

VATT-KESKUSTELUALOITTEITA  
VATT-DISCUSSION PAPERS

277

HIILIDIOKSIDI-  
VERON  
TALOUDELLISET  
VAIKUTUKSET

Heikki Kemppe -  
Antti Lehtilä

ISBN 951-561-408-2

ISSN 0788-5016

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus

Government Institute for Economic Research

Hämeentie 3, 00530 Helsinki, Finland

Email: [etunimi.sukunimi@vatt.fi](mailto:etunimi.sukunimi@vatt.fi)

Oy Nord Print Ab

Helsinki, kesäkuu 2002

KEMPPI HEIKKI – LEHTILÄ ANTTI: HIILIDIOKSIDIVERON TALOUDELLISET VAIKUTUKSET. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2002, (C, ISSN 0788-5016, No 277). ISBN 951-561-408-2.

**Tiivistelmä:** Taloutta koskevaa hiilidioksidipäästörajoitetta voidaan tarkastella teoreettisesti esimerkiksi tutkimalla millaiset ovat päästörajoitteen toteuttavien ohjauskeinojen taloudelliset vaikutukset. Mallilaskelmilla tuotetaan konkreettisia arvioita siitä, kuinka hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa talouteen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan hiilidioksidipäästöjen rajoittamista sekä teoreettisesti että hiilidioksidiveroon perustuvilla mallilaskelmilla.

Taloutta koskeva hiilidioksidipäästörajoite aiheuttaa, riippumatta siitä millä tavoilla ko. päästörajoite toteutetaan, hiilidioksidipäästöihin liittyvän ns. niukuushinnan syntymisen. Mikäli hiilidioksidipäästöjä rajoitetaan hiilidioksidiverolla ko. niukuus verotetaan yhteiskunnalle ja veron tuotolla alennetaan muita veroja. Mikäli hiilidioksidipäästökiintiöt jaetaan esimerkiksi ilmaiseksi taloudenpitäjille ko. niukuus vaikuttaa samalla tavoin esimerkiksi sähkön ja lämmön hintaan, mutta niukuus ilmenee taloudenpitäjien yksityistaloudellisina voittoina. Vaikka sähkön ja lämmön kuluttajahinta on sama, hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudelliset vaikutukset eroavat em. tapauksessa.

Mallilaskelmissa osoittautuu, että tarvittava siis Suomen ns. Kioto-tavoitteen toteuttava hiilidioksidivero vaihtelee noin sadasta markasta noin kahteen sataan markkaan hiilidioksiditonnia kohden. Tarvittavaa hiilidioksidiveroa alentaa lisäydinvoiman rakentaminen ja/tai suurempi sähkön tuonti. Lisäydinvoima suurin piirtein puolittaa tarvittavan hiilidioksidiveron ja sähkön tuontimahdollisuus alentaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa noin kolmanneksella. Näin ollen myös energiaverokertymä riippuu huomattavasti energiantuotannon vaihtoehtoista riippuen.

Päästörajoitteen toteuttamisen kokonaistaloudelliset vaikutukset ovat 0,2-0,4 % alennus kotitalouksien kulutuksessa vuoden 2010 tasolta. Teollisuuden energiavaltaisten toimialojen tuotanto alentuu enimmillään vuoden 2015 tasolta noin 1,5 % ja vähimmillään tuotannon muutos on käytännössä nolla.

**Asiasanat:** hiilidioksidivero, ilmastopolitiikka, ympäristöverot

KEMPPI HEIKKI – LEHTILÄ ANTTI: HIILIDIOKSIDIVERON TALOUDELLISET VAIKUTUKSET. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2002, (C, ISSN 0788-5016, No 277). ISBN 951-561-408-2.

**Abstract:** The imposition of CO<sub>2</sub>-reduction target can be studied purely theoretically, for example what are the economic impacts of different instruments (taxes, quotas etc.) that achieve the same CO<sub>2</sub>-target. On the other hand calculations based on economic models produce concrete estimates of the economic impacts of CO<sub>2</sub>-emission abatement policies. In this discussion paper we present both theoretical and practical aspects of CO<sub>2</sub>-emission abatement.

Inevitable consequence of a binding CO<sub>2</sub>-constraint is the generation of scarcity rent. In the case of a CO<sub>2</sub>-tax this rent is taxed to all purchasers of fossil fuels while other taxes can be lowered to an extent commensurate the revenue of CO<sub>2</sub>-tax (so called tax recycling). In the case of grand-fathered emission quotas the same rent is 'privatised'. The user price of energy (price of heat and power) are the same in both cases, but economic consequences are different.

In a purely domestic policy setting the level of CO<sub>2</sub>-tax required to achieve first commitment period emission target for Finland varies from about 100 FIM (17 €) to about 200 FIM (34 €) per ton of CO<sub>2</sub>. More nuclear power capacity or more import of electricity lowers the required CO<sub>2</sub>-tax; nuclear option by about 100 FIM and the import of electricity by about 65 FIM. As a consequence also the CO<sub>2</sub>-tax revenue varies greatly depending on options in electricity generation. In the case of more nuclear capacity CO<sub>2</sub>-tax revenue is smaller than the revenue of energy taxes in the baseline scenario, thereby necessitating to apply tax recouping rather than tax recycling in order to maintain the balanced budget principle.

The macroeconomic impact of CO<sub>2</sub>-tax is a decline of 0,2%-0,4% in household consumption from the baseline level compared to baseline in the year 2010 and about 0,3 % decline in gross domestic product in the year 2010. The impact on energy intensive industries is larger leading to about 1,5 % decline in production volume in the year 2015.

**Key words:** carbon tax, climate policy, environmental taxes

## Yhteenveto

Suomen kasvihuonekaasupäästöjen sopeuttaminen ns. Kioton sopimuksen ja siihen liittyvän EU-taakanjaon mukaiseksi aiheuttaa väistämättä yksityistaloudellisia ja kokonaistaloudellisia kustannuksia. Toisaalta kustannukset ilmenevät yritysten ja kotitalouksien suurempia tuotanto ja -elinkustannuksina kallistuneen energian vuoksi sekä toisaalta kokonaistalouden tasolla pienempänä kulutuksena, tuotantona ja työllisyytenä. Taloudellisia seuraamuksia on erityisesti tärkeimmän kasvihuonekaasun eli hiilidioksidin päästöjen rajoittamisella.

Suomea koskeva kasvihuonekaasupäästötavoite on vuoden 1990 kasvihuonekaasupäästöjen taso. Energiajärjestelmämallissa tavoite määritellään vuosien 2008-2012 painotettuna keskiarvona ja kasvihuonekaasupäästötavoite toteutetaan optimoimalla tärkeimpien kasvihuonekaasupäästöjen hiilidioksidin, metaanin ja di-typpioksidin päästöt. Tällöin hiilidioksidipäästöt voivat olla nelisen prosenttia korkeammat vuonna 2010 kuin vuonna 1990, mikä alentaa kasvihuonekaasupäästörajoitteen toteuttamisen kustannuksia. Päästörajoitteessa ei ole otettu huomioon kesäkuussa 2001 tehtyä Kioto sopimuksen tarkennusta eikä mahdollisten ns. joustomekanismien hyödyntämisen vaikutusta Suomen päästöjen vähennykseen. Viimeksi mainittujen seikkojen vuoksi laskettuja kustannuksia voitaneen pitää optimaalisten kustannusten maksimiarvioina.<sup>1</sup>

Hiilidioksidivero on periaatteessa väline, jolla hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen voidaan toteuttaa pienimmin energiataloudellisin ja kokonaistaloudellisin kustannuksin. Tällöin oletetaan ensinnäkin, että kokonaistaloudellisten kustannusten minimointi on ainoa tavoite. Toiseksi oletetaan, että energiantuotannon rakennemuutos, kuten uusiutuvien energialähteiden käytön lisääminen, ja energian säästö ovat välineitä hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Niihin ei siis pyritä sinänsä, vaan taloudessa tarvittava hiilidioksidivero määrää optimaaliset määrät uusiutuvien hiilidioksidipäästöttömien energialähteiden käyttöä sekä optimaalisen määrän energian säästöä.

