Mallin rakentumista ja siinä esiintyviä vuorovaikutuksia havainnollistaa kuvio 1.1.

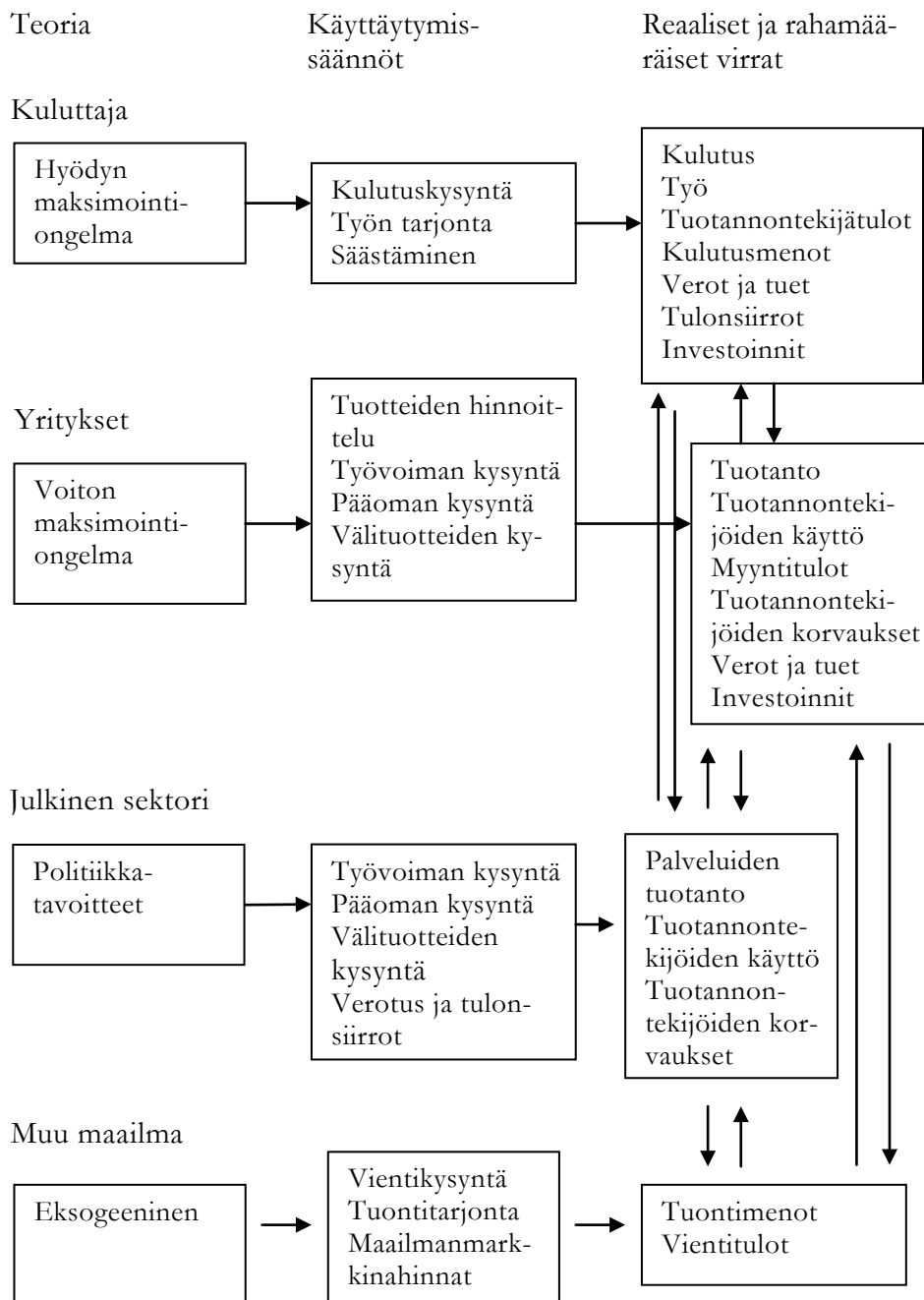
Markkinakysynnän muodostavat kotitalouksien, julkisen sektorin ja yritysten kysyntä. Jotkut toimijoista ovat kotimaisia, jotkut ulkomaisia. Vientikysyntä huomioidaan siis myös. Kotitaloudet ostavat tuotteita niin paljon kuin niiden tulot ja säästämisspäätökset antavat myöten. Ne saavat tuloa myymällä työvoimaa ja pääomaa yrityksille.

Kun kotitaloudet myyvät työvoima- ja pääomapalvelujaan, saavat yritykset mahdollisuuden tuottaa. Näiden tuotannon peruspanosten lisäksi yritykset ostavat välituotteita toisilta yrityksiltä. Ostetut hyödykkeet voivat olla sekä koti- että ulkomaisia.

Vaihtoehtoisten toimintatapojen olemassaolo on mallin tärkeä piirre. Jos esimerkiksi pääoman ja työvoiman suhteellinen hinta muuttuu, niin tuottajat voivat sopeuttaa tuotantoteknologiansa enemmän tai vähemmän työvoimavaltaiseksi. Jos tällaista mahdollisuutta ei olisi, saattaisivat työvoiman kysyntävaihtelut tulla huomattavasti aliarvioitua. Tällä korvautumisprosessilla on myös merkittävä vaikutus palkanmuodostukseen, sillä tietyllä toimialalla vallitseva pääoman ja työvoiman suhde määrää työvoiman tuottavuuden. Se, miten panokset voivat toisiaan korvata, määritellään tavallisesti tilastollisin menetelmin taloutta kuvaavista aikasarjoista.

Taloutta simuloivassa mallissa kuvataan tuotantoa ja kulutusta matemaattisin funktioin. Nämä ovat 1) **tuotantofunktiot**, jotka kertovat, miten teknologia määrää tavan, jolla hyödykkeet voidaan tuottaa käyttäen tuotannon tekijöinä mm. työvoimaa ja pääomaa, ja 2) **hyötyfunktiot**, jotka kertovat kuinka eri hyödykkeiden, vapaa-ajan ja palvelujen kulutuksen muodostamat "ostoskorit" tuottavat kuluttajille hyvinvointia. Lisäksi mallin on täytettävä tulojen ja menojen suhteen eräitä tilinpitoidentiteettejä.

Kuvio 1.1 Tasapainomallin rakenne



Ne funktiomuodot, jotka kuvauksiksi valitaan, vaikuttavat numeerisella tasapainomallilla saataviin tuloksiin. Mallin rakenteen valinnassa mallin laatija käyttää aina omaa harkintavaltaansa. Sen vuoksi on tärkeää systemaattisesti testata eri vaihtoehtoja. Tuloksia lukiessa onkin aina syytä pitää mielessä, että epävarmuutta sisältyy sekä mallin rakenteeseen että parametrien valittuihin arvoihin.

Numeerisen tasapainomallin perustilanne on itse asiassa mallin ratkaisu, joka vastaa havaittua talouden tilaa tietyssä vuotena. Vastaavuus tarkoittaa sitä, että talouden eri toimijoiden välinen vaihdanta on lukuarvoiltaan sama, mikä todellisuudessa on havaittu. Mallin parametrien määrääminen siten, että tämä tapahtuu, on nimeltään kalibrointi. Tällaisia parametreja ovat esimerkiksi eri hyödykkeiden osuudet tuotannosta ja kulutuksesta.

Kun tasapainomalli on kalibroitu, heilautetaan talous tasapainostaan yhtä tai useampaa tekijää muuttamalla. Malli tuottaa sitten uuden tasapainon, joka on talouden toimijoiden optimaalinen vaste määriteltyyn muutokseen, "shokkiin". Näitä kahta tasapainotilaa vertaamalla päätellään tehdyn muutoksen edullisuus tai haitallisuus talouden eri toimijoiden kannalta.

Numeerinen tasapainomalli eroaa makrotaloudellisista malleista monin tavoin. Tärkein ero on se, että numeeriset tasapainomallit pyrkivät olemaan tiukasti sidoksissa uusklassiseen, yksittäisiä kuluttajia ja yrityksiä kuvaavaan mikrotalousteoriaan, kun taas makrotalousmallit ovat teoriasuhteessaan väljempinä. Molemmilla lähestymistavoilla on omat etunsa ja haittansa. Numeerisen tasapainomallin etuna pidetään erityisesti tiukkaa teoriaan pitäytymistä, sillä sen avulla mallin tulosten tulkinna helpottuu. Mallin logiikka on purettavissa auki talousteorian yleiseen logiikkaan nojautuen, mikä mahdollistaa sen tulosten uskottavuuden arvioinnin sen perustana olevan teorian uskottavuuden mukaan. Toinen ero on se, että numeeriset tasapainomallit kalibroidaan lähes aina (staattisen mallin tapauksessa) siten, että ne tuottavat perusvuoden ratkaisunaan, kun taas makrotaloudellisen mallin parametrit estimoidaan taloutta kuvaavista aikasarjoista. Jälkimmäinen malli sovitetaan mahdollisimman hyvin useita vuosia kattavaan aineistoon, eikä se tällöin välttämättä pysty toistamaan mitään vuotta täsmälleen havaitun kaltaisena. Tasapainomallien katsotaan yleensä soveltuvan talouden rakenteeseen vaikuttavien tekijöiden, kuten esimerkiksi veropolitiikan, analyysiin makrotaloudellisia malleja paremmin, kun taas makromallit ovat tähän saakka olleet suhdanneanalyysissä yleisempiä. Viime vuosina on kuitenkin tehty tasapainomallien sovellutuksia myös suhdanneanalyysiin.

Teknisten ja taloudellisten tasapainomallien lähtökohdat poikkeavat jossain määrin toisistaan. Teknologiamalleissa keskitytään usein vain joihinkin talouden osiin ja jätetään yhteydet eri toimialojen välillä vähemmälle huomiolle, kun taas toimialojen väliset yhteydet ovat useimmiten taloudellisten mallien keskeisimpiä piirteitä. Tästä syystä ne tuottavat usein toisistaan poikkeavia tuloksia, kun niitä sovelletaan samojen kysymysten analysoimiseen. Tämä on lisännyt mallien ymmärtämisen vaikeutta. Teknologisen ja taloudellisen lähestymistavan välillä ei kuitenkaan ole ristiriitaa, kysymys on yleensä erilaisesta näkökulmasta. Teknisessä mallissa otetaan useimmiten annettuna talouden kehitystä koskevat tulokset, kun taas taloudelliset mallit keskittyvät juuri niihin ja ottavat teknologian muutokset annettuina. Teknologian ja taloudellisten riippuvuuksien samanaikainen analysoiminen on kuitenkin mahdollista. Tällaisen hybridilähestymistavan etuna on tulosten parempi ymmärrettävyys ja suurempi yksityiskohtaisuus. Koska tällaisen mallin kehittäminen vaatii mittavia ponnistuksia, on hybridimalleja toistaiseksi kehitetty varsin harvoissa maissa.

Tässä tutkimusraportissa esitellään ETLAn ja VTT Energian Suomelle kehittämä taloudellis-tekninen hybridimalli sekä yleistajuisesti että perinpohjaisesti, ja mallin taustaa lähestytään sekä teknisen että taloudellisen mallinnustradition kautta. Raportin tavoite on auttaa tasapainomalleihin entuudestaan perehtymätöntä, ennen kaikkea teknisen tai taloudellisen koulutuksen saanutta, lukijakuntaa ymmärtämään tasapainomalleja ja niiden käyttöä. Raportissa pyritään myös selventämään teknisten ja taloudellisten mallien eroja ja yhtäläisyyksiä. Raportti on kuitenkin suunniteltu siten, että sen matemaattisia osuuksia ei ole välttämätöntä käydä läpi sovelluksen ymmärtämiseksi. Suurin osa teknisemmästä materiaalista on muutenkin luettavuuden säilyttämiseksi pyritty esittämään liitteissä.

Tutkimusraportin rakenne on seuraava. Luvussa kaksi käsitellään yksinkertaisen esimerkin avulla tasapainomalleja ja esitellään mallien tulokinnassa usein esiintyvät peruskäsitteet. Luvussa tarkastellaan myös teknisten ja taloudellisten mallien eroja ja näytetään, että niiden välillä ei ole tosiasiallisia ristiriitoja, ainoastaan näkökulmaeroja. Luvussa kolme esitellään tässä hankkeessa kehitetyn mallin rakenne. Luvussa neljä esitellään mallin sovellus ilmastostrategian kokonaistaloudellisten kustannusten arviointiin.

2 Johdatus tasapainoanalyysiin

Tässä luvussa tarkastellaan taloudellisten tasapainomallien ja teknologiamallien piirteitä ja esitellään mallien käytäntöön soveltamisen perustaa. Luvussa pohditaan myös taloudellisten ja teknologiamallien eroja ja esitetään perusta lähestymistapojen yhdistämiselle.

2.1 Taloudellinen malli

Taloudellisessa tasapainomallissa kuvataan kaikkea toimintaa erilaisten käyttäytymissääntöjen perusteella. Näiden sääntöjen taustalla on ajatus siitä, että talouden eri toimijat toimivat enemmän tai vähemmän rationaalisesti, parhaalla mahdollisella tavalla. Toimintaa rajoittavat erilaiset tekniset ja taloudelliset tekijät, esimerkiksi käytössä oleva teknologia, markkinoiden kilpailullisuus ja julkisen vallan asettamat rajoitukset.

Talouden toimijoita ovat yritykset ja kuluttajat sekä julkinen valta. Yritysten ja kuluttajien käyttäytyminen perustuu mikrotalousteoriaan. Yritykset pyrkivät maksimoimaan voittojaan, ja kuluttajat hyödykkeiden kulutuksesta ja vapaa-ajasta koostuvaa hyvinvointiaan. Näistä pyrkimyksistä syntyy tuotantontekijöiden ja kulutushyödykkeiden kysyntä, kun taas käytettävä teknologia ja työvoiman ja pääoman tarjonta määräävät pitkälti tarjonnan. Tasapainossa kysynnän ja tarjonnan on oltava tasapainossa, ja tähän päästään hintojen sopeutumisella.

Seuraavassa esitellään käyttäytymissääntöjen pohjana olevat talouden toimijoiden ongelmat.

2.1.1 Yrityksen ongelma

Yrityksen – tuottajan – tuotannon ja tuotantopanosten kysynnän ratkaisemista on totuttu kutsumaan yrityksen ongelman ratkaisemiseksi. Tuottajan ongelma on tuotannon myynnistä saatujen tulojen ja käytettyjen panosten erotuksen eli nettotulon maksimointi. Maksimointia rajoittaa käytettävissä oleva tuotantotekniikka, jota kuvataan tuotantofunktiolla. Tuotantofunktio olkoon $f(x)$, jossa x kuvaa tuotantopanoksia. Tuotannon symbolina käytetään kirjainta y . Tällöin siis $y = f(x)$. Tuotantofunktiossa tuotannon tarvitsemat panokset ja aikaansaadut tuotteet ovat toimialakohtaisia, mutta tuotantoteknologiaa ei määritellä prosesseja yksilöiden ja nimeten.

Matemaattisesti yrityksen ongelma voidaan siis esittää seuraavasti (liitteessä 5 on ongelmaa käsitelty seikkaperäisemmin):

$$(2.1) \quad \text{maksimoi} \quad p_y y - \sum_i p_i x_i$$

$$\text{ehdolla } y = f(x),$$

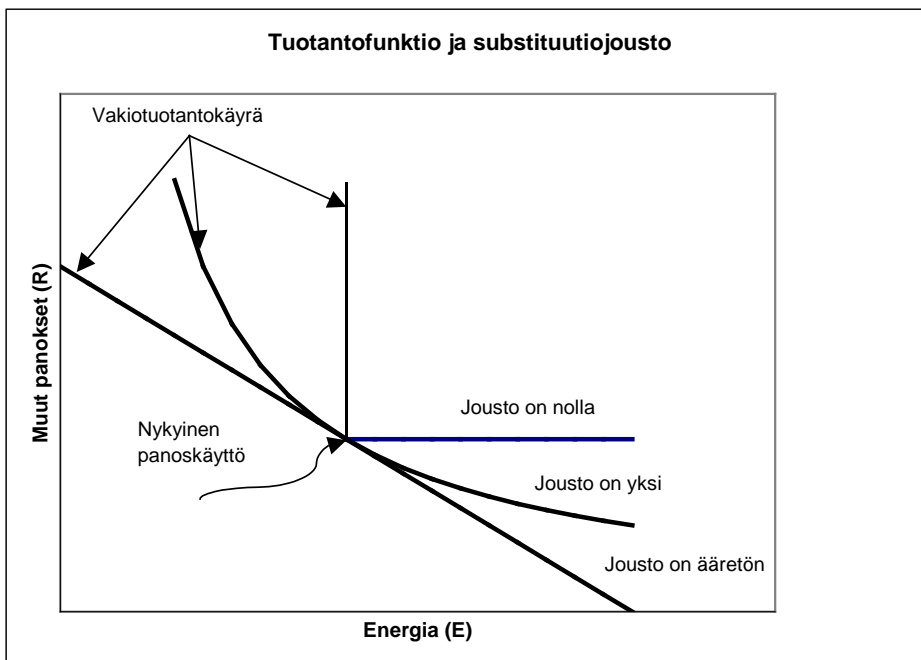
missä p_i on hyödykkeen i hinta.

Tämän ongelman välttämättömät ja riittävät optimaalisuusehdot ovat tunnetusti seuraavat: tuotannon rajakustannus on sama kuin markkinahinta ja ainoastaan tällöin tuotanto poikkeaa nolasta. Tuotannon rajakustannus määräytyy tuotantofunktion, eli tuotantotekniikan, mukaan. Kun oletetaan täydellinen kilpailu, niin voitto häviää (nollavoittoehto), koska millään toimijalla ei ole mahdollisuutta vaikuttaa hintatason muoutumiseen. Kaikki ottavat markkinahinnan annettuna.

Keskeinen piirre tuotantofunktioissa on sen kuvaaminen, miten tuotantopanoksien suhteellista osuutta voidaan muuttaa hintasuhteiden muuttuessa. Muuttamisen helppoutta kuvataan käsitteellä substituutiojousto (elasticity of substitution).

Substituutiojoustoa havainnollistaa kuva 2.1, jossa tarkastellaan tuotantofunktiota, jossa tuotantopanoksina ovat energia ja ”muut panokset”.

Kuva 2.1 Vakiotuotantokäyrät ja substituutiojousto



Kuvan käyrät ovat vakiotuotuskäyriä, joilla käyrän kussakin pisteessä tuotanto on yhtä suuri, mutta tuotantoon käytettyjen panosten suhteelliset osuudet muuttuvat pisteestä toiseen siirryttäessä.

Jos energian ja muiden panosten suhde on muuttumaton vakio, on niiden välinen korvautuvuus (substituutiojousto) *nollan* suuruinen. Panosten hinnalla ei tällöin ole vaikutusta siihen, missä suhteessa niitä tuotantoon käytetään. Tuotantomäärää rajoittaa niukin tarvittava raaka-aine (panos). Kuvan esimerkissä tuotantoa voi lisätä ainoastaan kasvatamalla sekä energian että muiden tuotteiden käyttöä vakiosuhteessa. Vain toisen panoksen lisäkäyttö ei lisää tuotantoa.

Tätä tuotantofunktiota kutsutaan **Leontief**-funktioiksi. Kun a_i on panoksen i osuus kokonaistuotannosta, niin tällöin tuotantofunktio on

$$(2.2) \quad y = f(E, R) = \min \left\{ \frac{E}{a_E}, \frac{R}{a_R} \right\}.$$

Tuotantoa rajoittaa siis niukin tarvittava panos.

Oletus panossuhteiden vakioisuudesta voi pitää paikkansa vain lyhyellä aikavälillä. Pitkällä aikavälillä on mahdollista kehittää uusia teknisiä ratkaisuja, jotka antavat mahdollisuuden muuttaa panossuhteita toivotuun suuntaan.

Toinen ääripää tuotantofunktioiden joukossa on *ääretön* jousto. Se tarkoittaa, että tuotantopanokset ovat täysin vaihdettavissa toisikseen. Tätä tuotantofunktiota kutsutaan lineaarisiksi tuotantofunktioksi:

$$(2.3) \quad y = f(E, R) = a_E E + a_R R$$

Kertoimet a_i ovat parametreja. Tällöin siis tuotanto olisi mahdollista kokonaan ilman energiaa tai pelkästään energiaa käyttämällä. Se ei vaikuta uskottavalta. Äärettömän jouston tuotantofunktio tulee lähinnä kyseeseen silloin, kun käytettävissä on useampia täysin samanlaista tuotetta tuottavia teknisiä ratkaisuja. Käytännössä on kuitenkin vaikeaa löytää tuotteita, jotka tosiaan olisivat koko valmistusketjultaan ja tuoteominaisuuksiltaan täysin toisillaan korvattavissa.

Näiden vaihtoehtojen väliin jää kolmas perusvaihtoehto, jossa jousto on yhtä kuin *yksi*. Tällöin panosten *kustannusosuudet* pysyvät vakioina. Tuotantofunktiota kutsutaan **Cobb-Douglas** -funktioiksi. Tämä monesti perusteltu oletus formuloidaan seuraavasti:

$$(2.4) \quad y = f(E, R) = cE^{\alpha_E} R^{\alpha_R}$$

Potenssi α_i on panoksen i kustannusosuus. Kustannusosuuksien summa on yksi.

Kun panosten kustannusosuudet pysyvät vakiona, täytyy määrien muuttua suhteellisten hintojen muuttuessa, jotta osuus säilyy vakiona.

Jouston ei kuitenkaan tarvitse olla nolla, ääretön tai yksi. Tuotantofunktioiden yleistä luokkaa, jossa substituutiojousto on vakio kutsutaan nimellä **CES**-funktio (Constant Elasticity of Substitution, vakiosubstituutiojousto):

$$(2.5) \quad y = f(E, R) = \left[\theta_E E^{(\sigma-1)/\sigma} + \theta_R R^{(\sigma-1)/\sigma} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}},$$

missä θ_i :t ovat panososuutta kuvaavia parametreja ja σ on panoksien välinen substituutiojousto. Liitteessä 2 on esitetty substituutiojouston tarkka määritelmä. Kaavan (2.5) määrittelemä tuotanto y muodostuu siten panosten E ja R **CES-summana**. Tätä termiä käytetään jatkossa kuvaamaan tuotantofunktion tyyppiä.

2.1.2 Kuluttajan ongelma

Kuluttajan kuvaus on hyvin samanlainen yrityksen kuvauksen kanssa. Kulutus päätökset syntyvät hyvinvoinnin maksimointiongelman ratkaisuna. Kuluttajan oletetaan pyrkivän hyödyn maksimointiin käytettävissä olevien varojen sallimissa rajoissa. Hyötyä kuluttaja saa kuluttamalla ostamiaan hyödykkeitä. Ostokset kuluttaja rahoittaa myymällä (”vuokraamalla”) alkuvarallisuuttaan (työvoimaa ja pääomaa, eli tuotannontekijöitä) markkinahintaan niitä tarvitseville yrityksille. Periaatteessa kuluttaja tekee myös säästämissä päätöksen, mutta säästäminen sivuutetaan tässä esimerkissä. Näiden tulojen lisäksi kuluttaja voi saada tulonsiirtoja julkisen sektorin kautta. Kuluttajan ongelma poikkeaa siis tuottajan ongelmasta juuri siinä, että kuluttajan tulot ja menot määräytyvät eri tahoilla, kun taas yritysten tulot ja menot liittyvät samaan tuotantoprosessiin. Kuluttajalla on tulojen rajallisuuden myötä budjettirajoite, ts. menot eivät saa ylittää tuloja.

Kuluttajien toiminnan kuvaamisessa keskeinen asia on mieltymys (preferenssi). Mieltymysten avulla kuluttaja kykenee järjestämään hyödykejoukon haluttavuuden mukaiseen järjestykseen. Tätä järjestystä kuvataan hyötyfunktioilla $U(\mathbf{d})$. Merkitään symbolilla \mathbf{d} yhtä hyödykekorja ja \mathbf{e} :llä toista. Jos nyt \mathbf{d} on mielisempi kuin \mathbf{e} , niin hyöty $U(\mathbf{d})$ on suurempi kuin $U(\mathbf{e})$.

Hyötyfunktioista oletetaan, että lisäkulutus tuo aina lisähyötyä. Esimerkissä oletetaan, että kuluttaja hyötyään maksimoidessaan käyttää ai-

na kaikki tulonsa, eli budjettirajoite (menot \leq tulot) toteutuu aina yhtälönä. Hyötyfunktio oletetaan lineaarisesti homogeeniseksi, kuten tuotannon tuotantofunktiotkin.

Merkitään tuloja symbolilla M ja kuluttajan omistamaa alkuvarallisuuslajeja f symbolilla ω_f . Nyt pätee:

$$(2.6) \quad M = \sum_f p_f \omega_f .$$

Tulot muodostuvat siis kuluttajan hallussa olevan alkuvarallisuuden arvosta vallitsevalla hintatasolla. Kuluttajan menot muodostuvat puolestaan ostettujen hyödykkeiden aiheuttamista kustannuksista, siis menofunktion E arvo voidaan lausua vastaavanlaisena tulojen (hinta kertaa määrä) summana:

$$(2.7) \quad E = \sum_i p_i d_i ,$$

missä d_i on tuotteen i kulutettu määrä.

Kuluttajan hyödyn maksimointiongelma voidaan nyt asettaa seuraavasti (liitteessä 3 tarkastellaan kuluttajan ongelmaa seikkaperäisemmin):

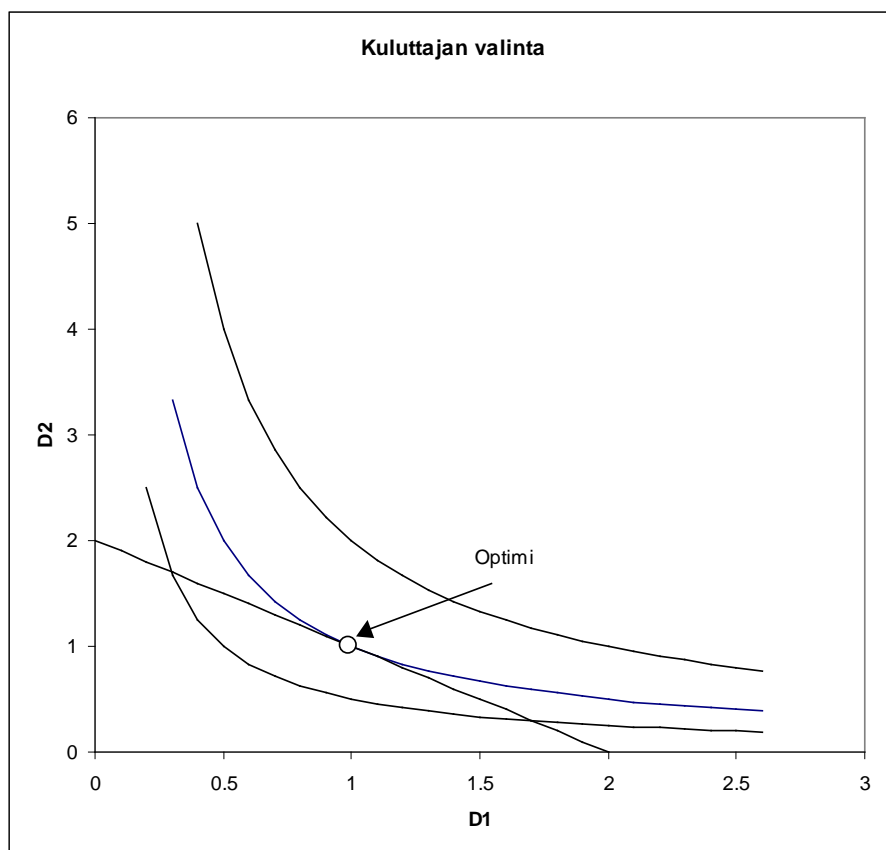
$$(2.8) \quad \text{maksimoi } U(\mathbf{d})$$

$$\text{ehdolla } M = \sum_i p_i d_i .$$

Vastaavalla tavalla kuin yrityksen ongelmankin yhteydessä tämän ongelman ratkaisulle pätee rajahyödyn ja rajakustannuksen samuus. Hyödyn rajakustannusindeksiä kutsutaan *kuluttajahintaindeksiksi*. Hyödyn kokonaismäärä riippuu käytettävissä olevista tuloista. Se taas määräytyy valittavien hintojen ja alkuvarallisuuden mukaan.

Kuvassa 2.2 on havainnollistettu kuluttajan ongelman graafinen ratkaisu, kun valittavana on tuotteet d_1 ja d_2 . Suora kuvaa budjettirajoitusta M . Kuvan käyrät ovat vakiohyötykäyriä. Siis hyöty pysyy vakiona käyrää pitkin liikuttaessa, vain ostettujen tuotteiden osuudet vaihtelevat. Kuluttajan ongelman ratkaisu on piste, jossa budjettirajoitusta kuvaava jana ja hyötyfunktion kuvaaja sivuavat: se on suurin hyöty, johon kuluttaja voi käytössä olevilla varoilla päästä.

Kuva 2.2 Kuluttajan hyötyongelman ratkaisu



2.1.3 Tasapaino

Taloudellisen mallin tasapaino syntyy yrityksen ja kuluttajien ongelmista johdettujen käyttäytymissääntöjen – kysyntöjen ja tarjonnan – kohdatessa toisensa. Yleinen taloudellinen tasapaino vallitsee, kun kullakin hyödykkeellä on sellainen hinta, että tuottajien ja kuluttajien ongelmien välttämättömät ja riittävät ehdot ovat täytetyt ja lisäksi tuotanto on vähintään kysynnän suuruinen. Mallin ratkaisu tuottaa siis tuotannon ja kulutuksen tasot, tuotantopanosten käytön tason sekä suhteelliset hinnat hyödykkeiden ja tuotantopanosten välillä. Tasapainon määritelmässä on kolme osaa

- i Tuottajan ongelma (voiton maksimointi) ja sen ratkaisun ehdot.
- ii Kuluttajan ongelma (hyödyn maksimointi) ja sen ratkaisun ehdot.
- iii Hyödyketasapaino: mitään tuotetta ei käytetä enempää kuin tuotetaan.

Kun kaikki kolme ehtoa täyttyvät, tasapaino vallitsee.

Tasapainon määrittely sisältää kahdenlaisia yhtälöitä: Taloudellisten toimijoiden käyttäytymistä kuvaavia yhtälöitä (kohdat i ja ii) ja hyödykkeiden kysynnän ja tarjonnan tasapainoa kuvaavia yhtälöitä (kohta iii). Kaksi ensimmäistä osaa kuvaa taloudellisten toimijoiden käyttäytymistä mikrotalousteorian mukaan ja kolmas kohta on nimensä mukaisesti kysynnän ja tarjonnan tasapainoehto kullekin hyödykkeelle.

Tasapainon piirteitä on käsitelty tarkemmin liitteessä 3.

2.2 Tuotantofunktiosta kokonaistaloudelliseen malliin

Tuotannon kuvauksessa keskeisellä sijalla on taloudellisissa malleissa sen kuvaaminen, kuinka erilaiset välituotteet voivat korvata toisiaan. Monet mallien tuloksista riippuvat keskeisesti tästä kuvauksesta, ja niinpä on paikallaan tarkastella tätä kuvausta hieman lähemmin. Kuvauksessa on tärkeää toisaalta yksittäisten hyödykkeiden, toisaalta eri hyödykeryhmien välinen korvaavuus.

2.2.1 Tuotantofunktio ja substituoijousto

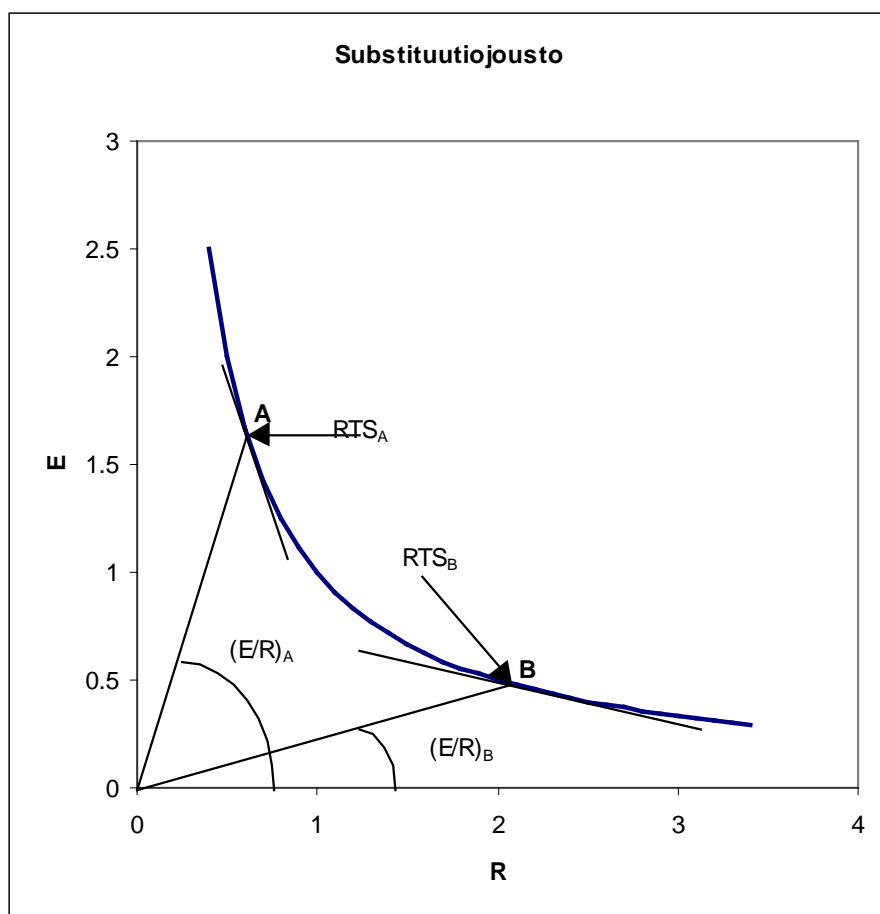
Tarkastellaan tuotantofunktiota $Y = f(E, R)$. Kuvassa 2.3 on esitetty funktion $f(E, R)$ kuvaaja, kun tuotanto pysyy vakiona. Kuvaajaa kutsutaan tässä tapauksessa vakiotuotantokäyräksi. Tuotantoon käytetään kahta panosta, jotka ovat E ja R .

RTS_i :llä on merkitty kuvaajan tangentin kulmakertoimen arvoa pisteessä i . Jos käyrän jossain pisteessä $RTS_j = 2$, niin tuotanto voidaan pitää ennallaan, vaikka E :n käyttöä vähennetään 2 yksikköä, kunhan R :n käyttöä lisätään yksi yksikkö.

Substituutiojousto (σ) kuvaa panossuhteen ja vakiotuotantokäyrän käyräyden välisen yhteyden. Se toisin sanoen mittaa tuotantofunktion $f(E, R)$ panossuhteen, (E/R) :n, suhteellista muutosta RTS :n suhteelliseen muutokseen verrattuna, kun kuljetaan pitkin vakiotuotantokäyrää. Liitteessä 2 on esitetty täsmällisempi substituutiojouston määritelmä.

Kun liikutaan pisteestä A pisteeseen B vakiotuotantokäyrällä, (Y on vakio), sekä panossuhde (E/R) että kuvaajaan käyryys muuttuvat. Substituutiojousto määritellään näiden suhteellisten muutosten suhteeksi. Se on mitta sille, kuinka käyrä vakiotuotantokäyrä on. Mitä pienempi jousto on, sitä terävämpi on vakiotuotantokäyrän kulma.

Kuva 2.3 Substituutiojousto



2.2.2 Substituutiojousto ja kysynnän hintajousto

CES on yleisin tuotantofunktiomuoto sovelletuissa analyyseissä. Tarkastellaan sitä siksi hieman lähemmin. Oletetaan, että taloudessa on vain yksi sektori, joka tuottaa yhtä tuotetta energiasta E ja muista panoksista R . Energia oletetaan vain välituotteeksi (sillä ei ole kulutus-kysyntää), jolloin BKT , joka on arvonlisien summa, muodostuu tulosta $P_R R$. Tuotteen hinta oletetaan ykköseksi, jolloin panosten hinnat on skaalattu vastaavasti. Tuotetta tuotetaan CES-tuotantofunktion mukaisesti, siis

$$(2.9) \quad Y = f(E, R) = \left[\theta_E E^{(\sigma-1)/\sigma} + \theta_R R^{(\sigma-1)/\sigma} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}.$$

Tuottaja ratkaisee seuraavan optimointiongelman (myyntitulot miinus panoskustannukset):

$$(2.10) \quad \text{Max} \{ f(E, R) - P_E E - P_R R \}.$$

Annetuin hinnoin panoskäytön on täytettävä ensimmäisen kertaluvun optimaalisuusehto: energian rajatuottavuus on yhtä suuri kuin sen hinta:

$$(2.11) \quad \frac{\partial f}{\partial E} = \theta_E \left[\frac{Y}{E} \right]^{1/\sigma} = P_E.$$

Jos oletetaan, että hinnat eivät muutu, niin yhtälön (2.11) mukaan suhde E/Y pysyy vakiona. Tällöin siis myös energian ja BKT:n suhde on vakio ja arvoltaan suunnilleen E/Y , koska Y ja R ovat lähes yhtä suuret (energian osuus BKT:stä on vain joitain prosentteja). Kun hinnat muuttuvat, muuttuu suhdekin.

Kun yhtälö (2.11) ratkaistaan E :n suhteen, saadaan energian kysyntä tuotannon ja hinnan funktiona

$$(2.12) \quad E = Y \theta_E^\sigma (P_E)^{-\sigma}.$$

Jos nyt Y on *lähes* riippumaton E :stä, niin kaavan (2.12) mukaan energian kysynnän hintajousto ε^l on

$$(2.13) \quad \varepsilon = \frac{\partial E}{\partial P_E} \frac{P_E}{E} \approx Y \theta_E^\sigma (-\sigma) (P_E)^{-\sigma-1} \frac{P_E}{E} = -\sigma$$

eli se on (*käytännöllisesti* katsoen) sama kuin substituutiojousto. Energian kysynnän hintajoustoa, mikä on paljon tutumpi käsite, voidaan tällöin käyttää substituutiojoustoestimaattina.

Tuotantofunktio (2.9) ja energian kysyntäfunktio (2.12) ovat keskeisiä aggregoidun analyysin kannalta. Joustoparametrin (σ) tärkeys paljastuu, kun tarkastellaan kustannusosuuksia. Yhtälöstä (2.12) saadaan kustannusosuudelle s lauseke

$$(2.14) \quad \frac{P_E E}{Y} = \theta^\sigma (P_E)^{1-\sigma} = s.$$

Tämä tarkoittaa sitä, että s (energian kustannusosuus) on energian hinnan funktio. Jos substituutiojousto tai hintajousto on ykkönen, niin

¹ hintajousto $\varepsilon = \frac{\% - \text{muutos määrässä}}{\% - \text{muutos hinnassa}} = \frac{dE/E}{dP/P} = \frac{dE}{dP} \frac{P}{E}$

tämä osuus on vakio (ts. kyseessä on Cobb-Douglas -funktio). Jos taas σ on ykköstä pienempi, niin energian nouseva hinta merkitsee kasvavaa kustannusosuutta. Kun σ on pieni, s kasvaa nopeasti ja energian käytön supistuminen aiheuttaa suuren BKT-aleneman.

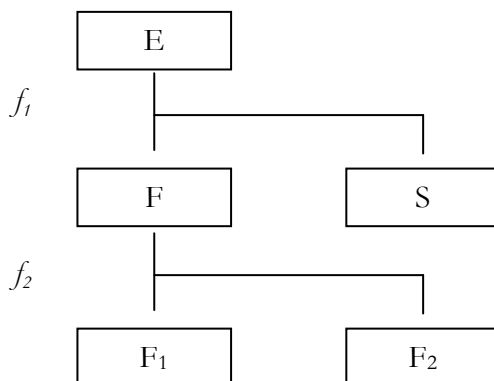
Kun tuotannon muutos hinnannousun seurauksena huomioidaan, niin energian kysynnän hintajousto ε ei pysy vakiona yhtälössä (2.13), vaan se muuttuu kaavan $\varepsilon = -\sigma(1-s)$ mukaisesti. Suuri kustannusosuus merkitsee pientä hintajoustoa substituoitujoustoan verrattuna. Jos taas kustannusosuus on pieni, niin kysynnän hintajousto ja substituoitujousto ovat suunnilleen samat.