Hiilidioksidivero tuottaa mallilaskelmissa minimikustannukset, joista voidaan käytännön politiikassa poiketa muun muassa määräämällä pakotettua energiansäästöä energiansäästönormeilla tai käyttämällä energiaveroja, jotka eivät ohjaa energiantuotannon rakennemuutokseen. Tässä tutkimuksessa saavutettavat kustannukset ovat siis ikään kuin teoreettisia minimikustannuksia oletettujen energiataloutta koskevien rajoitusten vallitessa.

Tämä tutkimus on viimeinen osa Valtion taloudellisessa tutkimuskeskuksessa suoritetusta ns. Kioto-tutkimusohjelmasta, joten hiilidioksidiveron kokonaista-

---

<sup>1</sup> Mikäli hiilidioksidin nielutkin otettaisiin huomioon Suomen kokonaiskustannukset voisivat olla vieläkin alhaisemmat. Laskelmat perustuvat vuoden 2001 alun tilanteeseen (taustalla ovat Ilmastostrategian laadinnassa käytetyt perusskenaariot).

loudelliset vaikutukset lasketaan samalla mallijärjestelmällä kuin laskettiin Suomen ilmastostrategian kokonaistaloudelliset kustannukset. Samoin taustaoletukset ovat suurelta osin samoja. Esimerkiksi talouden ja energiatalouden perusurat ovat samat

Energiantuotannon perusvaihtoehdotkin ovat osittain samat, eli joko lisäydinvoiman rakentaminen tai ilman lisäydinvoimaa olettaen lisäksi, että sähkön tuonti on korkeintaan kuusi terawattituntia. Tässä tutkimuksessa lisäksi turvetta koskee alarajarajoite, jonka mukaan turpeen käyttömäärän pitää olla sama tai suurempi kuin on vuoden 1990 turpeen käyttömäärä. Muut oletukset, kuten maakaasuverkon laajuus, energialähteiden hinnat yms. ovat samat kuin mitä on käytetty Ilmastopoliittisen strategian kokonaistaloudellisten vaikutusten arvioinnissa.

Tässä tutkimuksessa suoritetaan ydinvoimakapasiteetin ohella herkkyytarkastelua sähkön tuonnin suhteen eli vaihtoehtoisesti oletetaan sähkön tuonnin määräytyvän oletetun tuontitarjonnan kustannusten ja Suomen sähköntuotannon rajakustannusten perusteella, jolloin sähkön tuonti voi olla korkeintaan 15 terawattituntia. Toisessa vaihtoehdossa sähkön tuonti on sama kuin Ilmastopoliittisessa strategiassa, jolloin se voi olla korkeintaan kuusi terawattituntia.

Sähkön tuontimahdollisuutta voidaan perustella useilla tekijöillä. Ensinnäkin kokonaistalouden tasolla sähkön tuonti, joka on kansainvälisten sopimusten perusteella tuojamaan näkökulmasta hiilidioksidipäästötöntä sähköä, voi toimia energijärjestelmän joustavuutta lisäävänä tekijänä, jolloin energiataloudelliset kustannukset ja näin myös kokonaistaloudelliset kustannukset todennäköisesti alentuvat.

Toiseksi Suomen energiantuotantoa ja erityisesti erillistä sähköntuotantoa koskeva hiilidioksidipäästörajoite kohottaa väistämättä sähköntuotannon kustannuksia, erityisesti hiilidioksidipäästöjä aiheuttavan sähköntuotannon kustannuksia, jolloin energiainmarkkinoilla syntyy kiihoke hiilidioksidipäästövapaan tuontisähkön hankintaan. Toisin sanoen markkinatoimijoiden itsekkyyks ja markkinoiden arbitraasiperiaate johtavat siihen, että myös käytännössä tuontisähkö on realistinen vaihtoehto.<sup>2</sup>

Sähkön tuonti ja lisäydinvoima ovat usein esillä sekä energiapoliittisessa että ilmastopoliittisessa keskustelussa. Ydinvoimasta oletetaan, että sen tuotantokustannukset perustuvat ydinvoiman teknis-taloudellisiin ominaisuuksiin ja olemas-

---

<sup>2</sup> Hiilidioksidipäästörajoite aiheuttaa esimerkiksi hiilidioksidiverolla toteutettuna yksityistaloudellisia kustannuksia, joista seuraa (itseks) kiihoke väistää näitä kustannuksia hankkimalla hiilidioksidipäästövapaata ja vähemmän hiilidioksidipäästöjä aiheuttavaa energiaa. Kilpailullisessa taloudessa taloudentomijoiden ponnistukset lisäävät ko. vaihtoehtojen määrää ja itse asiassa seurauksena on hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannusten alentuminen, vaikka rajakustannusten alentuminen vähentää taloudenpitäjien hyötyä ko. ponnistuksista. Sen sijaan ei kilpailullisessa taloudessa hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen todennäköisesti pahentaa talouden tehottomuutta.

sa olevan lainsäädännön mukaisesti maksuihin ja normeihin.<sup>3</sup> Tuontisähkön tarjonta perustuu Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa tehtyyn arvioon tuontisähkön määrästä ja kustannuksista. Tuontisähkön kustannus ei sisällä tuottajamaan mahdollisesti perimää hiilidioksidipäästön hintaa.

Taulukossa 1. on esitetty tässä tutkimuksessa tarkasteltujen rajoitusskenaarioiden ominaisuudet.

*Taulukko 1. Hiilidioksidiverolaskelmien rajoitusskenaariot.*

		Erillisen sähköntuotannon vaihtoehdot	
		Ei lisäydinvoimaa	Lisäydinvoimaa
Sähkön tuontimahdollisuusvaihtoehdot	Sähkön tuonti korkeintaan 6 TWh	Rajoitusskenaario <b>OP1</b>	Rajoitusskenaario <b>OP2</b>
	Sähkön tuonti korkeintaan 15 TWh	Rajoitusskenaario <b>OP1S</b>	Rajoitusskenaario <b>OP2S</b>

Laskelmissa hiilidioksidiverolla korvataan nykyiset lämmöntuotannon polttoaineiden verot ja sähkövero. Hiilidioksidivero perustuu polttoaineen hiilipitoisuuteen eli käytännössä laskennalliseen hiilidioksidipäästöön. Lisäksi hiilidioksidivero koskee myös erillisen sähköntuotannon polttoaineita. Täydellisestä kaikkia hiilidioksidipäästöjä koskevasta hiilidioksidiverosta tehdään kolme poikkeusta.<sup>4</sup> Ensinnäkin biopolttoaineita ei veroteta, koska niiden hiilidioksidipäästöistä aiheutuvan ns. säteilypakotteen muutoksen oletetaan olevan nolla 100 vuoden tarkasteluajanjaksolla. Toiseksi hiilidioksidivero ei koske liikennepolttonesteitä eli liikennepolttonesteiden verotus perustuu nykyiseen energiaverotukseen. Liikennepolttonesteitä ja bioenergiaa koskevat oletukset vastaavat Suomen ilmastostrategian veroratkaisuja ko. osiltaan. Raudan ja teräksen valmistuksen pelkistyspolttoaineet ovat kolmas poikkeus täydellisestä hiilidioksidiverosta eli niille ei aseteta hiilidioksidiveroa.

<sup>3</sup> Tällöin ydinvoimalla tuotetun sähkön tuotantokustannuksiin vaikuttaa suomalaisten ydinvoimaloiden korkea käytettävyys.

<sup>4</sup> Tarkkaan ottaen turpeen käyttöä koskeva alaraja merkitsee sitä, ettei turpeella tulosten kannalta ole täyttä hiilidioksidiveroa. Vastaavasti myös laskelmissa voimassa olevat biopolttoaineiden tuet voidaan määrittellä 'negatiiviseksi hiilidioksidiveroksi'.

Kun sähköntuonti on rajoitettu kuuteen terawattituntiin ja lisäydinvoimaa ei rakenneta (OP1), Suomen kasvihuonekaasupäästöpäästötavoitteen toteuttava hiilidioksidivero on reilut 200 markkaa hiilidioksiditonnia kohden. Kun sähköntuontin mahdollisuudet oletetaan VTT:n arvioimiksi, tarvittava hiilidioksidivero ilman lisäydinvoimaa alenee noin 135 markkaan tonnia kohden (OP1S). Vastaavasti tapauksessa, jossa rakennetaan lisäydinvoimaa ja sähkön tuonti on kuusi terawattituntia tarvittava hiilidioksidivero on reilut 100 markkaa (OP2). Sähkön tuontimahdollisuus alentaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa muutamalla markalla (OP2S).

Koska tarvittava hiilidioksidivero eli päästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero vaihtelee huomattavasti, mutta hiilidioksidipäästöt eli veropohja on käytännössä vakio, myös hiilidioksidiverokertymä vaihtelee huomattavasti. Hiilidioksidiveron suuri vaihtelu johtuu siitä, että se asetetaan energianjärjestelmämallilaskelmissa hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannusten mukaan, joihin energiantuotannon vaihtoehdot vaikuttavat merkittävästi. Rajoitusskenaariossa, jossa ei ole lisäydinvoimaa ja sähkön tuonti on kuusi terawattituntia (OP1) hiilidioksidiveron kertymä on vuonna 2010 noin kolme miljardia markkaa suurempi kuin mikä on nykyisen energiaverotuksen kertymä. Kahdessa lisäydinvoiman sisältävässä rajoitusskenaariossa (OP2 ja OP2S) hiilidioksidiveron kertymä on noin 1,4 miljardia markkaa pienempi kuin mikä on nykyisen energiaverotuksen kertymä. Rajoitusskenaariossa, jossa ei ole lisäydinvoimaa, mutta sähkön tuontimahdollisuudet ovat suuret (OP1S), hiilidioksidiveron kertymä on suurin piirtein sama vuonna 2010 kuin mikä olisi nykyisten energiaverojen kertymä.

Toisin sanoen mikäli energiaverotuksella pyritään pelkästään hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamiseen tarvittava hiilidioksidivero ja näin myös hiilidioksidiverokertymä vaihtelee huomattavasti energiantuotantovaihtoehdon mukaan.

Energianjärjestelmämallin tulosten perusteella ainoastaan joustamattomimmassa tapauksessa eli rajoitetuimmassa tapauksessa ilman lisäydinvoimaa ja sähkön tuonnilla kuusi terawattituntia (OP1) hiilidioksidipäästörajoittaminen edellyttää merkittävää sähkön käytön tehostamista eli sähkön säästöä. Rajoitusskenaariossa OP1 sähköä säästetään noin 3,8 terawattituntia eli noin neljä prosenttia. Muissa rajoitusskenaariossa sähkön käyttö on suurin piirtein sama kuin on perusskenaariossa vuonna 2010.

Hiilidioksidivero, joka koskee siis myös erillisen sähköntuotannon polttoaineita, johtaa energiantuotannon rakennemuutokseen. Kaikissa rajoitusskenaariossa vähennetään erillisessä sähköntuotannossa merkittävästi kivihiilen käyttöä ja lisätään maakaasun käyttöä. Luonnollisesti lisäydinvoima korvaa suhteessa kallista maakaasua, samoin sähköntuonti. Lisäydinvoima korvaa myös puubiomassaa. Turve on kaikissa rajoitusskenaarioissa sen käytön alarajalla. Missään rajoitusskenaariossa kivihiilen käyttö erillisessä sähköntuotannossa ei lakkaa kokonaan,



vaan kivihieillä tuotetaan erillisessä sähköntuotannossa 1,5-2 TWh sähköä ja eniten tuotetaan rajoitusskenaariossa OP1.

Hiilidioksidivero johtaa kaikissa rajoitusskenaariossa sähköntuotannon lisäykseen sähkön ja lämmön yhteistuotannossa perusuraan verrattuna. Eniten yhteistuotantosähköntuotanto lisääntyy rajoitusskenaariossa OP1 noin 2,1 TWh ja vähiten rajoitusskenaariossa OP2S noin 0,4 TWh. Yhteistuotannossa tuotetun sähkön määrän lisäys johtuu yhteistuotantosähkön alhaisesta laskennallisesta hiilidioksidipäästökertoimesta sekä kohonneesta sähkön hinnasta.

Kokonaistaloudelliseen malliin viedään energiajärjestelmämallilla lasketut välittömät kustannukset, joista toinen osatekijä on edellä esitetty hiilidioksidiverokertymä. Toinen osatekijä on suorat kustannukset, jotka koostuvat pääosin energiankäytön tehostamisen eli energiansäästön kustannuksista. Luonnollisesti suorat kustannukset riippuvat tarvittavasta hiilidioksidiverosta. Lisäydinvoiman sisältävissä rajoitusskenaariossa suorat kustannukset ovat noin miljardi markkaa vuonna 2010 (OP2, OP2S). Rajoitusskenaariossa ilman lisäydinvoimaa ja sähkön tuonnilla kuusi terawattituntia (OP1S) suorat kustannukset ovat noin kaksi miljardia markkaa ja sähkön tuontimahdollisuus (OP1S) alentaa suoraa kustannuksia ilman lisäydinvoimaa noin puolella miljardilla markalla.

Kaiken kaikkiaan kasvihuonekaasupäästörajoitteen toteuttamisen välittömät kustannukset (toisin sanoen kustannusten ja energiaverojen kokonaismuutos perusuraan verrattuna) vaihtelevat noin puolen miljardin markan säästöstä noin viiden miljardin markan lisäkustannuksiin. Hyvin joustavan energiantuotannon tapauksessa (lisäydinvoima) energiatalouden kustannuksia voidaan siis alentaa ja joustamattomimmassa tapauksessa ilman lisäydinvoimaa ja kuuden terawattituntin sähköntuonnilla lisäkustannukset ovat noin viisi miljardia markkaa.

Kokonaistalouden tasolla energiaverokertymän lisäys tai vähennys on ns. kierrätettäviä kustannuksia. Niillä on toimialakohtaisia vaikutuksia energianhinnan muutoksen vuoksi, mutta niiden vaikutus kokonaiskysyntään ja kokonaistuotantoon neutraloidaan takaisinkierrätyksellä. Kahdessa lisäydinvoiman sisältävässä rajoitusskenaariossa kotitalouksien tuloveroja korotetaan energiaverokertymän pienentymisen vuoksi ja rajoitusskenaariossa OP1 kotitalouksien tuloveroa alennetaan hiilidioksidiveron tuotoilla. Yhdessä rajoitusskenaariossa, kuten jo todettiin, energiaverokertymä ei juurikaan muutu.