2.2.3 Tuotannon hierarkkinen kuvaus

Toimialan tuotantofunktio laaditaan tavallisesti panosryhmien hierarkkiseksi kokonaisuudeksi. Panosten ryhmittely tehdään siksi, että se antaa mahdollisuuden vertailla samantyyppisiä panoksia ensin keskenään ja sitten ryhmänä toisia panosryhmiä vastaan. Esimerkki havainnollistaa tätä: Tuotannon vaatima energiapanos voidaan ylimmällä tasolla jakaa polttoaineisiin ja sähköön. Sen jälkeen polttoaineiden kokonaiskäyttö jaetaan eri polttoaineille. Tällä tavalla voidaan erottaa korvausmahdollisuus polttoaineiden välillä polttoaineiden ja sähkön välisestä korvausmahdollisuudesta. On ilmeistä, että useimmissa tapauksissa on helppoa vaihtaa polttoaineesta toiseen kuin sähköstä polttoaineeseen. Hierarkkinen tuotantofunktio antaa mahdollisuuden juuri tämän tapaiselle kuvaukselle tuotantoteknologiasta. Jos kaikki tuotteet ovat hierarkkisesti samalla tasolla, tätä erottelua ei voi tehdä.

Äskeinen esimerkki voidaan esittää myös usein käytetyllä kuvalla 2.4.

Kuva 2.4 Hierarkkinen tuotantofunktio



Merkinnät: E energiapanos; F polttoaineet; S sähkö; F_1 polttoaine 1; F_2 polttoaine 2; f_1 tuotantofunktio 1; f_2 tuotantofunktio 2.

Nyt siis saadaan seuraavat periaatteelliset yhtälöt (funktioiden tarkempi määrittely tehdään myöhemmin):

$$E = f_1(F, S)$$

$$F = f_2(F_1, F_2)$$

Tuotantofunktiot f_1 ja f_2 voidaan määritellä siten, että ym. korvautumisen (substituution) vaikeus tai helppous huomioidaan.

2.3 Kokonaistaloudellisen mallin laadinta

Ehkäpä konkreettisin tapa kertoa, mitä aiemmin määritellyt asiat tarkoittavat käytännön mallityön kannalta, on käydä läpi todellinen mallin laadintaprosessi miniatyyrimuodossa. Miniatyyrisyyttä edustaa seuraavassa vain käytettävä data-aineisto. Muuten esimerkki käsittääkin lähes kaikki käytännön täysimittakaavaisen mallityön vaiheet.

2.3.1 Mukautettu panostuotos-taulu

Taulukko 2.1 on mukautettu panos-tuotos -taulu, joka yhdistää tavanomaisen panostuotostaulun tuotantorakennetta kuvaavat tiedot tulovirtoja kuvaavaan tietoon. Lähtötietomatriisissa luvut edustavat taloudellisen vaihdannan määrää yhden vuoden aikana. Verot on taulukossa jätetty huomiotta. Negatiivista etumerkkiä käytetään kysynnälle tai maksulle ja vastaavasti luku on positiivinen, kun se edustaa tarjontaa tai tuloa.

Tarkastellaan yksinkertaista kahden tuotteen (X ja Y) ja kahden tuotantontekijän (K niin kuin pääoma, L niin kuin työvoima) mallia, jossa molempien tuotteiden tuottamisessa käytetään välituotteena toista tuotetta. Yritykset valitsevat tuotantopanokset siten, että kustannukset minimoituvat teknologisten rajoitusten antamissa rajoissa. Kolmas ”tuote” on kuluttajan hyöty, jota tuottaa prosessi V. Hyöty muodostuu hyödykkeiden X ja Y ostamisesta. Kuluttajan tulot, joita merkitään kirjaimella M, muodostuvat alkuvarallisuuden (työvoiman ja pääoman) myynnistä yrityksille. Nämä tulot käytetään taulukon mukaan täysimääräisesti hyödyn V ostamiseen.

Taulukko 2.1 Panos-tuotos -taulukko, johon malli sovitetaan

Markkinat	Tuotantosektorit		Kuluttaja	
	X	Y	V	M
X	120	-20	-100	
Y	-20	120	-100	
Y			200	-200
L	-40	-60		100
K	-60	-40		100

Taulukon luvut ovat markkamääräisiä. Mutta miten markoista päästäisiin tilanteeseen, missä tuotantoa mitataan niillä yksiköillä, jotka tuotannon kannalta ovat luonnollisia, ts. tonneja, litroja, kappalemääriä jne.? Laadittavan mallin ominaisuuksiin kuuluu, että tulokseksi saadaan vain suhteelliset hinnat, ei absoluuttisia. Perustavanlaatuinen idea on tässä seuraava: *Asetetaan kaikki hinnat taulukon kuvaamassa perustilanteessa yksiköiksi. Tällöin taulukon markkoina ilmoitetut luvut kuvaavat pelkästään fyysistä määrää. Kun tätä määrää kerrotaan sopivalla vakiolla, muuntuu se haluttuun yksikköön.* Esimerkki: tarkastellaan sektoria **x**. Sen tuotanto on taulukon mukaan 120 (mk). Jos jokin toinen tietolähde kertoo, että **x**:n tuotanto on taulukon kuvaamana ajanjaksona ollut vaikkapa 90 tonnia, niin käyttämällä kerrointa 90/120 voidaan **x**:n tuotanto muuttaa haluttuun yksikköön. Tätä samaa kerrointa käytetään myös silloin, kun ensin on määriteltävä jokin ”shokki” (lisätään vaikkapa vero pääoman käytölle), jonka seurauksena tasapainopiste muuttuu toiseksi eli suhteelliset (alkutilanteeseen suhteutetut) hinnat ja määrät poikkeavat ykkösestä.

Tuotantosektorien negatiiviset luvut edustavat tuotantopanoksia ja positiiviset tuotantoa. Panoksia kutsutaan **välituotteiksi**, kun ne ovat jonkun toisen toimialan tuotteita. Pääomaa ja työvoimaa kutsutaan **peruspanoksiksi** tai **tuotannontekijöiksi**. Kun tuotetta *X* valmistetaan 120 yksikköä ($\bar{X} = 120$), tarvitaan panokseksi tuotetta *Y* 20 yksikköä ($\bar{Y}_X = 20$), tuotannontekijää *L* 40 yksikköä ($\bar{L}_X = 40$) ja tuotannontekijää *K* 60 yksikköä ($\bar{K}_X = 60$). Jollei ole syytä korostaa peruspanosten ja välituotteiden eroa, kutsutaan niitä kaikkia panoksiksi tai välituotteiksi. **Arvonlisä** syntyy peruspanosten käytöstä ja se siis kertyy kuluttajalle, joka omistaa tuotannontekijät.

Matriisin jokainen sarake kuvaa yhtä tuotantosektoria, ja kukin rivi edustaa yhden tuotteen markkinoita. Kuluttajaryhmille (yo. matriisissa

niitä on vain yksi) on omat sarakkeensa. Varsinaisia tuotantosektoreita on matriisissa vain kaksi (X, Y) ja tuotannontekijöitä on myös kaksi (K, L). Kuluttaja on jaettu kahteen sarakkeeseen. Ensimmäinen, sektori V, kuvaa kuluttajan tuotekysyntää. Tuotekysynnän tuotos on hyvinvointiindeksi. Toinen, sarake M, kuvaa tuloja ja niiden käyttöä hyvinvoinnin ostamiseen. Tarkasteltavassa mallissa on siten viidet markkinat: tuotteille X ja Y, hyödyille V markkinat, sekä tuotannontekijöille K ja L.

Perustilanteen tasapaino heijastuu rivi- ja sarakesummissa: ne ovat nollia. Sektoreita vastaavien sarakesummien nollat heijastavat sitä, että myyntitulot ovat yhtä suuret kuin tuotantokustannukset (ei voittoa). Kuluttajan vastaava sarakesumman nolla tarkoittaa, että menot ovat tuotetun hyödyn suuruiset. Rivin alkioden summautuessa nollassi tiedetään, että kyseisen hyödykkeen markkinat ovat tasapainossa.

Yllä oleva matriisi kuvaa analyysin lähtötilanteen. Tähän lähtötilanteeseen voidaan istuttaa vapaavalintaiset tuotantofunktiot. Niiltä vaaditaan, että lähtötilanne on kustannusminimoinnin ratkaisu. Tämä toimenpide on nimeltään kalibrointi. Panos-tuotos -taulukosta tuotantofunktioita ei voi päätellä, eikä myöskään joustoja. Valinnat tehdään jonkun muun tiedon perusteella, tyypillisesti kirjallisuuteen vedoten.

2.3.2 Esimerkkimallin periaatteelliset tasapainoehdot

Tasapainon määrittelyyn liittyy kolme keskeistä käsitettä seuraavin ominaisuuksin:

1. **Hyödykkeillä**, joita on nyt 5 kappaletta (tuotteet X ja Y; kuluttajan hyöty V, pääoma K ja työvoima L), on ei-negatiivinen hinta \mathbf{P} , $(P_X, P_Y, P_V, P_K, P_L)$;
2. **Tuottajat**, joita on 2+1 kappaletta, tuottavat ei-negatiivisen määrän $\mathbf{Y}(X, Y \text{ ja } V)$;
3. **Kuluttajilla**, joita on yksi, on tulot \mathbf{M} .

Mallin muuttujia ovat siis hyödykehinnat, tuotantomäärät ja kuluttajien tulot. Näillä muuttujilla määriteltävän tasapainon tulee täyttää seuraavat kolme ehtoa:

1. Tuottajan voitot häviävät: nollavoittoehto

Kun merkitään tuotteen i hintaa P_i :llä ja sen tuotannon yksikkökustannusta c_i :llä, niin tuotteiden X ja Y tuotannolle pätee:

$$(2.15) \quad P_X - c_X = 0$$

$$(2.16) \quad P_Y - c_Y = 0$$

Siis yksikkökustannuksen täytyy tasapainossa olla yhtä suuri kuin tuotteen hinta.

2. Kuluttajan hyöty maksimoituu

Merkitään P_V :llä kuluttajan hyödyn yksikköhintaa ja c_V :llä hyödyn rajakustannusta. Merkitään vielä kuluttajan tuloja symbolilla M ja työvoiman hintaa symbolilla P_L ja pääoman hintaa symbolilla P_K . Yläviivalliset suureet kuvaavat alkutilanteen arvoja.

Kuluttajahintaindeksin määritelmä:

$$(2.17) \quad P_V = c_V.$$

Kulutuksen tuottama hyöty on yhtä suuri kuin kulutuksen yksikkökustannus: optimaalisuusehto on siis sama kuin muussakin tuotannossa.

Kuluttajan tulot:

$$(2.18) \quad M = P_L \bar{L} + P_K \bar{K}$$

Kuluttajan tulot muodostuvat siis tuotannontekijöiden eli työvoiman ja pääoman myynnistä (vuokrauksesta) yrityksille.

Kuluttajan ongelman kolmas osa, käytettävissä olevien varojen ja hyödykehankintoihin kuluvien varojen yhtäsuuruus on yksi markkinatasapainoehto, joka kuuluu osaan kolme.

3. Minkään tuotteen kysyntä ei ylitä tuotantoa: markkinatasapaino

Markkinatasapainon määrittelyyn tarvitaan seuraavat suureet ja symbolit: X, Y : tuotetut määrät; X_i : tuotantoprosessin i tuotteen X välituotekysyntä; Y_i : tuotantoprosessin i tuotteen Y välituotekysyntä; V : kokonaiskulutuksen (kuluttajan hyödyn) indeksi; X_V : tuotteen X kulutuskysyntä; K_i : pääoman kysyntä tuotantoprosessissa i ; L_i : työvoiman kysyntä tuotantoprosessissa i ; \bar{K}, \bar{L} : pääoman ja työvoiman määrä (vakioita arvoltaan 100); M : kuluttajan tulot.

Markkinatasapaino määritellään seuraavassa erikseen tuotteille, tuotannontekijöille ja kuluttajan hyödyille:

Tuotteet X ja Y

$$(2.19) \quad X - X_Y - X_V = 0$$

$$(2.20) \quad Y - Y_X - Y_V = 0$$

Kullekin tuotteelle pätee, että sen tuotanto on yhtä suuri kuin sen käyttö.

Tuotannontekijät K ja L :

$$(2.21) \quad -K_X - K_Y + \bar{K} = 0$$

$$(2.22) \quad -L_X - L_Y + \bar{L} = 0$$

Sekä pääoman että työvoiman kysyntä vastaa tarjontaa.

Hyöty V :

$$(2.23) \quad V = M / P_V$$

eli hyödyn määrä on yhtä suuri kuin tulot jaettuna hyödyn yksikkökustannuksella (tai kuluttajahintaindeksillä).

Jotta yllä määritelty malli voitaisiin ratkaista – laskea tasapainotilanteen hinnat ja määrät – tarvitaan hintariippuvat yhtälöt tuotannon yksikkökustannuksille ja välituotekysynnälle sekä kuluttajan kokonaiskulutusindeksille.

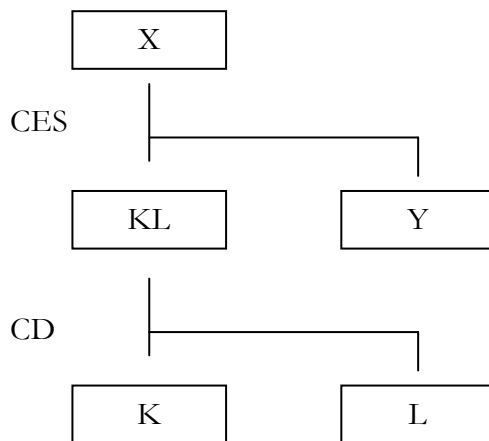
2.3.3 Tuotannon malli ja sen kalibrointi

Mallia varten tarvitaan tuotannon hintariippuvat kustannusfunktiot ja panoskysynät, jotka on esitetty taulukossa L1.1, Liite 1. Kun yhtälöt on muodostettu ne kalibroidaan, eli parametrien arvot lasketaan panos- tuotos -taulukon lukujen perusteella.

Tehdään nyt seuraavat tuotantofunktio-oletukset: Oletetaan, että X tuotetaan siten, että peruspanokset L ja K yhdistetään Cobb-Douglas -funktiolla ja näin saatu arvonlisä KL yhdistetään sektorilta Y ostettuun välituotteeseen CES-funktiolla. Oletetaan lisäksi, että sektorin Y tuote tuotetaan samalla tavalla. Koska sektori Y on rakenteeltaan (mutta ei parametrialvoiltaan) samanlainen, saadaan Y :n yhtälöt vain vaihtamalla X :n tilalle Y .

Tehdyt tuotantofunktiovalinnat johtavat kuvassa 2.5 esitettyihin laattokuvioihin.

Kuva 2.5 Tuotantofunktio



K = Pääoma, L = työvoima, KL = yhdistetty pääoma-töyvoima -panos, Y = tuotteen Y välituotekysyntä. CD on Cobb-Douglas -tuotantofunktio ja CES on CES-muotoinen tuotantofunktio.

Tuotantofunktiot periaatteellisesti esitettyinä ovat seuraavat:

$$X = CES(Y, KL)$$

$$KL = CD(K, L).$$

Y :lle saadaan aivan vastaavat yhtälöt, kun vain yo. yhtälöissä Y ja X vaihdetaan keskenään.

X :n yksikkökustannusfunktio on liitteen 5 merkinnöillä :

$$(2.24) \quad c_X(p) = \left[\theta_Y^{\sigma_X} p_Y^{1-\sigma_X} + \theta_{KL}^{\sigma_X} \left(p_K^{\alpha_X} p_L^{1-\alpha_X} \right)^{1-\sigma_X} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_X}}.$$

Parametri θ kuvaa eri kustannuslajien osuutta. Sen arvoiksi eri tapauksissa saadaan (sekä X :lle että Y :lle):

$$(2.25) \quad \theta_Y = \frac{20}{20 + 40 + 60} = \frac{1}{6}$$

$$(2.26) \quad \theta_{KL} = \frac{60 + 40}{20 + 40 + 60} = \frac{5}{6}.$$

Parametri α , joka kuvaa pääoman kustannusosuutta pääoma-töyvoima -yhdelmässä, on arvoltaan erilainen sektoreille X ja Y :

$$(2.27) \quad \alpha_x = \frac{60}{60+40} = 0,6 \quad \text{ja} \quad \alpha_y = \frac{40}{60+40} = 0,4$$

Välituotekysynät voidaan ilmaista kustannusfunktion avulla. Tiedetään, että tuotannontekijän K kysynnälle pätee

$$(2.28) \quad x_K(p) = \frac{\partial c_x(p)}{\partial (p_K^{\alpha_x} p_L^{1-\alpha_x})} \frac{\partial (p_K^{\alpha_x} p_L^{1-\alpha_x})}{\partial p_K}$$

Tämä tulos perustuu nk. Shepardin lemmaan, jota on tarkemmin selostettu liitteessä 1.

Tuotannontekijän X välituotekysynnäksi saadaan (kalibrointipisteen hinnat ovat ykkösiä):

$$(2.29) \quad Y_X(p, X) = \bar{Y}_X X \left(\frac{c_X(p)}{p_Y} \right)^{\sigma_X},$$

jossa kertoimen $\bar{Y}_X = 20$ arvo saadaan panos-tuotos -taulukosta.

Pääoman K ja työvoiman L kysynnöiksi saadaan

$$(2.30) \quad K_X(p, X) = \bar{K}_X X \left(\frac{c_X(p)}{p_K^{\alpha_x} p_L^{1-\alpha_x}} \right)^{\sigma_X} \left(\frac{p_K^{\alpha_x} p_L^{1-\alpha_x}}{p_K} \right),$$

$$(2.31) \quad L_X(p, X) = \bar{L}_X X \left(\frac{c_X(p)}{p_K^{\alpha_x} p_L^{1-\alpha_x}} \right)^{\sigma_X} \left(\frac{p_K^{\alpha_x} p_L^{1-\alpha_x}}{p_L} \right).$$

Taulukosta saadaan arvot $\bar{K}_X = 60$, $\bar{L}_X = 40$.

Yhtälöissä esiintyvä substituutiojousto, σ_p , täytyy määrittää jonkin muun tiedon kuin alkuarvomatriisin tietojen pohjalta. Valitaan tässä $\sigma_x = 0,5$ ja Y:lle vastaavasti $\sigma_y = 0,8$.

Nyt on koossa kaikki tarvittavat tekijät sektoreiden X ja Y osalta ja yhtälöt voidaan kirjoittaa. Sitä ennen laaditaan kuitenkin kuluttajamalli.

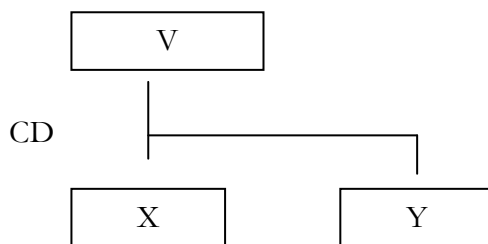
2.3.4 Kuluttajan malli ja sen kalibrointi

Kuluttajan kuvauksessa täytyy määrittellä, miten kulutuskysyntä muuttuu hintojen mukana, miten suuret tulot on käytettävissä eri hinnoilla ja

lisäksi on määriteltävä tulojen ja menojen tasapainoyhtälö. Tulot muodostuvat alkuvarallisuuden markkinahintaisesta arvosta, kysyntä hyötyfunktion perusteella ja tulotasapaino hyödyn hankinnan ja sen kustannusten yhtäsuuruudesta.

Oletetaan hyötyfunktion V Cobb-Douglas -muotoiseksi. Laatikkokaavioksi saadaan tällöin kuvassa 2.6 esitetty kaavio.

Kuva 2.6 Hyötyfunktion V



”Hyödyn tuotannon kustannuksia” kuvataan Cobb-Douglas -oletuksen mukaisella kuluttajahintaideksillä $p_V = p_X^\alpha p_Y^{1-\alpha}$.

Kulutuskysyntä saadaan Shepardin lemmällä hintaindeksin lausekkeesta (liite 3):

$$(2.32) \quad d_X(p) = \bar{d}_X V\left(\frac{c_V(p)}{p_X}\right) \quad \text{ja} \quad d_Y(p) = \bar{d}_Y V\left(\frac{c_V(p)}{p_Y}\right)$$

Ainoa laskettava parametrin arvo on X :n kustannusosuutta kuvaava parametri *alpha*:

$$(2.33) \quad \alpha = \frac{100}{100 + 100} = 0,5$$

Kuluttajan käytettävissä olevat tulot ovat arvoltaan $M = p_K \bar{K} + p_L \bar{L}$ ja taulukosta saadaan alkuvarallisuuden määrät sekä pääomalle että työvoimalle.

Tulot ja menot ovat tasapainossa, kun hyödyille pätee $\bar{V}V = \frac{\bar{M}M}{p_V}$.

Tässä siis yläviivalliset tekijät ovat taulukosta poimittavat arvot, eli $\bar{V} = 200$ ja $\bar{M} = 200$. Tällöin muuttujat V ja M ovat indeksejä, jotka kuvaavat muutosta alkutilanteeseen. Molempien arvo on aluksi yksi.

2.3.5 Esimerkkimallin yhtälöt

Kuluttajan ja yrityksen ongelmien ratkaisemisen ja niistä saatujen käyttäytymissääntöjen kalibroimisen jälkeen voidaan mallin yhtälöt koota ratkaistavaksi tasapainomalliksi. Tasapainoehtoja on kolme ryhmää: nollavoittoehdot, hyödykemarkkinatasapainoehdot ja kuluttajan tuloyhtälö. Taulukosta luetut ja taulukon lukujen perusteella lasketut parametrit asetetaan paikalleen, jolloin päädytään seuraavankaltaisiin yhtälöihin.

1) Tuotannon ääriarvoehdot

Voiton maksimoinnin ehto: tuotannon rajakustannukset = tuotteen hinta. Tämän mukaisesti kirjoitetaan tuotantosektoreille seuraavat yhtälöt.

Hyödyketuotantosektorit

$$(2.34) \quad \text{sektori X: } p_X = c_X(p) = \left[\frac{1}{6} p_Y^{1-0,5} + \frac{5}{6} (p_K^{0,6} p_L^{1-0,6})^{1-0,5} \right]^{\frac{1}{1-0,5}}$$

$$(2.35) \quad \text{sektori Y: } p_Y = c_Y(p) = \left[\frac{1}{6} p_X^{1-0,8} + \frac{5}{6} (p_K^{0,4} p_L^{1-0,4})^{1-0,8} \right]^{\frac{1}{1-0,8}}$$

2) Kulutuksen ääriarvoehdot

Kuluttajan malli sisältää kaksi osaa: hyödyn tuotannon hyödykkeitä ostamalla ja tulojen hankinnan alkuvarallisuuden avulla (pääoman ja työvoiman ”vuokraus” yrityksille.)

Kuluttajahintaindeksi

$$(2.36) \quad p_V = p_X^{0,5} p_Y^{0,5}$$

Tulot

$$(2.37) \quad M = 100 p_K + 100 p_L$$

3) Kysynnän ja tarjonnan tasapaino

Hyödykemarkkinat

$$(2.38) \quad X: \quad 120 X - 20 Y \left(\frac{c_Y(p)}{p_X} \right)^{0,8} - 100 V \left(\frac{p_V}{p_X} \right) = 0$$

$$(2.39) \quad Y: \quad 120 Y - 20 X \left(\frac{c_X(p)}{p_Y} \right)^{0,5} - 100 V \left(\frac{p_V}{p_Y} \right) = 0$$

Tuotannontekijämarkkinat

(2.40) **K:**

$$100 - 60 X \left(\frac{c_X(p)}{p_K^{0,6} p_L^{0,4}} \right)^{0,5} \left(\frac{p_K^{0,6x} p_L^{0,4}}{p_K} \right) - 40 Y \left(\frac{c_Y(p)}{p_K^{0,4} p_L^{0,6}} \right)^{0,8} \left(\frac{p_K^{0,4x} p_L^{0,6}}{p_K} \right) = 0$$

(2.41) **L:**

$$100 - 40 X \left(\frac{c_X(p)}{p_K^{0,6} p_L^{0,4}} \right)^{0,5} \left(\frac{p_K^{0,6x} p_L^{0,4}}{p_L} \right) - 60 Y \left(\frac{c_Y(p)}{p_K^{0,4} p_L^{0,6}} \right)^{0,8} \left(\frac{p_K^{0,4x} p_L^{0,6}}{p_L} \right) = 0$$

Kuluttajan tulojen ja menojen tasapaino:

$$(2.42) \quad 200 V = \frac{M}{p_V}$$

Yhtälöt voidaan koodata tietokoneohjelmaksi ja ratkaista sopivalla ohjelmistolla.

Suomen taloutta koskeissa analyyseissä käytettävät mallit laaditaan täsmälleen yllä kuvattujen periaatteiden mukaisesti. Kun sektoreita ja markkinoita on paljon, muodostuvat myös yhtälöt pidemmiksi, mutta mitään periaatteellista muutosta ei tasapainoehdoissa kuitenkaan tapahdu.

Käytännössä mallit sisältävät yksityiskohtaisempaa tietoa veroista ja muista politiikkaa kuvaavista parametreista, joiden vaikutusten analysoiminen oli yksi niistä tarpeista, joihin numeeriset tasapainomallit alunperin kehitettiin.

2.4 Taloudellisten ja teknisten mallien erot

Kansantaloudelliset mallit ovat usein hyvin aggregoituja, koko taloudellista järjestelmää kuvaavia malleja, joissa energiasektori on vain yksi sektori monien muiden joukossa. Tuotantotekniikka energiantuotannossa ja muilla sektoreilla mallitetaan (usein hierarkkisesti) siten, että

tuotantopanoksia voidaan joustavasti korvata toisillaan suhteellisten hintojen muuttuessa, kuten ylläkin. Tällaista mallia kutsutaan usein top-down -malliksi.

Tekniikkamallit ovat puolestaan jonkin toimialan hyvin yksityiskohdaisia kuvauksia, joissa määritellään kilpailevia teknisiä tuotantomahdollisuuksia annetun tuotantomäärän tuottamiseksi. Nämä mallit ratkaistaan tavallisesti lineaarisina (LP) tai epälineaarisisina (NLP) optimointiongelmina epäyhtälörajoituksin. Teknistä lähestymistapaa kutsutaan bottom-up -lähestymistavaksi.

Erot taloudellisten ja teknisten lähestymistapojen välillä saavat aika ajoin julkistakin huomiota, erityisesti energiantuotannon ja energiankulutuksen arvioiden yhteydessä. Panoskäyttö ja tuotantovaste, jotka näillä eri tyyppisillä malleilla saadaan suhteellisten hintojen muuttuessa, voivatkin olla erilaiset. Tavallisesti ajatellaan, että tekniikkamallit tuottavat paljon realistisemmän energiantuotannon panoskäytön kuvauksen, mutta kansantaloudsmallit ovat puolestaan ylivoimaisia, kun on kyse vuorovaikutuksesta muiden sektoreiden kanssa. Tämän seurauksena voidaan loputtomasti kiistellä siitä, minkälainen malli tuottaa realistisempia tuloksia. Todellisuudessa erossa on kysymys enemmänkin osittaistasapaino- ja kokonaistasapainotarkastelujen välisestä näkökulmaerosta kuin ristiriidasta näiden mallien välillä, vaikka yksittäisissä sovelluksissa tulokset voivat poiketa joskus hyvinkin paljon toisistaan.

Usein taloudellisten ja teknisten mallien tulosten eroissa on kyse vaikutusarvioiden suuruusluokasta, ei niiden suunnasta. Lähestymistavat ovatkin herkkiä hieman erityyppisille oletuksille. Toimialojen välisten linkkien puute tekee tekniikkamalleista jäykempiä kuin tyyppillisestä taloudsmallista, jossa sopeutuminen on taas kuvattu usein epärealistisen joustavaksi.

Tässä luvussa tarkastellaan teknisten ja taloudellisten mallien eroja esimerkkien avulla.

2.4.1 Energianiukkuuteen sopeutuminen taloudellisessa mallissa

Taloudellisessa mallissa energiankäytön kuvaus perustuu useimmiten samanlaiseen hierarkkiseen kuvaukseen kuin muunkin tuotannon. Tällaisessa kuvauksessa energiapanosten tuotantokustannusosuus on tarkasti laskettavissa. Sitä vastoin energian (substituutio-) joustoparametrin arvolle ei ole yhtä täsmällistä arviota. Sen vuoksi jouston arvoa va-

rioidaan. Kysynnän hintajoustoksi pitkällä aikavälillä arvioidaan tyypillisesti $-0,6$ - $-0,2$.

Kuvataan tuotantoa yksinkertaisesti jo aiemmin esillä olleella kaavalla (2.9), joka toistetaan tässä:

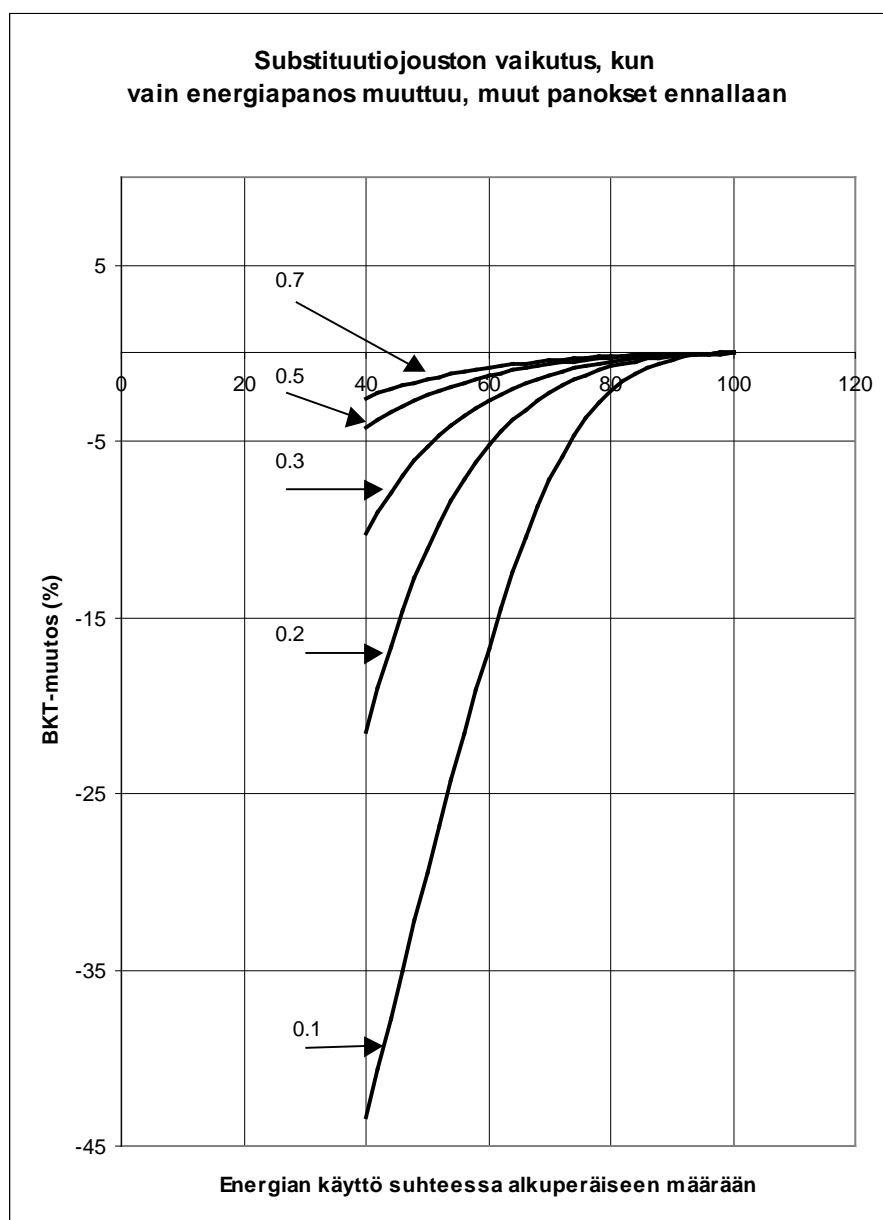
$$(2.43) \quad Y = f(E, R) = \left[\theta_E E^{(\sigma-1)/\sigma} + \theta_R R^{(\sigma-1)/\sigma} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}.$$

Oletetaan nyt, että resurssien niukkuudesta, ympäristönsuojelutavoitteista tai kansallisen turvallisuuden tähden on tarpeen vähentää energian käyttöä. Oletetaan edelleen, että vain energiankäyttö pienenee ja muu panoskäyttö pysyy ennallaan. Energian hinnan oletetaan pysyvän vakiona. Eräs tapa saavuttaa energian käytön vähenemä on käyttää energiaveroa, jonka tuotto palautetaan täysimääräisesti. Muunkinlaiset toimet, kuten energiaa käyttävien laitteiden tehokkuusnormit, johtavat suunnilleen samaan lopputulokseen, mutta seuraavassa käytetään vero-vaihtoehtoa. Vero edustaa energian arvon ja kustannuksen erotusta. Näillä oletuksilla takaisinkytkennän ongelma voidaan esittää kahtena kysymyksenä: (1) Kuinka suuri tulisi energiaveron olla?; (2) Mikä on sen vaikutus BKT:hen?

Vastaukset kysymyksiin selviävät kuvasta 2.7 jouston eri arvoille. Käyrät kuvaavat BKT:n arvoja, kun pääoman ja työvoiman määrät, samoin kuin energian hinta, pysyvät muuttumattomina. Jousto vaihtelee välillä $0,1 \dots 0,7$ Mitä jyrkemmin kuvaaja laskee, sitä suurempi vero tarvitaan kulutuksen vähentämiseksi.

Tämän yksinkertaisen mallin mukaan pitkän aikavälin joustolla on hämmästyttävä vaikutus. 50 %:n energiankäytön vähennys vähentäisi BKT:tä 28 % jos jousto on $0,1$, mutta vain 1 %:n, jouston arvolla $0,7$. Tarvittavan veron suuruus vaihtelee samalla tavalla. Kun suurin osa joustoestimaateista liikkuu välillä $0,2 \dots 0,6$ on ilmeistä, että substituutiojousto tulisi tuntea hyvin sen ratkaisevan tärkeän vaikutuksen vuoksi. On myös selvää, että joidenkin energianintensiivisten tuotteiden tuotantoprosessit ovat käytännössä sellaiset, että substituointimahdollisuutta energia ja muiden tuotantopanosten välillä ei ole. Tyypillinen top-down -kuvaus liioittelee tällöin tuotannon sopeutuvuutta.

Kuva 2.7 Substituutiojouston vaikutus sopeutumiseen



Substituutiojouston vaikutus siihen, miten energianiukkuus alentaa tuotantoa. Joustoparametrin arvo vaihtelee välillä $-0.7 \dots -0.1$. Tuotantoa on kuvattu kahden panoksen tuotantofunktiolla. Panokset on nimetty energiaksi ja muiksi panoksiksi. Energian käytettävissä oleva määrää kuvataan indeksillä, jonka arvo on alussa 100.

2.4.2 Energiantuotannon teknisessä mallissa

Teknisissä malleissa keskitytään energian osalta tuotannon tarkkaan kuvaamiseen. Teknisen mallin toimintatapaa kuvaa seuraava esimerkki sähkön tuotantokustannusten minimoinnista.

Esimerkissä on sähkön tuotantoon käytettävissä tuotantolaitokset, joita merkitään alaindeksillä j . Kullakin tuotantolaitoksella on kapasiteetin yläraja K_j . Tuotantoa merkitään symbolilla q_j ja sähkön kokonaissyntä olkoon D (annettu). Tuotantolajin j marginaalinen tuotantokustannus olkoon c_j . Se koostuu lukuisten panosten kiinteäsuhteisesta (Leontief) käytöstä. Ts. $c_j = \sum_i a_{ji} P_i$, missä a_{ji} on hyödykkeen i osuus

tuotantoprosessin j tuotantokustannuksista alkutilanteessa ja P_i on hyödykkeen i hinta. Kustannusten minimointiongelma on nyt

$$(2.44) \quad \min \sum_j c_j q_j$$

seuraavien rajoitusehdoin:

1. Tuotanto ei saa ylittää tuotantokapasiteettia (kuvattu vuosienenergiana):

$$(2.45) \quad q_j - K_j \leq 0$$

2. Kysyntä ei saa ylittää kokonaistarjontaa:

$$(2.46) \quad D - \sum_j q_j \leq 0.$$

Näin asetetun ongelman Lagrange-funktio on

$$(2.47) \quad L(q, \lambda, \mu) = \sum_j c_j q_j + \sum_j \lambda_j (q_j - K_j) + \mu (D - \sum_j q_j).$$

Lagrangen kertoimilla on seuraavat tulkinnat: λ_j on niukkuuslisä (scarcity rent) eli voitto, joka syntyy edullisen, mutta kapasiteetiltään rajoitetun tuotantotekniikan j käytöstä; μ on koko tuotannon rajahinta (marginaalikustannus) kysynnän ollessa D .

Optimin välttämättömät ja riittävät ehdot ovat seuraavat:

1. Tuotannon rajakustannukset:

$$\begin{aligned} \mu - c_j - \lambda_j &\leq 0 \\ q_j (\mu - c_j - \lambda_j) &= 0 \end{aligned}$$

eli kunkin tuotantolajin j rajatuotantokustannuksen (niukkuuslisä mukaan lukien) tulee olla vähintään koko tuotantokoneiston rajakustannuksen suuruinen ja vain silloin, kun se on täsmälleen sama, voi tuotantolajin j tuotanto poiketa nolasta.

2. Niukkuuslisän (voiton) nolasta poikkeavuus:

$$q_j - K_j \leq 0$$

$$\lambda_j(q_j - K_j) = 0$$

siis niukkuuslisä kullekin kapasiteettityypille voi poiketa nolasta vain, kun kapasiteetti, tyyppiä j , on täysin käytössä.

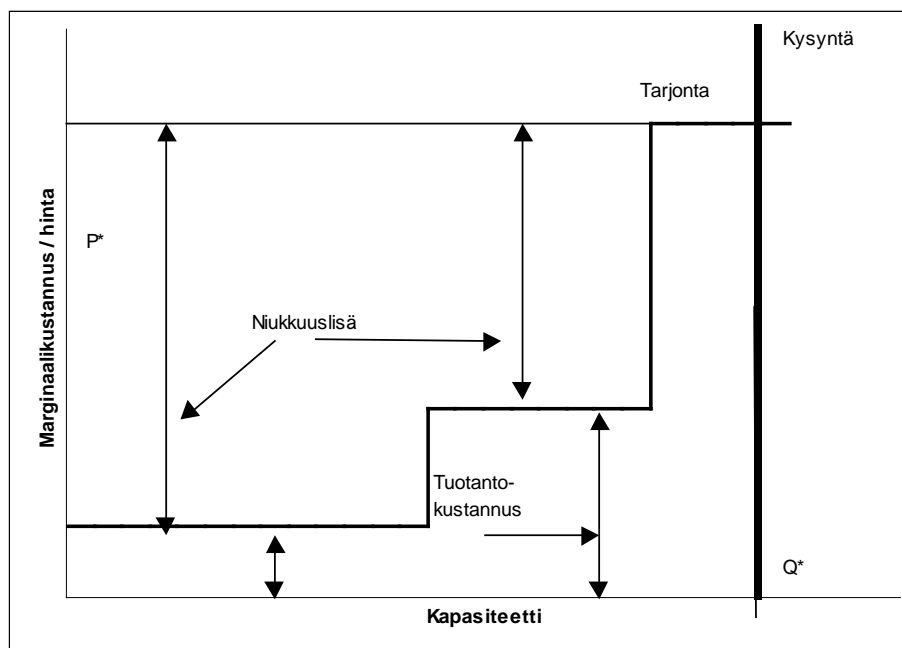
3. Kysynnän tyydyttäminen:

$$D - \sum_j q_j \leq 0$$

$$\mu(D - \sum_j q_j) = 0$$

eli tuotannon rajakustannus voi poiketa nolasta vain, kun tarjonta on täsmälleen kysynnän suuruinen.

Kuva 2.8 Teknologiaokuvaus osittaistasapainomallissa



Kaksi ensimmäistä ehtojoukkoa määrittää tuotannon sähköntuotantoteknologioittain ja kolmas yhtälöpari määrittelee kysynnän ja tarjonnan tasapainon. Niukkuuslisä asettuu kunkin tuotantotekniikan kohdalla sellaiselle tasolle, että tuotannon rajakustannus on kaikilla tekniikoilla sama.