Periaatteessa verojen takaisinkierrätys kumoo energiaverojen muutoksesta seuraavan hintatason muutoksen, koska voidaan olettaa muiden hyödykkeiden hintojen alentuvan suurin piirtein energiaverojen kierrätyksen määrällä.<sup>5</sup> Tällöin talouden hintataso ja viime kädessä myös hintakilpailukyky muuttuu pääasiassa

---

<sup>5</sup> Koska talouden suhteelliset hinnat muuttuvat, kotitalouksien ostovoiman palautus ei ole hyödyn saavuttamisen mielessä aivan täydellinen.

suorien kustannusten muutoksen verran. Korkeimmat noin kahden miljardin markan suorat kustannukset ovat noin 0,2 % vuoden 2010 arvioidusta bruttokansantuotteesta ja alimmillaan ne ovat noin 0,1 %.

Kokonaistaloudellisissa mallissa välittömät kustannukset aiheuttavat bruttokansantuotteen alentumisen 0,2-0,3 % vuoden 2010 tasolta ja kotitalouksien kulutuksen alentumisen 0,2-0,4 %. Teollisuuden raskaiden toimialojen tuotannon muutokset ovat vuonna 2010/2015 välillä -0,2 - (-1,4). Laskelmissa käytettävällä mallilla etenkin teollisuudenalojen reaktio hintakilpailukyvyn heikentymiseen on vielä kesken vuonna 2015 ja muilla menettelyillä arvioituna hiilidioksidiverosta johtuva kustannusshokki alentanee enimmillään kemian teollisuuden sekä massan ja paperin valmistuksen pitkän aikavälin tuotantoa (rajoitusskenaariossa OP1) noin kymmenellä prosentilla.

Hiilidioksidivero kohdentuu mallilaskelmissa varsin suoraviivaisesti energiankäytön mukaan, mikä selittää muun muassa raskaan teollisuuden suhteellisen suuret välittömät kustannukset. Sähkömarkkinoilla ei kuitenkaan välttämättä kohdenneta kustannuksia aivan samalla tavoin, joten todennäköisesti teollisuuden osuus kustannuksista on pienempi, jolloin kotitalouksien ja palveluiden osuus on suurempi. Tällöin myös viimeksi mainittujen suorat kustannukset lisääntyvät ja teollisuuden vähenevät. Teollisuuden korkeita kustannuksia voidaan kompensoida tarvittaessa myös poliittisilla päätöksillä esimerkiksi suuntaamalla hiilidioksidiverojen tuotto pääomaverotuksen alentamiseen. Myös muut ko. toimialan ja sektorin hiilidioksidipäästöistä riippumattomat hyvitysmenettelyt ovat mahdollisia.

Hiilidioksidivero mittaa periaatteessa hiilidioksidipäästörajoitteen sitovuutta eli se mittaa energiajärjestelmämallissa, kuinka 'vakava' kasvihuonekaasupäästörajoite on energiantuotannon kustannusten kannalta. Siis, kuinka paljon hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa energiajärjestelmän minimikustannuksiin. Se mittaa myös energiajärjestelmän joustavuutta hiilidioksidipäästörajoitteen vallitessa.

Taloudellisissa mallissa hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen aiheuttaa energian hintaan väistämättömän lisätekijän, jota voidaan kutsua hiilidioksidipäästörajoitteesta aiheutuvaksi niukkuushinnaksi. Hiilidioksidipäästöjen niukkuudesta seuraa energian hinnan nousu, energian säästö, kulutuksen ja tuotannon rakennemuutos sekä vakavan hiilidioksidipäästörajoitteen tapauksessa myös kulutuksen ja tuotannon tason alentuminen.

Hiilidioksidiveron tapauksessa tämä niukkuus verotetaan yhteiskunnalle ja hiilidioksidiverojen tuotolla voidaan alentaa muita veroja. Mikäli hiilidioksidipäästöt jaetaan esimerkiksi ilmaiseksi energiantuottajille sama niukkuus synnyttää yksityistaloudellisia ylimääräisiä liikevoittoja. Siinä määrin kuin voittoja verotetaan hiilidioksidipäästöjen niukkuustuotoilla voidaan alentaa muita veroja. Energian

käyttäjän kannalta em. menettelyt tuottavat identtisen energian kuluttajahinnan, mutta menettelyiden kokonaistaloudelliset vaikutukset eroavat toisistaan.

Energian kuluttajien kannalta oleellista on energiajärjestelmän joustavuus. Kyseistä joustavuutta voidaan mitata esimerkiksi arvioimalla, kuinka paljon energiankäytön yksikkökustannukset, mukaan lukien energiantuotannon rakenteen muuttamiseen ohjaavien verojen kustannukset, kohoavat prosenteissa, kun energiankäytön hiilidioksidin yksikköpäästöjä (esimerkiksi hiilidioksidipäästö per tuotettu sähköyksikkö) vähennetään tietty prosenttimäärä. Laskelmissa osoittautuu, että Suomen Kioto-tavoitteen päästövähennyksellä energiajärjestelmän kustannusjouston arvo on suhteellisen alhainen eli arviolta noin 0,6. Toisin sanoen hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentaminen 30 prosentilla kohottaa energian verollisia käyttökustannuksia noin 18 prosenttia.

Energiankuluttajien kannalta on ko. jouston arvolla oleellista toteutetaanko energiantuotantoa koskeva hiilidioksidipäästörajoite energiaverolla vai rakennemuutokseen ohjaavalla verolla, kuten hiilidioksidiverolla. Voidaan osoittaa, että ko. joustavuudella energiantuotannon rakennemuutoksella toteutettu hiilidioksidipäästörajoite aiheuttaa vain noin kymmenesosan siitä hyvinvointitappiosta, mikä aiheutuu ko. päästötavoitteen toteuttamisesta energiaverotuksella.

Energiapolitiikalla, kuten lisäydinvoiman rakentamisella ja sähkön tuontirajoituksilla, vaikutetaan merkittävästi energiantuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöjen rajoittamisen kustannusjousto. Joustavampi energiantuotanto on kiistatta kokonaistalouden ja energiankäyttäjien taloudellisen edun mukaista, mutta se ei aina väistämättä ole yksittäisten energiantuottajien intressien mukaista.



# Sisällys

<b>1 Johdanto</b>	<b>1</b>
<b>2 Hiilidioksidipäästörajoite ja taloudellinen hyvinvointi</b>	<b>5</b>
2.1 Hiilidioksidipäästörajoitteen taloudelliset vaikutukset	5
2.2 Pientä avointa taloutta koskeva hiilidioksidipäästörajoite	14
2.3 Hiilidioksidipäästöjen niukkuuden hinnoittelun vaikutukset	19
2.3.1 Energiantuotantoon kohdistuvat ohjaukeinot ja toimenpiteet	21
2.3.2 Energian kulutuksen ohjaus	30
2.3.3 Energiantuotannon rakenteen muutoksen hyvinvointivaikutukset vs. energiansäästön hyvinvointivaikutukset	34
2.4 Hiilidioksidipäästörajoite ja verotus	37
2.4.1 Panosten välinen vero-optimi	37
2.4.2 Energiaverokertymän takaisinkierätyksen kokonaistaloudelliset vaikutukset	41
<b>3 Suomalaiset tutkimustulokset hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusvaikutuksista</b>	<b>49</b>
3.1 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vaikutukset energiajärjestelmässä	49
3.2 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudelliset vaikutukset	54
<b>4 Hiilidioksidiverolaskelmien periaatteet ja tulokset</b>	<b>59</b>
4.1 Laskelmien taustaoletukset ja periaatteet	59
4.2 Energiajärjestelmämallin tulokset	61
4.2.1 Energiantuotannon rakenne ja energian säästö	61
4.2.2 Välittömät kustannukset	67
4.3 Kokonaistaloudelliset vaikutukset	71
4.4 Tulosten tulkintaa ilmastopolitiikan toteuttamisen kannalta	75
<b>5 Yhteenveto ja johtopäätökset</b>	<b>83</b>
<b>Lähteet</b>	<b>97</b>



# 1 Johdanto

Kasvihuonekaasupäästöjä, erityisesti hiilidioksidipäästöjä, koskeva rajoite ei ole teoreettinen kuriositeetti. Euroopan Unionin niin sanotuissa taakanjakoneuvotte- luissa Suomen ilmastopoliittiseksi tavoitteeksi tuli kasvihuonekaasupäästöjen pysyttäminen vuoden 1990 tasolla vuosien 2008-2102 keskiarvolla laskettuna. Useimmissa Suomen taloutta kuvaavissa ns. perusskenaarioissa kasvihuonekaa- supäästöt ovat 15-20 % suuremmat vuonna 2010 kuin mikä on em. Suomen kas- vihuonekaasupäästötavoite.<sup>6</sup>

Kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani (CH<sub>4</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O) ja ns. 'uudet kaasut' HFC, PFC, SF<sub>6</sub>. Kasvihuonekaasut voidaan jakaa käytännön poli- tiikan kannalta kolmeen lohkoon. Ensinnäkin pieni osa kasvihuonekaasuista eli uudet kaasut ovat merkitykseltään vähäisiä ja niitä on varsin hankalaa kustan- nustehokkaasti korvata muilla kaasuilla tai aineilla. Toinen kaasujen ryhmä koostuu metaanista ja dityppioksidista, joiden merkitys kasvihuonekaasuna on huomattavasti suurempi ja joiden vähentäminen on suhteellisen kustannusteho- kasta. Itse asiassa metaanipäästöt vähenevät jo niin sanotussa perusskenaariossa, koska jätehuoltoa koskevat EU-direktiivit vähentävät kaatopaikkojen me- taanipäästöjä. Myös dityppioksidipäästöjä voidaan rajoitetusti vähentää kustan- nustehokkaasti. Kolmas kaasuryhmä on hiilidioksidi, joka on merkittävin kasvi- huonekaasu (osuus kaikista kasvihuonekaasupäästöistä on noin 84 %). Hiilidiok- sidipäästöjen vähentäminen on mahdollista useillakin kustannustehokkailla toimilla.

Koska kasvihuonekaasupäästöt yhteismitallistetaan niiden ilmastovaikutuksen osalta eli kaikkien kasvihuonekaasujen päästöt esitetään samoina ekvivalentti- päästöinä, periaatteessa kaikille kasvihuonekaasuille voitaisiin asettaa päästöve- ro. Käytännössä tällainen vero ei ole hallinnollisesti mahdollinen. Esimerkiksi maatalouden metaanipäästöjä ei voida kustannustehokkaasti mitata verotuksen edellyttämällä tarkkuudella.

Kuitenkin, kun haetaan yhteiskuntataloudellista optimia mallilaskelmilla, mikäli vain on mahdollista, mallilaskelmissa kannattaa asettaa kaikille kasvihuonekaa- supäästöille niiden ekvivalenttipäästöjen mukainen vero, jota voidaan kutsua kasvihuonekaasupäästöveroksi tai hiilidioksidiveroksi, koska kaikki kasvihuone- kaasupäästöt lasketaan hiilidioksidiekvivalentteina. Kyseinen vero nimittäin to- teuttaa mallilaskelmissa kasvihuonekaasujen välisen optimin. Toisin sanoen, koska kasvihuonekaasupäästörajoite koskee yhteenlaskettuja kasvihuonekaasu- päästöjä, mallilaskelmissa hiilidioksidiverolla ratkaistaan, kuinka paljon vähen- netään metaanipäästöjä, kuinka paljon hiilidioksidipäästöjä ja niin edelleen.

---

<sup>6</sup> Suomen kasvihuonekaasupäästötavoitteessa ei ole otettu huomioon kesäkuussa 2001 sovittuja tarkistet- tuja maakohtaisia kasvihuonekaasupäästötavoitteita.

Vaikka kyseistä 'hiilidioksidiekvivalenttiveroa' ei voida käytännössä toteuttaa, käytännön politiikassa kannattaa kuitenkin jäljitellä kyseisen veron asettamisen aikaansaamia kasvihuonekaasujen välisiä 'päästökiihtiä', siis toteuttaa niiden mukaisia päästöjenvähentämistoimenpiteitä. Mikäli esimerkiksi metaanipäästöjen vähentäminen on tiettyyn rajaan saakka kustannustehokasta, metaanipäästöjä vähentämällä voidaan lisätä hiilidioksidipäästöjen kiihtiä.

Tyypillisesti energiajärjestelmämallissa kasvihuonekaasupäästöjen välinen (vero)optimi perustuu eri kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen rajakustannuksiin. Useimmissa kokonaistaloudellisissa malleissa on mallitettu energian käyttö ja energiantuotanto eli hiilidioksidipäästöt. Sen sijaan niissä ei ole harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta mallitettu esimerkiksi metaanipäästöjä. Tältä osin analyysi on ja pysyy epätäydellisenä, koska luonnollisesti kokonaisvaltainen optimointiratkaisu kasvihuonekaasupäästöjen välillä edellyttäisi, että ne on mallitettu sekä energiajärjestelmässä että kokonaistaloudellisissa malleissa. Tällöin optimissa esimerkiksi metaanipäästöjen rajoittamisen yhteiskuntataloudellinen rajakustannus vastaisi hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen yhteiskuntataloudellista rajakustannusta.

Toisin sanoen mallilaskelmissa, myös tämän tutkimuksen mallilaskelmissa, on epätäydellistä se, että hiilidioksidipäästöjen hyöty eli itse asiassa niiden rajoittamisen kustannus lasketaan ottamalla huomioon hiilidioksidipäästöjen hyöty energiantuotannossa, energian käytön hyöty tuotannossa ja kulutuksessa sekä tuotannon ja kulutuksen hyöty kotitalouksille. Esimerkiksi metaanipäästöjen hyöty eli kustannus ilmenee vain hiilidioksidipäästöjen ja metaanipäästöjen välisessä optimoinnissa energiajärjestelmämallissa.