2.4.3 Tuotannon kuvaaminen teknologianipulla

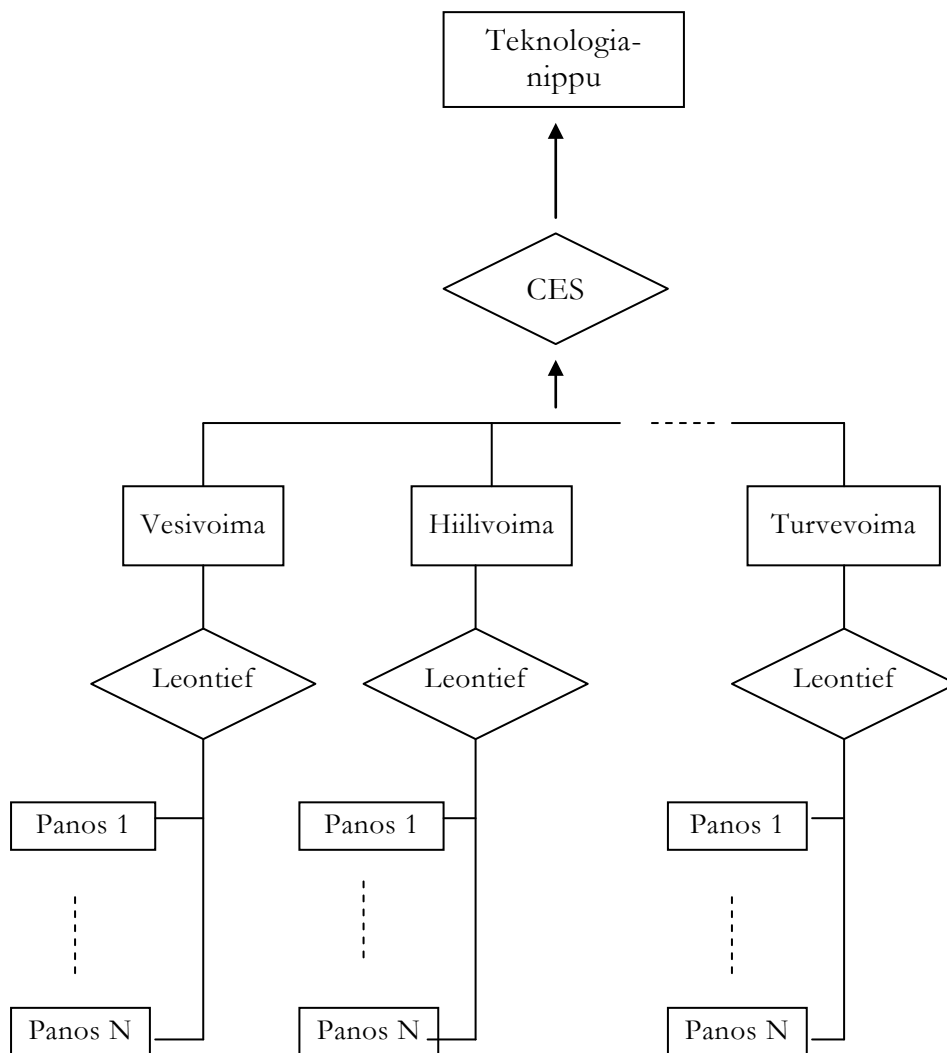
Taloudellisissa malleissa energian tuotantoa kuvataan usein samanlaisella tuotantofunktiolla kuin muutakin tuotantoa. Perustelluin taloudellisten top down -mallien kritiikki kohdistuukin juuri tuotantomahdollisuuksien kuvaukseen. Top down -malli saattaa liioitella tuotantopanosten korvaavuutta ja tuottaa teknisesti epärealistisia panosyhdistelmiä. Tätä ongelmaa on pyritty ratkaisemaan niin sanotun teknologianippulähestymistavan avulla, joka yhdistää pirteitä sekä bottom up- että top down -teknologiakuvauksista samalla kun se säilyttää vuorovaikutuskuvauksen talouden toimialojen välillä. Kuvausta voidaan käyttää millä tahansa talouden toimialalla, mutta maailmallakin toistaiseksi harvalukuiset sovellusalueet ovat olleet energian tuotanto sekä raudan ja teräksen tuotanto, joissa tuotantoteknologian kuvaus on erityisen tärkeä hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen liittyvissä analyyseissä.

Perusajatus teknologianipun soveltamisessa on se, että kokonais- tuotanto on kunkin tekniikan osuudella painotettu tuotantosumma (ks. kuva 2.9). Kukin tekniikka käyttää panoksia kiinteässä suhteessa tuotantoon (Leontief-tuotantofunktio). Eri tekniikat voivat joustavasti korvata toisiaan. Täten tekniikkanippua käytettäessä ei ole mahdollista kuvata hyppäyksittäin tapahtuvia muutoksia, kuten prosessimalleja (bottom up) käytettäessä. Toisin sanoen, ei ole mahdollista kuvata sitä mahdollisuutta, että hintaeron eri tekniikoiden välillä on oltava riittävän suuri, jotta korvautuminen voisi tapahtua. Tekniikka-nippu ei voi kuitenkaan tuottaa sellaista panoskäyttöä, joka ei vastaisi mitään tiettyä tuotantotapaa, koska kokonaistuotanto on yhdelmä tunnettuja tuotantotapoja. Top down -malleissa voidaan joutua sellaisen panoskäytön alueelle, joka ei ole käytännössä mahdollinen.

Tapa, jolla teknologianippulähestymistapa varmistaa panoskäytön kytkeytymisen johdonmukaisesti nimettyihin tekniikoihin, käy ilmi kuvista 2.10 ja 2.11. Oletetaan, että tarkastellun toimialan tuotanto voidaan tuottaa vain kahdella eri tekniikalla, josta molemmat käyttävät sekä pääomaa että työvoimaa. Kuvassa 2.10 enemmän pääomaa käyttävän tuotantotavan panoskäyttö tietyn tuotannon aikaansaamiseen on merkitty pisteellä $T1$. Toisen tuotantotavan panoskäyttö on merkitty pisteellä $T2$.

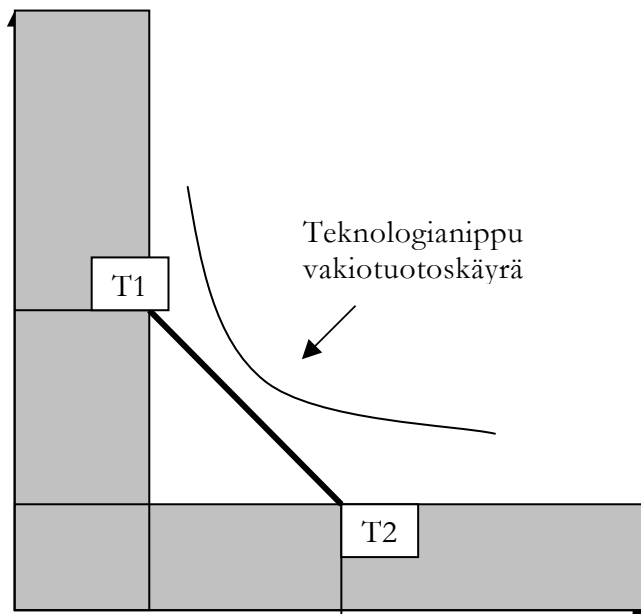
On kaksi äärimmäistä mahdollisuutta: Joko 100 % tuotannosta tuotetaan tekniikalla T1 tai 100 % tekniikalla T2. Kaikki muut mahdolliset tapaukset sijaitsevat pisteet T1 ja T2 yhdistävällä janalla. Janan yhtälö on $\lambda T1 + (1 - \lambda)T2$, $\lambda \in [0,1]$. Jos $\lambda=0$ kaikki tuotanto tehdään tekniikalla T2 ja vastaavasti jos $\lambda=1$, niin vain T1 tuottaa.

Kuva 2.9 Hierarkkinen tuotantofunktio teknologianippu-tarkastelussa



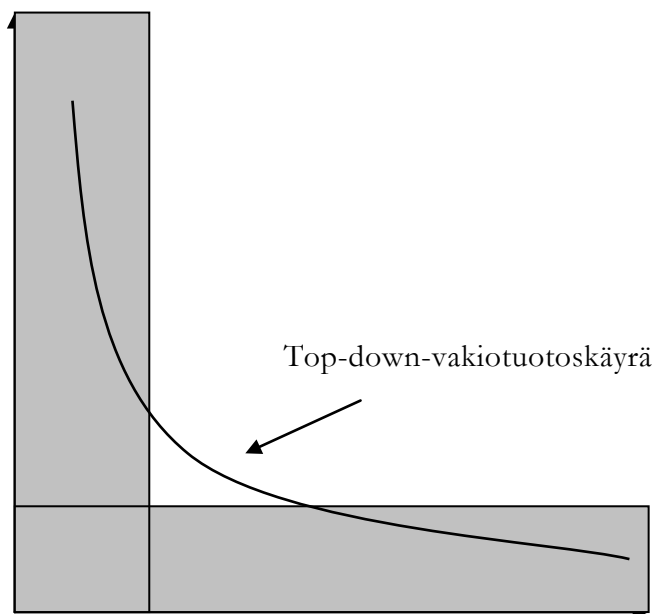
Kuva 2.10

Vakiotuotoskäyrä teknologianipulle



Kuva 2.11

Vakiotuotoskäyrä tavalliselle top-down -mallille



Pisteet T1 ja T2 rajaavat käytettävissä olevan panosyhdelmäavaruuden. Koska kummankaan tunnetun tekniikan käyttö ei voi ylittää 100 % varjostetut alueet eivät ole käypiä.

Kuvassa 2.11 esitetään tyypillisen talousmallin käyttämä vakiotuotantokäyrä. Siitä voidaan lukea, millaisilla panossuhteilla tuotanto pysyy vakiona. Koska kuvaaja lähestyy asymptoottisesti akseleita, joutuu kuvaaja alueelle, joka ei vastaa mitään tunnettua tuotantotekniikkaa.

Kuvassa 2.10 on esitetty tekniikkakimpun vakiotuotantokäyrä, joka on pisteet T1 ja T2 yhdistävän janan yläpuolella. Jos eri tekniikoin tuotetut hyödykkeet olisivat täydellisiä substituutteja (korvaavat toisiaan täysin), niin tällöin jana kuvaisi kyseisen tuotteen tuotannon. Jos taas eri tekniikoin tuotetut tuotteet ovat toistensa epätäydellisiä substituutteja, niin tällöin tekniikkakimpun vakiotuotuskäyrä on konvekksi ja mainitun janan yläpuolella.

Epätäydellistä korvautuvuutta voidaan perustella monin tavoin. Korvautuvuuteen vaikuttavat esimerkiksi voimalaitosten sijainti, samoin vesivoiman varastoitavuus, polttoaineen saatavuus (esim. maakaasuverkon kattavuus), laitosten tekniset ominaisuudet jne. Lisäksi täydellisen korvautuvuuden tapauksessa äärimmäisen pienetkin hintaerot tuotannossa johtavat jonkin tekniikan täydelliseen hylkäämiseen, mikä ei vastaa todellisuutta. Epätäydellinen korvautuvuus johtaa uskottaviin panoskäytön muutoksiin, kun vertaillaan kilpailevia tekniikoita.

Epätäydellinen korvautuvuus johtaa suurempaan panoskäyttöön kuin täydellinen substituotuvuus. Tämän takia tekniikkakimpun vakiotuotuskäyrä on pisteiden T1 ja T2 yhdysjanaa ylempänä. Epätäydellinen korvautuvuus johtaa siihen, että tuotanto ei voi koskaan muuttua pelkästään yhtä tekniikkaa käyttäväksi. Se voi vain lähestyä sitä asymptoottisesti.

2.4.4 Johtopäätöksiä taloudellisten ja teknisten mallien eroista

Yksinkertaisella taloudellisella mallilla voidaan havainnollistaa energiapolitiikan taloudellisten vaikutusten ydinkohtia. Mallin mukaan pienet muutokset energian saatavuudessa eivät aiheuta vastaavaa muutosta taloudellisessa toimeliaisuudessa. On syytä pitää mielessä, että tämä päätelmä tehdään sillä oletuksella, että taloudella on aikaa sopeutua muutokseen. Lyhyellä aikavälillä vaikutukset voivat olla suuria.

Substituutiojousto määrää taloudellisissa malleissa energian saatavuuden vaihteluiden tai sen käytölle asetettujen rajoitusten taloudelliset

vaikutukset. Jouston pienuus merkitsee merkittävää energiatalouden ja muun talouden vuorovaikutusta. Suurilla jouston arvoilla voivat taloudelliset vaikutukset olla suuria, mutta ne voidaan riittävällä tarkkuudella kuvata erillisellä energiasektorianalyysillä.

Jouston merkitys on suuri energian ja kansantalouden vuorovaikutuksen kannalta. Jos substituutiota ei ole, niin energian käytön väheneminen johtaa vastaavan suuruiseen taloudellisen aktiviteetin vähenemiseen. Jos taas energian kysynnän jousto oletetaan suureksi, niin energian käyttö voi vähentyä suurestikin ilman vastaavia vaikutuksia taloudellisessa toiminnassa. Tällöinkään energiakysymykset eivät jää täysin merkityksettömiksi, sillä pieni osa hyvin suuresta luvusta on edelleen suuri luku. Tämä tarkoittaa, että pienikin vähennys BKT:ssä energian saata- vuusongelmien (mikä johtaa luonnollisesti energian hinnannousuun) vuoksi johtaa suuriin hyvinvointimenetyksiin, joita voitaisiin lievittää panostamalla sekä energian tuotanto- että käyttötekniikan kehittämiseen.

Johtopäätökset energiamallien kannalta ovat merkittäviä. Jos jousto on vähäistä, takaisinkytkentä energian ja kansantalouden välillä on voimakas ja kansantalousmallien on huomioitava tämä vaikutus energiajärjestelmäkuvauksessa. Jos taas substituutiovaikutukset ovat merkittäviä, takaisinkytkentävaikutus energiajärjestelmän toimintaan on suhteellisen vähäinen. Tässä tapauksessa energiasektoria voidaan analysoida erillään, omana järjestelmänään. Tämä sallii kansantalousmallin huomattavan yksinkertaistamisen ja energiajärjestelmän yksityiskohtaisen kuvauksen erillisessä energiamallissa.

Kuten aina, mallin käyttötarkoitus määrää sovellettavan lähestymistavan, mallityypin ja yksityiskohtaisuuden tason. Nykyiset mallitustyötä tukevat ohjelmistot ja tehokkaat tietokoneet antavat mahdollisuuden yksittäisen maan tarkkaankin kuvaukseen. Globaalit analyysit, kuten esim. maiden välisen päästökaupan analysointi, johtavat taas tilanteeseen, missä kunkin maan kuvaus väistämättä jää suurpiirteisemmäksi huomioon kohdistuessa maiden väliseen vuorovaikutukseen. Tämä tulisi tietysti ottaa huomioon tuloksia esittäessäkin.

2.5 Synteesi teknologia- ja kansantalousmallien välillä

Teknologianippukuvausta voidaan pitää ensimmäisenä askeleena taloudellisten ja teknisten mallien yhteensovittamiseen. On kuitenkin olemassa teknologianippua suurempikin tapa yhdistää teknologiamallin ja taloudellisen mallin hyvät puolet. Tekniikkamalleissa käytetty tuotantotekniikan kuvaustapa voidaan yhdistää numeerisiin tasapainomalleihin

siten, että määritellään kullekin tuotantotekniikalle tuotantofunktio, jonka yksi panos (tässä tuotantokapasiteetti) on kiinteä. Tämän osittais-tasapainomallin ratkaisuehdot otetaan osaksi tasapainomallia. Tällainen hybridilähestymistapa tekee teknologian ja talouden yhteydet mahdollisimman selkeiksi ja suoriksi. ETLAn ja VTTn hybridimalli noudattaa tätä lähestymistapaa.

Lähestymistavat yhdistävällä mallilla on monia etuja. Tärkeimpiä niistä ovat keskeisten teollisuusalojen valmistusprosessien realistinen kuvaus, joka mahdollistaa hyvin yksityiskohtaisten kysymysten esittämisen, ja toisaalta taloudellisten mallien toimialojen välisten riippuvuuksien ja talouspoliittisten muuttujien tarkka kuvaus, joka mahdollistaa tekniikan ja talouden vuorovaikutusten tarkastelun.

Suoraa synteesiä selvennetään seuraavalla esimerkillä, joka on *lähes* sama kuin yllä esitetty lineaariseen ohjelmointiin perustuvan mallin esimerkki.

Esimerkki. Tarkastellaan edelleen sähkön tuotantoa, mutta nyt kansantalousmallin näkökulmasta. Käytettävissä on tuotantolaitokset j , joita kutakin operoi yksittäinen toimija. Kullakin tuotantoluokalla on kapasiteetin yläraja K_j . Tuotantoa merkitään symbolilla. Tuotantolajin j tuotantokustannus olkoon c_j . Se koostuu lukuisten panosten kiinteäsuhteisesta käytöstä, ts. $c_j = \sum_i a_{ji} P_i$, missä a_{ji} on hyödykkeen i osuus

tuotantoprosessin j tuotantokustannuksista alkutilanteessa ja P_i on hyödykkeen i hinta. Tuottajan j ongelma on nyt seuraava, kun sähkön markkinahinta on p_e :

$$(2.48) \quad \max (p_e - c_j)q_j$$

rajoitusehdolla

$$(2.49) \quad q_j - K_j \leq 0,$$

eli minkään tuotantomuodon tuotanto ei saa ylittää kapasiteettia.

Tämän ongelman Lagrange-yhtälö on

$L(q, \lambda) = (p_e - c_j)q_j - \lambda_j(q_j - K_j)$ ja optimaalisuusehdot

$$(2.50) \quad p_e - c_j - \lambda_j \leq 0 \quad \text{ja} \quad q_j(p_e - c_j - \lambda_j) = 0$$

eli tuotannon rajakustannuksen (ml. niukkuuslisä λ_j) on oltava markkinahinnan suuruinen, jotta tuotantovoio poiketa nolasta.

$$(2.51) \quad q_j - K_j \leq 0 \quad \text{ja} \quad \lambda_j(q_j - K_j) = 0$$

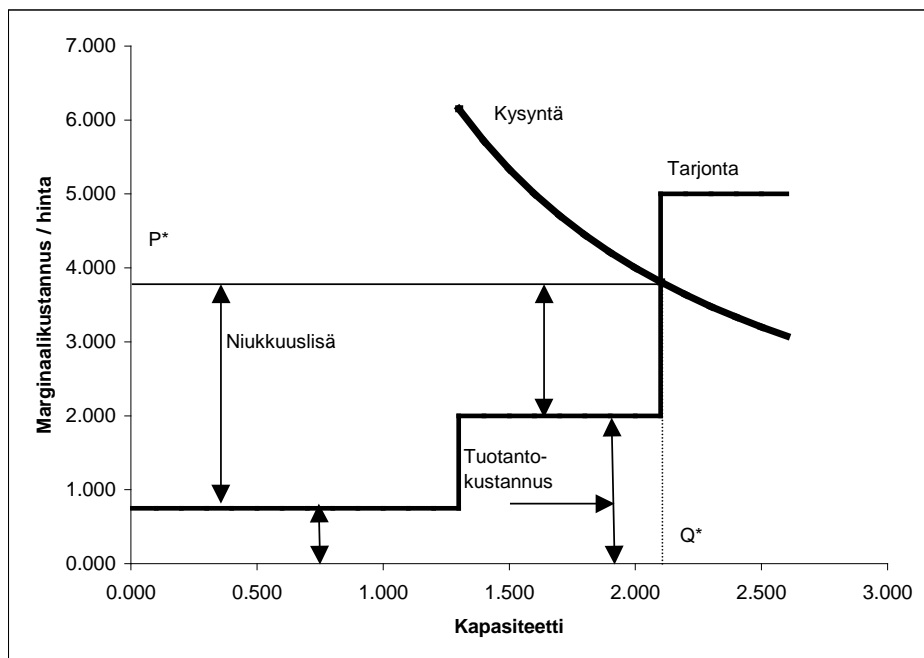
Kunkin tuotantomuodon j niukkuuslisä (ts. voitto) voi siis poiketa nolasta vain, kun sen kapasiteetti on täysin käytössä. Tuotantomuodot otetaan käyttöön edullisuusjärjestyksessä.

Lisäksi vaaditaan, että kokonaiskysyntä D ei saa ylittää kokonaistarjontaa:

$$(2.52) \quad D - \sum_j q_j \leq 0.$$

Nämä ovat täsmälleen samat ehdot kuin aiemmin käsitellyssä teknisen mallin tapauksessa. Niukkuuslisä asettuu kunkin tuottajan kohdalla sellaiselle tasolle, että tuotantokustannus (sisältäen niukkuuslisän) on kaikilla tuottajilla sama ja se on sähkön tasapainohinnan suuruinen.

Kuva 2.12 Teknologiakuvaus taloudellis-teknisessä mallissa



3 EV-malli: Suomen taloudellis-tekninen tasapainomalli

Tässä luvussa esitellään ETLAn ja VTT Energian Suomelle kehittämä tasapainomalli, joka yhdistää teknisen ja taloudellisen lähestymistavan edellisessä luvussa kuvatulla tavalla. Luvun aluksi malli esitellään yleis-tajuisesti, kun taas luvun loppuosassa malli määritellään myös mate-maattisesti.

3.1 Mallin rakenne

EV-malli on tekniikkamallit ja taloudelliset mallit yhdistävä hyvin yksi-tyiskohtainen kuvaus Suomen kansantaloudesta. Mallin kehittämisen lähtökohtina ovat olleet energiaa tuottavien ja niitä kuluttavien proses-sien tekniikkamallit, jotka lisäävät tarkastelun uskottavuutta ja realismia. Tällainen kuvaus mahdollistaa myös mallin käyttämisen poliittisten pää-tösten valmisteluun, joissa usein on otettava kantaa teknisiin yksityis-kohtiin. Tyylytellyistä taloudellisista malleista puuttuu kokonaan tämän mahdollistava tarkkuus, joten niiden tulokset eivät useinkaan ole suo-raan sovellettavissa toimialatasoa hienojakoisempiin ongelmiin. Mallin yksityiskohtaisuudella on myös haluttu lisätä toimialojen keskeisten yri-tysten ja niillä toimivien muiden tahojen vuorovaikutusmahdollisuuk-sia.

Mallin rakenne heijastaa sen kehittämisen taustalla olevia energiaan ja ympäristöön liittyviä analyysitarpeita. Malli sisältää tuotantotekno-logian tekniset kuvaukset keskeisille metsäteollisuuden, kemianteolli-suuden ja metalliteollisuuden tuotelinjoille ja energiantuotannolle. Myös energianloppukulutuksen kuvaukseen on kiinnitetty erityistä huomiota. Muiden toimialojen osalta malli noudattaa taloudellisen mallin top-down -lähestymistapaa.

3.1.1 Aineisto

Mallin kehitystyössä on pyritty kuvaamaan Suomen energiatase eräiden energiahuollon erityispiirteiden edellisessä luvussa kuvattuun prosessi-kohtaiseen tarkasteluun riittävällä tarkkuudella. Sen vuoksi mallin ra-kenteen määrittelyssä polttoainekäyttö kuvataan tarkasti. Polttoaineiden käyttö muodostaa ketjun, jonka osat ovat polttoainetuotanto, energian

Taulukko 3.1 Toimialaluokitus

ISIC10	Maatalous ja kalastus
ISIC12	Metsätalous
ISIC23	Metallien louhinta
ISIC291	Turpeentuotanto
ISIC292	Maakaasu
ISIC293	Kivihiihi
ISIC299	Muu kaivannaistoiminta
ISIC31	Elintarviketeollisuus
ISIC32	Tekstiiliteollisuus
ISIC33	Puutavateollisuus
ISIC341	Paperin ja massan valmistus
ISIC342	Graafinen teollisuus
ISIC351	Peruskemianteollisuus
ISIC352	Kemiallisten tuotteiden valmistus
ISIC355	Kumin ja muovin valmistus
ISIC3531	Bensiini ja kerosiini
ISIC3532	Dieselöljy
ISIC3533	Kevyt polttoöljy
ISIC3534	Raskas polttoöljy
ISIC3535	Nestekaasu
ISIC3539	Muut öljytuotteet
ISIC361	Lasi ja keraamisten tuotteiden valmistus
ISIC362	Sementin ja rakennuselementtien valmistus
ISIC371	Raudan ja teräksen valmistus
ISIC372	Muiden perusmetallien valmistus
ISIC381	Metallituotteiden valmistus
ISIC382	Koneiden ja laitteiden valmistus
ISIC383	Sähkölaitteiden valmistus
ISIC384	Kuljetusvälineiden valmistus
ISIC39	Muu valmistus
ISIC41	Sähkön tuotanto ja jakelu
ISIC42	Lämmön tuotanto ja jakelu
ISIC43	Vesihuolto
ISIC51	Talonrakennus
ISIC52	Maa- ja vesirakennus
ISIC61	Tukku- ja vähittäiskauppa
ISIC63	Hotelli- ja ravintolapalvelut
ISIC7111	Rautatieliikenne
ISIC7119	Muu maaliikenne
ISIC7120	Vesiliikenne
ISIC7130	Ilmaliikenne
ISIC72	Posti- ja telekommunikaatiopalvelut
ISIC81	Rahoitus- ja pankkitoiminta
ISIC83	Künsteistöjen vuokraus ja liike-elämää palveleva toiminta
ISIC91	Muut yksityiset palvelut
ISIC90	Julkiset palvelut

tuotanto ja energian käyttö. Tämä ketju kytkeytyy talouden jokaiseen toimialaan. Sähkön tuotanto ja yhdyskuntien sähkön ja lämmön yhteistuotanto huomioidaan omina sektoreinaan. Muu energian tuotanto ja käyttö huomioidaan osana kunkin toimialan kokonaisrakennetta.

Kansantalouden kuvauksen osalta malli noudattaa edellisessä luvussa kuvattua lähestymistapaa. Kansantalouden rakenne ja toimialojen vuorovaikutus kuvataan vuoden 1995 panos-tuotos -taulukon mukaisesti. Eräiden toimialojen osalta aineistoon on tuotu panos-tuotos -aineiston ulkopuolista, lähinnä teknistä tietoa. Näinpä esimerkiksi puunjalostusteollisuus jaetaan toimialaluokitusta tarkemmin kuudeksi alatoimialaksi, joista kukin tuottaa yhtä hyödykettä tai paperilaatua. Näin tuotannon suuntautumisvaihtoehtojen vaikutukset muuhun talouteen voidaan huomioida. Samoin on sähkön tuotanto ja lämmöntuotanto jaettu eri polttoaineita käyttäviin laitostyyppisiin. Yleisenä periaatteena mallin laadinnassa on ollut pyrkimys ankkuroida tuotannon kuvaus mahdollisimman pitkälle reaalisiin tuotantoprosesseihin, jotta mallin tuloksista voitaisiin päätellä, millaisia käytännön tuotantomuutoksia sopeutuminen asetettuihin rajoituksiin edellyttää.

Talouden toimialat ovat taulukon 3.1 mukaiset.

3.1.2 Joustoestimaatit

Mallissa on määriteltävä sekä kysynnän että tuotannon joustot. Suurin osa vientikysynnän ja kotimaisen kysynnän joustoista on tässä valittu GTAP-tietokannassa² esitetyistä estimaateista, joilla on se etu, että ne perustuvat hyvin laajaan kansainväliseen aineistoon ja ovat siksi perinteisiä kysyntäestimaatteja luotettavampia; toisaalta tulokset ovat tästä valinnasta johtuen vertailukelpoisempia kansainvälisten tutkimusten kanssa (muun muassa Euroopan unioni on teettänyt GTAP-tietokantaan pohjautuvaa selvitystä ilmastopolitiikan vaikutuksista).

Vaikka GTAP-tietokannan toimialatasoiset joustoestimaatit ovatkin taloudellisen mallitustradition piirissä parhaimmasta päästä, niissäkin on tekniikan mallittamisen kannalta ongelmansa. Tätä voidaan havainnollistaa ajattelemalla vaikkapa päästöverojen aiheuttamaa panosten hintasuhteiden muutosta. Hintasuhteiden muutos aiheuttaa perinteises-

² Global Trade Analysis Project, GTAP, on noin 120 maata ja 50 toimialaa käsitävä kansainvälisen kaupan tietokanta. Tietokannan keräämisen yhteydessä laskettujen joustoestimaattien vahvuus useimpiin muihin lähteisiin verrattuna on käytettävissä ollut suuri aineisto, jollaista yksittäisestä maasta ei juuri ole saatavissa.

sä, puhtaasti taloudellisessa mallissa panoskysyntöjen muutoksen ja vaikuttaa sitä kautta talouden makrorakenteeseen. Teknisessä mallissa tapahtuu kuitenkin paljon muutakin. Hintasuhteiden muuttuessa otetaan käyttöön uudenlaisia valmistusmenetelmiä, jotka suosivat suhteellisesti edullisempia panoksia kalliiden sijaan. Tämä muutos tapahtuu siinä määrin kuin se kulloinkin vallitsevien teknis-taloudellisten edellytysten mukaan on mahdollista.

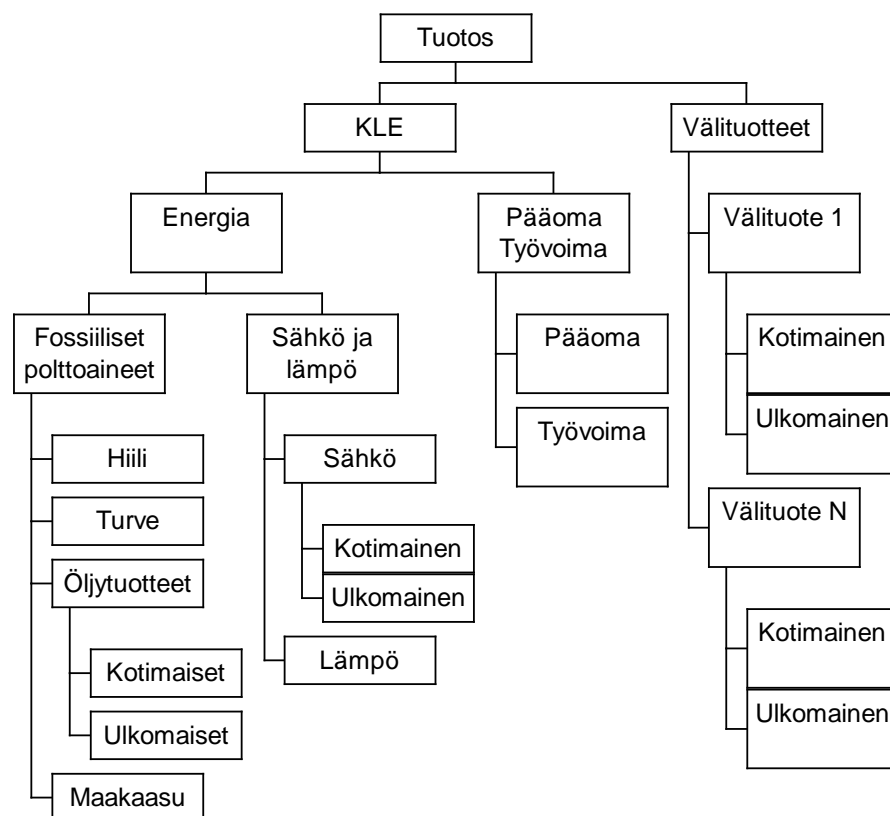
Tuotantotoimintaan sisältyvää mahdollisuutta käyttää eri panoksia muuttuvissa suhteissa perustellaan tavallisesti historiallisilla panoskäytön muutoksilla. Tästä on kyse, kun puhutaan tuotantotekniikkaa kuvaavien joustokertoimien ekonometrisestä määrittämisestä. Mutta jo tapahtuneita muutoksia ei voi käyttää perusteluina sille, että vastaavat muutokset olisivat nykyisessä tilanteessa mahdollisia. Ne eivät kelpaa myöskään sen arvioimiseen, kuinka suuria muutoksia panosten suhteellisessa käytössä voi tästedes esiintyä. Panoskäytön historialliset muutokset kertovat tarkkaan ottaen vain sen, että muutos on aiemmin ollut mahdollinen tilastojen osoittamassa laajuudessa. Muutos panoskäytössä on nyt ja tulevaisuudessakin toki mahdollinen, mutta missä määrin ja millä kustannuksilla se voidaan aikaansaada, on kuitenkin aidosti epävarma asia.

Nykyinen tekniikka on tulevaisuudessakin käytössä, mutta rajoittamalla analyyseissä vain siihen aliarvioidaan tulevia sopeutumismahdollisuuksia. Nähtävissä olevien tekniikan kehittymisvaihtoehtojen vaikutusta kuvataan tässä tutkimuksessa toimialan markkinarakenteen muutoksena, jossa talouden rakenteen kuvausta täydennetään tiedolla käytettävissä olevista tekniikkavaihtoehdoista. Menneen muutoksen tuntemus ja kunkin alan asiantuntijoiden arviot tulevista teknisestä kehityksen mahdollisuuksista lienevät parhaat perusteet teknologiaa kuvaavien parametrien määrittämiseksi.

3.1.3 Toimialojen tuotantorakenteet

Mallissa kuvataan tuotantoa toimialakohtaisten tuotantofunktioiden avulla. Nämä noudattavat suurimmaksi osaksi kansantaloudellisille malleille tyypillistä, edellisessä luvussa esiteltyä top-down -lähestymistapaa. Tuotantoa kuvataan useista ala-aggregaateista koostuvien CES-summafunktioiden avulla. Näiden avulla kuvataan sitä, kuinka välituotteita, energiaa sekä työstä ja pääomasta koostuvaa arvonnisää yhdistetään lopputuotteiksi. Tuotantorakenne voidaan kiteyttää kuvan 3.1 kaltaiseksi rakennepuuksi.

Kuva 3.1 Toimialan yleinen malli



Tuotos muodostuu välituotteiden sekä energian ja arvonlisän kokonaisuuksista. Arvonlisä ja energia yhdistyvät CES-summana. Energia jakautuu polttoaineisiin, sähköön ja lämpöön. Arvonlisä muodostetaan perinteisesti pääoman ja työvoiman aggregaattina. Välituotekäyttö muodostuu toimialoittain kotimaisen ja ulkomailta hankitun hyödykkeen CES-summana, ja eri toimialojen hyödykkeet yhdistyvät niinkään CES-summaksi.

Kun kunkin toimialan tuotteen kotimainen ja ulkomainen versio oletetaan erilaisiksi, voivat ne korvata toisiaan vain osittain. Tämä korvautuvuus vaihtelee tuotetta käyttävän sektorin mukaan. Tämä piirre, jota kutsutaan ns. Armington-oletukseksi, on mallissa huomioitu siten, että koti- ja ulkomaisen tuotteen yhdistäminen tietyn toimialan panokseksi tehdään kullekin käyttäjäsektorille erikseen CES-summana. Näin jokainen sektori käyttää panoksinaan (välituotteinaan) sekä toimialakohtaisesti että alkuperänsä mukaan yksilöityjä tuotteita.

Tuotteisiin liittyvät verot tai tuet lisätään tuotteen hintaan siinä vaiheessa, kun toimiala ottaa sen käyttöönsä. Toimiala tarkoittaa tässä myös kuluttajaa ja julkista sektoria. Ulkomaisia ja kotimaisia tuotteita voidaan kohdella verotuksellisesti eri tavalla. Samoin vero voi olla erilainen käyttävän toimialan mukaan. Esimerkiksi sähköä verotetaan eri tavalla sen mukaan, käytetäänkö sitä teollisuudessa vai kotitalouksissa.

3.1.4 Poikkeukselliset toimialat

3.1.4.1 Metsäteollisuus

Mekaaninen metsäteollisuus jakautuu panos-tuotos -taulussa kahteen toimialaan: sahoihin ja levyteollisuuteen. Tämä on sopiva yksityiskoh-taisuuden taso myös mallissa. Sahojen ja levyteollisuuden jäämiä käyte-tään sekä massan valmistukseen että polttoaineena. Tuotannon sivuvir-rat tuotetaan päätuotteen määrään sidotulla kiinteällä suhteella.

Mekaanisen puunjalostuksen lämmöntarve tyydytetään pääosin teol-lisuuden lämpökattiloin. Valtaosa mekaanisen metsäteollisuuden toimi-paikoista on niin pieniä, että yhteistuotanto ei ole kannattavaa. Pienten toimipaikkojen yhteenlaskettu lämpöenergian käyttö koko metsäteolli-suuden energiankäytöstä jää alle viiden prosentin. Metsäteollisuuden lämmönkäyttö keskittyy siten kemialliseen metsäteollisuuteen. Osa me-kaanisesta jalostusteollisuudesta sijaitsee metsäteollisuusintegraateissa, jolloin niiden lämmöntarve tyydytetään tehtaan yhteisestä lämmönjake-luverkostosta.

Kemiallinen metsäteollisuus, eli massan ja paperin tuotanto, käyttää lähes 70 % teollisuuden lämmöstä ja 60 % sähköstä. Teollisuuden säh-kön ja lämmön yhteistuotannosta vastaavasti noin 85 % tuotetaan met-säteollisuudessa. Paperiteollisuus jaetaan kuudeksi "tuotelinjaksi". Ne ovat sanomalehtipaperi, SC-paperi, LWC-paperi, hienopaperi, muut paperit sekä yhdistetty kartonki ja markkinasellu -tuote. Jako tehdään, jotta paperinvalmistuksen tuoterakenteen vaikutus toimialan energian-käyttöön ja päästöihin voidaan selvittää.

Painottamalla enemmän sellupohjaisiin tuotteisiin (kolme viimemai-nittua laatua) vähenee toimialan ulkopuolelta ostaman sähkön määrä, mutta puun käyttö tällöin lisääntyy. Tämä muutos on mahdollinen vain siinä määrin, kuin markkinoilla on sellupohjaisten tuotteiden kysyntää ja puusta hinnaltaan sopivaa tarjontaa. Tuotevariaatioiden vaikutusta voidaan tutkia skenaarioanalyysin keinoin.

Fossiilisten polttoaineiden ja turpeen osuus metsäteollisuuden polttoaine-energiasta oli vuonna 1995 vain noin 33 % (Tilastokeskuksen julkaisemattomat tiedot). Pääpolttoaine oli puu ja siitä saatu jäteliemi. Puunjalostusteollisuus ostaa yli puolet käyttämästään sähköstä sähköntuotantosektorilta. Metsäteollisuudessa on myös polttoainekäyttöä, joka ei liity sähkön ja lämmön tuotantoon. Sellutehtaan kemikaalikierron kannalta välttämätön meesauuni ja paperin infrapuna-kuivaimet ovat esimerkkejä prosesseista, joissa polttoaineita ei käytetä höyryn ja/tai sähkön tuotantoon.

3.1.4.2 Polttoaineiden tuotanto

Hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kannalta on erityisen tärkeää, mitä polttoaineita käytetään ja kuinka paljon. Pääosa raakaenergiasta on tuontitavaraa. Kokonaan kotimaisia polttoaineita ovat vain puu ja turve. Öljytuotteita tuodaan Suomeen sekä sellaisenaan että jalostetaan raakaöljystä kahdella jalostamolla. Maakaasu ja kivihiili ovat täysin tuonnin varassa, samoin ydinpolttoaine.

Puupolttoaineita tuotetaan metsätaloussektorilla puun muuhun jalostukseen sopimattomasta puuaineksesta ja puunjalostuksen muilla toimialoilla sivutuotevirroista. Näitä polttoaineita käytetään pääosin teollisuuden sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Tuotantojäämien käyttö on toistaiseksi ollut pääasiallinen puupolttoaineen tuotantotapa. Jatkossa on täysin mahdollista, että metsien tähdepuusta kehittyy teollisuuden sivuainevirroille vertoja vetävä laajalti käytetty polttoaine. Turpeen tuotanto ja käyttö muodostaa toisen kokonaan kotimaisen polttoaineketjun.

Öljynjalostus tuottaa lukuisia polttoaineita. Karkean luokituksen mukaan tuotteita ovat dieselöljy ja kevyt polttoöljy, jotka muodostavat tuotannosta hieman yli 40 %, bensiinit ja muut kevytöljyt lähes 40 % osuudella ja raskaat polttoöljyt muodostavat loput noin 18 %.

Mallissa nimettyjä polttoaineita ovat seuraavat:

- puupolttoaineet: metsätähde (ml. halot yms.) ja teollisuuden tähdepuu
- turve
- öljynjalostuksen tuotteet (sekä kotimainen tuotanto että tuonti)
- moottoribensiini ja lentopetroli
 - dieselöljy

- kevyt polttoöljy
- raskas polttoöljy
- nestekaasu

- tuontipolttoaineet
 - ydinpolttoaine
 - kivihiili
 - maakaasu
 - koksi

3.1.4.3 Lämmön ja sähkön tuotanto

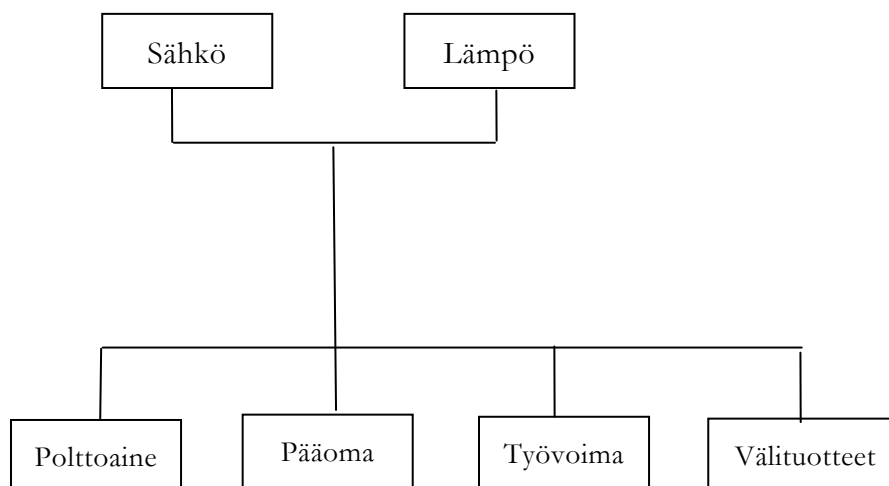
Mallin energiasektori muodostuu erillisestä sähkön tuotannosta sekä kaukolämmön ja kaukolämpövoiman tuotannosta. Tuotanto jaetaan tuotantotavan ja polttoaineen mukaan prosesseihin, jotta siirtymät polttoaineesta toiseen ja tuotantoteknologian erot hyötysuhteissa ja päästöjen määrissä voidaan huomioida. Lämmön ja sähkön tuotanto-osuudet oletetaan kiinteiksi. Erillisen sähköntuotanto ja yhdyskuntien sähkön ja lämmön yhteistuotanto kuvataan prosessimallein.