Tutkimuksessa oletetaan, että vaikka tavoite koskeekin kaikkia kasvihuonekaasupäästöjä muiden kasvihuonekaasupäästöjen kuin hiilidioksidin suhteen ei toteuteta hiilidioksidiveroa. Sen sijaan oletetaan, että muiden kasvihuonekaasupäästöjen määrät ovat optimin mukaisia. Tällöin itse asiassa voidaan jättää huomioimatta muut kasvihuonekaasut ja voidaan keskittyä hiilidioksidipäästöihin. Toisin sanoen analyysissä ikään kuin erotetaan hiilidioksidipäästöjen optimikiintiö kaikkien kasvihuonekaasujen kiintiöstä ja tarkastellaan, kuinka kyseinen hiilidioksidia koskeva rajoite toteutetaan. Muissa vastaavanlaisissa analyyseissä vastaavanlaiseen hiilidioksidirajoitteeseen on päädytty hieman yksinkertaisemmin, koska useimmiten analyysissä ei ole muita kasvihuonekaasupäästöjä kuin hiilidioksidi.<sup>7</sup>

Hiilidioksidipäästöjä koskeva rajoite on taloustieteen näkökulmasta hyvinkin moninainen. Ensinnäkin kyseessä on rajoite, joka tekee energiasta aikaisempaa niukemman hyödykkeen ja taloustiedettä voidaan pitää niukkuuden analysoinnin

---

<sup>7</sup> Käytännön ratkaisuisissa hiilidioksidipäästöihin keskittyminen ilmenee siten, että ainoastaan hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannukset siirretään kokonaistaloudelliseen malliin.



tieteenä. Teoreettisesti voidaan esimerkiksi kysyä, kuinka niukaksi tulleet hiilidioksidipäästöt tulee kohdentaa taloudessa, jotta hyvinvointi maksimoituisi hiilidioksidirajoitteella. Voidaan kysyä esimerkiksi, kuinka markkinat kohdentaisivat niukat hiilidioksidipäästöt. Toiseksi kyseinen rajoite voidaan useimmiten toteuttaa ainoastaan julkisen sektorin ohjauksella. Koska markkinaratkaisu ei ole mahdollinen, herää kysymys siitä, millainen on julkisen sektorin toteuttama paras mahdollinen ratkaisu hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen ongelmaan. Kolmanneksi hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen liittyy useisiin mielenkiintoisiin myös taloustieteen menetelmillä analysoitaviin kysymyksiin, kuten energiantuotannon, ja kulutuksen sekä koko kansantalouden rakennemuutoksiin, viennin hintakilpailukykyyn sekä energiansäästöön.

Hiilidioksidipäästörajoitetta voidaan tarkastella useistakin näkökulmista. Tässä tutkimuksessa hiilidioksidipäästörajoitetta ja sen saavuttamisen taloudellisia vaikutuksia tarkastellaan suhteellisen lyhyellä aikavälillä noin 10-20 vuoden tähtäimellä. Tavoitteena on vähentää Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärät EU:n taakanajon mukaiselle tasolle. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamista voidaan tarkastella myös pitkän aikavälin maailmanlaajuisena tavoitteena, jolloin oleellista on, kuinka maailmanlaajuisesti kyetään pitkällä aikavälillä tuottamaan energiaa huomattavasti alhaisemmin hiilidioksidipäästöin sekä kuinka kulutus ja tuotanto voivat perustua huomattavasti vähäisempään energian käyttöön. Lyhyellä aikavälillä energiantuotantotekniikan kehitys ratkaisee suuren osan päästö-tavoitteen saavuttamisesta, mutta todennäköisesti pidemmällä aikavälillä energiansäästöttekniikan kehityksen, kulutustottumusten ja tuotantomuotojen muutoksen merkitys on suurempi.

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vaikutuksia talouteen sekä teoreettisesti että mallilaskelmilla. Mallilaskelmat perustuvat samaan mallijärjestelmään, jolla arvioitiin Suomen ilmastostrategian vaihtoehtojen kokonaistaloudelliset vaikutukset. Tässä julkaisussa mallijärjestelmää ei kuvata tarkemmin, koska se on kuvattu aikaisemmin ilmestyneissä raporteissa.

Tämä tutkimusraportti on viimeinen osa Valtion taloudellisessa tutkimuskeskuksessa toteutetun monivuotisen ns. Kioto tutkimusohjelman tutkimuksista.

Tutkimuksen rakenne on seuraava. Luvussa kaksi kuvataan hiilidioksidipäästörajoitteen vaikutuksia talouteen, erityisesti kuluttajien hyvinvointiin ja kuvataan millaisilla menettelyillä julkinen valta tyypillisesti pyrkii toteuttamaan kansantaloutta koskevan hiilidioksidipäästörajoitteen. Luvussa kaksi käsitellään myös hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen ja energiaverotuksen välistä suhdetta.

Luvussa kolme esitetään suomalaisia mallilaskelmiin perustuva tuloksia hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen taloudellisista vaikutuksista. Luvun lopuksi esitellään lyhyesti myös suomalaisia tuloksia energiaverojen takaisinkierrätysmenettelyiden kokonaistaloudellisista vaikutuksista.

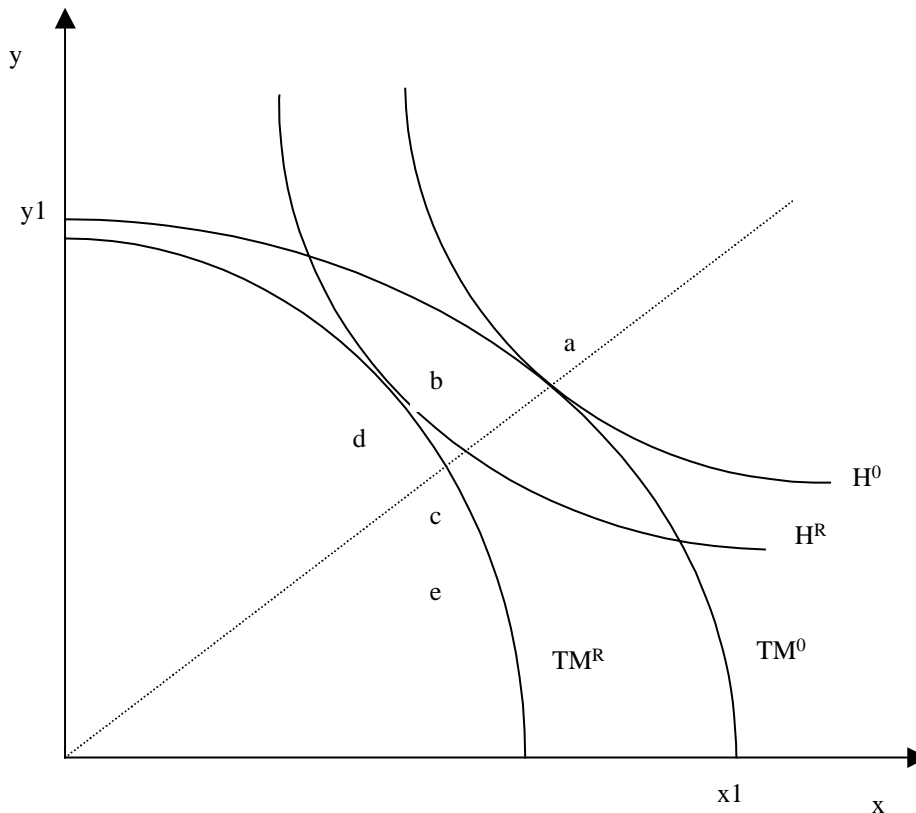
Luvussa neljä esitellään tulokset Suomen ns. Kioton tavoitteen toteuttamisen kokonaistaloudelliset vaikutukset, kun hiilidioksidipäästöjä rajoitetaan hiilidioksidiverolla. Tuloksista esitellään sekä energiajärjestelmämallin että kokonaistaloudellisen mallin tuloksia.

Luvussa viisi esitetään yhteenveto ja johtopäätökset.

## 2 Hiilidioksidipäästörajoite ja taloudellinen hyvinvointi

### 2.1 Hiilidioksidipäästörajoitteen taloudelliset vaikutukset

Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vaikutusta talouteen voidaan havainnollistaa esimerkiksi taloustieteen perusoppikirjoissa esitettävällä talouden tuotantomahdollisuuksien joukolla ja talouden tehokkaalla tuotantomahdollisuuksien käyrällä.