Saman hyödykkeen eri prosessein tuotetut variaatiot voidaan yhdistää joko lineaarisen tuotantofunktion avulla kuten teknisissä malleissa tai noudattaen teknologianippulähestymistapaa. Lyhyen aikavälin analyyseissä kullakin tuotantotavalla on erityisen pääoman eli tuotantokapasiteetin yläraja, mikä estää edullisimman tuotantomuodon yksinomaisen käytön.

Kaukolämpö on kaukosiiirtoon soveltumaton paikallisesti tuotettava ja kulutettava hyödyke. Paikallisen kysynnän laajuus määrää sovellettavissa olevan tuotantoteknologian. Suuri kysyntä antaa mahdollisuuden sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantoon. Tällöinkin osa energiasta tuotetaan kattilalaitoksien, sillä yhteistuotantolaitosta ei kannata mitoitaa harvoin esiintyviä kulutushuippuja varten. Pienissä kaukolämpöverkoissa koko lämmön kysyntä tyydytetään tyypillisesti vesikattilalaitoksien. Neljä viidesosaa Suomen kaukolämmöstä tuotetaan suurissa kaupungeissa.

Sähkö on täysin homogeenista ja sitä voidaan siirtää pitkiäkin matkoja. Tästä johtuen kaikki sähköntuotantoteknologiat kilpailevat keskenään.

Kuva 3.2 Yhteistuotantolaitoksen tuotantorakenne. Yhteistuotantolaitos tuottaa sekä sähköä että lämpöä



Yhteistuotantolaitoksen lämpö määrää prosessin toimintatason (aktiiviteetin). Sähköä tuotetaan lämmön määrään verrannollisesti. Teollisuuden yhteistuotanto sisältyy toimialan tuotannon kuvaukseen. Sitä ei siis kuvata erillisin tuotantoprosessein, kuten yhdyskuntien yhdistettyä sähkö- ja lämmöntuotantoa. Näkyviin jää tällöin ulkopuolelta ostetun ja ulos myydyt energian määrät lajeittain.

Taulukkoon 3.2 on koottu sähkön tuotannon ja lämmön tuotannon osalta noudatettu jaottelu.

Taulukko 3.2 Lämmön ja sähkön tuotanto

X40111	Vesivoima ja tuulivoima
X40114	Ydinvoima
X40122	Sähkön ja lämmön jakelu
x401291	Lauhdetuotanto turpeella
x401292	Lauhdetuotanto kivihieillä
x401293	Lauhdetuotanto maakaasulla
x4013534	Lauhdetuotanto öljyllä
X40212	Yhteistuotanto puulla
x402291	Yhteistuotanto turpeella
x402292	Yhteistuotanto kivihieillä
x402293	Yhteistuotanto maakaasulla
x4023534	Yhteistuotanto öljyllä
x40312	Kaukolämmön tuotanto puulla
x403291	Kaukolämmön tuotanto turpeella
x403292	Kaukolämmön tuotanto kivihieillä
x403293	Kaukolämmön tuotanto maakaasulla
x4033534	Kaukolämmön tuotanto öljyllä

3.1.4.4 Julkinen sektori

Julkista sektoria kuvataan kuten muutakin tuotantoa. Tässä tutkimuksessa ei tarkastella julkisen sektorin rakennemuutoksia, vaan keskitytään julkisen sääntelyn ja veropolitiikan aiheuttamiin muutoksiin talouden muissa osissa. Tästä syystä voidaan olettaa, että julkisen hyödykkeen tuotanto tapahtuu kiintein panossuhtein; julkinen tuotantofunktio on siis Leontief-tyyppiä. Tämä oletus takaa sen, etteivät oletukset julkisesta tuotannosta vaikuta muun talouden sopeutumismahdollisuuksia liioittelevasti. Julkiselle kulutukselle on myös helppoa määrätä erilaisia yksinkertaisia aikauria Leontief-tekniologialla sitomalla se tietylle reaaliselle tasolle tai vaikkapa määräämällä sille tietty reaalin kasvunopeus.

Julkisen sektorin energiankäyttö muodostuu pääosin rakennuksiin liittyvästä energiankäytöstä ja liikennepolttoaineista. Sähkön käyttö koostuu erilaisten sähköspesifien laitteiden käytöstä.

Tutkimuksessa ei tarkastella julkisen sektorin tavoitteita. Siksi julkisen kulutuksen ei oleteta aiheuttavan kuluttajalle erityistä hyötyä. Julkisen sektorin rahoitus vaikuttaa sen sijaan hyvinvointiin kuluttajalle aiheuttamansa verorasituksen kautta.

3.1.5 Kulutuskysyntä

Kuluttajien toiminta kuvataan tasapainomallille tyypilliseen tapaan edustavan kotitalouden avulla. Tarkastelu keskittyy näin taloudelliseen tehokkuuteen eikä eri sosioekonomisten ryhmien välisiin oikeudenmukaisuuskysymyksiin. Edustavalle kotitaloudelle muotoillaan hyötyfunktio, jonka maksimointi on kotitalouden tavoite. Kulutusta rajoittaa käytettävissä olevat tulot ja vapaa-ajan viettoja tulojen hankkimiseen kuluva aika. Hyötyfunktion parametrit noudattavat Kencin ja Perraudin (1996) estimaatteja Suomelle vapaa-ajan ja kulutuskysynnän osalta, kun taas kulutuskorin sisällä noudatetaan GTAP-tietokannan estimaatteja.

Kuluttajan hyötyfunktio on hierarkkisesti järjestetty kokonaisuus, jonka ylimmällä tasolla tehdään valinta vapaa-ajan ja hyödykkeiden kulutuksen välillä. Seuraavalla tasolla hyödykkeet jakautuvat tuotantotoimialojen mukaisiksi tuotteiksi ja energiaksi. Kotimainen ja ulkomainen tuote kilpailevat keskenään kullakin toimialalla kuluttajan suosioista. Energiatuotteiksi luetaan tässä rakennusten lämmityspolttoaineet, kaukolämpö ja sähkö. Liikennepolttoaineita käsitellään kuten muita tuotteita.

Kotitalouksien tulonlähteet ovat työtulot, pääomatulot (kotitaloudet omistavat kaiken pääoman - paitsi ulkomaalaisten omistuksessa olevan osan) ja tulonsiirrot. Tuloilla katetaan investointimenot, jotka tasapai-

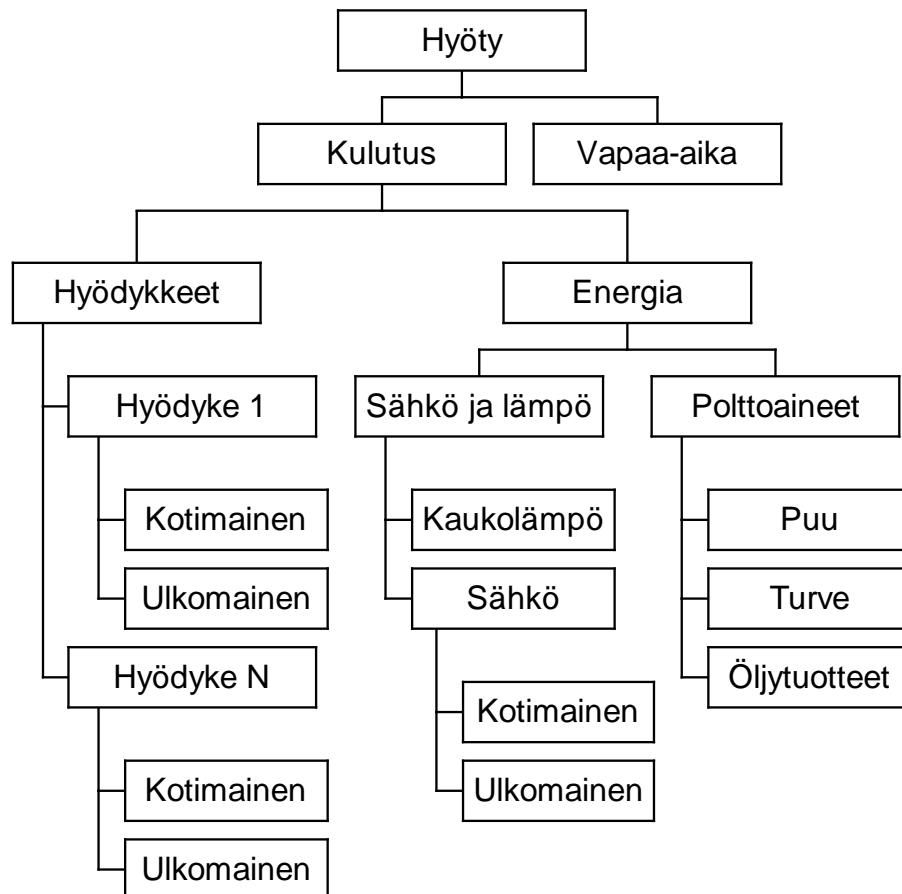
notilanteessa ovat korvaus pääoman kulumisesta, ja julkisen sektorin tuottamat palvelut. Loppuosa menee hyödykkeiden ja energian ostoon.

Kuluttaja tekee myös päätöksen työn tarjonnasta. Tätä päätöstä voidaan tarkastella monin oletuksin palkanmuodostuksesta, jotka kattavat useita vaihtoehtoja eriaisteisesta ammattiliittojen palkanasetannasta täydellisesti kilpailullisiin työmarkkinoihin. Työttömyyttä voidaan kuvata näiden vaihtoehtojen mukaisesti.

Tärkeä piirre työn tarjonnan kuvauksessa on työhön kohdistuvan verotuksen huomioiminen. Erilaiset verothan aiheuttavat nettotyötulojen ja työvoimakustannusten välille suuren eron, ja tämä nk. verokiila vaikuttaa haitallisesti työmarkkinoiden tehokkuuteen vaikka ne olisivat kilpailullisetkin.

Hyötyä kuvataan samantyyppisin summaimin kuin tuotantoakin. Hyvinvoinnin kuvausta selventää oheinen kuva 3.3.

Kuva 3.3 Kuluttajan hyötyfunktio



3.1.6 Investoinnit

Investointihyödykkeiden tuotantoa kuvataan Leontief-teknologialla. Investoinnit määräytyvät pääoman kysynnän mukaan ja riippuvat sekä toimialakohtaisista kulumiskertoimista että kasvuvauhdista. Pääoman optimaalinen taso riippuu sekä toimialan kulumiskertoimesta että pääoman tasapainotuotosta. Tasapainotuotosta voidaan tarkastella useita tapauksia. Pitkällä tähtäimellä on luontevaa olettaa, että tasapainotuotto määräytyy maailmanmarkkinoilla, koska Suomi on pieni avoin talous, josta pääomavirrat ovat vapaita suuntautumaan ulkomaille, ellei tiettyä tuottovaatimusta täytetä. Lyhyellä tähtäimellä on luontevampaa olettaa, että pääomakanta ei juuri ehdi sopeutua, jolloin pääoman tuotto voi vaihdella niin eri toimialojen kuin Suomen ja muun maailmankin välillä.

Mallissa oletetaan vanha pääoma erikoistuneeksi ja tuotantomuotokohtaiseksi, mutta uudet investointihyödykkeet oletetaan homogeenisiksi kunnes ne on lisätty jonkin toimialan pääomakantaan. Tämän jälkeen ne muuttuvat sektorispesifiksi pääomakannaksi.

Tietyillä tuotantomuodoilla on luonnollinen tuotannon yläraja, mikä antaa perusteen määrittellä pääomakanta epähomogeeniseksi. Esimerkiksi vesivoimaa voidaan tuottaa vain luonnonolosuhteiden verran. Jos tarkasteluajanjakso on lyhyt, muillakin tuotantomuodoilla voidaan ajatella olevan rajallinen kapasiteetti. Pääoman tuotto voi tällaisessa tilanteessa poiketa kansainvälisestä arvosta.

3.1.7 Vienti, tuonti ja maksutase

Saman toimialan ulkomaiset ja kotimaiset hyödykkeet ovat erilaisia: ne korvaavat toisiaan epätäydellisesti. Tätä numeerisissa tasapainomalleissa usein käytettyä kuvaustapaa kutsutaan Armington-oletukseksi. Vaikka tuontituote olisikin kotimaista tuotetta hinnakkaampi, sen kysyntä ei loppu hintaeron kasvaessa, vaan ainoastaan alenee. Viennissä taas Armington-oletus tarkoittaa, että viejillä on markkinavoimaa, mikä ilmenee siten, että maailmanmarkkinahintaa korkeammallakin hinnalla vientituotteille on kysyntää. Mitä korkeammaksi hinta nousee maailmanmarkkinahintaan nähden, sitä vähäisempi on vientikysyntä.

Alkuperältään erilaisten hyödykkeiden epätäydellinen toisiaan korvaavuus mallitetaan CES-summaimin.

Muusta maailmasta joudutaan mallissa tekemään joitakin oletuksia. Sekä maailmanmarkkinahintojen että toimialakohtaisen maailmanmarkkinakysynnän kasvu joudutaan spesifioimaan mallille annetuksi, samoin

valuuttakurssi oletetaan vakioksi. Maksutaseelle asetetaan tasapainovaa-
timus: vientituloin on kyettävä tasapainossa kattamaan sekä tuonnin ar-
vo että ulkomaisen velan korkomenot. Ulkomaisen velan määrälle voi-
daan asettaa erilaisia tavoitteita tai sen voidaan antaa määräytyä mallis-
ta.

3.2 EV:n matemaattinen rakenne

Seuraavaksi kuvataan mallin matemaattista rakennetta. Kaikkien käyt-
täytymistä kuvaavien yhtälöiden takana on optimointikäyttäytyminen,
jota luku pyrkii valottamaan.

3.2.1 Tuotanto ja hinnanmuodostus

Yritysten oletetaan mallissa tuottavan tuotteensa työn, pääoman, ener-
gian ja välituotteiden avulla.

Yrityksen j käyttämien tuotantopanosten oletetaan yhdistyvän toisiinsa
kuvion X mukaisesti tuotantofunktioksi $F_j(F_{KLEj}, F_{Xj})$, missä F_{KLEj} on
työn, pääoman ja energian aggregaatti ja F_{Xj} puolestaan välituotteiden
aggregaatti, joka puolestaan koostuu alemman tason aggregaateista.

Yrityksen ongelmana on maksimoida voittonsa annetulla panosten
hinnalla ja tuotteensa kysynnällä. Maksimointiongelma voidaan kuvata
seuraavasti:

$$(3.1) \quad \max \left(P_j F_j(F_{KLEj}, F_{Xj}) - W L_j - R_j K_j - \sum_{i \in \chi} P_i X_{ij} - \sum_{i \in HE} P_i X_{ij} - \sum_{i \in F} P_i X_{ij} - \phi_j \right)$$

missä P_j on yrityksen tuotteen hinta, W palkkataso, L_j yrityksen työ-
voiman käyttö, R_j pääoman tuotannontekijäkorvaus sektorilla j , K_j pää-
omakanta, X_{ij} välituotteen i käyttö sektorilla j , ja missä tuotteet jakau-
tuvat välituotteiden joukkoon χ , lämpöön ja sähköön HE tai polttoai-
neisiin F . Joissakin mallitarkasteluissa oletetaan lisäksi, että yrityksellä
on kiinteitä kustannuksia, joita kuvaa parametri ϕ_j .

Yrityksen päätösmuuttuja riippuu siitä, tarkastellaanko täydellistä vai
epätäydellistä kilpailua. Täydellisen kilpailun vallitessa yritys valitsee tu-
tantonsa tason ottaen hinnat ja tuotteensa kysynnän annettuna. Tässä
tapauksessa tasapainohinta vastaa yksikkökustannuksia. Epätäydellisen
kilpailun vallitessa vaihtoehtoja on enemmän. Täydellisen kilpailun li-

säksi malli on kalibroituavissa erilaisilla monopolistisen kilpailun oletuksilla, joissa yritys asettaa hintansa ottaen hintatason ja panoshinnat annettuna. Näissä tapauksissa yritys voi ansaita voittoa. Hinta on aina korkeampi kuin yksikkökustannus, mutta voittomarginaali riippuu kysynnän hintajoustosta, markkinarakenteesta ja kiinteistä kustannuksista.

Riippumatta siitä, toimiiko yritys kilpailullisilla vai epätäydellisesti kilpailullisilla markkinoilla, yrityksen tuotantokustannuksia voidaan kuvata kustannusfunktion avulla (kustannusfunktiota tarkastellaan lähemmin liitteessä 1). Kustannusfunktio saadaan kustannusten minimoinnin kautta ja se on muotoa

$$(3.2) \quad CY_j = \phi_j(P_{KLEj}, P_{Xj})Y_j,$$

missä ϕ on yksikkökustannusindeksi, P_{KLEj} on pääoman, työn ja energian hintaa kuvaava indeksi, P_{Xj} on välituotteiden hintaindeksi ja Y_j on tuotteen j kysyntä. Tämän esityksen avulla on mahdollista kuvata yrityksen tuotantopanosten kysyntää hyvin yksinkertaisesti. Tuotteen i panoskysyntä on yksinkertaisesti

$$(3.3) \quad X_{ij} = \frac{\partial \phi_j^Y}{\partial P_{ij}} Y_j,$$

kun taas työn ja pääoman kysynät ovat

$$(3.4) \quad L_j = \frac{\partial \Pi_j^Y}{\partial W} Y_j$$

ja

$$(3.5) \quad K_j = \frac{\partial \phi_j^Y}{\partial R_j} Y_j.$$

Käytännössä tuotantofunktion ja kustannusfunktion esitys on monimutkaisempi, koska ne koostuvat useista eri tasoista. Seuraavaksi määritellään tarkasti mallissa käytetyt funktiot.

3.2.2 Tavanomaisten toimialojen tuotantorakenne

Yleinen tuotantorakenne on mallissa käytössä energiantuotantoa, julkista sektoria ja investointisektoria lukuun ottamatta kaikilla toimialoilla.

Tuotanto koostuu sekä arvonlisä-energia -agregaatista että väli-
tuotekäytöstä. Mallissa tuotantofunktion tarkka määritelmä on

(3.6)

$$Y_j(F_{KLEj}, F_{KLEj}) = \left[\theta_j^{KLE} F_{KLEj}^{(\sigma_j^{KLEX}-1)/\sigma_j^{KLEX}} + (1-\theta_j^{KLE}) F_{Xj}^{(\sigma_j^{KLEX}-1)/\sigma_j^{KLEX}} \right]^{\sigma_j^{KLEX}/(\sigma_j^{KLEX}-1)}$$

missä θ_j^{KLE} on energian, pääoman ja työvoiman yhteinen panososuus tuotannosta ja σ_j^{KLEX} on energia-arvonlisäaggregaatin ja välituotteiden välinen substituutiojousto. F_{KLEj} on puolestaan energia-arvonlisäaggregaatti ja F_{Xj} välituoteaggregaatti. Tuotantofunktiota vastaa kustannusfunktio

$$(3.7) \quad \phi_j Y_j = \left[\theta_j^{KLE\sigma_j^{KLEX}} P_{KLEj}^{(1-\sigma_j^{KLEX})} + (1-\theta_j^{KLE}) \sigma_j^{KLEX} P_{Xj}^{(1-\sigma_j^{KLEX})} \right]^{1/(1-\sigma_j^{KLEX})} * Y_j,$$

missä ϕ_j on yksikkökustannusindeksi, P_{KLEj} on pääoman, työn ja energian hintaa kuvaava indeksi ja P_{Xj} välituotteiden hintaindeksi. On huomionarvoista, että indeksit eroavat toisistaan eri toimialoilla, koska toimialojen panosrakenteet eivät suinkaan ole samanlaisia.

Arvonlisä-energia -aggregaatti määritellään seuraavasti:

$$(3.8) \quad F_{KLEj} = \left[\theta_j^{KL} F_{KLj}^{(\sigma_j^{KLE}-1)/\sigma_j^{KLE}} + (1-\theta_j^{KL}) F_{FHEj}^{(\sigma_j^{KLE}-1)/\sigma_j^{KLE}} \right]^{\sigma_j^{KLE}/(\sigma_j^{KLE}-1)},$$

missä θ_j^{KL} on työn ja pääoman yhdistetty panososuus ja σ_j^{KLE} työn ja pääoman ja energian välinen substituutiojousto. F_{KLj} puolestaan on työn ja pääoman aggregaatti ja F_{FHEj} on polttoaineiden, sähkön ja lämmön aggregaatti. Arvonlisän ja energian hintaindeksiksi saadaan

$$(3.9) \quad P_{KLEj} = \left[\theta_j^{KL\sigma_j^{KLE}} P_{KLj}^{(1-\sigma_j^{KLE})} + (1-\theta_j^{KL}) \sigma_j^{KLE} P_{FHEj}^{(1-\sigma_j^{KLE})} \right]^{1/(1-\sigma_j^{KLE})},$$

jossa P_{KLj} on työn ja pääoman hintaindeksi ja P_{FHEj} on polttoaineiden, sähkön ja lämmön hintaindeksi.

Arvonlisä määritellään seuraavasti:

$$(3.10) \quad F_{KLj} = \left[\theta_j^K K_j^{(\sigma_j^{KL}-1)/\sigma_j^{KL}} + (1-\theta_j^K) L_j^{(\sigma_j^{KL}-1)/\sigma_j^{KL}} \right]^{\sigma_j^{KL}/(\sigma_j^{KL}-1)}$$

missä θ_j^K on pääoman panososuus ja σ_j^{KL} on työn ja pääoman välinen substituutiojousto. Arvonlisän hintaindeksi P_{KLj} määritellään

$$(3.11) \quad P_{KLj} = \left[\theta_j^K \sigma_j^{KL} R^{1-\sigma_{KLj}} + (1-\theta_j^K) \sigma_j^{KL} W^{1-\sigma_{KLj}} \right]^{1/(1-\sigma_{KLj})}.$$

Energia-aggregaatti koostuu polttoaineista ja sähköstä ja lämmöstä ja sen määritelmä on:

$$(3.12) \quad F_{FHEj} = \left[\theta_j^F F_{Fj}^{(\sigma_j^{FHE}-1)/\sigma_j^{FHE}} + (1-\theta_j^F) F_{HEj}^{(\sigma_j^{FHE}-1)/\sigma_j^{FHE}} \right]^{\sigma_j^{FHE}/(\sigma_j^{FHE}-1)},$$

missä θ_j^F on polttoaineiden panososuus ja σ_j^{FHE} on polttoaineiden substituutiojousto sähköön ja lämpöön nähden. F_{Fj} on puolestaan polttoaineaggregaatti ja F_{HEj} lämmön ja sähkön aggregaatti.

Energian hintaindeksi puolestaan on

$$(3.13) \quad P_{FHEj} = \left[\theta_j^{F\sigma_j^{FHE}} P_{Fj}^{(1-\sigma_j^{FHE})} + (1-\theta_j^F) \sigma_j^{FHE} P_{HEj}^{(1-\sigma_j^{FHE})} \right]^{1/(1-\sigma_j^{FHE})},$$

missä P_{Fj} on polttoaineiden hintaindeksi ja P_{HEj} sähkön ja lämmön hintaindeksi.

Polttoainekäyttö käsittää mallissa niin liikenteeseen, lämmitykseen kuin sähköntuotantoonkin kuluvat polttoaineet sekä prosessien vaatiman polttoainekäytön. Polttoaineiden aggregaatti määritellään

$$(3.14) \quad F_{Fj} = \left[\sum_{i \in F} \theta_{ij} F_{ij}^{(\sigma_j^F-1)/\sigma_j^F} \right]^{\sigma_j^F/(\sigma_j^F-1)},$$

missä F käsittää polttoaineet, θ_{ij} on polttoaineen i panososuus ja σ_j^F on polttoaineiden välinen substituutiojousto toimialalla j . Polttoaineita vastaava hintaindeksi on

$$(3.15) \quad P_{Fj} = \left[\sum_{i \in F} \theta_{ij}^{\sigma_j^F} P_{ij}^{(1-\sigma_j^F)} \right]^{1/(1-\sigma_j^F)},$$

missä P_{ij} on polttoaineen i kotimaisen ja tuontihinnan indeksi.

Toimialan j hankkima sähkö ja lämpö yhdistyvät mallissa aggregaattiksi F_{HEj} , jonka määritelmä on

$$(3.16) \quad F_{HEj} = \left[\theta_j^H F_{Hj}^{(\sigma_j^{HE}-1)/\sigma_j^{HE}} + (1-\theta_j^H) F_{Ej}^{(\sigma_j^{HE}-1)/\sigma_j^{HE}} \right]^{\sigma_j^{HE}/(\sigma_j^{HE}-1)},$$

missä θ_j^H on lämmön panososuus ja σ_j^{HE} sähkön ja lämmön substituutiojousto. Vastaava hintaindeksi on

$$(3.17) \quad P_{Fj} = \left[\theta_j^{H\sigma_j^{HE}} P_{Hj}^{(1-\sigma_j^{HE})} + (1-\theta_j^H) \sigma_j^{HE} P_{Ej}^{(1-\sigma_j^{HE})} \right]^{1/(1-\sigma_j^{HE})},$$

missä P_{Hj} on lämmön ja P_{Ej} sähkön hintaindeksi. Sähkön suoran tuon-
nin oletetaan olevan mahdollista, joten P_{Ej} on indeksi kotimaisen ja
tuontisähkön hinnasta, jos toimiala j on sähköntuoja. Lämpöä sen si-
jaan tehdään vain kotimaassa.

Välituotteiden käyttöä kuvaa indeksi F_{Xj} , joka määritellään seuraavas-
ti:

$$(3.18) \quad F_{Xj} = \left[\sum_{i \in \chi_j} \theta_{ij} F_{ij}^{(\sigma_j^X - 1)/\sigma_j^X} \right]^{\sigma_j^X / (\sigma_j^X - 1)},$$

θ_{ij} on tuotteen i panososuus, χ_j on toimialan j käyttämien välituottei-
den joukko, σ_j^X on välituotteiden välinen substituutiojousto toimialalla
 j sekä F_{ij} kotimaisen ja tuontihyödykkeen käyttöä kuvaava indeksi. Vas-
taava hintaindeksi on

$$(3.19) \quad P_{Xj} = \left[\sum_{i \in \chi_j} \theta_{ij}^{\sigma_j^X} P_{ij}^{(1 - \sigma_j^X)} \right]^{1/(1 - \sigma_j^X)},$$

missä P_{ij} on kotimaisen ja tuontihyödykkeen hintaindeksi.

Kaikilla toimialoilla on periaatteessa mahdollista käyttää sekä koti-
maisia että tuontihyödykkeitä. Valinta kotimaisen ja ulkomaisen hyö-
dykkeen välillä perustuu niiden hintaan. Tuotteen i kotimaisen ja tuon-
tiversioon käyttöä kuvaa

$$(3.20) \quad F_{ij} = \left[\theta_{ij}^M X_{Mi}^{(\sigma_{ij} - 1)/\sigma_{ij}} + (1 - \theta_{ij}^M) X_i^{(\sigma_{ij} - 1)/\sigma_{ij}} \right]^{\sigma_{ij} / (\sigma_{ij} - 1)}$$

missä θ_{ij}^M on tuodun tuotteen panososuus ja σ_{ij} on kotimaisen ja tuon-
tihyödykkeen välinen substituutiojousto. Hintaindeksin määritelmä on
puolestaan

$$(3.21) \quad P_{ij} = \left[\theta_{ij}^M P_{Mi}^{1 - \sigma_{ij}} + (1 - \theta_{ij}^M) P_i^{1 - \sigma_{ij}} \right]^{\frac{1}{1 - \sigma_{ij}}}.$$

Näiden määritelmien perusteella mallissa voidaan esittää välituottei-
den, energian, pääoman ja työvoiman kysyntä usealla eri tavalla, mutta
laskennan kannalta tämän luvun alussa esitetty, kustannusfunktioon pe-
rustuva lähestymistapa on taloudellisin, koska sen käyttö ei itse asiassa
edellytä kaikkien määraindeksien määrittelemistä – riittää, että hintain-
deksit määritellään. Tämä pienentää numeerisen mallin kokoa ja säästää
laskenta-aikaa.

3.2.3 Poikkeuksellisten toimialojen tuotantorakenne

Eräiden toimialojen kohdalla tuotannon kuvaus poikkeaa jossain määrin edellä esitetystä. Syynä tähän on se, että malliin on haluttu tuoda mahdollisimman paljon teknologiaa kuvaavaa tietoa. Tärkeimpiä näistä poikkeuksellisista toimialoista ovat paperiteollisuus, öljynjalostus ja energiantuotanto. Julkisen sektorin ja investointihyödykkeiden kuvaukset ovat myös poikkeukselliset, mutta syyt tähän ovat hieman käytännönläheisemmät. Julkisen tuotannon rakenne on haluttu pitää ennallaan, koska muutoksien siinä voidaan katsoa olevan politiikkamuuttujia. Investointien osalta on puolestaan noudatettu konventiota, jossa investointihyödykkeiden tuotantoa kuvaa kirjanpidollinen toimiala, joka koostuu muiden toimialojen tekemät investointihyödykkeet mutta ei tuo niihin lisäarvoa.

3.2.3.1 Paperi- ja kartonkiteollisuus

Paperiteollisuuden osalta käytettävissä oli tuotantorakenteesta panos- tuotasaineistoa yksityiskohtaisempaa tietoa, jota on hyödynnetty paperiteollisuuden prosessien tuotelinjakohtaisessa kuvauksessa. Tuotelinjakohtaista kysyntää ei kuitenkaan ollut käytettävissä. Siksi paperin tuotannon oletetaan koostuvan tuotelinjaprosesseista, mutta paperin kysyntää kuvataan astetta karkeammalla tasolla. Tämän mallintaminen on toteutettu teknologianippulähestymistavan avulla. Paperiteollisuuden eri tuotteet aggregoidaan siis yhdeksi paperiteollisuustuotteeksi:

$$(3.22) \quad Y_{341} = \left[\sum_{i \in I_p} \theta_i^p Y_i^{(\sigma_p - 1) / \sigma_p} \right]^{\sigma_p / (\sigma_p - 1)},$$

missä θ_i^p on tuotantolinjan i osuus paperiteollisuuden koko tuotannosta, I_p on tuotelinjojen joukko ja σ_p tuotelinjojen välinen substitutiiojousto. Paperiteollisuustuotteen hinnaksi tulee näin ollen

$$(3.23) \quad P_{341} = \left[\sum_{i \in I_p} \theta_i^{\sigma_p} P_{Pi}^{1 - \sigma_p} \right]^{\frac{1}{1 - \sigma_p}}.$$

3.2.3.2 Öljynjalostus ja kaivannaistoiminta

Öljypolttoaineiden tuotantoa kuvataan mallissa tuotantoprosessina, jolla on useita lopputuotteita. Näinhän on luonnollisesti asian laita öljyn-

jalostuksessa, jossa raakaöljy jaetaan eri painoisiin jakeisiin. Tätä samaa lähestymistapaa käytetään kuitenkin myös turpeen tuotannossa, joka on osa myös kivenlouhintaa, hiekan ja saven ottoa ja kemiallisten mineraalien tuotannon sisältävää kaivannaistoimintaa. Tuotannon kuvaus noudattaa näiden toimialojen osalta yleistä toimialan kuvausta ($j=F$), mutta niiden tuotos jaetaan eri tuotteisiin. Mallissa on oletettu tämän transformaation tapahtuvan kiinteissä suhteissa, mutta prosessia voidaan myös kuvata vakiotransformaatioteknologiana, jossa tuotteiden suhteelliset hinnat vaikuttavat siihen, kuinka paljon kutakin niistä tuotetaan.

Kunkin polttoaineen tuotanto on siis muotoa

$$(3.24) \quad Y_i = a_i^F Y_F,$$

missä a_i^F on polttoaineen i osuus toimialan tuotannosta. Polttoaineiden verottomat hinnat määräytyvät tällä oletuksella samoiksi kuin toimialan keskimääräiset hinnat.

3.2.3.3 Lämmön ja sähkön tuotanto

Lämmön ja sähkön tuotannon kuvauksessa mallissa on noudatettu teknisten mallien lähestymistapaa. Tuotantoteknologiat oletetaan lineaarisiksi ja teknologiaa kuvaavat parametrit perustetaan tietoon eri polttoainein käytettävissä olevista tuotantoprosesseista. Tuotantofunktio on

$$(3.25) \quad Y_j = \min \left\{ \frac{X_{ij}}{a_i^j}, \frac{L_j}{a_L^j}, \frac{K_j}{a_K^j} \right\}$$

Kustannusfunktio on siis

$$(3.26) \quad \phi_j = \sum_i a_i^j P_i + a_j^L W + a_j^K R_j.$$

Sähkön tai lämmön tuottajan ongelma on

$$(3.27) \quad \max (P_j - \phi_j) Y_j$$

rajoitusehdolla, että tuotannolla on yläraja

$$(3.28) \quad Y_j - E_j \leq 0.$$

Lisäksi tuottaja ottaa markkinahinnan annettuna. Sähköllä (tai kaukolämmöllä) on yksi hinta, mutta monta sitä tuottavaa prosessia. Tällöin

kapasiteettirajoitus johtaa siihen, että edullisimmat tuotantomuodot tuottavat voittoa.

Tämän ongelman Lagrange-yhtälö on

$L(Y_j, \lambda_j) = (P_j - \phi_j)Y_j - \lambda_j(Y_j - E_j)$ ja optimaalisuusehdot

$$(3.29) \quad P_j - \phi_j - \lambda_j \leq 0 \quad \text{ja} \quad Y_j(P_j - \phi_j - \lambda_j) = 0.$$

$$(3.30) \quad Y_j - E_j \leq 0 \quad \text{ja} \quad \lambda_j(Y_j - E_j) = 0$$

Toisin sanoen, tuotannon rajakustannusten (ml. niukkuuslisä λ_j) on oltava markkinahinnan suuruiset, jotta tuotanto on mahdollista.

3.2.3.4 Julkinen sektori

Koska malli on suunnattu politiikka-analyysiin, on julkisen sektorin toiminta haluttu vakioida niin pitkälle kuin mahdollista. Tästä syystä julkinen tuotanto on oletettu sektoritasolla Leontief-tyyppiseksi, mutta valinta kotimaisen ja ulkomaisen tuotteen välillä se joustaa. Siis

$$(3.31) \quad Y_G = \min \left\{ \frac{X_{iG}}{a_i^G}, \frac{L_G}{a_L^G}, \frac{K_G}{a_K^G} \right\}.$$

Julkisen tuotannon hinnaksi muodostuu siis

$$(3.32) \quad P_G = \sum_{i \in G} a_i^G P_{iG} + a_L^G W + a_K^G R_G$$

missä

$$(3.33) \quad P_{iG} = \left[\theta_{iG}^M P_{Mi}^{1-\sigma_M} + (1 - \theta_{iG}^M) P_i^{1-\sigma_M} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_M}}.$$

Julkinen sektori kerää toimintansa vaatimat varat veroin. Malli huomioi rutiininomaisesti tuloverot – kaikkien kotitalouksien osalta – hyödykeverojen ja tukipalkkioiden summan ja yksityiskohtaisesti energiaverot. Julkinen velkaantuminen ei ole poissuljettua, mutta sen tarkastelun mielekkyys riippuu valitusta aikajänteestä. Staattisessa tarkastelussa julkinen velka vakioidaan.

3.2.3.5 Investoinnit

Investointihyödykkeiden tuotanto koostuu kaikkien toimialojen lopputuotteista, jotka käytetään pääomahyödykkeinä. Käytännössä nämä hyö-

dykkeet eroavat toisistaan eri toimialoilla, mutta näin tarkkaa tietoa hyödykkeiden koostumuksesta ei mallin kehitystyön aikana ollut saatavissa. Mallissa tehdään tästä syystä se yksinkertaistava oletus, että pääomahyödykkeet ovat samanlaisia kunnes ne on otettu käyttöön jollakin toimialalla. Tämän jälkeen ne ovat sektorispesifisiä. Tämä yksinkertaistaa pääomahyödykkeiden valmistusprosessin kuvausta. Kuten muillakin sektoreilla, investointihyödykesyntä joustaa kotimaisen ja ulkomaisen hyödykkeen tapauksessa. Muutoin tuotantorakenne on Leontief-tyyppiä:

$$(3.34) \quad Y_G = \min\left\{\frac{X_{il}}{a_i^I}, \frac{L_I}{a_L^I}, \frac{K_I}{a_K^I}\right\}.$$

Niinpä investointihyödykkeen hinnaksi tulee

$$(3.35) \quad P_I = \sum_{i \in I} a_i^I P_{iI},$$

missä

$$(3.36) \quad P_{iI} = \left[\theta_{iI}^M P_{Mi}^{1-\sigma_M} + (1 - \theta_{iI}^M) P_i^{1-\sigma_M} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_M}}.$$

3.2.4 Kotitaloudet

Kotitalouksia kuvataan mallissa edustavan kuluttajan (tai kuluttajien) avulla. Myös tämä lähestymistapa olettaa optimointikäyttäytymisen valitsevan. Kuluttajan hyvinvointia kuvataan hyödykkeiden kulutuksesta C ja vapaa-ajasta $(\bar{L} - L)$ koostuvan hyötyfunktion $U(C, (\bar{L} - L))$ avulla, ja kuluttajan pyrkimys on maksimoida tämä hyöty annetulla hintatasolla ja tulotasolla. Kuluttajalla oletetaan olevan tietty määrä aikaa käytössään – tätä kuvaa \bar{L} – joten vapaa-aika on sitä pienempi, mitä enemmän aikaa käytetään työhön. Tämän kuvauksen perusteella voidaan johdattaa sekä kulutuskysyntä että työn tarjonta. Jälkimmäisestä voidaan helposti tarkastella myös erilaisia muunnoksia, joissa tarjonta ei esimerkiksi ole täysin joustavaa palkanasetannan vuoksi. Joustavan työn tarjonnan tapauksessa kuluttajan valintaa voidaan kuvata menofunktion avulla, jolloin

$M = P_U U(C, (\bar{L} - L))$ kertoo tietyn hyvinvoinnin saavuttamiseksi (annetulla hintatasolla) tarvittavat menot. Tämän esityksen avulla voidaan kulutuskysyntä ja vapaa-ajan kysyntä esittää kompaktisti samaan tapaan kuin tuotannon välituotekysyntäkin. Investointi- ja säästöpäätökset tekee mallissa myöskin kuluttaja, mutta tätä oletusta on helppo muuttaa.

Kuluttajan hyvinvointia kuvataan sitäkin CES-funktioiden avulla. Ylimmällä tasolla hyvinvointi koostuu vapaa-ajasta ja hyödykkekysynnästä:

(3.37)

$$U(C, (\bar{L} - L)) = \left[\theta^{CE} C^{(\sigma_{CEL}-1)/\sigma_{CEL}} + (1 - \theta^{CE}) (\bar{L} - L)^{(\sigma_{CEL}-1)/\sigma_{CEL}} \right]^{\sigma_{CEL}/(\sigma_{CEL}-1)},$$

missä θ^{CE} on energian ja hyödykkeiden kulutuksen kulutusosuus ja σ_{CEL} on vapaa-ajan ja energia ja kulutuksen välinen substitutiojousto. Hyötyfunktioita vastaa hintaindeksi

$$(3.38) \quad P_U = \left[\theta^{CE\sigma_{CEL}} P_{CE}^{1-\sigma_{CEL}} + (1 - \theta^{CE})^{\sigma_{CEL}} W^{1-\sigma_{CEL}} \right]^{1/(1-\sigma_{CEL})},$$

missä P_{CE} on energian ja hyödykkeiden hintaindeksi ja W nimellispalkka.

Kulutuskysyntä muodostuu hyödykkeiden ja energiatuotteiden kysynnästä:

$$(3.39) \quad C = \left[\theta_C^{FHE} C_{FHE}^{(\sigma_{FHEC}-1)/\sigma_{FHEC}} + (1 - \theta_C^{FHE}) C_c^{(\sigma_{FHEC}-1)/\sigma_{FHEC}} \right]^{\sigma_{FHEC}/(\sigma_{FHEC}-1)},$$

missä θ_C^{FHE} on polttoaineiden, sähkön ja lämmön kulutusosuus, σ_{FHEC} on hyödykkeiden ja energian välinen substitutiojousto ja C_{FHE} koostuu polttoaineiden, sähkön ja lämmön kulutuksesta, kun taas C_c käsittää hyödykkeiden kulutuksen. Kulutuskysynnän hintaindeksi on

$$(3.40) \quad P_{CE} = \left[\theta_C^{FHE\sigma_{FHEC}} P_{FHE}^{(1-\sigma_{FHEC})} + (1 - \theta_C^{FHE})^{\sigma_{FHEC}} P_c^{(1-\sigma_{FHEC})} \right]^{1/(1-\sigma_{FHEC})},$$

missä P_{FHE} on energian hintaindeksi, P_C on hyödykkeiden kulutuksen hintaindeksi ja σ_{FHEC} on energian ja hyödykkeiden välinen substitutiojousto.

Energia-aggregaatti määritellään seuraavasti:

$$(3.41) \quad C_{FHE} = \left[\theta_C^F C_F^{(\sigma_C^{FHE}-1)/\sigma_C^{FHE}} + (1 - \theta_C^F) C_{HE}^{(\sigma_C^{FHE}-1)/\sigma_C^{FHE}} \right]^{\sigma_C^{FHE}/(1-\sigma_C^{FHE}-1)},$$

missä θ_C^F polttoaineiden kulutusosuus, C_F niiden kulutus, C_{HE} lämmön ja sähkön kulutus ja σ_C^{FHE} on polttoaineiden ja sähkön ja lämmön välinen substitutiojousto. Vastaava hintaindeksi on

$$(3.42) \quad P_{FHE} = \left[\theta_C^F \sigma_C^{FHE} P_F^{(1-\sigma_C^{FHE})} + (1-\theta_C^F) \sigma_C^{FHE} P_{HE}^{(1-\sigma_C^{FHE})} \right]^{1/(1-\sigma_C^{FHE})}.$$

Sähkö ja lämpö yhdistyvät kulutuksessa aggregaatiksi seuraavasi:

$$(3.43) \quad C_{HE} = \left[\theta_C^H C_H^{(\sigma_{HE}^{-1})/\sigma_{HE}} + (1-\theta_C^H) C_E^{(\sigma_{HE}^{-1})/\sigma_{HE}} \right]^{\sigma_{HE}/(\sigma_{HE}-1)},$$

missä θ_C^H on lämmön kulutusosuus ja σ_C^{HE} on sähkön ja lämmön välinen substitutiojousto.

Tätä vastaava hintaindeksi on

$$(3.44) \quad P_{HE} = \left[\theta_C^H \sigma_{HE} P_H^{(1-\sigma_{HE})} + (1-\theta_C^H) \sigma_{HE} P_E^{(1-\sigma_{HE})} \right]^{1/(1-\sigma_{HE})}$$

Polttoaineiden kokonaiskulutusta kuvaa

$$(3.45) \quad C_F = \left[\sum_{i \in F} \theta_{iC} C_{iF}^{(\sigma_C^F-1)/\sigma_C^F} \right]^{\sigma_C^F/(\sigma_C^F-1)},$$

missä θ_{iC} on polttoaineen i kulutusosuus ja σ_C^F on polttoaineiden välinen substitutiojousto.

Tätä vastaava hintaindeksi on

$$(3.46) \quad P_{FC} = \left[\sum_{i \in F} \theta_{iC}^{\sigma_C^F} P_{ij}^{(1-\sigma_C^F)} \right]^{1/(1-\sigma_C^F)}.$$

Hyödykkeiden kokonaiskulutusta kuvaa

$$(3.47) \quad C_C = \left[\sum_{i \in C} \theta_{iC} C_{iF}^{(\sigma_C^C-1)/\sigma_C^C} \right]^{\sigma_C^C/(\sigma_C^C-1)},$$

missä θ_{iC} on hyödykkeen i kulutusosuus ja σ_C^C on hyödykkeiden välinen substitutiojousto.

Tätä vastaava hintaindeksi on

$$(3.48) \quad P_{FC} = \left[\sum_{i \in C} \theta_{iC}^{\sigma_C^C} P_{ij}^{(1-\sigma_C^C)} \right]^{1/(1-\sigma_C^C)}.$$

Sekä polttoaineiden että hyödykkeiden kysyntä jakautuvat lisäksi ulkomaisten ja kotimaisten tuotteiden kesken. Tätä kuvaa hyödykkeiden tapauksessa

$$(3.49) \quad C_{iC} = \left[\theta_{iC}^M C_{Mi}^{(\sigma_{iC-1})/\sigma_{iC}} + (1 - \theta_{iC}^M) C_i^{(\sigma_{iC-1})/\sigma_{iC}} \right]^{\sigma_{iC}/(\sigma_{iC-1})},$$

jota vastaa hintaindeksi

$$(3.50) \quad P_{iC} = \left[\theta_{iC}^M \sigma_{iC} P_{Mi}^{1-\sigma_{iC}} + (1 - \theta_{iC}^M) \sigma_{iC} P_i^{1-\sigma_{iC}} \right]^{1/(1-\sigma_{iC})}.$$

Kulutusta ja tuotantoa kuvaavien yhtälöiden lisäksi mallissa määritellään tasapainoehdot, joiden on tasapainossa toteuduttava.

3.2.5 Vientikysyntä

Vientikysynnän oletetaan riippuvan hintakilpailukyvyistä eli noudattavan Armington-oletusta:

$$(3.51) \quad EX_j = \left(\frac{P_j}{P_j^W} \right)^{-\sigma_j} D_j^W,$$

missä P_j^W on tuotteen j maailmanmarkkinahinta ja D_j^W puolestaan maailmanmarkkinakysyntä.

3.2.6 Markkinoiden tasapaino

Malli voidaan nyt esittää hinnoittelua kuvaavien nollavoittoehtojen, markkinatasapainoehtojen ja budjettirajoitteiden avulla. Näin saadaan nollavoittoehto tuotannolle (hinnoitteluyhtälöt):

$$(3.52) \quad P_j = \phi_j(P_{KLEj}, P_{Xj}),$$

jos toimiala j tekee tavanomaisia tuotteita. Sähkön tuotannon ja lämmön tuotannon osalta hinta määräytyy yhtälöistä (3.29) ja (3.30).

Hyödykemarkkinoiden tasapainoehto vaatii, että

$$(3.53) \quad Y_i = \sum_j Y_j \frac{\partial \phi_j^Y}{\partial P_i} + C \frac{\partial \phi_j^C}{\partial P_i} + I \frac{\partial \phi_j^I}{\partial P_i} + G \frac{\partial \phi_j^G}{\partial P_i} + EX_i.$$

Työmarkkinat:

$$(3.54) \quad \bar{L} = \sum_{j \in X} Y_j \frac{\partial \phi_j^Y}{\partial W} + \sum_{j \in E} a_L^j Y_j + a_L^G Y_G.$$

Pääomamarkkinat:

$$(3.55) \quad K = \sum_j Y_j \frac{\partial \phi_j^Y}{\partial R}.$$

Tuonti:

$$(3.56) \quad M_i = \sum_j Y_j \frac{\partial \phi_j^Y}{\partial P_{Mi}} + C \frac{\partial \phi_j^C}{\partial P_{Mi}} + I \frac{\partial \phi_j^I}{\partial P_{Mi}} + G \frac{\partial \phi_j^G}{\partial P_{Mi}}.$$

Vienti:

$$(3.57) \quad EX_j = \left(\frac{P_j}{P_j^W}\right)^{-\sigma_j} D_j^W.$$

Kansantalouden tulojen on oltava tasapainossa:

$$(3.58) \quad \sum_i P_i EX_i + \sum_i P_i^M M_i = B,$$

missä B kuvaa ulkomaista velkaa. Staattisessa tarkastelussa velka kiinnitetään usein, mutta dynaamisessa tarkastelussa sille voidaan asettaa monimutkaisempia rajoitteita.

Kuluttajan tulojen ja menojen on oltava tasapainossa:

$$(3.59) \quad P_C C = W\bar{L} + RK + \sum_{k \in kj} \lambda_{kj} \bar{K}_{kj} - P_G G - P_I I - B.$$

Investointihyödykkeiden tuotannon täytyy vastata nettoinvestointeja:

$$(3.60) \quad I = \sum_j (K_{jt+1} - K_{jt}).$$

Hintanormalisaatio

$$P_j^W = 1.$$

Taulukko 3.3 Joustoparametrien arvot eri toimialoilla

		σ_j^M	σ_j^{KL}	$\sigma_j^{KLE},$ σ_j^X
ISIC10	Maatalous ja kalastus	5,6	0,56	0,25
ISIC12	Metsätalous	5,6	0,56	0,25
ISIC23	Metallien louhinta	5,6	1,12	0,25
ISIC291	Turpeentuotanto	5,6	1,12	0,25
ISIC292	Maakaasu	5,6	1,12	0,25
ISIC293	Kivihiihi	5,6	1,26	0,25
ISIC299	Muu kaivannaistoiminta	5,6	1,26	0,25
ISIC31	Elintarviketeollisuus	4,4	1,26	0,25
ISIC32	Tekstiiliteollisuus	4,4	1,26	0,25
ISIC33	Puutavateollisuus	5,6	1,26	0,25
ISIC341	Paperin ja massan valmistus	3,6	1,26	0,25
ISIC342	Graafinen teollisuus	3,6	1,26	0,25
ISIC351	Peruskemianteollisuus	3,8	1,26	0,25
ISIC352	Kemiallisten tuotteiden valmistus	3,8	1,26	0,25
ISIC355	Kumin ja muovin valmistus	3,8	1,26	0,25
ISIC3531	Bensiini ja kerosiini	3,8	1,26	0,25
ISIC3532	Dieselöljy	3,8	1,26	0,25
ISIC3533	Kevyt polttoöljy	3,8	1,26	0,25
ISIC3534	Raskas polttoöljy	3,8	1,26	0,25
ISIC3535	Nestekaasu	3,8	1,26	0,25
ISIC3539	Muut öljytuotteet	3,8	1,26	0,25
ISIC361	Lasi ja keraamisten tuotteiden valmistus	5,6	1,26	0,25
ISIC362	Sementin ja rakennuselementtien valmistus	5,6	1,26	0,25
ISIC371	Raudan ja teräksen valmistus	5,6	1,26	0,25
ISIC372	Muiden perusmetallien valmistus	5,6	1,26	0,25
ISIC381	Metallituotteiden valmistus	5,6	1,26	0,25
ISIC382	Koneiden ja laitteiden valmistus	5,6	1,26	0,25
ISIC383	Sähkölaitteiden valmistus	5,6	1,26	0,25
ISIC384	Kuljetusvälineiden valmistus	10,28	1,26	0,25
ISIC39	Muu valmistus	5,6	1,26	0,25
ISIC41	Sähkön tuotanto ja jakelu	5,6	1,26	0,25
ISIC42	Lämmön tuotanto ja jakelu	5,6	1,26	0,25
ISIC43	Vesihuolto	5,6	1,26	0,25
ISIC51	Talonrakennus	3,8	1,4	0,25
ISIC52	Maa- ja vesirakennus	3,8	1,4	0,25
ISIC61	Tukku- ja vähittäiskauppa	3,8	1,4	0,25
ISIC63	Hotelli- ja ravintolapalvelut	3,8	1,4	0,25
ISIC7111	Rautatieliikenne	3,8	1,68	0,25
ISIC7119	Muu maaliikenne	3,8	1,68	0,25
ISIC7120	Vesiliikenne	3,8	1,68	0,25

ISIC7130	Ilmaliikenne	3,8	1,68	0,25
ISIC72	Posti- ja telekommunikaatiopalvelut	3,8	1,68	0,25
ISIC81	Rahoitus- ja pankkitoiminta	3,8	1,26	0,25
ISIC83	Kiinteistöjen vuokraus ja liike-elämää palveleva toiminta	3,8	1,26	0,25
ISIC91	Muut yksityiset palvelut	3,8	1,26	0,25
	Joustoparametrit			
σ_j^M	Tuonnin substituuatiojousto			
σ_j^{KL}	Työn ja pääoman substituuatiojousto			
$\sigma_j^{KLE}, \sigma_j^X$	Energia-arvonlisän ja välituotteiden joustot			

Taulukko 3.4 Hyötyfunktion parametrit

σ_C	Kulutushyödykkeiden substituuatiojousto	.5
σ_{CEL}	Kulutuksen ja vapaa-ajan substituuatiojousto	.52
σ_{FHEC}	Energian ja kulutushyödykkeiden jousto	.25
σ_{HE}, σ_F	Sähkön ja lämmön sekä polttoaineiden välinen substituuatiojousto	.25
σ_{FHE}	Sähkö-lämpö-aggregaatin ja polttoaineaggregaatin välinen jousto	.15

4 Mallin sovellus

4.1 Johdanto

Tässä luvussa esitellään mallin sovellus kansallisen ilmastostrategian kustannusten arviointiin. Ilmastostrategian valmistelussa lähdettiin siitä, että kunkin hallinnonalan vastuulliset ministeriöt selvittivät kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisen mahdollisuuksia talouden kehityksestä annettujen reunaehtojen puitteissa. Ministeriöiden arviot koottiin toimenpidekokonaisuuksiksi, joiden kustannuksista saadaan käsitys vertailemalla talouden kehitystä toimenpidekokonaisuudet toteuttaen siihen perusuraan, jonka talous ilman toimenpiteitä saavuttaisi. Näin kokonaisuuksien kustannustehokkuudesta ja ympäristövaikutuksista voidaan muodostaa kattava käsitys, joka on esitetty ilmastostrategian taustaraportissa.

Kaikissa arvioiduissa vaihtoehtoisissa toteutetaan Energiansäästöohjelma ja Uusiutuvien energialähteiden ohjelma, jotka sisältävät niin normiohjaukseen, erilaisiin tukiin kuin energiaverotukseenkin perustuvia toimenpiteitä. Koska nämä toimet eivät kuitenkaan tulisi riittämään Kioton tavoitteen saavuttamiseksi, jouduttaisiin tavoitteen saavuttamiseksi rakentamaan sähköntuotantoon lisäkapasiteettia, joka voisi perustua joko maakaasuun tai ydinvoimaan. Toimenpidekokonaisuudet muotoiltiin sellaisiksi, että kummassakin sähkönhankintavaihtoehdossa täytettäisiin Kioton pöytäkirjan mukainen päästöjen vähennys. Vähennyksen määrää säädeltäisiin energiaverotuksen korotuksilla, joita toteutettaisiin vain tarvittavassa määrin. Näiden perusvaihtoehtojen lisäksi tutkittiin energiaverotuksen rakenteen vaikutusta kustannuksiin, samoin kuin sitä, voitaisiinko ja millaisin kustannuksin tavoitteeseen päästä energiaverojen korottamisen sijasta normisäätelyn ja investointitukien avulla.

Luvussa käsitellään lyhyesti laskelmien taustaoletuksia, jotka muodostavat ministeriöiden kokoaman perusuran. Perusuraa on selostettu kattavasti Ilmastostrategian taustaraportissa, joten tässä keskitytään käsittelemään kustannuslaskelmien kannalta keskeisiä oletuksia ja sitä, kuinka taustaraportin oletukset on otettu laskelmiin käytettävässä tasapainomallisissa huomioon. Luvussa 4.3 tarkastellaan strategiavaihtoehtoja. Luvussa 4.4 on esitetty arviot päästötavoitteen saavuttamisen suorista kustannuksista. Luku 4.5 esittelee laskelmien tulokset toisaalta koko talouden kannalta ja luku 4.6 keskeisten elinkeinoalojen kannalta. Luvussa 4.7 esitetään laskelmien johtopäätökset.

4.2 Kustannuslaskelmien perusura

Ilmastostrategian taustaraporttia varten arvioitiin hyvin yksityiskohtaisesti, kuinka tuotanto, tuottavuus ja työllisyys kehittyisivät seuraavien 25 vuoden aikana, jos ilmastopoliittisia tavoitteita ei aseteta. ETLAn ja VTT:n laskelmissa tämä Kansallisen ilmastostrategian taustaraportissa (KTM 4/2001) tarkemmin esitelty perusura otettiin annettuna. Tässä sitä esitellään lyhyesti tärkeimpien taloudellisten muuttujien ja energiantuotannon osalta.

4.2.1 Talouskasvu

Vuoteen 2010 saakka nykyisten kasvutrendien oletetaan kutakuinkin jatkuvan. Teollisuuden vuotuinen kasvu on keskimäärin 3,5 prosenttia vuodessa vuosien 1998-2010 välillä, mutta teollisuuden toimialojen välillä on suuriakin eroja.

Nopeinta kasvun oletetaan olevan elektroniikkateollisuudessa, jossa se on lähes 8 prosenttia vuodessa vuoteen 2010 mennessä. Kasvu on voimakkainta 2000-luvun ensimmäisinä vuosina. Myös muussa metallituoteteollisuudessa kasvun oletetaan jatkuvan ripeänä. Kasvun takana ovat mm. sähkölaitteiden ja energiateknologian valmistus. Koska varsinkin elektroniikkateollisuuden kasvu on viime vuosina ollut erittäin voimakasta, on mahdollista, että koulutetun työvoiman riittävydestä tulee metallituoteteollisuuden kasvua rajoittava tekijä.

Muista suurista toimialoista sekä paperiteollisuuden että perusmetalliteollisuuden kasvun oletetaan tasaantuvan. Perusmetalliteollisuuden keskimääräinen kasvuvauhti on 2,5 prosenttia, mutta hidastuu vuoden 2010 jälkeen. Metsäteollisuuden kasvuksi oletetaan noin 2 prosenttia vuoteen 2010 saakka. Kemianteollisuuden oletetaan kasvavan kutakuinkin samaa vauhtia kuin metsäteollisuuden, poikkeuksena öljynjalostus, jonka kasvu jää verkkaiseksi. Koko kemianteollisuuden kasvu jää siksi 1,7 prosenttiin vuosien 1998-2010 välillä.

Muusta teollisuudesta rakennustuotteiden valmistuksen oletetaan jatkuvan ripeänä, heijastaen alueellisen keskittymisen aiheuttamaa korkeaa kysyntää. Elintarviketeollisuuden kasvun oletetaan jäävän vaatimattomaksi, samoin kuin tekstiiliteollisuuden.

Palvelujen kysynnän oletetaan kasvavan nopeasti. Telekommunikaatiopalvelujen kasvun ennakoidaan olevan nopeinta, mutta myös asumisen, liikenteen ja muiden yksityisten palvelujen oletetaan kasvavan. Kaikkiaan yksityisten palvelujen kasvuksi odotetaan 3 prosenttia vuo-

nessa. Julkisten palvelujen tuotannon ennakoitaan alkavan kasvaa voimakkaammin vasta joidenkin vuosien kuluttua, kun väestön ikääntymisen lisää sairaan- ja vanhusten hoidon palvelutarvetta. Sen keskimääräinen kasvuvauhti jää siksi puoleen yksityisten palvelujen kasvuvauhdista. Maataloustuotannon ennakoitaan supistuvan noin puolen prosentin vuosivauhdilla, eikä kaivannaistoiminnakaan oleteta kasvavan. Osittain tähän vaikuttaa turpeentuotannon ennakoitu supistuminen. Metsätalouden kasvunäkemys perustuu Kansalliseen metsäohjelmaan, jossa kasvutavoitteeksi asetetaan keskimäärin 2 prosenttia vuodessa.

4.2.2 Työvoima ja työn tuottavuus

Väestönkasvun osalta perusrassassa nojaututaan Tilastokeskuksen arvioihin. Väestön ikääntymisen vaikutukset alkavat näkyä jo vuoteen 2010 mennessä. Työvoima ei kuitenkaan kokonaisuudessaan muodostu talouskasvun pullonkaulaksi, koska työllisten osuus työikäisestä väestöstä on edelleen alhainen 1990-luvun laman jäljiltä. Työn tuottavuuden kasvun odotetaan jatkuvan trendin mukaisesti perusralla. Kun koulutuksella on nykyään entistä suurempi merkitys tuottavuuden kehitykselle, ovat yritysten mahdollisuudet työn tuottavuuden nostamiseen investoimalla rajallisemmat kuin aikaisemmin. Työn tuottavuuden kasvu perusralla perustuu siis osittain siihen oletukseen, että koulutetun työvoiman saatavuudesta ei tule kasvua rajoittavaa tekijää.

4.2.3 Energian maailmanmarkkinahinnat

Polttoaineiden maailmanmarkkinahintojen osalta perusrassassa on nojaututtu IEA:n arvioihin. Raakaöljyn ja maakaasun hintojen on oletettu kohoavan IEA:n vuonna 2000 tekemien arvioiden mukaisesti. Hintakehityksessä on otettu huomioon muiden maiden ilmastopolitiikka, josta seuraavasta öljyn kysynnän pienenemisestä seuraisi luultavasti öljyn maailmanmarkkinahinnan lasku. Toisaalta maakaasun lisääntyneet

Taulukko 4.1 Energian maailmanmarkkinahinnat

	2000	2005	2010	2020
Raakaöljy USD/bbl	25	25	26	30
Maakaasu USD/1000 m ³	83	90	100	123
Kivihiili USD/t	33	36	37	38

kysyntä nostaisi sen hintaa. Sähkön tuontihinnan oletetaan myöskin nousevan, heijastaen sähkön kasvanutta kysyntää naapurimaissamme.

4.2.4 Energiatehokkuuden kasvu

Energiatehokkuuden kasvuennusteet perustuvat eri ministeriöiden vastualueillaan tekemiin arvioihin. Kauppa- ja teollisuusministeriö on vastannut teollisuuden, rakennustoiminnan ja energiasektorien arvioista, ympäristöministeriö asumisen, yhdyskuntien ja jätehuollon arvioista ja lisäksi myös työkoneiden energiatehokkuuden kartoittamisesta, liikenneministeriö on arvioinut liikenteen energiatehokkuuden kehityksen ja maa- ja metsätalousministeriö maa- ja metsätalouden. Näissä arvioissa ei ole oletettu ilmastopoliittisia päästöjen rajoitustoimia.

Useimmilla toimialoilla energiatehokkuuden oletetaan jatkavan trendikasvua. Polttoaineiden energiatehokkuuden osalta tämä merkitsee noin kahden prosentin vuotuista tehostumista. Liikenteessä ja energiantuotannossa tehokkuuskehitys on kuitenkin poikkeavaa ja niistä tehdään yksityiskohtaisempia oletuksia.

Liikenteen osalta oletetaan, että EU:n sopimus uusien autojen energiatehokkuudesta johtaa tavoitteenmukaiseen polttoainetalouden tehostumiseen. Suomessa tämän vaikutus näkyisi jo vuonna 2010, vaikka autokanta keskimäärin onkin kymmenvuotiasta. Niinpä liikenteen keskimääräinen energiatehokkuus kasvaisi huomattavasti nykyisestä, kun liikennemäärien huomattava kasvu toteutuisi kutakuinkin nykyisellä polttoaineenkulutuksella.

Sähköntuotannossa ja lämmöntuotannossa energiatehokkuusarviot perustuvat tuotantoteknologiakohtaisiin arvioihin. Vain lauhdetuotannossa voidaan varsinaista polttoaineiden energiatehokkuutta jonkin verran parantaa, käytettävästä polttoaineesta riippuen. Koko energia-sektorin energiatehokkuus paranee silti perusuralla selvästi, koska sähkön osuuden yhteistuotantolaitosten tuotannosta arvellaan voivan kasvaa nykyisestään teknologian kehityksen seurauksena. Tämä mahdollistaa entistä suuremman sähköntuotannon hyötysuhteeltaan erittäin tehokkaissa (> 90 %) yhteistuotantolaitoksissa.

Asumisen energiatehokkuuden odotetaan myös paranevan. Euroopan unionin voimassaolevat direktiivit tulevat tiukentamaan sähkölaitteiden energiatehokkuusvaatimuksia, mikä laskee osaltaan sähkönkulutusta sekä asumisen että palvelujen puolella. Jo voimassa olevat energiansäästö-sopimukset sekä teollisuuden että kuntien kanssa tulevat nekin pienentämään energiankulutuksen kasvua.

4.2.5 Sähkötuotanto

Sähkön kysynnän oletetaan perusuralla kasvavan nykyisestä 80 TWh:sta noin 90 TWh:in vuonna 2010. Kasvanut kysyntä oletetaan tyydytettävän suurimmaksi osaksi nykyisellä tuotantokapasiteetilla.

Sähkön tuotantotavoista vesivoiman kapasiteetin katsotaan säilyvän ennallaan, 13 TWh:ssa, sillä vaikka kasvupotentiaalia periaatteessa olisi-kin, kasvua rajoittaa muun muassa koskiensuojelulaki. Ydinvoiman tuotannon ei myöskään oleteta perusuralla kasvavan vaan säilyvän kutakuinkin ennallaan noin 22 TWh:ssa. Uusiutuvien energianlähteiden käytön oletetaan perusurallakin kasvavan. Tuulivoimakapasiteetti on viime vuosina kasvanut noin 10 % vuosivauhdilla, ja saman kasvun oletetaan jatkuvan edelleen, jolloin vuoteen 2010 mennessä tuulivoimalla tuotettaisiin noin 0.4 TWh. Puun käytön oletetaan myös lisääntyvän. Tämä kasvu tapahtuu suureksi osaksi metsäteollisuuden yhteistuotantolaitoksissa tai perustuu metsäteollisuuden jättemateriaalien käyttöön ja riippuu siis voimakkaasti metsäteollisuuden kasvusta.

Fossiilisiin polttoaineisiin perustuva tuotanto vastaa kuitenkin sähköntuotannon kasvun valtaosasta. Osa kasvusta on perusuralla peräisin yhteistuotantolaitoksista, joissa teknologinen kehitys nostaa nykylaitosten rakennusastetta ja mahdollistaa suuremman sähköntuotannon kuin aikaisemmin, etenkin kun Etelä-Suomessa oletetaan tapahtuvan siirtymistä kivihielestä maakaasuun. Suurin osa lisätuotannosta joudutaan kuitenkin tekemään lauhdevoimaloissa, joiden tuotannoksi vuonna 2010 arvioidaan 20 TWh. Tästä noin 75 % on peräisin hiililauhdevoimaloista, joiden nykykapasiteetti riittäisi tällaiseen tuotantoon. 1 TWh tuotettaisiin turpeella ja maakaasulla tuotettaisiin noin 4 TWh.

Sähkön tuonnin määrä on eräs perusuran keskeisiä oletuksia. Tuonti on viime vuosina ollut ennätyksellisen korkea – noin 11 TWh vuonna 1999, josta 5 TWh Venäjältä ja 6 TWh Norjasta ja Ruotsista – mutta on perusteltua olettaa, ettei näin korkea tasoa voitaisi saavuttaa vuonna 2010. Syinä tähän on se, että sähkön kysyntä on kasvussa myös naapurimaissamme, mikä saattaa pienentää niiden vientimahdollisuuksia, ja toisaalta se, että Ruotsin ja Norjan vesivoiman tuotanto on ollut poikkeuksellisen suurta pitkin 1990-lukua runsaiden sateiden vuoksi.

4.2.6 Päästöt perusuralla

Tällä hetkellä Suomen hiilidioksidipäästöt ovat alle vuoden 1990 tason. Myöskin muiden kasvihuonekaasujen päästöt ovat 1990 luvulla laskeneet. Tähän on useita syitä. Leudot talvet ovat laskeneet lämmitystar-

vetta. Öljyn korkea hinta on viime aikoina hillinnyt polttoaineiden kysyntää. Metaanin ja uusien kasviuonepäästöjen rajoittamistoimet ovat onnistuneet kertaluontoisten investointien kautta. Ennen kaikkea syyt löytyvät kuitenkin sähkömarkkinoilta. Sähkömarkkinoiden vapauttaminen on laskenut sähkön hintaa Pohjoismaissa ja johtanut sähkön lisääntyneeseen tuontiin. Niinpä kotimainen kivihiiilipohjainen lauhdetuotanto on laskenut koko 1990-luvun ja on tällä hetkellä hyvin pientä. Tällaisen kehityksen ei kuitenkaan katsota perusuralla jatkuvan, vaan sekä asumisen että palvelujen ja teollisuuden energiankulutuksen odotetaan kasvavan. Niinpä perusuralla ei päästä Kioton pöytäkirjan mukaisiin päästöihin.

Suomen kokonaispäästöt vuonna 2010 ovat perusuralla noin 90 Mt CO₂-ekv., josta fossiilisista polttoaineista peräisin on noin 70 Mt CO₂. Suomen tavoitetaso on vuoden 1990 päästötaso, 76,5 Mt CO₂-ekv., josta fossiilisista polttoaineista peräisin oli noin 54 Mt CO₂. Päästöjä olisi siis kaikkiaan vähennettävä noin 16 prosenttia. Kun ilmastohjelman taustaraportin arvioiden mukaan noin 1 Mt CO₂-ekv. on saavutettavissa metaanin ja typpioksidien vähennyksin, fossiilisten polttoaineiden käytön ja teollisuusprosessien CO₂-päästöjen vähennystarve on noin 21 prosenttia perusuran tasolta.

4.3 Toimenpiteet päästöjen rajoittamiseksi

Päästöjen rajoittamistoimet jakautuvat ilmastostrategiassa kolmeen osaan. Energiansäästöohjelma ja uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma ovat osa kaikkia strategiavaihtoehtoja. Sähkönhankintavaihtoehdot muodostavat toisen suuren osan strategiavaihtoehtoja. Energiaverotus on strategiavaihtoehtojen kolmas kokonaisuus. Verojen avulla pyritään säätämään päästöt sellaiselle tasolle, että päästötavoite juuri toteutuu. Tästä syystä verot poikkeavat toisistaan vaihtoehtojen välillä.

4.3.1 Energiansäästöohjelma ja uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma

Ilmastostrategiassa yhdistetään Energiansäästöohjelma ja Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma joukkoon muita toimenpiteitä ja ohjaukskeinoja, jotka yhdessä muodostavat taustalaskelmissa arvioidut strategiavaihtoehdot. Energiansäästöohjelma ja Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma ovat muuttumaton osa kaikkia vaihtoehtoja, mutta ne eivät vielä riitä Kioton tavoitteen saavuttamiseen.

4.3.2 Energiansäästöohjelma

Energiansäästöohjelma käsittää toimenpiteitä talouden kaikilla osaluilla. Liikenteessä lisäsäästöjä perusuraan verrattuna saataisiin aikaan vero-ohjauksella, jolla pyritäisiin sitomaan ajoneuvovero normikulutukseen. Raskaassa liikenteessä myös energiansäästösopimuksin pyritään laskemaan polttoaineenkulutusta ja päästöjä. Asumisen energiankulutukseen ohjelmassa vaikutetaan kiristämällä uusien ja peruskorjattavien rakennusten lämpötalousvaatimuksia, ja sähkönkulutusta voidaan laskea myös asettamalla kireämpiä vaatimuksia kotitalouskoneille. Rakennuskannan hitaasta uusiutumisesta huolimatta kaavailtu 30 % kiristys lämpötalousvaatimukseen laskisi jo vuonna 2010 asumisen energiankulutusta selvästi. Palvelusektoreilla energiansäästösopimukset muodostaisivat tärkeän osan käytetyistä ohjauskeinoista, ja tiukemmat laitevaatimukset olisivat juuri näillä toimialoilla arvioiden mukaan erityisen tehokkaita.

Energiansäästöohjelman kustannukset syntyvät investoinneista tehokkaampaan lämpöeristykseen ja uusiin laitteisiin. Näissä arvioissa on nojaututtu VTT Energian tietoihin. Taulukkoon 4.2 on kerätty energiansäästöohjelman keskeiset vaikutukset ja kustannukset.

Taulukko 4.2 Energiansäästöohjelman tavoitteet

	Energia- tehokkuuden kasvu	Investointi- kustannus (mmk/v)
Liikenteen polttoaineenkulutus	4 %	0
Sähkölämmitys	11 %	314
Muu lämmitys	9 %	0
Kotitalouksien sähkönkulutus	2 %	101
Palvelujen sähkönkulutus	3 %	89
Teollisuuden sähkönkulutus	1 %	99
Teollisuuden polttoaineenkulutus	0,40 %	471

4.3.3 Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmalla pyritään lisäämään erityisesti biopolttoaineiden ja tuulivoiman käyttöä. Etenkin tuulivoiman lisärakentamiselle sekä verotukien että tuotantotukien on arvioitu

olevan merkittäviä, koska tuulivoiman kustannukset ovat toistaiseksi selvästi muita tuotantomuotoja suurempia. Biopolttoaineiden ja tuulivoiman tuki on sähköveron suuruinen. Tuulivoiman saama tuki on kuitenkin huomattavampi, koska tuulivoiman tuki lasketaan kalliimman sähköverokannan mukaan, kun taas biopolttoaineiden osalta tuki noudattaa alempaa verokantaa.

Kaiken kaikkiaan puun käytön tavoitteeksi asetetaan ohjelmassa 75 % kasvu sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ja 15 % kasvu lämmön erillistuotannossa vuoteen 2010 mennessä. Tuulivoiman tuotannon osalta tavoite on lähes 300 % kasvu vuodesta 2000 vuoteen 2010 mennessä.

4.3.4 Sähkönhankintavaihtoehdot

Ilmastostrategian taustaraporttia varten tehdyissä arvioissa selvisi, etteivät Energiansäästöohjelma ja Uusiutuvien energianlähteiden edistämishjelma vielä riittäisi Kioton tavoitteeseen pääsemiseen, vaan että niihin olisi yhdistettävä sekä sähkön että lämmön tuotantoon suoraan vaikuttavia ratkaisuja. Nämä ratkaisut korvaisivat tai syrjäyttäisivät hiililauhdetuotantoa maakaasuun tai ydinvoimaan perustuvalla tuotannolla.

Maakaasuvaihtoehdossa oletetaan, että kivihiiilen käyttö kielletään lauhdetuotannossa sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa maakaasualueella.

Ydinvoimavaihtoehdossa puolestaan oletetaan, että Suomeen rakennettaisiin lisää ydinvoimakapasiteettia, teholtaan 1300 MW.

4.3.5 Energiaverotus

Energiansäästöohjelman ja uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman energiansäästö perustuu osittain energiaverotuksen korottamiseen. Kustannusarvioiden lähtökohta oli se, että veroja korotetaan vain siinä määrin kuin olisi tarpeellista päästötavoitteen saavuttamiseksi. Tämän lisäksi kustannusarvioita tehtiin useista korotusvaihtoehdoista, joissa vain osaa energiaveroista korotettaisiin, tai joissa korotusten sijaan käytettäisi verotukia. Myös verokertymän takaisinkierätyksen eri vaihtoehtojen vaikutuksista tehtiin arvioita.

4.3.6 Energiaverotuksen vaihtoehdot

Energiaverojen korotustarve arvioitiin erikseen kolmelle erilaiselle energiaverotuksen vaihtoehdolle. Ensimmäisessä vaihtoehdossa korotuksen

oletettiin koskevan sekä polttoaineveron perusosaa että sen lisäosaa, hiilidioksidiveroa. Polttoaineverohan koostuu perusosasta, joka peritään vain liikennepolttoaineilta ja kevyeltä polttoöljyltä ja lisäosasta, joka määräytyy polttoaineen hiilidioksidipäästöjen mukaisesti. Lisäksi korotettaisiin sähköveroa. Toisessa verovaihtoehdossa polttoaineverojen korotus koskisi vain muita kuin liikennepolttoaineita, mutta sähköveroa korotettaisiin poikkeuksetta. Viimeisessä vaihtoehdossa energiaveroja ei korotettaisi, mutta sen sijaan lisättäisiin tukia energiainvestoinneille. Lisäys rahoitettaisiin muuta verotusta kiristämällä.

Energiaverotuksen vaihtoehdot ovat tiivistetysti:

- 1) Kaikkien energiaverojen korottaminen siten, että päästötavoite saavutetaan.
- 2) Muiden kuin liikennepolttoaineiden verojen korottaminen siten, että päästötavoite saavutetaan.
- 3) Energiantuotannon tukien lisääminen ja normien kiristäminen siten, että päästötavoite saavutetaan. Tuet rahoitetaan muuta verotusta kiristämällä.

4.3.7 Energiaverojen kierrätysvaihtoehdot

Energiaverojen korotuksista seuraisi niiden tuottaman verokertymän kasvu. Koska verojen korottamisen tarkoituksena on kuitenkin ohjata energian kysyntää vähäpäästöisempään suuntaan eikä kerryttää valtion kassaan lisätuloja, lähdetään taustalaskelmissa siitä, että verojen lisätuotto palautetaan kuluttajille tai yrityksille ja joissakin tapauksessa molemmille. Palautusvaihtoehtoja tarkasteltiin useita, mikä onkin perusteltua, koska on tunnettua, että palautustapa saattaa vaikuttaa päästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellisiin kustannuksiin ja kohdentaa rajoituskustannukset varsin eriarvoisesti talouden eri osa-alueille.

Palautusvaihtoehtoja olivat seuraavat:

- 1) Verotuotto palautetaan tuloverojen kautta. Tässä tapauksessa verotuotto käytettäisiin tuloverojen alentamisen rahoittamiseen.
- 2) Verotuotto palautetaan puoliksi kuluttajille tuloverojen kautta ja puoliksi yritysten sosiaalivakuutusmaksuja alentamalla (nk. 50/50-kierrätys).
- 3) Verotuotto käytetään arvonlisäveron alentamiseen.

4.4 Ilmastostrategian kokonaistaloudelliset kustannusarviot

4.4.1 Laskelmissa määritellyt strategiavaihtoehdot

Ilmastostrategian taustalaskelmissa energiaohjelmat, sähkönhankinta-vaihtoehdot ja energiaverotuksen vaihtoehdot koottiin alunperin kahdeksi laajaksi skenaarioksi, joihin molempiin kuului energiaohjelmien ja energiaverojen korotukset, mutta jotka erosivat sähköntuotantovaihtoehdoiltaan. Skenaarioiden kattavuutta muutettiin arvioinnin kuluessa ja tästä syystä lopullisia strategiavaihtoehtoja on useita.

Kaikille vaihtoehdoilla on yhteistä energiaohjelmien toteuttaminen ja se, että toimenpiteet mitoitetaan sellaisiksi, että päästötavoite juuri täytetään, mutta muuten kaikkien vaihtoehtojen toimenpidekokonaisuudet poikkeavat toisistaan. Sähkönhankintavaihtoehtojen lisäksi vertailtiin erilaajuisia energiaveroratkaisuja, jotka yhdistettyinä sähkönhankintavaihtoehtoon muodostivat kukin oman strategiavaihtoehdonsa.

Energiansäästöohjelman ja uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman sekä kaikkien energiaverojen korotuksen maakaasu-lauhdevoimaan ja maakaasulla tapahtuvaan sähkön ja lämmön yhteistuotantoon perustuvaa skenaariota kutsuttiin KIO1*-vaihtoehdoksi. Energiaohjelmat ja energiaverojen korottamisen ydinvoiman lisärakentamiseen yhdistävää vaihtoehtoa kutsuttiin puolestaan KIO2*-vaihtoehdoksi.

Vaihtoehtoa, jossa liikennepolttoaineiden veroja – perusveroa ja hiilidioksidiveroa - ei korotettaisi lainkaan mutta muita energiaveroja korotettaisiin tarvittavassa määrin, ja jossa sähkönhankinta perustuisi maakaasuun, kutsuttiin nimellä KIO1-NONLV*. Sitä vaihtoehtoa, jossa muiden kuin liikennepolttoaineiden veroa korotettaisiin ja sähkönhankinta perustuisi ydinvoimaan, kutsuttiin KIO2-NONLV*-nimellä.

Viimeisenä energiaverovaihtoehtona tarkasteltiin vielä sellaista vaihtoehtoa, jossa energiaveroja ei nostettaisi lainkaan, mutta joissa energiansäästöön ja uusiutuviin energianlähteisiin kanavoitaisi lisätukea, joka rahoitettaisi korottamalla muita veroja – tuloveroa, sova-maksuja tai arvonnäisäveroa. Näistä vaihtoehdoista käytettiin maakaasuun perustuvassa sähkönhankintavaihtoehdossa nimitystä KIO1-NONEV ja ydinvoimaan perustuvassa vaihtoehdossa KIO2-NONEV. Taulukko 4.3 sisältää tiivistetyn kuvauksen strategiavaihtoehtojen eroista.

Taulukko 4.3 Strategiavaihtoehtojen erot

	Energiaverojen korotus	Sähkönhankinta-vaihtoehto
KIO1*	Tarvittava	Maakaasu
KIO2*	Tarvittava	Ydinvoima
KIO1-NONLV*	Muut kuin liikenne-polttoaineet	Maakaasu
KIO2-NONLV*	Muut kuin liikenne-polttoaineet	Ydinvoima
KIO1-NONEV	Ei korotusta	Maakaasu
KIO2-NONEV	Ei korotusta	Ydinvoima

4.4.2 Suorat kustannukset

Päästöjen rajoittamisesta aiheutuu suoraan kustannuksia sekä kotitalouksille että yritystoiminnalle. Näitä kustannuksia on ilmastostrategian taustalaskelmissa kuvattu energiaverokertymän ja energiaohjelmien ja uuden tuotantokapasiteetin vaatimien investointien avulla. Kansantaloudelliselta kannalta kustannusten mittaaminen esimerkiksi kulutuksen tai kansantuotteen muutosten avulla on perustellumpaa ja kuvaa niiden lopullista nettovaikutusta paremmin kuin yksittäiset kustannuserät, mutta nämä erät voivat kuitenkin valottaa päästöjen rajoittamisen välitöntä vaikutusta.