*Kuvio 1. Talouden tuotantomahdollisuudet, optimivalinta ja hiilidioksidipäästörajoite.*

Kuviossa 1 esitetään kahden hyödykkeen  $x$  ja  $y$  tuotantomahdollisuudet ilman hiilidioksidipäästörajoitetta ja hiilidioksidipäästörajoitteella. Tehokkaita tuotantomahdollisuuksia esittää kuviossa 1 tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrä. Kyseinen käyrä on ilman hiilidioksidipäästörajoitetta  $TM^0$  ja hiilidioksidipäästörajoitteella se on  $TM^R$  kuviossa 1. Mikäli talouden kaikki voimavarat (työ, pääoma jne.) käytettäisiin alkutilanteessa (perusskenaariossa siis ilman hiilidioksidipäästörajoitetta) hyödykkeen  $x$  tuotantoon sitä voitaisiin tuottaa määrä  $x1$ .

Vastaavasti mikäli kaikki voimavarat käytettäisiin hyödykkeen  $y$  tuotantoon sitä voitaisiin tuottaa määrä  $y_1$ . Pisteiden  $x_1$  ja  $y_1$  välillä sijaitseva käyrä ilmaisee maksimituotantoyhdistelmät hyödykkeitä  $x$  ja  $y$ . Se on siis em. tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrä ja taloudessa on mahdollista tuottaa tehottomasti, jolloin tuotantoa kuvaava piste sijaitsee em. käyrästä origoon päin alueella  $Ox_1y_1$ .

Kuluttajien valintaa ja hyötyä kuvaavat samahyötykäyrät  $H^0$  ja  $H^R$ , jotka ilmaisevat, missä suhteessa hyödykkeitä  $x$  ja  $y$  täytyy vaihtaa toisiinsa, jotta kuluttajan hyöty säilyy ennallaan. Kauempana origosta sijaitseva samahyötykäyrä merkitsee korkeampaa hyödyn tasoa. Talouden optimi, jossa siis saavutetaan maksimihyöty annetuilla resursseilla eli tuotantomahdollisuuksilla, on ilman hiilidioksidipäästöjä pisteessä  $a$  ja hiilidioksidipäästörajoitteella pisteessä  $b$ . Optimissa tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrä ja samahyötykäyrä sivuavat toisiaan.

Kuviolla 1 voidaan havainnollistaa kahta oleellista hiilidioksidipäästörajoitteeseen liittyvää seikkaa. Ensinäkin mikäli kyseessä todella on rajoite, mikä kuviossa 1 ilmenee tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrän siirtymisenä origoa kohti, kuluttajien hyöty väistämättä alentuu. Näin tapahtuu siinäkin tapauksessa, että toimitaan tehokkaasti eli uudessakin tilanteessa taloudessa tuotetaan tehokkaalla tuotantomahdollisuuksien käyrällä.

Toiseksi talouden rakenne muuttuu, koska voidaan olettaa, että tilanne on juuri sellainen kuin on esitetty kuviossa 1. Hyödyke  $x$  on suhteessa hyödykkeeseen  $y$  hiilidioksidi-intensiivisempi, esimerkiksi hyödykkeen  $x$  suuremman energiain-  
tensiivisyyden vuoksi. Siksi tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrä siirtyy suhteessa enemmän  $x$ -akselilla origoa kohden kuin  $y$ -akselilla. Mikäli hyödykkeiden  $x$  ja  $y$  hiilidioksidi-intensiivisyydet olisivat täysin samat tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrä siirtyisi samansuuntaisesti origoa kohden.

Toisin sanoen hiilidioksidipäästörajoite merkitsee sitä, että taloudessa ei voida tuottaa enää yhtä paljon kuin aikaisemmin, mutta suhteessa vähemmän voidaan tuottaa hiilidioksidi-intensiivistä hyödykettä. Esimerkiksi mikäli pääomasta tulisi syystä tai toisesta aikaisempaa niukempaa, tämä merkitsisi, että pääomanintensiivisiä hyödykkeitä voitaisiin tuottaa suhteessa aikaisempaa vähemmän.

Talouden tuotantorakenne muuttuu hiilidioksidipäästörajoitteen vuoksi, koska voidaan olettaa, että kuluttajien mieltymykset eivät muutu.<sup>8</sup> Tuotantomahdollisuuksien epäsymmetrisen muutoksen vuoksi eli hiilidioksidipäästörajoitteen vuoksi hyödykkeestä  $x$  on tullut suhteessa kalliimpaa kuin aikaisemmin ja siksi

<sup>8</sup> Kuvio 1 on laadittu olettaen, että kuluttaja välittää vain hyödykkeiden  $x$  ja  $y$  määristä eikä muusta. Tämä on tietysti epärealistista, koska todellisuudessa kuluttajat välittävät myös esimerkiksi tuotannon ja kulutuksen ympäristövaikutuksista. Tällöin ainakin osa hyödykkeiden kulutuksessa kuluttajille aiheutuvasta tappiosta kompensoituu sillä, että ympäristön laatu paranee. Pidemmällä aikavälillä voidaan olettaa kuluttajien mieltymystenkin voivan muuttua.

sitä kulutetaan vähemmän hiilidioksidipäästörajoitteen vallitessa kuin ilman rajoitetta. Uudessa optimissa eli pisteessä  $b$  hyödykettä  $x$  kulutetaan suhteessa vähemmän kuin hyödykettä  $y$ , kun verrataan tilanteeseen ilman hiilidioksidipäästörajoitetta. Kuviossa 1 tämä ilmenee siten, että piste  $b$  sijaitsee vasemmalle alkutilanteen mukaisesta katkoviivalla piirretystä hyödykkeiden  $x$  ja  $y$  kulutussuhdetta kuvaavasta suorasta.

Mikäli tavalla tai toisella talouden rakennemuutos estetään hyvinvointi on alhaisempi kuin rakennemuutoksen tapauksessa. Hiilidioksidipäästörajoitteen vallitessa ilman kulutuksen ja tuotannon rakennemuutosta hyödykkeiden  $x$  ja  $y$  välinen kulutussuhde säilyy alkutilanteen mukaisena. Tällöin kulutetaan ja tuotetaan katkoviivan ja tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrän leikkauspisteen eli pisteen  $c$  mukaisesti, jolloin kuluttajien hyvinvointi on alhaisempi kuin tehokkaassa tapauksessa (siis pisteen  $b$  mukaisessa tilanteessa).

Kuvio 1 ilmentää tilannetta tietyntä tulevaisuuden ajanjaksona esimerkiksi vuonna 2010, jolloin tuotantomahdollisuudet olisivat kuvion 1 mukaiset. Koska talouden oletetaan kasvavan hiilidioksidipäästörajoitteenkin vallitessa talouden tuotanto on suurempi kuin on esimerkiksi vuoden 2001 tuotanto. Toistaiseksi missään rajoitusskenaariossa absoluuttinen tuotanto ei käänny laskuun eli hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen ei johda taantuvaan talouteen, vaan hitaammin kasvavaan talouteen.

Edellä viitattiin yksinkertaisesti hyödykkeiden  $x$  ja  $y$  hiilidioksidintensiivisyyteen ja sen muutokseen.<sup>9</sup> Todellisuudessa hyödykkeiden hiilidioksidintensiivisyyteen ja sen muutoksen vaikuttavat monet tekijät. Ensinnäkin siihen vaikuttaa se, kuinka energiantuotannossa hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää ja toiseksi, kuinka energian käyttöä voidaan tehostaa. Itse asiassa energiantuotannon joustavuus tässä suhteessa vaikuttaa kaikkien hyödykkeiden tilanteeseen, mutta erityisesti se vaikuttaa energiaintensiivisten hyödykkeiden tuotantoon ja kulutukseen.