4.4.2.1 Yksikköverot

Niissä vaihtoehtoisissa, joissa energiaveroja korotetaan, korotuksen suuruus määräytyy päästöjen rajoittamistarpeen mukaan. Tarvittavaan korotukseen vaikuttaa ratkaisevasti se, mihin sähkönhankinta perustuu, samoin kuin se, korotetaanko liikennepolttoaineiden veroja vai ei. Tarvittava korotus on maakaasuvaihtoehtoisissa suurempi kuin ydinvoimavaihtoehtoisissa, koska suuren osan maakohtaisesta päästokiintiöstä sitoutuessa sähköntuotantoon joudutaan talouden muita toimialoja sääntelemään ankarammin. Samoin käy jos liikennepolttoaineiden veroja ei koroteta: päästöjen rajoitusvaatimukset kohdistuvat muihin toimialoihin kovempina. Taulukkoon 4.4 on koottu verojen prosentuaaliset korotustarpeet eri vaihtoehtoisissa.

Taulukko 4.4 Energiaverojen keskimääräinen korotustarve, %

KIO1*	50
KIO2*	20
KIO1-NONLV*	70
KIO2-NONLV*	30
KIO1-NONEV	0
KIO2-NONEV	0

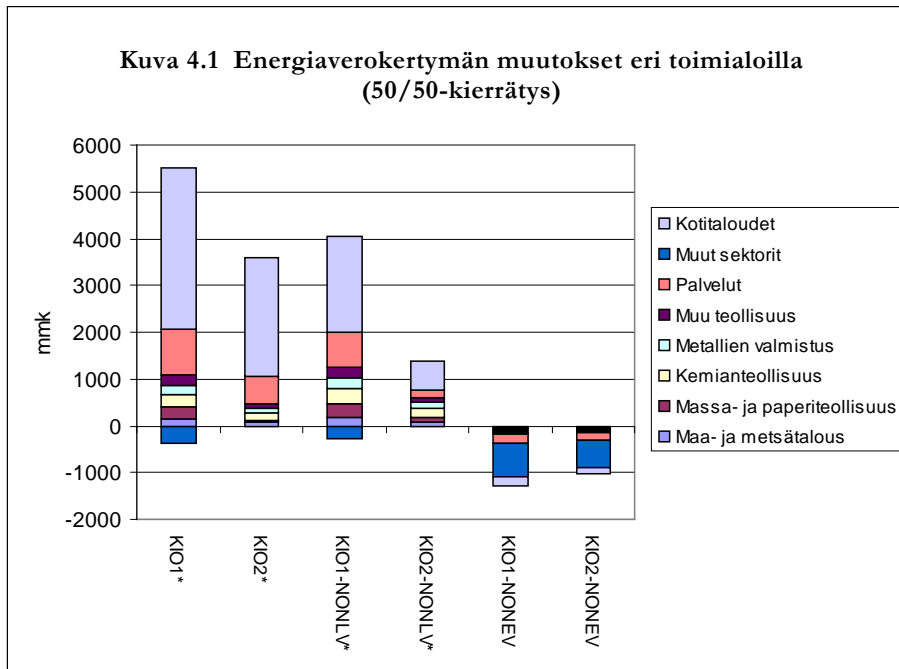
4.4.2.2 Energiaverokertymä

Taulukossa 4.5 kuvataan energiaverokertymän muutoksia keskeisessä 50/50-kierrätysvaihtoehdossa. Taulukosta on helppo havaita, että sähköverokertymän kasvu jää ydinvoimavaihtoehdoissa pienemmäksi, koska verojen korotustarvekin on näissä vaihtoehdoissa pienempi. Jos liikennepolttoaineiden veroja ei koroteta, on sähkövero puolestaan korotettava enemmän. Polttoaineverokertymä puolestaan riippuu ennen kaikkea liikennepolttoaineiden verosta, ja niinpä sen muutos jää pieneksi, ellei liikennepolttoaineiden veroja koroteta. Jos veroja ei koroteta lainkaan, laskee verokertymä polttoaineiden pienentyneen kysynnän vuoksi. Veron kierrätystavalla on hyvin pieni vaikutus energiaverokertymän muutokseen. 50/50-kierrätykseen verrattuna kertymän muutos jää lähes kaikissa muissa vaihtoehdoissa hieman pienemmäksi.

Taulukko 4.5 Energiaverokertymän muutos, mmk perusurasta (50/50-kierrätys)

	KIO1*	KIO2*	KIO1-NONLV*	KIO2-NONLV*	KIO1-NONEV	KIO2-NONEV
Polttoaineverot	2908	2648	1111	40	-1093	-898
Sähkövero	2247	950	2665	1322	-190	-137
Yhteensä	5155	3598	3776	1362	-1283	-1035

Verokertymien kasvu jakautuu eri vaihtoehdoissa varsin eri tavoin toimialojen ja kotitalouksien välillä, kuten kuvasta 4.1 käy ilmi. Kuvassa on esitetty sekä polttoaineverojen että sähköveron kertymien muutokset. Jos liikennepolttoaineiden veroja korotetaan, kantavat kotitaloudet selvästi suurimman osan lisäyksestä. Myös palvelujen osuus on suuri, ja se kasvaa niissä vaihtoehdoissa, joissa liikennepolttoaineveroja ei koro-



teta. Paperiteollisuuden verorasitus puolestaan riippuu ennen kaikkea sähköverosta, ja niinpä sen verotaakka onkin suurempi NONLV-vaihtoehtoissa, joissa sähköveroä korotetaan muita vaihtoehtoja enemmän. Muiden toimialojen – jotka käsittävät sähkön tuotannon ja lämmön tuotannon – verorasitus pienenee maakaasuvaihtoehtoissa, mikä johtuu lähinnä hiilestä luopumisesta.

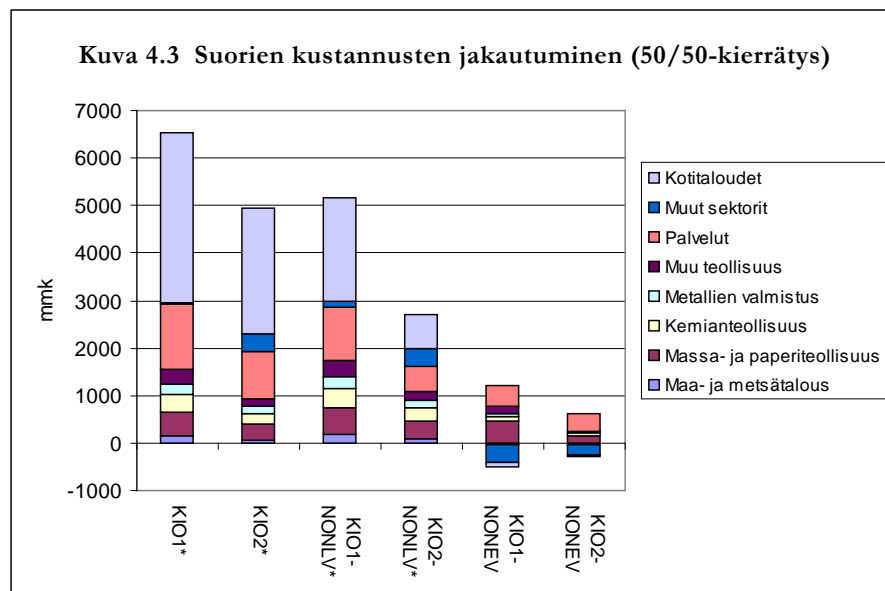
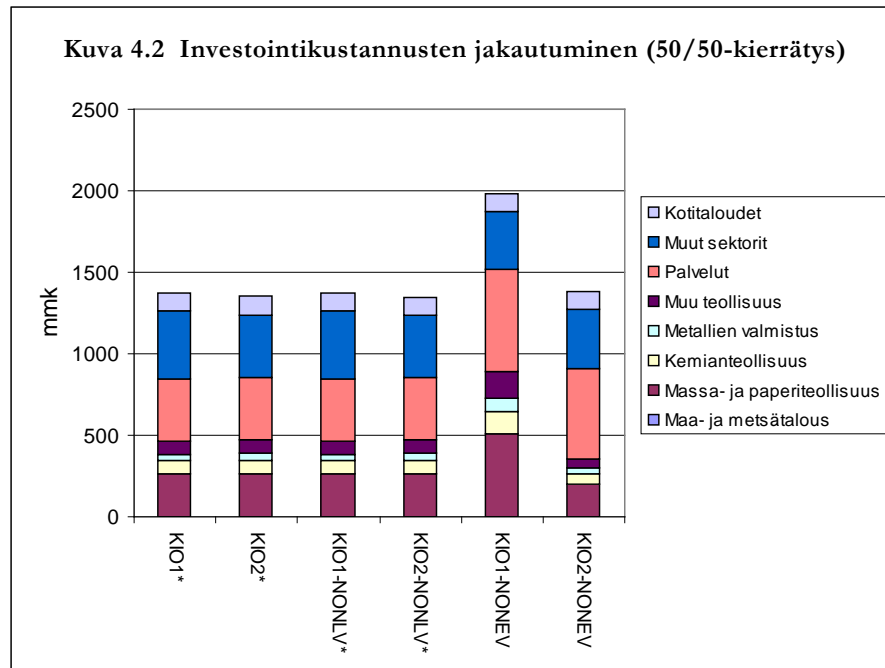
4.4.3 Investointikustannukset

Taulukossa 4.6 kuvataan energiainvestointien muutoksia eri vaihtoehtoissa. Koska energiaohjelmat toteutetaan kaikissa vaihtoehtoissa, eivät investoinnit juurikaan muutu eri vaihtoehtoissa. Poikkeuksen tästä tekee KIO1-NONEV-vaihtoehto, jossa energiansäästö on selvästi suu-

Taulukko 4.6 Energiainvestointien muutos, mmk perusurasta

Verokertymän kierrätys	KIO1*	KIO2*	KIO1-NONLV*	KIO2-NONLV*	KIO1-NONEV	KIO2-NONEV
Tuloverot	1371	1350	1290	1348	1994	1382
Tuloverot ja sovamaksut	1372	1350	1375	1349	1985	1382
Arvonlisävero	1371	1350	1384	1348	1986	1383

rempaa kuin muissa vaihtoehdoissa. Tämän vaihtoehdon poikkeuksellisuus käy ilmi myös kuvasta 4.2, jossa on esitetty investointikustannusten jakautuminen toimialoittain.



Investointikustannuksiin on tässä sisällytetty uudet voimalaitokset. Taulukossa raportoidut luvut eivät sisällä niitä kustannuksia, joita syntyy tuotannon supistumisesta. Tuotantorakenteen muutokset aiheuttavat kuitenkin vuotuisen pääomatulojen menetyksen, joka on noin 1 miljardia markkaa maakaasuvaihtoehdoissa ja 200-300 mmk ydinvoimavaihtoehdoissa. Tämä menetys vaikuttaa laskelmissa myös investointeihin. Sen sijaan oletuksia ei ole tehty kariutuneiden kustannusten arvottamisesta eikä niiden korvaamisesta. Kariutuneita kustannuksia synnyisi maakaasuvaihtoehdossa hiilen käytölle asetetuista rajoituksista.

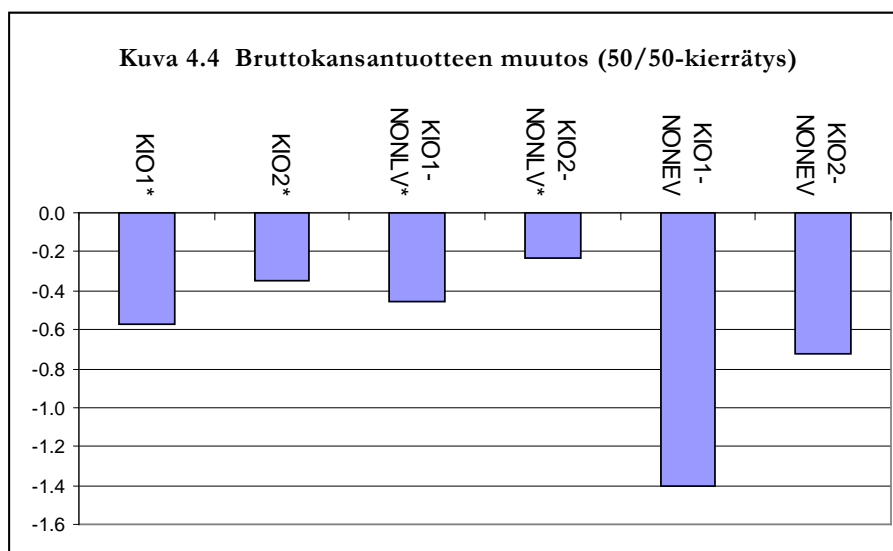
4.5 Kokonaistaloudelliset vaikutukset

4.5.1 Kansantuote

Kansantuotteen muutokset eri vaihtoehdoissa on esitetty taulukossa 4.7. Kun kansantuote vuodesta 2000 kasvaisi perusuralla 2 prosenttia vuodessa ja saavuttaisi noin 1000 miljardia vuonna 2010, laskisi se kaikissa strategiavaihtoehdoissa selvästi tästä tasosta. Maakaasuvaihtoehdoissa KIO1* ja KIO1-NONLV* lasku olisi 0,5 - 0,6 perusurasta vuonna 2010, jos energiaveroja korotettaisiin ja yli prosentin, jos veroja ei käytettäisi. Ydinvoimavaihtoehdoissa KIO2* ja KIO2-NONLV* lasku jäisi 0,2-0,5 prosenttiin veroja korotettaessa ja olisi 0,7 prosenttia, jos veroja ei käytettäisi. Kustannukset laskisivat myös selvästi, jos liikennepolttoainien veroja ei korotettaisi. Tämä johtuu siitä, että korotus kohdistuu voimakkaimmin kuluttajaan ja laskisi siksi kulutuskysyntää, suurta kansantuote-erää, selvästi. Lisäksi jo perusuralla oletetaan,

Taulukko 4.7 Bruttokansantuotteen muutos, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-0,6	-0,6	-0,6
KIO2*	-0,4	-0,4	-0,4
KIO1-NONLV*	-0,5	-0,5	-0,5
KIO2-NONLV*	-0,2	-0,2	-0,2
KIO1-NONEV	-1,2	-1,4	-1,4
KIO2-NONEV	-0,7	-0,7	-0,7



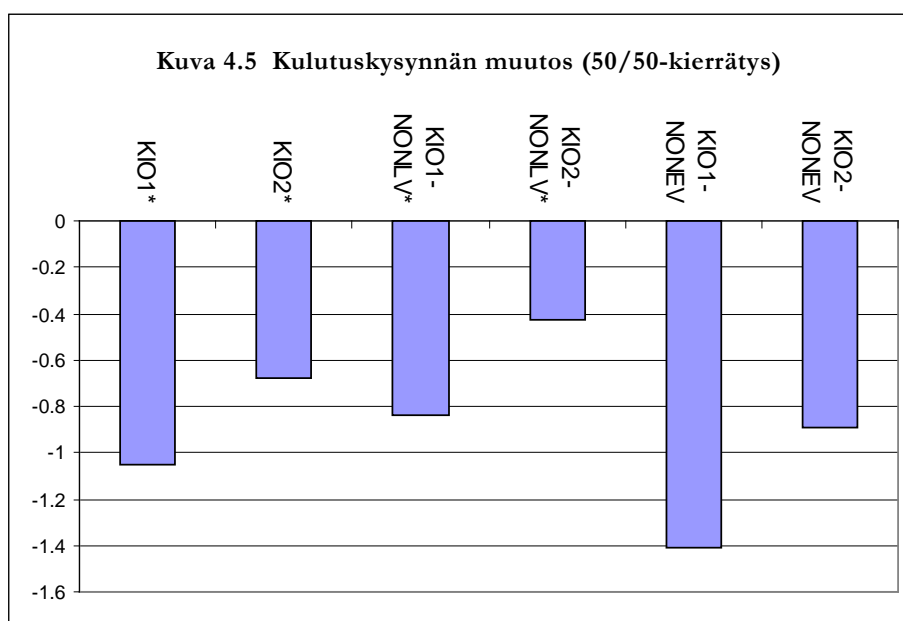
että liikenteen energiatehokkuus lisääntyy voimakkaasti. Tästä syystä liikenteessä toteutettavat lisävähennykset ovat kalliita. Veron kierrätystavalla ei ole yhtä suurta merkitystä kansantuotteen kannalta, joskin työllisyyttä tukeva – tuloveroja tai sovamaksuja alentava – politiikka pienentää kustannuksia tulonsiirtojen kautta tapahtuvaan palautukseen nähden lievästi.

4.5.2 Kulutuskysyntä

Kulutuskysynnän osalta tulokset on esitetty taulukossa 4.8. Kulutuskysynnän kasvu perusuralla on noin 3 % vuodessa ja sen taso on noin 490 miljardia markkaa vuonna 2010. Maakaasuvaihtoehdoissa kulutuskysyntä pienenee 0,8-1,1 prosentilla, mikäli vero-ohjausta käytetään ja 1,2-1,4 prosentilla, mikäli käytetään vain hallinnollista säätelyä. Ydinvoimavaihtoehdoissa vastaavat vaihteluvälit ovat 0,4-0,9 prosenttia vero-ohjauksen yhteydessä ja 0,8-0,9 prosenttia hallinnollisen säätelyn yhteydessä. Ydinvoimavaihtoehtojen vaikutukset kulutukseen ovat siis selvästi pienemmät kaikissa vaihtoehdoissa. Ero vero-ohjauksen hyväksi selittyy toisaalta sillä, että hallinnollisen säätelyn yhteydessä tapahtuva energiaverokertymän lasku oletetaan katettavaksi muita veroja nostamalla, mikä pienentää kotitalouksien käytettävissä olevia tuloja ja vaikuttaa kaikkeen kulutukseen, ja toisaalta sillä, että kun päästöjen vähentämisen kustannukset ovat suuremmat hallinnollisen säätelyn yhteydessä, työtulot pienenevät muita vaihtoehtoja enemmän. Veron kierrätystapa vaikuttaa kulutukseen vain lievästi.

Taulukko 4.8 Kotitalouksien kulutuskysynnän muutos, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-1,1	-1,1	-1,1
KIO2*	-0,8	-0,7	-0,7
KIO1-NONLV*	-0,9	-0,8	-0,9
KIO2-NONLV*	-0,4	-0,4	-0,4
KIO1-NONEV	-1,2	-1,4	-1,4
KIO2-NONEV	-0,9	-0,9	-0,8



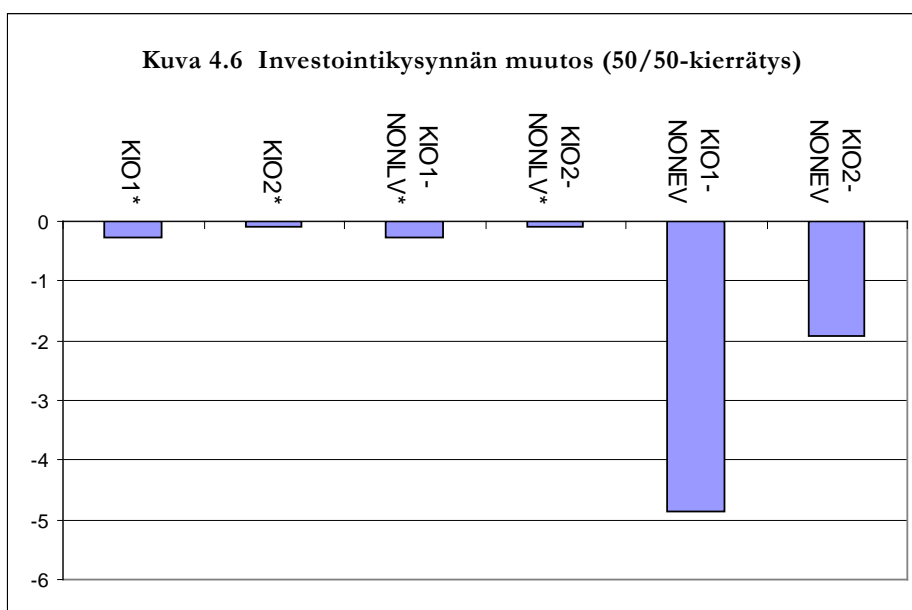
4.5.3 Investoinnit

Investointien muutokset on koottu taulukkoon 4.9. Investointien vuosikasvu perusuralla on 3 % vuoteen 2010 mennessä. Investointien muutokset rajoittuvat vaihtoehtotarkasteluissa lähinnä energiantuotantoa koskeviksi ja johtuvat uusiin tuotantolaitoksiin tehdyistä investoinneista mutta toisaalta myös olemassa olevan tuotantolaitoskannan ylläpitämiseksi tarvittavien investointien muutoksista. Investoinnit voivat

pienentyä lähinnä sen vuoksi, että laituskantaa jää käyttämättömäksi joko energiasektoria koskevien rajoitusten ja verojen tai energian kysynnän pienenemisen vuoksi. Taulukon 4.9 arviot eivät kuitenkaan sisällä uponneita kustannuksia. Vaikutukset maakaasu- ja ydinvoimavaihtoehtojen välillä eroavat toisistaan lievästi, mutta sillä, korotetaanko liikennepolttonesteiden veroja vai ei, on vain pieni vaikutus investointeihin, samoin sillä, kuinka verot palautetaan. Hallinnollisissa NONEV-vaihtoehtoisissa vaikutukset ovat suurempia kuin vero-ohjausta käyttävissä vaihtoehtoisissa ja ydinvoiman osalta selvästi maakaasua pienempiä. Myös kierrätystavalla on suurempi vaikutus.

Taulukko 4.9 Investointikysynnän muutos, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisävero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-0,3	-0,3	-0,3
KIO2*	-0,1	-0,1	-0,1
KIO1-NONLV*	-0,3	-0,3	-0,3
KIO2-NONLV*	-0,1	-0,1	-0,1
KIO1-NONEV	-4,3	-4,9	-4,9
KIO2-NONEV	-2,1	-1,9	-1,7

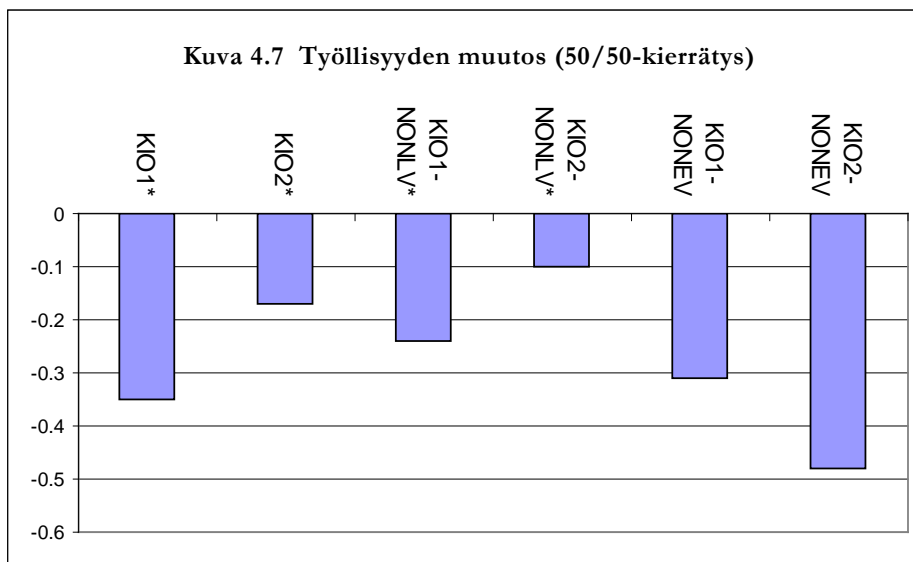


4.5.4 Työllisyys

Työllisyyden osalta tulokset on kuvattu taulukossa 4.10. Työllisten lukumäärä ei perusuralla kasva juuri lainkaan vaan on vuonna 2010 2,25 miljoonaa, kun se vuonna 2000 oli 2,24 miljoonaa. Laskelmissa on oletettu, että työn tarjonta määräytyy käteen jäävän reaali-palkan mukaan ja työn kysyntä työnantajan välillisetkin työvoimakulut sisältävän bruttopalkan mukaan. Siksi siihen vaikuttavat niin kuluttajahinnat kuin energia- ja tuloverot kuin työnantajan sosiaalivakuutusmaksutkin. Verojen nousu nostaa periaatteessa kuluttajahintoja ja laskee työn tarjontaa,

Taulukko 4.10 Työllisyyden muutos, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-0,4	-0,4	-0,4
KIO2*	-0,2	-0,2	-0,2
KIO1-NONLV*	-0,4	-0,2	-0,3
KIO2-NONLV*	-0,1	-0,1	-0,1
KIO1-NONEV	-0,2	-0,3	-0,3
KIO2-NONEV	-0,4	-0,5	-0,5



kun taas sovamaksujen alentaminen laskee työvoimakustannuksia ja lisää siksi työn kysyntää. Arvioita laskettaessa oletettiin kuitenkin, että tuloverojen kertymä ei riipu suoraan työtuloista eikä myöskään vaikuta siihen nk. verokiilan kautta, vaan ainoastaan kotitalouksien käytettävissä olevien tulojen kautta.

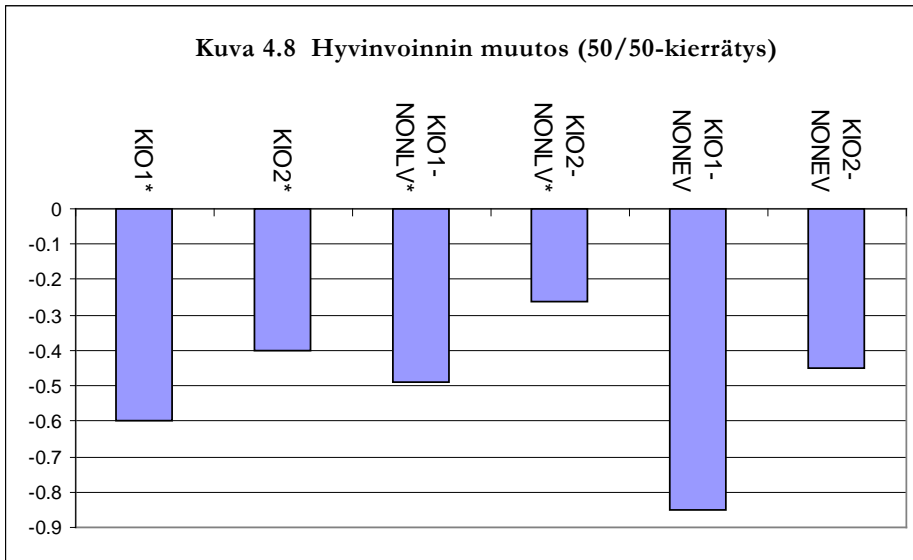
Työllisyyden lasku olisi kaikissa tapauksessa pieni. Maakaasuvaihtoehtoisissa sen lasku olisi 0,2- 0,4 % perusuran työllisyydestä ja ydinvoimavaihtoehtoisissa lasku olisi 0,1-0,2 %. Veron kierrätystavalla on jonkin verran vaikutusta työllisyyteen ja näyttää siltä, että työllisyyden lasku jää pienemmäksi sovamaksujen alentamisen yhteydessä kuin siinä tapauksessa, että kierrätys tehtäisiin tuloveron kautta. Arvonlisävero vaikuttaa työllisyyteen negatiivisesti, koska arvonlisäveron lisäys laskee reaali-palkkoja.

4.5.5 Hyvinvointi

Taulukossa 4.11 kuvataan kotitalouksien kulutuksen ja työllisyyden yhteisvaikutusta hyvinvointiin. Hyvinvointia on mitattu hyödykkeiden ja vapaa-ajan kulutuskorin arvon muutoksella. Se kuvaa siis sitä, kuinka suurta tulojen menetystä politiikan toteuttaminen kotitalouksille vastaisi. Hyvinvoinnin lasku vaihtelee KIO1* ja KIO1-NONLV*-vaihtoehtoisissa 0,5 ja 0,6 % tuntumassa, kun taas KIO2* ja KIO2-NONLV*-vaihtoehtoisissa vaihtelu on 0,3-0,4 %. Tuloksissa on huomattavaa lähinnä se, että liikennepolttoaineiden verojen korottaminen vaikuttaa kielteisesti kotitalouksiin. Veron kierrätystapojen välille ei sen sijaan synny suuria eroja.

Taulukko 4.11 Hyvinvoinnin muutos, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-0,6	-0,6	-0,6
KIO2*	-0,4	-0,4	-0,4
KIO1-NONLV*	-0,5	-0,5	-0,5
KIO2-NONLV*	-0,3	-0,3	-0,3
KIO1-NONEV	-0,7	-0,9	-0,8
KIO2-NONEV	-0,4	-0,5	-0,4



4.6 Vaikutukset eri toimialoilla

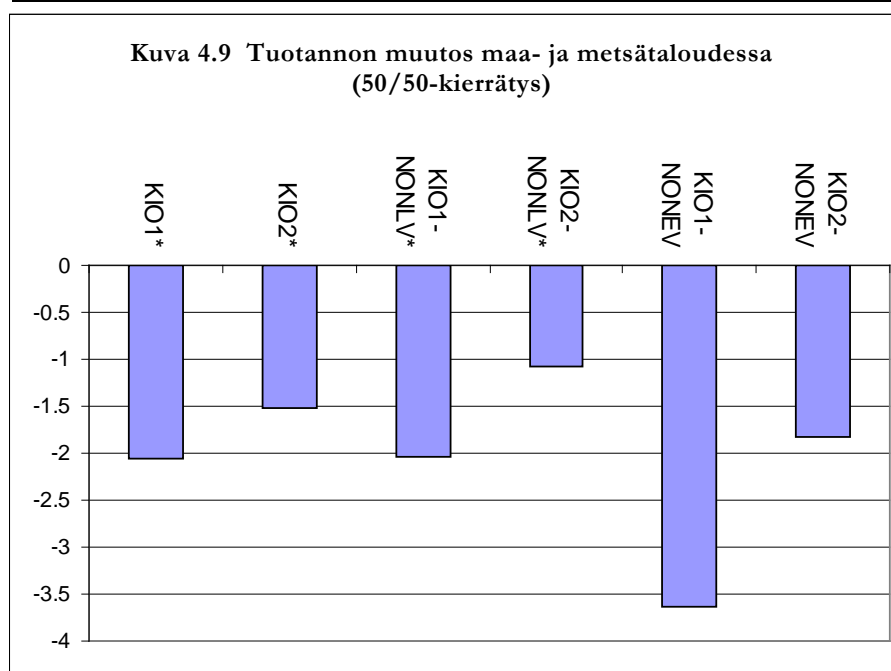
Talouden eri toimialoilla vaikutukset riippuvat ennen kaikkea energiantensiivisyydestä. Tuotanto laskee päästörajoitusten aiheuttamien kustannusten ja verojen korottamisen vuoksi enemmän energiantensiivisillä toimialoilla, joihin nämä toimet kohdistuvat työvoimaintensiivisiä toimialoja voimakkaammin. Osa energiantensiivisiltä toimialoilta vapautuvista resursseista suuntautuu siksi työvoimaintensiivisille toimialoille.

4.6.1 Maa- ja metsätalous

Maa- ja metsätalouden vuosikasvu perusuralla on noin 1 prosentti. Taulukkoon 4.12 on kerätty eri vaihtoehtojen vaikutukset tällä toimialalla. Maa- ja metsätalouden tuotanto laskee kaikissa vaihtoehdoissa selvästi. Perusuraan verrattuna toimialan tuotanto olisi 1,1-3,6 % alempi. Vaikutus riippuu suurelta osalta metsätaloudesta ja metsäteollisuuden kehityksestä. Tästä johtuen ydinvoimavaihtoehdoissa toimialan tuotanto on noin puolesta prosentista prosenttiin suurempaa kuin maa- ja metsätalouden vaihtoehdoista.

Taulukko 4.12 Tuotannon muutos maa- ja metsätaloudessa, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-2,1	-2,1	-2,1
KIO2*	-1,6	-1,5	-1,6
KIO1-NONLV*	-1,9	-2,0	-2,2
KIO2-NONLV*	-1,1	-1,1	-1,1
KIO1-NONEV	-3,2	-3,6	-3,6
KIO2-NONEV	-1,9	-1,8	-1,7



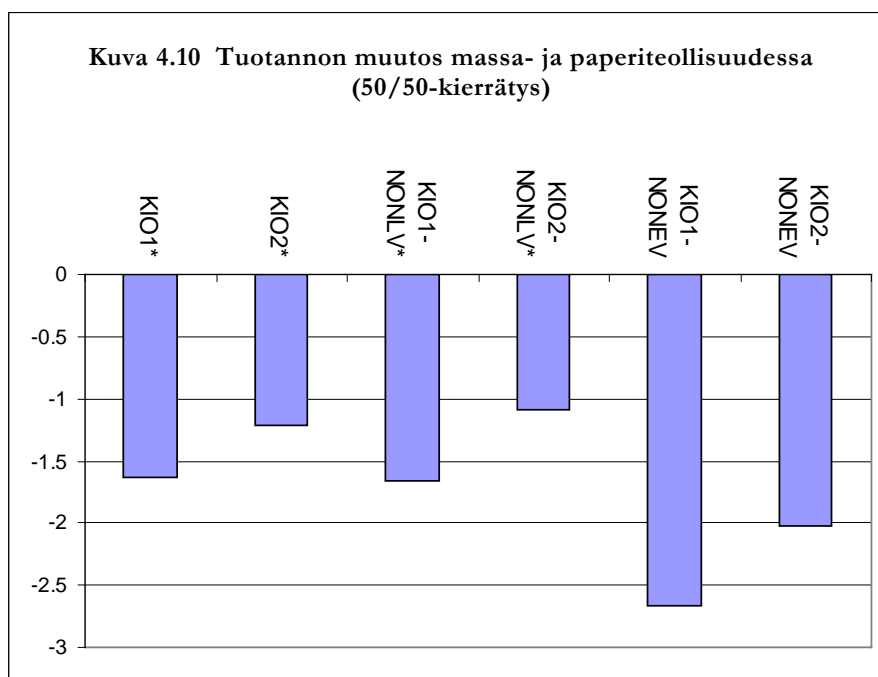
4.6.2 Massa- ja paperiteollisuus

Massa- ja paperiteollisuuden kasvu perusuralla on noin 1,8 prosenttia vuodessa vuoteen 2010 asti. Ilmastostrategian eri vaihtoehtojen vaikutukset tuotantoon on esitetty taulukossa 4.13. Suurimmat erot syntyvät sähköntuotantovaihtoehdoista. Ydinvoimavaihtoehdoissa KIO2* ja KIO2-NONLV* tuotanto pienenesi 1,1-1,2 %, mikä olisi 0,4-0,5 % vähemmän kuin vastaavissa maakaasuvaihtoehdoissa. Liikennepolttoaineiden vero-

jen korotus lisää vaikutusta 0,1 % verrattuna tilanteeseen, jossa liikenne- polttoaineiden veroja ei koroteta. Vaikutukset ovat suurimmat niissä tapauksissa, joissa energiaveroja ei koroteta. Syynä tähän on se, että näissä tapauksissa sähkötalouden parantamiseen vaaditaan suuremmat investoinnit kuin muissa vaihtoehdoissa, mikä nostaa huomattavasti juuri massa- ja paperiteollisuuden kustannuksia ja heikentää sen kilpailukykyä. Tämä vaikutus on suurempi maakaasuvaihtoehdossa kuin ydinvoimavaihtoehdossa. Veron kierrätystavoilla ei sen sijaan ole suurta merkitystä kustannusten kannalta.

Taulukko 4.13 Tuotannon muutos massa- ja paperiteollisuudessa, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-1,7	-1,6	-1,6
KIO2*	-1,2	-1,2	-1,2
KIO1-NONLV*	-1,9	-1,7	-1,7
KIO2-NONLV*	-1,2	-1,1	-1,1
KIO1-NONEV	-2,4	-2,7	-2,7
KIO2-NONEV	-2,1	-2,0	-1,9

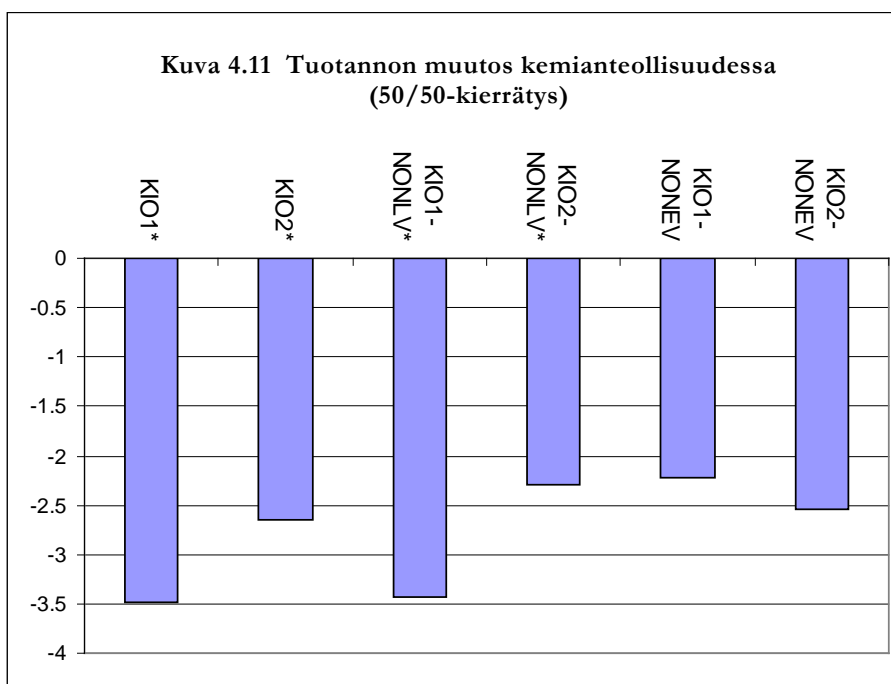


4.6.3 Kemianteollisuus

Kemianteollisuuden tuotannon muutokset esitetään taulukossa 4.14. Toimiala kasvaa perusuralla keskimäärin 1,3 % vuotuista vauhtia. Päästöjen rajoittamisen vaikutukset tämän toimialan tuotanto laskee 2,3-2,7 % ydinvoimavaihtoehtoisissa KIO2* ja KIO2-NONLV* ja 3,4-3,7 % maa-

Taulukko 4.14 Tuotannon muutos kemianteollisuudessa, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-3,5	-3,5	-3,5
KIO2*	-2,7	-2,6	-2,7
KIO1-NONLV*	-3,7	-3,4	-3,5
KIO2-NONLV*	-2,3	-2,3	-2,3
KIO1-NONEV	-2,1	-2,2	-2,2
KIO2-NONEV	-2,6	-2,5	-2,5



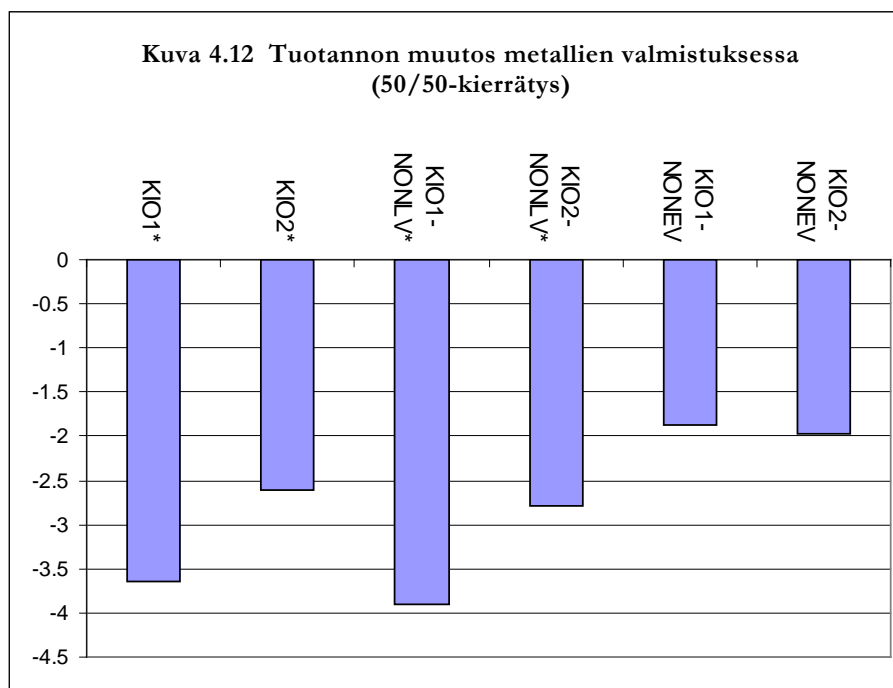
kaasuvaihtoehdoissa KIO1* ja KIO1-NONLV*. Laskusta suuri osa selittyy öljynjalostuksen vähenemisellä, mutta myös kemikaalien laskenut kysyntä muilla teollisuudenaloilla laskee kemianteollisuuden tuotantoa. Niissä vaihtoehdoissa, joissa energiaveroja ei käytetä, vaikutus on maakaasuvaihtoehdossa pienempi ja ydinvoimavaihtoehdoissa suurempi kuin vero-ohjausvaihtoehdoissa. Tämä selittyy polttoaineiden energiansäästöllä, joka on maakaasuvaihtoehdossa suurempaa kuin ydinvoimavaihtoehdossa – kun veroja ei lainkaan koroteta.

4.6.4 Metallien valmistus

Metallien valmistus kasvaa perusuralla 2,7 % vuosivauhdilla. Taulukon 4.15 perusteella toimialan tuotanto laskisi selvästi kaikissa vaihtoehdoissa. Lasku olisi ydinvoimavaihtoehdoissa KIO2* ja KIO2-NONLV* 2,6-2,8 % ja maakaasuvaihtoehdoissa KIO1* ja KIO1-NONLV* 3,6-4,2 %. Tuotannon lasku on suurempaa silloin, kun liikennepolttoaineiden veroja ei koroteta. Tämä johtuu siitä, että liikennepolttoaineiden veron korottaminen luo päästöjen vähentämispaineita liikenteeseen, jolloin muilla toimialoilla vähennystarve jää vähäisemmäksi. Kun liikennepolttoaineiden veroja ei nosteta, joudutaan muiden polttoaineiden ja sähkön veroja nostamaan enemmän, mikä nostaa energiaintensiivisen teollisuuden, kuten metalliteollisuuden, kustannuksia. Niissä vaihtoehdoissa, joissa energiaveroja ei käytetä, vaikutus on tälläkin toimialalla maakaasuvaihtoehdossa pienempi ja ydinvoimavaihtoehdoissa suurempi kuin vero-ohjausvaihtoehdoissa.

Taulukko 4.15. Tuotannon muutos metallien valmistuksessa, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisävero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-3,7	-3,6	-3,7
KIO2*	-2,7	-2,6	-2,6
KIO1-NONLV*	-4,2	-3,9	-3,9
KIO2-NONLV*	-2,8	-2,8	-2,8
KIO1-NONEV	-1,6	-1,9	-1,9
KIO2-NONEV	-2,0	-2,0	-1,9



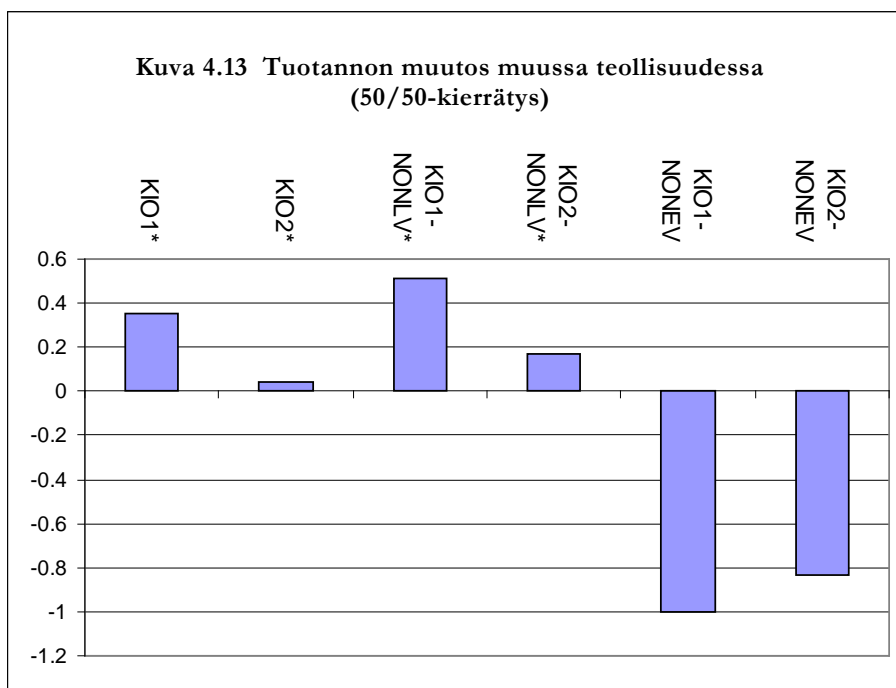
4.6.5 Muu teollisuus

Muun teollisuuden vaikutusarviot on koottu taulukkoon 4.16. Muun teollisuuden kasvuvauhti vuoteen 2010 on noin 2,8 %. Osalla toimialoja, esimerkiksi elektroniikkateollisuudessa, kasvun arvioidaan olevan hyvinkin nopeaa. Koska monet muun teollisuuden toimialoista ovat

Taulukko 4.16 Tuotannon muutos muussa teollisuudessa, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	0,3	0,4	0,3
KIO2*	0,0	0,0	0,0
KIO1-NONLV*	0,3	0,5	0,5
KIO2-NONLV*	0,2	0,2	0,2
KIO1-NONEV	-0,7	-1,0	-1,0
KIO2-NONEV	-0,9	-0,8	-0,7

työvoimaintensiivisiä, ei päästöjen rajoittaminen aiheuttaisi niillä tuotannon laskua vaan tuotanto saataisi niillä kasvaa, jos supistuvilta toimialoilta vapautuvat resurssit voisivat suuntautua näille toimialoille. Tällaisen rakennemuutoksen oletetaan laskelmissa olevan mahdollista. Maakaasuvaihtoehdoissa KIO1* ja KIO1-NONLV* kasvu on 0,3-0,5 % ja ydinvoimavaihtoehdoissa KIO2* ja KIO2-NONLV* 0-0,2 %. Verojen kierrätyksellä on muun teollisuuden osalta suurempi merkitys kuin energiaintensiivisillä toimialoilla, koska sovamaksujen alentaminen suosii nimenomaan työvoimaintensiivisiä toimialoja. Tästä syystä toisaalta vaikutukset ovat kielteisiä niissä vaihtoehdoissa, joissa energiaveroja ei koroteta: niissähän korotetaan tuloveroja tai sovamaksuja verokertymän säilyttämiseksi ennallaan.



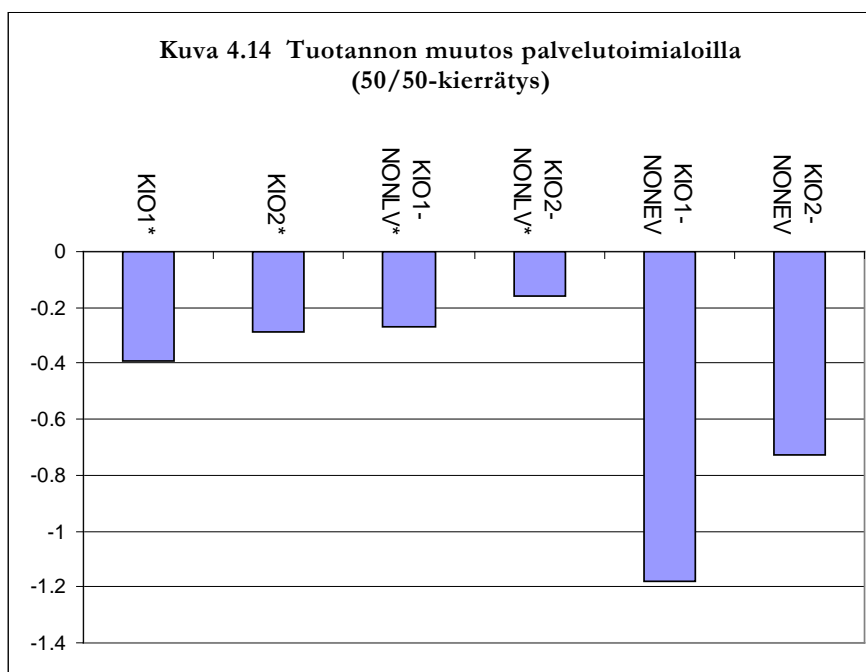
4.6.6 Palvelut

Palvelutoimialojen tulokset on esitetty taulukossa 4.17. Palvelujen kasvu on perusuralla nopeaa, noin 2,4 % vuoteen 2010 mennessä. Koska monet palvelutoimialoista ovat energiaintensiivisiä, laskisi päästöjen rajoittaminen palvelujen tuotantoa. Maakaasuvaihtoehdoissa KIO1* ja KIO1-NONLV* tuotanto supistuisi 0,3-0,4 % ja ydinvoimavaihtoehdoissa KIO2* ja KIO2-NONLV* 0,2-0,3 %. Verojen kierrätystavalla

on vain lievä vaikutus palvelutuotantoon, mutta tuotannon laskua voitaisiin kuitenkin hieman pienentää maakaasuvaihtoehdossa, jossa energiaveroja olisi nostettava ydinvoimavaihtoehtoa enemmän ja jossa siksi tuloveroja ja sovamaksuja voitaisiin alentaa ydinvoimavaihtoehtoa enemmän. Liikennepolttoaineiden verojen nostaminen lisää kustannuksia molemmissa vaihtoehdoissa, mutta palveluidenkin tuotannon lasku on suurinta siinä tapauksessa, että veroja ei käytetä lainkaan.

Taulukko 4.17 Tuotannon muutos palvelutoimialoilla, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-0,4	-0,4	-0,4
KIO2*	-0,3	-0,3	-0,3
KIO1-NONLV*	-0,4	-0,3	-0,3
KIO2-NONLV*	-0,2	-0,2	-0,2
KIO1-NONEV	-1,0	-1,2	-1,2
KIO2-NONEV	-0,7	-0,7	-0,7

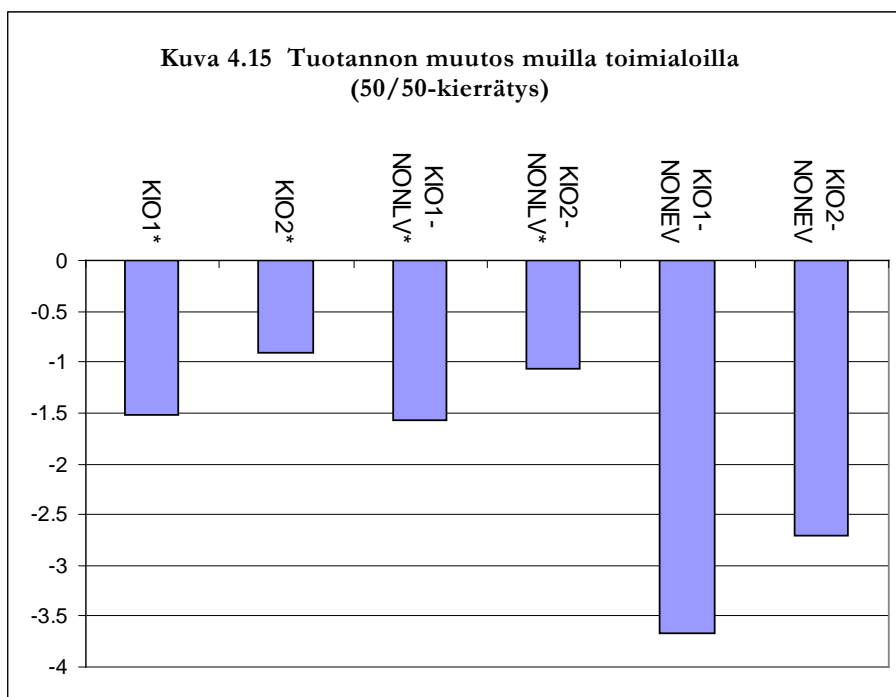


4.6.7 Muut toimialat

Talouden muut toimialat käsittävät rakennustoiminnan, vesihuollon ja energiantuotannon. Muiden toimialojen keskimääräinen kasvu vuoteen 2010 mennessä on noin 1,9 prosenttia. Taulukossa 4.18 tarkastellaan näiden toimialojen tuotannon muutoksia. Maakaasuvaihtoehtoissa KIO1* ja KIO1-NONLV* tuotanto supistuisi 1,5-2,0 % ja ydinvoimavaihtoehtoissa KIO2* ja KIO2-NONLV* 0,9-1,1 %. Sovamaksujen ja tulo-

Taulukko 4.18 Tuotannon muilla toimialoilla, % perusurasta

	Kierrätysvaihtoehto		Arvonlisä- vero
	Tuloverot	Tuloverot ja sovamaksut	
KIO1*	-1,5	-1,5	-1,5
KIO2*	-0,9	-0,9	-0,9
KIO1-NONLV*	-2,0	-1,6	-1,5
KIO2-NONLV*	-1,1	-1,1	-1,1
KIO1-NONEV	-3,4	-3,7	-3,7
KIO2-NONEV	-2,8	-2,7	-2,6



verojen alentaminen laskee vaikutuksia varsinkin maakaasuvaihtoehtoissa. Jos sen sijaan veroja ei nosteta lainkaan, kustannukset ovat molemmissa sähköntuotantovaihtoehtoissa korkeammat ja tuotanto laskee siksi enemmän kuin veroja nostettaessa. Ydinvoimavaihtoehdossa lasku on kuitenkin pienempää.

4.7 Johtopäätökset sovellusesimerkistä

Tässä luvussa on arvioitu Suomen ilmastostrategian eri vaihtoehtojen kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Arvioissa tutkitaan sitä muutosta talouden Ilmastostrategian taustaraportin mukaiseen perusuraan nähden, jonka laajojen toimenpidekokonaisuuksien toteuttaminen aiheuttaa. Laskelmien perusteella sähkönhankintavaihtoehtoilla on selvä vaikutus ilmastostrategian kokonaistaloudellisiin kustannuksiin. Kansantuote laskee eri vaihtoehtoissa 0,3-1,4 % perusuraan verrattuna, mutta lasku on maakaasuun perustuvissa vaihtoehtoissa 0,2-0,7 % suurempi kuin ydinvoimaan perustuvissa vaihtoehtoissa, joissa vaikutus alimmillaan on 0,2 %. Kansantuotteen laskun selittää etenkin energiavaltaisen teollisuuden tuotannon supistuminen. Joillakin toimialoilla lasku on enimillään selvästi yli 4 % perusuran tasosta. Myös kotitalouksien kulutuksen aleneminen on 0,5-0,7 % suurempi maakaasuvaihtoehtoissa kuin vastaavissa ydinvoimavaihtoehtoissa. Työllisyydessä ero on 0,1-0,3. Suurimmillaan työllisyys laskisi 0,5 %.

Energiaverojen käyttö vaikuttaa kokonaistaloudellisiin kustannuksiin selvästi. Niissä vaihtoehtoissa, joissa energiaveroja ei koroteta, vaikutukset kansantuotteeseen ovat selvästi suurimmat ja ylittävät kaikkien muiden vaihtoehtojen kustannukset sähkönhankinnasta riippumatta. Energiaverojen käyttö ohjauksena näyttää siis tehostavan päästörajitusten kustannustehokasta kohdentamista, tosin sillä edellytyksellä, että ainakin osa supistuvien toimialojen resursseista voidaan hyödyntää muilla toimialoilla. Verojen korotusten laajuus vaikuttaa sekin kustannuksiin. Kansantuote laskee 0,1-0,2 % vähemmän, jos korotuksia ei tehdä liikennepolttoaineille. Tämä johtuu siitä, että liikenteen polttoainetaloudessa tapahtuu merkittävää tehostumista jo perusuralla ja lisätehostaminen on siksi kallista. Osittain vaikutus johtuu myös kulutuskysynnän 0,3-0,5 % pienemmästä laskusta tässä tapauksessa, joka selittyy sillä, että liikennepolttoaineiden verotus kohdistuu valtaosin juuri kotitalouksiin. Muihin toimialoihin liikennepolttoaineiden verojen korottamatta jättäminen vaikuttaa kuitenkin kielteisesti, koska ne joutuvat vähentämään päästöjään enemmän ja niihin kohdistuvia sähköveroa ja muita polttoaineveroja joudutaan nostamaan enemmän.

Verojen kierrätystapojen välille ei synny suuria eroja. Kansantuotteen laskua ei pystytä merkittävästi alentamaan kierrättämällä energiaverojen lisäkertymä tuloverojen ja sovamaksujen kautta. Myöskään kulutuskysyntään ei synny havaittavaa eroa kuin poikkeustapauksissa. Työllisyyteen kierrätyksellä voidaan vaikuttaa maakaasuvaihtoehdoissa lievästi työllisyyden laskua pienentäen. Suureksi osaksi tämä johtuu siitä, että energiaverojen lisäkertymä jää pieneksi verrattuna tuloverojen ja sovamaksujen kertymään, eikä sillä siksi voida rahoittaa suuria suhteellisia muutoksia muissa veroissa. Tämä pätee varsinkin ydinvoimavaihtoehtoihin, joissa verojen korotustarve on pienempi ja joissa energiaverojen kertymäkin jää pienemmäksi. Kierrätyksen vaikutus on hieman suurempi ydinvoimavaihtoehdossakin, jos tuloverojen oletetaan verokiilan kautta vaikuttavan työllisyyteen, mitä tässä raportoitavissa laskelmissa ei kuitenkaan ole tehty. Arvonlisävero on periaatteessa kokonaistaloudellisilta vaikutuksiltaan huonoin tapa energiaverojen kierrättämiselle, mutta erot kokonaistaloudellisissa vaikutuksissa ovat hyvin pieniä. Toimialatasolla ero kierrätystapojen välillä on selvempi. Tuloverojen ja sovamaksujen alentaminen alentaa useimmilla toimialoilla tuotannon laskua verrattuna pelkän tuloveron kautta tapahtuvaan kierrätykseen olivatpa ne työvoimaintensiivisiä tai eivät. Arvonlisäveron kautta tapahtuva kierrätys laskee usein toimialoittaista tuotannon alenemista tuloveron kautta tapahtuvaan kierrätykseen nähden, joskaan ei yleensä yhtä paljon kuin sovamaksujen alentaminen.

Laskelmienperusteella on selvää, että sähkön tuotantotapa vaikuttaa päästöjen rajoituskustannuksiin enemmän kuin mikään muu osatekijä. Ydinvoimavaihtoehdon kustannukset ovat maakaasuvaihtoehtoa alempia kaikilla mittareilla tarkasteltuna. Kuitenkin myös energiaverotuksella on vaikutusta kokonaistaloudellisiin kustannuksiin. Se, mitä veroja korotetaan vaikuttaa kustannusten jakautumiseen ja heijastuu myös koko kansantalouteen. Verokertymän kierrätystavalla on sen sijaan koko talouden tasolla pieni merkitys, koska energiaverokertymän muutokset jäävät suhteellisen pieniksi muihin verokertymiin verrattuna.

Liitteet

Liite 1. Yrityksen ongelma

Tuotantofunktion homogeisuus

Tuotantofunktio on *homogeeninen astetta k* , jos kaikki sen syötteen kerrotaan mittakaavaparametrilla s , niin siitä seuraa, että funktion arvo kasvaa tekijällä s^k . Formaalisti siis

$$f(sz) = s^k f(z),$$

jolloin sanotaan, että funktio on homogeeninen astetta k . kun $k = 1$, niin tuotantofunktio on lineaarihomogeeninen. Malleissa tavallisesti oletetaan, että tuotantofunktiot ovat lineaarihomogeenisiä, sillä niillä on analyysiä helpottavia ominaisuuksia:

- i) Tuotanto on mittakaavariippumaton, siis panosten kaksinkertaistaminen johtaa tuotannon kaksinkertaistumiseen.
- ii) Panosten rajatuotos ($\frac{\partial f(z)}{\partial z_i} = f_i$) on tuotannon laajuudesta riippumaton. Rajatuotos on tuotantomuutos, joka aiheutuu panoksen i yhden yksikön lisäyksestä muiden panosten pysyessä ennallaan.
- iii) Tekninen substitutio (liite S) on mittakaavasta riippumaton.
- iv) Eulerin lause, $\sum_i \frac{\partial f(z)}{\partial z_i} z_i = f(z)$, antaa summautuvuusominaisuuden: Tuotanto on yhtä suuri kuin panoksen rajatuotos kertaa sen käytön määrä summattuna yli kaikkien panosten. Erityisesti, jos kunkin panoksen hinta on yhtä suuri kuin sen rajatuotoksen arvo (rajatuotos kertaa tuotannon hinta), niin yritys päättyy nollatulokseen: tuotannon arvo on tuotantokustannusten suuruinen.

Tuotantofunktio, kustannusfunktio ja panoskysyntä

Keskeinen kysymys tuotannon kannalta on panoskysynnän muutos hintojen muuttuessa. Panoskysyntä voidaan lausua hinnan funktiona ratkaisemalla aiemmin asetettu tuottajan ongelma. Kirjoitetaan se seura-

vassa aiemmasta hieman poikkeavaan muotoon. Toimialan j voitto π_j saadaan tulojen ja kustannusten erotuksena, mikä voidaan muotoilla seuraavanlaiseksi yksikkövoiton (etuliite ”yksikkö” seuraa siitä, että tarkastellaan voittoa, kun tuotanto on yksi, ts. $f(x)=1$). Näin voidaan tehdä yleisyyttä menettämättä, kun valitaan tuotantofunktiot lineaarihomogeenisiksi.) ongelmaksiksi:

$$\pi_j = \max_{y,x} \left\{ p_j y_j - \sum_i p_i x_i \mid f(x) = 1, x_i, y_j \geq 0 \right\}.$$

Tämä maksimointiongelma voidaan ratkaista analyttisesti, kun valitaan funktiot lineaarihomogeenisista funktiovaihtoehdoista. Täydellisen kilpailun oloissa hinnat ovat yritykselle annetut, joten ongelmasta muotoutuu yksikköpanoskustannusten, $c_j(p)$, minimointiongelma:

$$c_j(p) = \min_x \left\{ \sum p_i x_i \mid f(x) = 1, x \geq 0 \right\}.$$

Kokonaiskustannus $C_j(p, y_j)$ voidaan lineaarihomogeenisuuden perusteella kirjoittaa tuotannon laajuuden ja yksikkökustannusten tulona:

$$C_j(p, y_j) = y_j c_j(p).$$

Kun jotkut hinnat nousevat ja toiset laskevat, muuttaa tuottaja käyttämiään panoksia tuotantofunktion sallimissa rajoissa. Välituotekysynnän muutoksiin päästään suoraan käyttämällä **Shepardin lemmaa**, joka kuvaa kustannusfunktion ja välituotekysynnän yhteyden seuraavasti:

$$\frac{\partial C_j(p, y_j)}{\partial p_i} = \frac{\partial (y_j c_j(p))}{\partial p_i} = x_i(p) y_j,$$

missä $x_i(p)$ on välituotekysyntä yhtä tuotosyksikköä kohden.

Soveltamalla lemmaa saadaan eri tuotantofunktioille välituotekysynnäksi taulukossa L1.1 esitetyt tulokset.

Taulukko L1.1 Tuotantofunktioihin liittyvät panoskysynät ja kustannusfunktiot

Tuotantofunktio $y = f(E, R)$	Yksikkö- panos- kysyntä $x_i(p)$	Yksikkökustannus funktio $c(p)$	Jousto- parametri
Leontief $\min\left\{\frac{E}{a_E}, \frac{R}{a_R}\right\}$	a_i	$a_E p_E + a_R p_R$	$\sigma = 0$
Cobb-Douglas $cE^{\alpha_E} R^{\alpha_R}$	$\alpha_i \left(\frac{c(p)}{p_i}\right)$	$\frac{1}{c} \left(\frac{p_E}{\alpha_E}\right)^{\alpha_E} \left(\frac{p_R}{\alpha_R}\right)^{\alpha_R}$	$\sigma = 1$
CES $[\beta_E E^{(\sigma-1)/\sigma} + \beta_R R^{(\sigma-1)/\sigma}]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$	$\beta_i^\sigma \left(\frac{c(p)}{p_i}\right)^\sigma$	$[\beta_E^\sigma p_E^{1-\sigma} + \beta_R^\sigma p_R^{1-\sigma}]^{\frac{1}{1-\sigma}}$	$\sigma \geq 0, \neq 1$

Kustannusfunktiot ovat homogeenisiä astetta yksi ja niiden avulla johdetut panoskysyntäfunktiot homogeenisiä astetta nolla. Täydellisen kilpailun vallitessa voitot häviävät ja tuotannon marginaalikustannus on tuotteen markkinahinta. Tätä ehtoa kutsutaan nollavoittoehdoksi. Toimialan j tuotannon yksikkökustannuksille pätee:

$$p_j y_j = p_j = \sum_i p_i x_i = \sum_i p_i \frac{\partial c_j(p)}{\partial p_i} = c_j(p).$$

Toinen summalauseke seuraa ensimmäisestä Shepardin lemman nojalla ja viimeinen yhtäläisyysmerkki seuraa Eulerin kaavasta astetta 1 oleville homogeenisille funktioille.

Liite 2. Substituutiojousto

Tarkastellaan tuotantofunktiota $Y = f(z)$, missä z kuvaa tuotantopanoksia. Tekijää $f_i = \frac{\partial f(z)}{\partial z_i}$ kutsutaan *rajatuotokseksi* (marginal product). Se kertoo, kuinka paljon tuotanto muuttuu, kun panoksen i määrää lisätään yksi yksikkö muiden panosten pysyessä ennallaan.

Substituutiojouston määrittämiseksi on ensin määriteltävä tekninen substituutiojousto (tekninen korvautuvuus). *Tekninen substituutiojousto* (marginal rate of technical substitution, MRTS) kuvaa, miten panoksella R (nyt siis $z = \{E, R\}$) voidaan korvata panosta E tuotannon pysyessä ennallaan. Vakiotuotostäyrällä (tuotanto on vakio, $Y = Y_0$, mutta panosten E ja R osuudet muuttuvat) liikuttaessa kokonaisdifferensiaalilla on nolla, eli pätee

$$dY = \frac{\partial f}{\partial E} dE + \frac{\partial f}{\partial R} dR = dY_0 = 0,$$

mistä järjestelemällä seuraa:

$$MRTS_{ER} = - \left. \frac{dE}{dR} \right|_{Y=Y_0} = \frac{\frac{\partial f}{\partial R}}{\frac{\partial f}{\partial E}} = \frac{f_R}{f_E}.$$

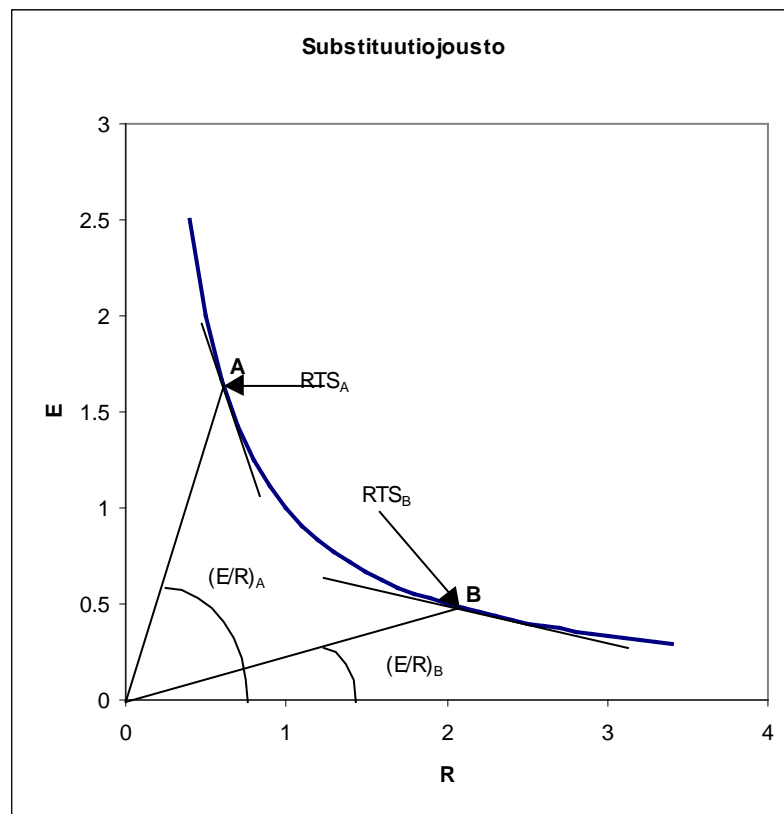
Jos käyrän jossain pisteessä $MRTS_{ER} = 2$, niin tuotanto voidaan pitää ennallaan, vaikka E :n käyttöä vähennetään 2 yksikköä kunhan R :n käyttöä lisätään yksi yksikkö. Tämä suhde on graafisesti tarkasteltuna vakiotuotostäyrän kulmakerroin tarkastelupisteessä, ks. kuva 10-4. (Kuvaajan kulmakerroin on -2 , jos $MRTS = 2$.)

Substituutiojousto (σ) mittaa tuotantofunktion $f(E, R)$ panossuhteen, (E/R) :n, suhteellista muutosta MRTS:n suhteelliseen muutokseen verrattuna, kun kuljetaan pitkin vakiotuotostäyrää. Formaalisti substituutiojousto määritellään siis seuraavasti:

$$\sigma = \frac{\% \text{ - muutos } (E/R)}{\% \text{ - muutos } (RTS)} = \frac{d(E/R)}{d(f_R/f_E)} \frac{f_R/f_E}{E/R}$$

Kuva L1.1 selventää hieman hankalan näköistä kaavaa. Substituutiojousto kuvaa panossuhteen ja kuvaajan käyryyden välisen yhteyden.

Kuva L1.1 Substituutiojousto



Kun liikutaan pisteestä A pisteeseen B vakiotuotuskäyrällä, $Y = Y_0$, sekä panossuhde (E/R) että tekninen substituutiojousto MRTS muuttuvat. Substituutiojousto määritellään näiden suhteellisten muutosten suhteeksi. Se on mitta sille, kuinka käyrä vakiotuotuskäyrä on. Mitä pienempi jousto on, sitä terävämpi on vakiotuotantokäyrän kulma.

Liite 3. Kuluttajan ongelma

Tarkastellaan kuluttajan ongelmaa seuraavan hyödyn maksimointiesimerkin avulla.

Esimerkki: Kuluttajan ongelma CES-hyötyfunktio-oletuksin.

Tarkastellaan kuluttajan ongelmaa – mitä tuotteita tulisi ostaa ja kuinka paljon, jotta hyöty maksimoituisi –, kun hyötyfunktioksi oletetaan CES-hyötyfunktio. Ongelma on seuraava:

$$\text{Max } U(x, y) = \left[\theta d_x \frac{\sigma-1}{\sigma} + (1-\theta) d_y \frac{\sigma-1}{\sigma} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}},$$

ja rajoitusehtona on budjettirajoitus

$$d_x p_x + d_y p_y = M.$$

Hyödyn maksimointi – muodostetaan ongelman Lagrange-funktio, haetaan ääriarvokohdat ja sievennetään – johtaa seuraaviin tuotteiden x ja y kysyntäfunktioihin:

$$\begin{aligned} d_x(p_x, p_y, M) &= \left(\frac{\theta}{p_x} \right)^\sigma \frac{M}{\theta^\sigma p_x^{1-\sigma} + (1-\theta) p_y^{1-\sigma}} \\ &= \left(\frac{\theta}{p_x} \right)^\sigma \frac{M}{p_V(p)^{1-\sigma}} = \theta^\sigma \left(\frac{p_V(p)}{p_x} \right)^\sigma \frac{M}{p_V(p)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y(p_x, p_y, M) &= \left(\frac{1-\theta}{p_y} \right)^\sigma \frac{M}{\theta^\sigma p_x^{1-\sigma} + (1-\theta) p_y^{1-\sigma}} \\ &= \left(\frac{1-\theta}{p_y} \right)^\sigma \frac{M}{p_V(p)^{1-\sigma}} = (1-\theta)^\sigma \left(\frac{p_V(p)}{p_y} \right)^\sigma \frac{M}{p_V(p)}, \end{aligned}$$

missä kuluttajahintaindeksi on $p_V = \left[\theta^\sigma p_x^{1-\sigma} + (1-\theta)^\sigma p_y^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} = c_V(p)$. Tässä c_V :llä on merkitty ”hyödyn tuotannon kustannusfunktiota” (mikä siis vastaa tuotannon yksikkökustannusfunktiota).

Esimerkin mukaan yksikkökysyntäfunktiot ovat täsmälleen samaa muotoa kuin tuotannon yksikkövälituotekysynät. Tuotannon määrättekijää y_j vastaa tässä tuloista ja kuluttajahintaindeksistä riippuva termi

M/p_v Tarkastellaan tätä hieman tarkemmin seuraavan määrittelyn avulla.

Hyötyfunktio $U(x,y)$ on funktio ostetuista hyödykkeistä ja hyöty riippuu vain epäsuorasti hinnoista. Kun tulot ja hinnat otetaan annettuina, valitsee kuluttaja kulutuskoriinsa hyödyn maksimoivan määrän eri hyödykkeistä. Kun tiettyyn tulotasoon ja tiettyihin hintoihin liittyvä maksimihyöty ilmaistaan funktiona hinnoista ja tuloista, kutsutaan ko. funktiota *epäsuoraksi hyötyfunktioiksi* V . Siis

$$V(p, M) = \max U(\mathbf{d}) \quad \text{ehdolla } M = \sum_i p_i d_i .$$

Sijoittamalla yllä saadut x :n ja y :n kysynät hyötyfunktion lausekkeeseen, saadaan epäsuora hyötyfunktio $V(p, M)$:

$$V(p, M) = \frac{M}{p_v} .$$

Hyödyn määrätekiötä M/p_v kutsutaan siis epäsuoraksi hyötyfunktioiksi. Se kertoo, miten hyöty muuttuu hintojen ja tulojen muuttuessa. Kaavan sanallinen muoto on seuraava: Tulot jaettuna kulutuksen hintaindeksillä antaa tavoitellun hyödyn maksimiarvon³. Kuluttajan hyödyn kuvaamiseen käytetään samoja tuotantofunktioita kuin hyödyke-tuotannon kuvaamiseen. Sen vuoksi taulukon F1 tuotannon välituotekysynät kuvaavat myös vastaavaa yksikkökulutuskysyntää.

Hyödykekysyntä on hinnan mukaan muuttuvaa: kun jonkin tuotteen hinta nousee, sitä ostetaan vähemmän ja jotain toista tuotetta enemmän. Tätä kutsutaan substituutiovaikutukseksi. Tulojen kasvu (vähennä) johtaa kaikkien kulutuskorissa olevien tuotteiden kysynnän kasvuun (vähennemiseen). Tätä muutosta kutsutaan tulovaikutukseksi.

³ Ise asiassa, kuluttajan ongelma voidaan esittää myös toisinpäin (duaali-ongelmana): minimoit menot, kun tietty hyötytaso halutaan saavuttaa. Ratkaisuksi saadaan kustannukset minimoiva hinnoista riippuva yksikkömenofunktio $e(\mathbf{p})$ (joka on sama kuin yllä hintaindeksiksi nimetty tekijä) seuraavasti:

$$e(\mathbf{p}) = \min \sum_i p_i d_i$$

$$\text{ehdolla } U(\mathbf{d}) = 1 .$$

Hyödykkeen i kulutuskysyntä (mikä vastaa tuotannon välituotekysyntää) saadaan Shepardin lemmalla menofunktiosta: $\partial e(p) / \partial p = d_i(p)$. Kuten tuotannonkin tapauksessa, hyödykkeen i kokonaiskysyntä on yksikkökysyntä kertaa hyödyn määrä, siis $D_i = d_i(p) * V(p, M)$.

Liite 4. Yleinen tasapaino

Tasapainon määritelmä käytännön laskelmissa

Lähdetään liikkeelle yleisestä määritelmästä:

Yleisen kilpailuun perustuvan tasapainon määritelmä: Hintavektoriin $p^* \geq 0$, liittyvä tuotanto, y_j^* , kaikille j , kulutus, x_i^* , kaikille i , on yleinen tasapaino, jos seuraavat ehdot täytetty:

1. y_j^* ratkaisee tuottajan j ongelman $\max_{y_j} \{p^* y_j \mid y_j \in Y_j\}$, missä Y_j on tuotantoteknologioiden joukko.
2. x_i^* ratkaisee kuluttajan i ongelman $\max_{x_i \geq 0} \{u_i(x_i) \mid p^* x_i \leq h_i^*\}$, missä tulot on määritelty seuraavasti: $h_i^* = p^* \omega_i + \sum_j \theta_{ij} p^* y_j^* \cdot \omega$
on kuluttajan alkuvarallisuus. Parametri θ on ei-negatiivinen osuus, joka kuluttajalla i on yrityksestä j , minkä perusteella hän saa osuutensa sen voitosta. u on kuluttajan hyötyfunktio.
3. Kaikki markkinat ovat tasapainossa $\sum_j y_j^* + \sum_i \omega_i - \sum_i x_i^* \geq 0$.

Tuotantoa kuvataan tuotantofunktioilla. Ne kuvaavat tuotannon määrän funktion $f(x)$ arvona (luku, skalaari) käytetyistä tuotantopanoksista x . Tuotanto oletetaan mittakaavariippumattomaksi. Se tarkoittaa, että tuotantofunktio $f(x)$ on homogeeninen astetta 1, ts. $f(\mu x) = \mu f(x)$ kaikille $\mu > 0$. Ehdosta seuraa, että tuotantokustannukset eivät muutu tuotannon laajuuden mukaan. Sen vuoksi voidaan tarkastella tuotannon yksikkökustannuksia ja -tuloja. Mittakaavariippumattomuutta voidaan perustella esimerkiksi siten, että taloudessa mittakaavaedut hyödynnetään. Tällöin vain taloudellisesti järkevän kokoisia tuotantolaitoksia rakennetaan, jolloin tuotannon lisäys tarkoittaa tietyn kokoisten tuotantolaitosten lukumäärän kasvua.

Näin muotoiltu tasapaino-ongelma on yleisen tasapainon erikoistapaus: tässä taloudessa hinnat määräytyvät pelkästään tuotantoteknologian mukaan ja kuluttajat määräävät tuotannon määrän.

Eräs käytännön mallityöskentelyyn soveltuva tasapaino-ongelman esitystapa on muotoilla tasapaino-ongelma ns. komplementaarisuusongelmana.

Tasapainon määrittelyyn liittyy kolmen keskeistä käsitettä seuraavin ominaisuuksin:

- i) **hyödykkeillä**, joita on n kappaletta, on ei-negatiivinen hinta p_i ;
- ii) **tuottajat**, joita on m kappaletta, tuottavat ei-negatiivisen määrän y_j ;
- iii) **kuluttajilla**, joita on b kappaletta, on tulot M_b .

Mallin muuttujia ovat siis hyödykehinnat, tuotantomäärät ja kuluttajien tulot. Näillä muuttujilla määritelty tasapaino täyttää seuraavat kolme epälineaarisiin epäyhtälöihin määriteltyä ehtoa:

1. Tuottajan ongelman ratkaisuehto: Nollavoitto

Ensimmäisen rajoitusehdon mukaan tasapainotilanteessa yksikään tuottaja ei ansaitse ”ylivoittoa”. Toisin sanoen panoskustannus aktiviteettiyksikköä kohti täytyy olla suurempi tai yhtä suuri kuin tuotannon arvo. Tämä voidaan kirjoittaa kompaktisti seuraavasti:

$$-\Pi_j(p) = C_j(p) - R_j(p) \geq 0 \quad \forall j$$

missä $\Pi_j(p)$ on yksikkövoittofunktio, yksikkötulon ja $-$ kustannuksen erotus.

Seuraavissa kaavoissa esiintyvät f ja g ovat tuotantofunktioita, jotka kuvaavat käyvät syötteen ja tuotettavat tuotteet. Tuotantoprosessissa voi syntyä yhtäaikaan useampia tuotteita. Näinhän on asian laita esim. öljynjalostuksessa, jossa raakaöljystä jalostuu useita tuotteita. Näiden eri tuotteiden tuotantoa kuvaa funktio g .

Kuluttajan ongelma voidaan muotoilla myös tuotanto-ongelmana. Kyseessä on tällöin hyödyn tuotannon ongelma. Hyötyä tuotetaan ostamalla hyödykkeitä siten, että hyötyfunktion arvo maksimoituu. Hyötyfunktio kuvaa kuluttajan mieltymyksiä (preferenssejä). Kustannusfunktioita kutsutaan tällöin kuluttajan menofunktioksi ja sen arvoa tasapainopisteessä ”hyvinvoinnin hintaindeksiksi”. Kuluttajan tulojen ja menojen yhtäsuuruus muotoillaan tällöin yhtenä markkinatasapainoehtona. Kuluttajan hyötyä käsitellään kuten muitakin hyödykkeitä.

2. Markkinatasapaino

Tasapainohinnoin ja $-$ aktiviteettitasoin kunkin tuotteen tarjonnan on oltava vähintään kuluttajien kysynnän suuruinen. Tämä ehto voidaan esittää seuraavasti:

$$\sum_j y_j \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} + \sum_h \omega_{ih} \geq \sum_h d_{ih}(p, M_h) \quad \forall i,$$

missä ensimmäinen summa, Shepardin lemman perusteella, kuvaa mit-takaavariippumattomasti tuottavien toimialojen hyödykkeen i tarjontaa. Toinen summa edustaa kotitalouksien hyödykkeen i alkuvarallisuutta yhteensä. Epäyhtälön oikealla puolella oleva summa on kotitalouksien hyödykkeen i kokonaiskysyntä.

Kulutuskysyntä johdetaan budjettirajoitteisesta hyödynmaksimoin-nista:

$$d_{ih}(p, M_h) = \arg \max \left\{ U_h(x) \mid \sum_i p_i x_i = M_h \right\},$$

missä U_h on kotitalouden h hyötyfunktio.

3. Tulotasapaino

Tasapainossa kunkin toimijan tulojen on oltava yhtä suuret kuin omis-tamiensa tuotannontekijöiden arvo:

$$M_h = \sum_i p_i \omega_{ih}.$$

Arvo muodostuu alkuvarallisuuden ja tasapainopisteessä vallitsevien hintojen tulosta. Alkuvarallisuuteen kuuluu kuluttajan työvoima ja tasa-painotilanteen palkkataso määrää sen kulloisenkin arvon.

Tasapainon piirteitä

Koska nollavoittoehdon kuvauksessa käytetyt funktiot ja markkinoiden nettokysyntää kuvaava funktio, joka saadaan summaamalla yli kaikkien kotitalouksien, ovat homogeenisiä astetta nolla, tasapaino määrittää ai-noastaan *subteelliset* hinnat.

Kuluttajan kuvauksessa käytettävät hyötyfunktiot ovat sellaisia, että lisäkulutus tuo lisähyötyä, joten

$$\sum_i p_i d_{ih} = M_h = \sum_i p_i \omega_{ih}.$$

Homogeenisuudesta ja Walrasin laista seuraa, että komplementaari-suus (complementary slackness) on tasapaino piirre. Tämä nähdään seuraavasti:

Lähdetään liikkeelle markkinatasapainoehdosta

$$\sum_j y_j \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} + \sum_h \omega_{ih} - \sum_h d_{ih}(p, M_h) \geq 0,$$

joka pätee kullekin hyödykkeelle i .

Kerrotaan yhtälö p_i :llä

$$\sum_j y_j \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} p_i + \sum_h \omega_{ih} p_i - \sum_h d_{ih}(p, M_h) p_i \geq 0$$

Summataan yli i :n

$$\sum_j y_j \sum_i \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} p_i + \sum_h \sum_i (\omega_{ih} p_i - d_{ih}(p, M_h) p_i) \geq 0$$

Tunnetusti astetta yksi oleville homogeenisille funktioille pätee Eulerin laki:

$$\sum_i \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} p_i = \Pi_j(p)$$

ja jälkimmäinen summa on nolla Walrasin lain perusteella. Sen vuoksi saadaan

$$\sum_j y_j \Pi_j(p) \geq 0.$$

y_j :lle pätee $y_j \geq 0$ ja $\Pi_j(p)$:lle puolestaan nollavoittoehdon mukaan $\Pi_j(p) \leq 0$.

Tulo $y_j \Pi_j(p)$ ja tulojen summa on yllä olevin ehdoin ei-negatiivinen vain, kun vähintään toinen tekijä on nolla, siis on oltava

$$y_j \Pi_j(p) = 0$$

jolloin myös

$$\sum_j y_j \Pi_j(p) = 0$$

Sanallisesti ilmaistuna: tuotanto on positiivinen vain silloin kun voitto on nolla ja voiton ollessa negatiivinen on tuotanto nolla.

Toinen komplementaarisuuspiirre saadaan seuraavasti.

Merkitään

$$A_i = \sum_j y_j \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} + \sum_h \omega_{ih} - \sum_h d_{ih}(p, M_h)$$

Tällöin ($p_i \geq 0$)

$$A_i \geq 0 \quad \text{ja} \quad A_i p_i \geq 0.$$

Summaamalla yli i :n saadaan

$$\sum_i A_i p_i = A_1 p_1 + \dots + A_n p_n$$

Aiemman päättelyn mukaan tämä summa on arvoltaan nolla. Se on mahdollista vain, jos kukin summan tekijä on nolla (sillä tulon tekijät ovat molemmat ei-negatiivisia), siis pätee kaikille i :

$$p_i \left(\sum_j y_j \frac{\partial \Pi_j(p)}{\partial p_i} + \sum_h \omega_{ih} - \sum_h d_{ih}(p, M_h) \right) = 0$$

Jos siis hyödykkeen hinta on positiivinen, niin kysynnän ja tarjonnan on oltava tasapainossa. Jos taas hyödykkeen tarjonta ylittää sen kysynnän, niin tällöin sen hinnan on oltava nolla.

Toisin sanoen komplementaarisuus on tasapainoallokation *piirre*, vaikka sitä ei aseteta tasapainoehdoksi sinänsä.

Tasapainotilanteessa siis jokainen tuottava toimiala tekee nollavoiton ja tappiolliset toimialat eivät tuota. Jos hyödykkeen hinta on positiivinen, niin sen kysyntä ja tarjonta ovat tasapainossa. Edelleen, jos hyödykkeen kysyntä on tarjontaa pienempi, niin sen tasapainohinta on nolla.

On tärkeää tehdä ero tämän ”tasapainon” mallittamisen näkökulman ja ”optimointiongelman” muotoilun välillä. Ensimmäisen kertaluvun optimaalisuusehdot tunnetusti täyttävät CP-ehdot. Tasapainomalli voi kuitenkin olla ”integroituaton”. Se tarkoittaa, että ei ole olemassa optimointiongelmaa, joka johtaa kyseiseen komplementaarisuusongelmaan. Tällainen tilanne esiintyy tyypillisesti tulonjako- ja oikeudenmukaisuuskysymyksiä (Mathiesen 1985) tarkasteltaessa. Näin on esimerkiksi silloin, kun kysyntäfunktiot eivät riipu pelkästään hinnoista, vaan myös alkuvarallisuuden jakaumasta. Näissä tapauksissa kysyntäfunktioi-

ta ei voi ”integroida” yhdeksi kaikkia kuluttajia edustavaksi hyötyfunktioiksi.

Lähestymistavan oleelliset piirteet ovat heikot epäyhtälöt ja komplementaarisuus (complementary slackness). Tyypillisissä käytännön analyysitilanteissa ainakin osa näistä epäyhtälöistä on sellaisia, joista ei etukäteen voi sanoa, mitkä niistä toteutuvat tasapainossa aitoina epäyhtälöinä ja mitkä yhtälöinä. Mallissa voidaan erottaa kaksi epäyhtälöluokkaa: Epäyhtälöt seuraavat luonnollisella tavalla siitä, että hyödykkeen tuotannolle on olemassa vaihtoehtoisia teknisiä prosesseja (tyypillisesti lineaarinen teknologiamatriisi). Toiseksi, tarkasteltavaan taloudelliseen ongelmaan voi liittyä erilaisia institutionaalisia hintarajoitteita. Esimerkkeinä näistä ovat vaikkapa vaihtotaserajoitus tai joidenkin hintojen ylä- tai alarajat.

Tasapaino ja hyvinvointi

Hyvinvoinnin taloustieteen (welfare economics) keskeinen sisältö on taloudellisten järjestelmien eettinen arviointi. Hyvinvoinnin taloustieteessä on kaksi peruslausetta. Ensimmäisen lauseen mukaan kilpailutasapaino on *Pareto-tehokas*. Pareto-tehokkuus tarkoittaa, että on mahdollonta parantaa yhdenkään taloudellisen toimijan hyvinvointia huonontamatta samalla jonkin toisen toimijan hyvinvointia. Toinen lause sanoo, että Pareto-tehokas kilpailutasapaino vastaa aina tiettyä hyödykkeiden alkujakaumaa.

Ensimmäinen ja toinen lause yhdessä tarkoittavat, että kilpailutaloudessa tehokkuus- ja tulonjakokysymykset ovat (mallimaailmassa) erotettavissa toisistaan. Pareto-tehokkuuden varmistamiseen riittää tällöin tasapainon kilpailullisuuden varmistaminen. Haluttu tulonjako voidaan saavuttaa joko sopivalla alkuvarallisuuden uudelleenjaolla tai tulonsiirroilla. Näistä seuraava uusi kilpailutasapaino on edelleen Pareto-tehokas.

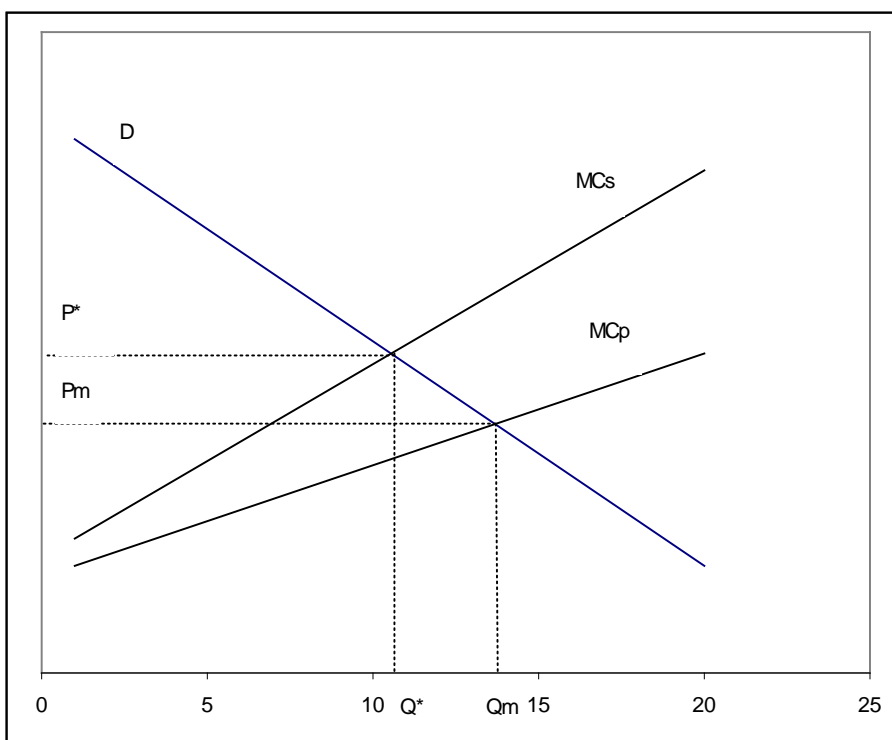
Pareto-tehokkuus ei aseta kriteeriä hyvinvoinnin jakautumiselle. Hyvinvointiteoreemien edellytykset eivät myöskään käytännössä yleensä täyty. Esimerkiksi yrityksillä voi olla monestakin syystä markkinavoimaa, ts. ne eivät ole hinnantottajia. Tällöin talouden tasapaino ei alun perin ole Pareto-tehokas. Markkinat eivät myöskään käytännössä ole täydelliset, eli kaikille hyödykkeille, joiden voi ajatella vaikuttavan kuluttajan hyvinvointiin, ei välttämättä ole markkinoita. Reaalimaailman vajavaisuudet voivat johtaa siihen, että markkinat eivät allokoija tehokkaasti.

Pareto-tehokkuus ei myöskään toteudu, jos tuotannolla on ulkoisvaikutuksia. Ulkoisvaikutus ilmenee, kun jonkin toimijan toiminta vaikut-

taa muiden toimijoiden hyvinvointiin jotenkin muutoin, kuin hintajärjestelmän kautta. Kasvihuoneilmiö on esimerkki ulkoisvaikutuksesta. Jonkin maan päästöt vaikuttavat muiden maiden potentiaaliseen hyvinvointiin lisäämällä ilmastomuutosriskiä. Kääntäen, päästöjen vähentämisellä on mahdollisesti positiivinen vaikutus muiden maiden hyvinvointiin ko. riskiä pienentävänä tekijänä.

Ulkoisvaikutusta selventää oheinen kuva L4.1 jossa hyödykkeen markkinat on kuvattu. Tuotantoon oletetaan nyt liittyvän saastepäästö, jolla on hyvinvointia alentava vaikutus. Hyödykkeen kysyntää kuvaa suora D ja hyödykkeen tuotantokustannusta kuvaa suora MC_p (ilman saasteen vähennys tai poistokustannusta). Koska yhteiskunnallisella tasolla huomioidaan sekä hyödykkeen valmistamisen että saastuttamisen kustannukset, on yhteiskunnallinen rajakustannus MC_s yksityistä rajakustannusta korkeampi.

Kuva L4.1



Kuvassa P^* on yhteiskunnallinen optimihinta ja Q^* tähän hintaan liittyvä tuotantomäärä. P_m on markkinahinta ilman saastehinnoittelua ja Q_m tähän hintaan liittyvä tuotantomäärä. x-akselin asteikko mielivaltaisen.

Jollei saastuttaminen tule hinnoiteltua markkinoilla, kysynnän ja tarjonnan tasapaino ei ole tehokas, vaan tuotantomäärä, samoin kuin saastuminen, on liian suuri.

Liite 5. Energiatalouden ja kansantalouden suhteesta

Johdanto

Karkeaksi energiapolitiikan kustannusten (ja hyödyn) mittariksi riittää usein kokonaiskulutuksen tai BKT:n muutos. Vaikka tämä markkamääräinen vaikutus olisi merkittävä energiapolitiikan kannalta, se voi silti muodostaa vain pienen osuuden BKT:stä. Tässä suhteessa vaikutus voi olla käytännössä yksisuuntainen: BKT:n kasvu vaikuttaa energiasektoriin, mutta ei päinvastoin. Jos vaikutukset ovat yksisuuntaisia, ei ole tarvetta yhdistää energiasektoria koko talouden kattavaan analyysiin. Likimääräinen arvio taloudellisista vaikutuksista riittää tällöin energiapolitiikan arviointiin. Jos kuitenkin osoittautuu, että kaksisuuntaiset vaikutukset ovat merkittäviä, ei energiasektoria voi käsitellä erikseen, vaan sen on oltava kiinteä osa kokonaistaloudellista tarkastelua.

Perustapaus

Yksinkertaisimmillaan energian ja kansantalouden vuorovaikutusta voidaan tarkastella nimeämällä vain kaksi tuotantopanosta: energia ja muut panokset. (Energia on pienehkö tekijä Suomen taloudessa: vuonna 1995 tuontienergiälasku oli noin 5 % BKT:stä.)

Merkitään energiaa symbolilla E . Sen hinta olkoon P_E . Muut panokset saavat symbolin R ja hintaa merkitään P_R . R kuvaa muiden panosten taloudellista arvoa yhteensä. Muita panoksia ovat mm. pääoma ja työvoima.

Energiaa käsitellään puhtaasti välituotteena. Sitä ei siis kuluteta lopputuotteena, vaan ainoastaan hyödykkeiden tuotantoprosessissa. Tämä pätee sekä tavaroiden että palveluiden tuotantoon. Tällöin ajatellaan, että kuluttajat tarvitsevat esim. kuljetuspalveluita eikä bensiiniä. Energiantuotantoa ei kuvata. Mallissa tuotetaan vain yhtä tuotetta, jota merkitään kirjaimella Y . Sen määrää mitataan samalla yksiköllä kuin BKT :tä. Rahassa mittaaminen on mahdollista seuraavalla menettelyllä. Lähtötilanteessa kaikki hinnat asetetaan ykkösiksi. Tällöin mallin energian määrää kuvaava muuttuja, jonka suuruus mallissa mitataan yksiköllä marka, vastaa energiankulutusta seuraavasti:

$$E[\text{mk}] = a[\text{mk}/\text{TWh}] * E[\text{TWh}].$$

a on parametri, joka määritetään lähtötilanteen arvoista. Myöhemmin energian määrä energiayksikköinä voidaan laskea jakamalla mallista saatava markkamääräinen energiamäärä tällä vakiolla.

Koska Y on mallin ainoa tuotettava hyödyke, oletetaan sen hinnan pysyvänä jatkuvasti. Identiteetti, joka liittää panosten ja tuotosten arvon yhteen, on nyt

$$(1) \quad Y = P_E E + P_R R$$

tai

$$(2) \quad Y = P_E E + BKT$$

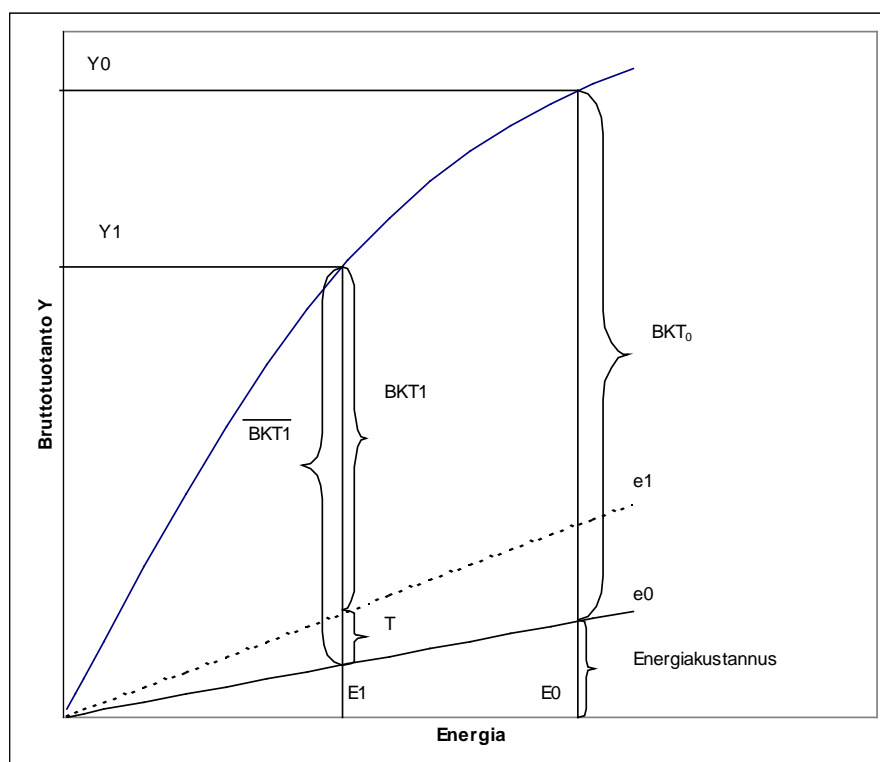
BKT :hän määritellään talouden arvonlisien summaksi.

Talouden tuotantoa kuvataan nyt mahdollisimman yksinkertaisesti CES-tuotantofunktiolla:

$$Y = \left[\theta_E E^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \theta_R R^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

Kuva L5.1 esittää tuotannon energiapanoksen funktiona.

Kuva L5.1



Tuotanto muodostuu siis vain energiasta, E , ja muista panoksista, R . Kuva L5.1 esittää yhteydet Y :n, BKT :n ja P_E :n välillä. Alussa energiaa käytetään määrä E_0 , jolloin bruttokansantuotteen suuruus on BKT_0 . Energiakustannus on tällöin $P_{E,0}E_0$. Suoran e_0 ja vaaka-akselin väli kuvaa energiakustannusta. Suoran kulmakerroin kuvaa energian hintaa.

Jos käytettävissä oleva energiamäärä putoaa E_1 :een hinnan pysyessä muuttumattomana, niin tuotanto alenee vastaavasti Y_1 :een. Bruttokansantuotteen määrä on tällöin \overline{BKT}_1 . Jos taas energian hinta nousee (mutta saatavuus ei ole rajoitettua) ja energian hinnannousu on todellinen resurssikustannus (kaikki energia tuodaan ulkomailta), niin silloin hinnannousu ja tuotannon lasku johtaa BKT :n alenemiseen BKT_1 :een. Jos hinnannousu ja alentunut kysyntä aikaansaadaan verolla, tällöin verokertymä on T . Jos tämä kertymä palautetaan kuluttajille ja käytetään energian kulutusta lisäämättömiin kohteisiin, niin uusi BKT , tai reaalitytulotaso, on $\overline{BKT}_1 = BKT_1 + T$. Näiden muutosten suuruus riippuu funktion kuvaajan käyryydestä, jota kuvaa substituutiojousto σ .

Taulukossa L5.1 on esitetty laskelma, jossa oletetaan, että energian hinta pysyy muuttumattomana ja vero asetellaan siten, että tavoiteltu energiankäytön väheneminen toteutuu. Vastaava BKT -muutos on taulukoitu myös.

Taulukko L5.1

Käytettävissä oleva energia	Substituutio-/kysynnän jousto				
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7
	BKT:n alenema prosentteina				
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	-0.3	-0.1	-0.1	0.0	0.0
80	-1.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.1
70	-6.2	-1.8	-1.0	-0.5	-0.3
60	-15.3	-4.3	-2.2	-1.0	-0.7
50	-28.0	-9.5	-4.4	-1.9	-1.2
40	-42.1	-19.0	-8.6	-3.4	-2.0
	Energian vero				
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	1.7	0.7	0.4	0.2	0.2
80	6.2	1.8	1.0	0.5	0.4
70	15.8	4.1	2.1	1.0	0.6
60	27.1	8.6	3.8	1.6	1.0
50	33.0	16.8	7.1	2.7	1.6
40	34.5	29.7	13.6	4.6	2.5

Taulukko L5.1. Jouston vaikutus BKT-muutoksen suuruuteen ja tarvittavaan energiaveroon Rajoittamaton energian käyttö on merkitty luvulla 100. Siihen liittyvä energian hinta oletetaan ykköseksi. Energian (tuonti-) hinnan oletetaan pysyvän samana. Energian vero on ilmaistu alkuperäisen hinnan monikertana, ts. se on luku, jolla alkuperäinen hinta on kerrottava, jotta saatavuusrajoituksen mukainen energiankäyttö toteutuu. Esimerkiksi vero 1.7 tarkoittaa, että energian hinnan on oltava 2,7 (= 1.7+1) kertaa alkutilanteenhinta. Muiden tuotantopanosien kuin energian käytön oletetaan pysyvän vakiona.

Taulukko L5.2 osoittaa substituutiojouston merkityksen. Jos se saa niinkin korkean arvon kuin 0,5, merkitsee se sitä, että energia ja BKT ovat lähes riippumattomia. Jos taas jouston arvo on 0,1, niin energian saantirajoituksella on huomattava vaikutus. Jos energian tuontihinta pysyy samana, niin sen käytön alenemaan tarvitaan huomattavan suuri vero, jos jousto on vähäistä. Esimerkiksi jouston ollessa -0,2 ja tavoitteena on vähentää energian kulutusta 30 % alkuperäisestä, niin tarvitaan vero, jonka suuruus on 4,1 kertaa energian alkuperäinen hinta.

Pääoma mukautuu

Ehkäpä pahin puute yllä käsitellyissä malleissa on oletus muiden panosten pysyminen muuttumattomina energian saatavuusrajoituksesta huolimatta. Aluksi voitaneen olettaa, että työvoimapanos ei muutu energian tarjonnan supistumisen johdosta, vaikka sen tuottavuus aleneekin. Mutta sama ei päde pääomapanokseen. Energiapanoksen pienentyminen alentaa pääoman rajatuottavuutta. Tämä puolestaan voi vähentää säästämistä ja investointitasoa. Tämä energiaperäinen pääomataso alenema pienentää tuotantoa ja BKT:tä. Nämä *epäsuorat* vaikutukset voivat olla tärkeimmät energianiukkuuden vaikutukset.

Monipuolistetaan nyt hieman tuotannon kuvausta, jotta yo. ilmiö voidaan huomioida. Oletetaan, että R on Cobb-Douglas -funktio pääomasta (K) ja työvoimasta (L):

$$R = c K^\alpha L^{1-\alpha},$$

missä α on pääoman kustannusosuus ja $(1-\alpha)$ on työvoiman kustannusosuus. Tuotantofunktio on nyt

$$y = \left[\theta_E E^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \theta_{KL} \left(c K^\alpha L^{1-\alpha} \right)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

Jos K ja L pidetään vakioina, kun E muuttuu, saadaan edeltävän luvun tulokset. Tehdään nyt kuitenkin toisenlainen oletus: Pidetään pääoman hinta (tuotto) P_K vakiona ja annetaan pääoman määrän vaihdella käytettävissä olevan energiamäärän mukaan. Oletus P_K :n vakioisuudesta tilanteessa, jossa energian saanti on rajoittunut, yliarvioi pääoman sopeutumismahdollisuuksia. Näin saatu pääoman määrä edustaa siis pääomapanoksen alarajaa ja energia- ja pääomamuutosten taloudellisten vaikutusten ylärajaa. Tulokset ovat taulukossa 9.2.

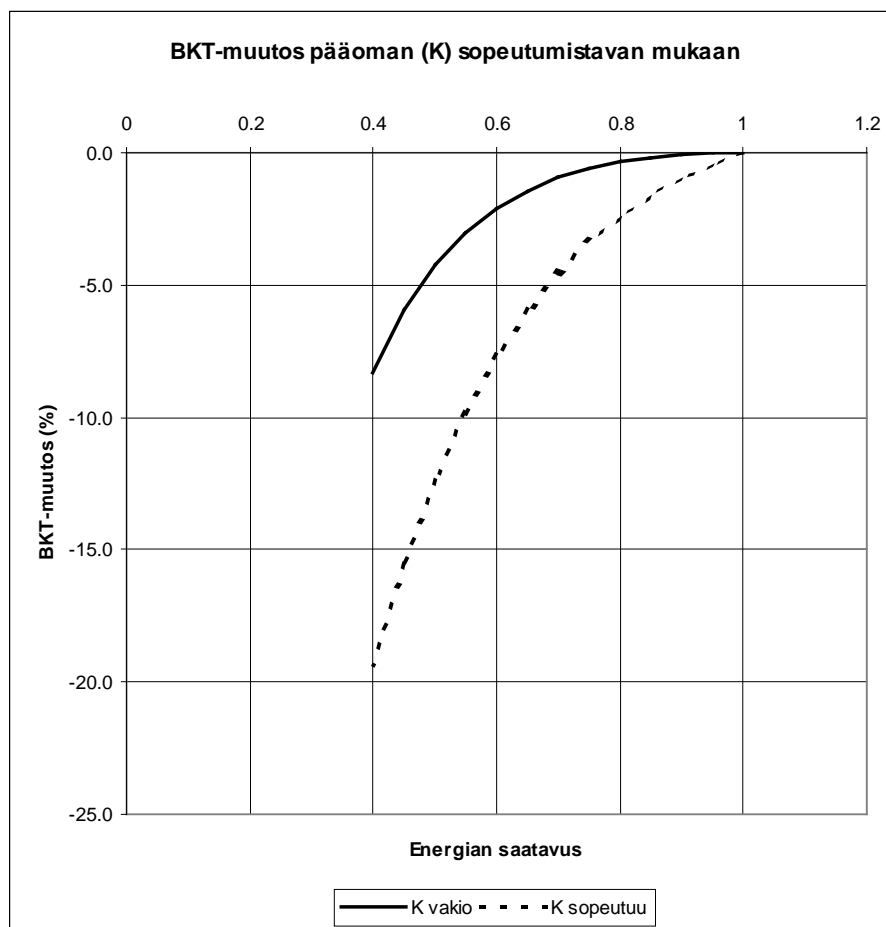
Taulukko L5.2. Työvoimapanos pysyy vakiona. Pääoman hinta (tuot-to) pidetään vakiona, mutta sen määrä saa vaihdella.

Taulukko L5.2

Käytettävissä oleva energia	Substituutio-/kysynnän jousto				
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7
	BKT:n alenema prosentteina				
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	-2.6	-1.3	-0.8	-0.5	-0.4
80	-7.3	-3.4	-2.1	-1.2	-0.8
70	-14.2	-6.8	-4.1	-2.2	-1.5
60	-23.1	-12.0	-7.0	-3.5	-2.3
50	-33.6	-19.5	-11.5	-5.5	-3.4
40	-45.4	-29.7	-18.2	-8.4	-5.1
	Energian vero				
100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
90	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2
80	3.1	1.5	0.9	0.5	0.3
70	7.1	3.0	1.8	0.9	0.6
60	10.0	5.4	3.1	1.5	1.0
50	14.4	9.0	5.3	2.4	1.5
40	20.2	14.4	9.1	4.0	2.3

Kun substituutiojouston arvolla 0,3 energianpanos supistuu 50 %, niin pääoman sopeutuminen vakiomäärästä vakiotuottoon lisää taloudellista vaikutusta. Reilun neljän prosentin BKT:n lasku muuttuikin 11,5 %:n alenemaksi (ks. kuva L5.2).

Kuva L5.2 Energiarajoituksen taloudellinen vaikutus pitkällä aikavälillä vaihteoisin pääomaoletuksin (substituutiojousto $\sigma = 0,3$.)



Kvalitatiivinen tulos kahden panoksen tuotantofunktioanalyysistä kuitenkin säilyy. Energian käyttömahdollisuuksien pieneneminen aiheuttaa suhteessa vähäisemmän vaikutuksen BKT:ssä. Muutokset pääomakannassa voivat olla merkittäviä, mutta taloudellinen vaikutus on herkin mukautumista kuvaavalle indeksille, substituutiojoustolle.

Analyysiä voidaan perustellusti kritisoida monella tavalla. Ensinnäkin aggregointi häivyttää näkyvistä eri sektoreiden suurestikin poikkeavat mahdollisuudet sopeutua energian saantirajoituksiin. Sektorikohtaisten erojen tarkastelu edellyttää mallia, jossa taloutta kuvataan sektorikohtaisilla tuotantofunktioilla. Tällöin sopeutumismahdollisuudet voitaisiin huomioida kunkin toimialan teknologian mukaisena. Toiseksi, aggrega-

tiivinen substituutioparametri ei anna mahdollisuutta kuvata uusia prosesseja ja teknologioita, joita rajoitukseen sopeutuminen edellyttää. Tarkempi tuotannon kuvaus on tältäkin osin tarpeen. Mallien parantaminen voi periaatteessa tapahtua kahdella tavalla: (1) Kuvataan taloutta edelleen hyvin aggregatiivisella tasolla, mutta teknologian kehitys huomioidaan tarkentamalla koko talouden tason joustoestimaattia, tai (2) kuvataan taloutta sopiviin toimialoihin jaettuna, jolloin voidaan käyttää sektorikohtaisia joustoestimaatteja teknologiakuvauksina. Jälkimmäinen tapa johtaa paljon suuremman parametrimäärän määrittämisongelmaan. Sen vastapainoksi talouden kuvaus tarkentuu.

Liite 6. Kalibrointi

Kalibrointi, tapaus 1

Kun σ on annettu, niin peruspisteen arvoista voidaan laskea parametrit θ_E ja θ_R . Kaavan (11) mukaan

$$E_0 = Y_0 \theta_E^\sigma (P_{E,0})^{-\sigma}.$$

Alkuarvoja on tässä merkitty alaindeksillä nolla.

Tällöin siis

$$\theta_E = \left(\frac{E_0}{Y_0} \right)^{1/\sigma} P_{E,0}.$$

Mittakaavariippumattomuuden perusteella

$$Y = P_R R + P_E E$$

ja $P_{R,0} R_0 = BKT_0$. Koska R_0 :n täytyy täyttää sama optimaalisuusehto kuin E_0 yllä, niin

$$R_0 = Y_0 \theta_R^\sigma (P_{R,0})^{-\sigma},$$

siis

$$\theta_R = \left(\frac{R_0}{Y_0} \right)^{1/\sigma} P_{R,0}.$$

Valitaan ensin kaikki hinnat ykkösiksi ja asetetaan muuttujille seuraavat alkuarvot: $Y_0 = 100$; $E_0 = 5,0$; $R_0 = 96,0$. Nämä arvot edustavat nyt pitkän aikavälin, sanotaan 30 vuotta nykytilanteesta eteenpäin, perustilannetta, jos hintasuhteet pysyvät muuttumattomina. Nyt kun parametrit on määrätty ja alkutilanne valittu, voidaan energiarajoitukseen sopeutumista tarkastella eri joustoparametrin arvoilla.

Energian käyttäjähinta (verollinen) saadaan optimaalisuusehdosta

$$\frac{\partial Y}{\partial E} = \theta_E \left[\frac{Y}{E} \right]^{1/\sigma} = P_E.$$

Vero, T , joka tarvitaan toteuttamaan kysyntä, kun energian (tuonti-) hinta ei muutu on yksinkertaisesti

$$P_E = P_{E,0}(1+T) \Leftrightarrow T = \frac{P_E}{P_{E,0}} - 1 \Leftrightarrow T = P_E - 1,$$

sillä $P_{E,0} = 1$.

Kalibrointi, tapaus 2

Parametrit a ja b lasketaan kuten yllä. α :lle annetaan arvo 0,4. c voidaan laskea nyt kaavasta:

$$c = \frac{R_0}{K_0^\alpha L_0^{1-\alpha}}.$$

R_0 on sama kuin tapauksessa 1. K_0 :lle saadaan arvo yksinkertaisesti $K_0 = \alpha Y_0$. Vastaavasti $L_0 = (1-\alpha) Y_0$. Panosten käyttäjähinnat lasketaan optimaalisuusehdosta ($P_i = \frac{\partial Y}{\partial X_i}$), kuten edellisessäkin tapauksessa.

Energian käyttäjähinnaksi saadaan nyt

$$\frac{\partial Y}{\partial E} = P_E = \theta_E \left[\frac{Y}{E} \right]^{1/\sigma}.$$

Lisäksi tarvitaan L :n hinta:

$$\frac{\partial Y}{\partial L} = P_L = \theta_{KL} (1-\alpha) \left[\frac{Y}{R} \right]^{1/\sigma} \frac{R}{L},$$

missä

$$R = c K^\alpha L^{1-\alpha}.$$

Laskenta etenee seuraavasti:

- Aseta energian saantirajoitus.
- Laske Y .
- Laske P_E , P_L ja P_K .
- Laske uusi $K = Y - P_E E - P_L L$ (vaatimus $P_K = 1$).
- Sijoita K :ksi $K = (\text{vanha } K + \text{uusi } K) / 2$ (estää mahdollisen värähtelyn).
- Jatka kohdasta 2, kunnes P_K saa arvon 1.

Lähteet

Bernstein P., Montgomery W.D., Rutherford T. ja Yang G. (2000): Effects of Restrictions on International Emission Trading: The MS-MRT Model. *Energy Journal*, 221-256.

Böhringer, C. (1998): The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling. *Energy Economics*, 20, 233-248.

Böhringer, C., Pahlke, A. ja Rutherford, T. (1997): Environmental Tax Reforms and the Prospects for a Double Dividend. *Journal of Environmental Economics and Management*, 32, 189-203.

Dixon, P. B., Parmenter B.R., Powell, A. A. ja Wilcoxon, P. J. (1992): *Notes and Problems in Applied General Equilibrium Economics*. North Holland, Amsterdam.

Energiatilastot 1990-1999. Tilastokeskus.

Hogan, W.W., Manne, A.S. (1979): Energy-economy interactions: the fable of the elephant and the rabbit. *Advances in the Economics of Energy and Resources*, Vol. 1, pp. 7-26. JAI Press Inc., 1979.

Honkatukia, J. (1998): Arvioita ilmastotavoitteen kokonaistaloudellisista vaikutuksista Suomessa. Keskusteluaiheita 641, ETLA, Helsinki.

Honkatukia, J. (1999): Kioton mekanismien käytön rajoittamisen vaikutukset Suomeen. Keskusteluaiheita 677, ETLA, Helsinki.

Honkatukia, J. (2000): Kotimaisen päästökaupan kokonaistaloudelliset vaikutukset Suomessa. Keskustelualoite 718, ETLA, Helsinki.

IPCC (1997): *Regional vulnerability on Climate Change*.

IPCC (2000): *Special Report on Emission Scenarios*.

IPCC (2001): *Third Assessment Report*.

Kainuma, M., Matsuoka, Y., Mortia, T. ja Masui, T. (1998): Preliminary Analysis of Post-Kyoto EMF Scenarios, paper presented at the Energy Modeling Forum, Snowmass, Colorado, August 1998.

Kansallinen ilmastostrategia. KTM julkaisu 2/20

Kenc., T. ja Perraudin, W. (1996): *Demography, Pensions and Welfare*. Keskustelualoite 131, VATT.

Keyzer, V. ja Ginsburgh, M. (1997): *The Structure of Applied General Equilibrium Models*. MIT Press.

Lehtilä, A. (1995): Uusien energiatekniikoiden ja päästönvähennyksen potentiaali Suomessa. VTT Tiedotteita 1697, VTT, Helsinki.

Lehtilä, A. ja Tuhkanen, S. (1999): Integrated costeffectiveness analysis of greenhouse gas emission abatement. The case of Finland. VTT publications 374. Technical Research Centre of Finland. Espoo 1999.

McDougall, Robert A., Elbehri, Aziz ja Truong, Truong P. (1998): The GTAP 4 Data Base. Center for Global Trade Analysis, Purdue University.

McKibbin, W., Ross, M., Shackleton, R: ja Wilcoxon, P. (2000): Emissions Trading, Capital Flows and the Kyoto Protocol. Energy Journal, 287-332.

The MEGABARE model: interim documentation. ABARE, February 1996.

Obstfeld, M. ja Rogoff, K. (1996): Foundations of International Macroeconomics. MIT Press, Cambridge, MA.

SULA: Suomen massa- ja paperi- ja kartonkiteollisuuden lajivalikoiman ja reseptien vaikutus energiankulutukseen. Jaakko Pöyry. Helsinki 1999.

Tulpule, V., Brown, S., Lim, J., Polidano, C., Pant, H, ja Fisher, B. (2000): The Kyoto Protocol: An economic Analysis Using GTEM. Energy Journal, 257-286.

Tol, R.S.J. (2000): Kyoto, Efficiency and Cost-Effectiveness: Applications of FUND. Energy Journal, 131-156.

Panos-tuotos -taulukot 1990 ja 1995. Tilastokeskus.

Päästötiedot panos-tuotos -taulukoon 1995. Tilastokeskus.

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma. KTM julkaisu 4/1999.

Varian, H. (1984): Microeconomic Analysis. W.W.Norton & Company Inc., New York.

LAITOKSEN HENKILÖKUNTA

Pentti Vartia, toimitusjohtaja

ENNUSTETOIMI

Olavi Rantala, tutkimusjohtaja

Pasi Sorjonen, ennustepäällikkö

Tutkijat: Birgitta Berg-Andersson, Anthony de Carvalho, Hannu Kaseva, Juha Kinnunen, Reijo Mankinen, Paavo Suni

PROJEKTITUTKIMUS

Tutkimusjohtajat: Kari Alho, Rita Asplund, Jukka Lassila, Pekka Ylä-Anttila

Tutkimuspäälliköt: Heli Koski, Markku Kotilainen, Terttu Luukkonen, Hannu Piekkola, Tarmo Valkonen

Tutkijat: Johanna Alatalo, Aki Halme, Pasi Huovinen, Tomi Hussi, Ville Kaitila, Antti Kauhanen, Seija Lainela, Reijo Marjanen, Mikko Mäkinen, Panu Pelkonen, Carolina Sierimo, Pekka Sulamaa

Sinikka Littu, tutkimussihteeri

HALLINTO

Markku Lammi, talous- ja viestintäjohtaja; Kari Sihtola, apulaisjohtaja

Toimisto

Inkeri Happonen, toimistopäällikkö; Ann-Christine Ekebohm-Korhonen, toimitusjohtajan sihteeri; Hannele Immonen, puhelinvaihteenhoitaja; Tuula Ratapalo, tekstinkäsittelijä; Arja Räihä, myyntisihteeri; Pirjo Saariokari, toimistovirkailija

Informaatiopalvelut

Kaija Hyvönen-Rajecki, informaattikko; Eija Kauppi, suunnittelija; Kimmo Aaltonen, graafinen piirtäjä; Kirsti Jalaistus, tilastos sihteeri

ATK-toimi

Heikki Vajanne, atk-päällikkö; Jarkko Aitti, järjestelmäasiantuntija; Petteri Larjos, atk-suunnittelija

ASSOCIATE RESEARCH FELLOWS

Aija Leiponen, Associate Professor, Cornell University, Ithaca, NY, United States

Mika Widgrén, Professor, Turku School of Economics, Turku, Finland

ETLAn projekteissa ovat viime aikoina työskennelleet mm. myös: Inkeri Hirvensalo, Juha Honkatukia, Stefan Lee, Reija Lilja, Heikki A. Loikkanen, Mika Maliranta, Rolf Maury, Marja-Liisa Parjanne, Sinimaaria Ranki, Tauno Ranta ja Esa Viitamo.

ETLAn tytäryrityksiä ovat Etlatieto Oy (projektitutkimus) sekä Taloustieto Oy (kustannustointiminta).

Etlatieto Oy, Lönnrotinkatu 4 B, 00120 Helsinki, puh. 09 - 609 901

Toimitusjohtaja Pekka Ylä-Anttila, tutkimusjohtajat Hannu Hernesniemi ja Petri Rouvinen, projektipäällikkö Ari Hyytinen, markkinointipäällikkö Airi Heinänen, projektitutkijat Raine Hermans, Jyrki Ali-Yrkkö, Laura Paija ja Mika Pajarinen.

Taloustieto Oy, Lönnrotinkatu 4 B, 00120 Helsinki, puh. 09 - 609 909

Toimitusjohtaja Markku Lammi, kustannusjohtaja Laila Riekkinen ja toimittaja Ensio Tikkanen.

Tähän tulee takakannen teksti