Energiajärjestelmän joustavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä etenkin mahdollisuutta muuttaa energiantuotantoa vähemmän hiilidioksidipäästöjä aiheuttavaksi ja näiden muuttamiskustannusten suuruutta. Energiajärjestelmän joustavuus on hyvin monen tekijän summa tai tulo eli se riippuu muun muassa siitä, kuinka polttoaineita voidaan sähkön ja/tai lämmöntuotannossa korvata toisillaan, voi-

---

<sup>9</sup> Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminenhan kustannustehokkaasti ei ole käytännössä mahdollista ellei ko. hyödykkeiden hiilidioksidintensiivisyydet alene. Periaatteessa hiilidioksidipäästörajoite voidaan toteuttaa pelkästään vähentämällä ko. hyödykkeiden tuotantoa ja kulutusta. Tämä talouden 'hiilidioksidipäästörajoitteelle skaalausvaihtoehto' on kuitenkin hyvin kallis menettely. Koska rajoitusskenaarioissa hiilidioksidipäästöjä vähennetään noin 16 % perusskenaarion päästötasolta, skaalausvaihtoehdossa kansantalouden tuotantoa ja kulutusta tulisi alentaa samaiset 16 %! Mikäli energiantuotannossa ja energian käytössä ei olisi lainkaan joustavuutta skaalausvaihtoehto olisi ainoa keino toteuttaa hiilidioksidipäästörajoite.

daanko sähkön ja lämmön yhteistuotannon rakennusastetta nostaa kustannustehokkaasti, voidaanko rakentaa lisäydinvoimaa ja millä kustannuksilla sekä siihen vaikuttaa myös tuontisähkön määrä ja hinta.

Empiirisesti energiajärjestelmän joustavuus voidaan määritellä esimerkiksi energian käyttökustannuksen (ml. hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen ohjaavat verot) prosenttimuutoksen ja hiilidioksidin yksikköpäästöjen (hiilidioksidipäästöt/tuotettu energiamäärä) prosenttimuutoksen suhteena. Tyypillisesti tässä tutkimuksessa (rajoitusskenaariossa OP1) sähkön ja lämmöntuotannon (pois lukien erillinen lämmöntuotanto) hiilidioksidin yksikköpäästöt alenevat hiilidioksidiveron vuoksi noin 30 % ja energian käyttökustannus nousee noin 18 %, joten energiajärjestelmän kustannusjouston arvoksi saadaan noin 0,6. Toisin sanoen sähkön ja lämmöntuotannon hiilidioksidipäästöjen yksikköpäästöjen alentaminen kymmenellä prosentilla kohottaa hiilidioksidiverollisia sähkön ja lämmön käyttökustannuksia noin kuudella prosentilla.<sup>10</sup> Kyseistä kustannusjouston itseisarvoa voidaan pitää suhteellisen alhaisena eli energiajärjestelmä on joustava, mikä selittää suhteellisen pienet kokonaistaloudelliset kustannukset. Mikäli energiantuotannossa on mahdollisuus tuontisähköön ja/tai lisäydinvoiman rakentamiseen energiajärjestelmän kustannusjouston itseisarvo on huomattavasti pienempi ja näin ovat myös kokonaistaloudelliset kustannukset ovat edelleen pienemmät (luku 5).

Vaikka tässä tutkimuksessa energiajärjestelmän hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusjouston itseisarvo osoittautuu varsin alhaiseksi, voitaneen ns. vähenevien tuottojen vuoksi olettaa, ko. että jouston arvo suurenee, kun hiilidioksidipäästöjä edelleen vähennetään. Jossakin kohtaa päästöjen vähennysuraa kustannukset kasvavat nopeasti eli jouston itseisarvo kasvaa nopeasti. Pidemmällä aikavälillä tietenkin tekninen kehitys vaikuttaa kustannusjouston arvoon.<sup>11</sup>

Nimenomaan energiantuotannon suurempi joustavuus merkitsee kaikkien hyödykkeiden tuotannossa pienempää muutosta rajoittamattomaan tilanteeseen eli perusskenaarioon verrattuna, mutta suhteessa eniten siitä hyötyvät energiaintensiiviset toimialat (hyödykkeet). Energiantuotannon muutos, kuten polttoainerakenteen muutos, alentaa energian hiilidioksidi-intensiivisyyttä, josta välillisesti hyötyvät kaikkien hyödykkeiden ja palveluiden tuottajat sekä lopulta kuluttajat. Tässä tutkimuksessa esitetään, missä määrin hiilidioksidipäästörajoitteen toteutumiseen vaikuttaa energiantuotannon rakennemuutos ml. polttoainerakenteen

<sup>10</sup> Sähkön ja lämmön kotitalouksien kuluttajahinnasta noin puolet on tuotantokustannuksia. Vastaavasti teollisuuden kuluttajahinnassa on suhteellisen vähän muita kuin tuotantokustannuksia. Kuten yllä jo todettiin jouston arvoa ei voida laskea suoraan eli se täytyy epäsuorasti arvioida perusuran yksikkökustannusten kustannusten ja kustannusten muutosten avulla. Tekstissä esitettävät joustoarviot perustuvat Valtion taloudellisessa tutkimuskeskuksessa tehtyihin energiajärjestelmämallin tuloksia hyödyntäviin apulaskelmiin.

<sup>11</sup> Esimerkiksi noin kymmenen vuoden kuluttua käytössä on polttoaineen kaasutukseen perustuvaa poltoteknikkaa, jolla puunjalostusteollisuuden uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen merkittävästi tehostuu. Vuonna 2020 kyseistä tekniikkaa käytetään jo useissa tuotantolaitoksissa pääoman luontaisen korvaamisen vuoksi.

muutos (hiilidioksidipäästöjä alentava) ja missä määrin energian käytön tehostaminen (energiansäästö).

Energiajärjestelmän joustavuudella on siis periaatteessa raja-arvoina nolla ja miinusääretön. Ensiksi mainittu jouston arvo toteutuisi mikäli hiilidioksidipäästöjen yksikköpäästöjen alentaminen ei lainkaan vaikuttaisi energian käyttökustannukseen. Jälkimmäinen toteutuisi silloin, kun hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentaminen olisi käytännössä mahdotonta. Tällöin energian kuluttajan kannalta olisi samantekevää käytetäänkö energiankäytöstä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen alentamiseen esimerkiksi sähköveroa tai hiilidioksidiveroa, joka ei kuitenkaan johda yksikköpäästöjen alentumiseen sähköntuotannossa. Toisin sanoen hyvin joustamattoman energiantuotannon tapauksessa ainoa keino hiilidioksidipäästöjen alentamiseen on energian säästöllä toteutuva hiilidioksidipäästöjen vähentyminen (luku 2.4.3).

Toinen edellä mainittu tekijä, joka vaikuttaa tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrän siirtymiseen on se, kuinka hyödykkeiden  $x$  ja  $y$  tuotannossa on mahdollista korvata energiaa muilla tuotantotehtävillä lähinnä pääomalla. Tätä energian korvaamista pääomalla voidaan kutsua myös energiansäästökseksi.<sup>12</sup> Tuotantomahdollisuuksien käyrän siirtymiseen vaikuttaa hyödykkeen alkutilanteen energiantensiivisyyden lisäksi myös em. korvaamismahdollisuudet. Vaikka hyödyke olisikin energiantensiivinen, sen suhteellinen hinta voi nousta vähemmän kuin vähemmän energiantensiivisen hyödykkeen mikäli ensiksi mainitun hyödykkeen tuotannossa on paremmat energian korvaamismahdollisuudet kuin toiseksi mainitun hyödykkeen tuotannossa. Käytännössä kuitenkin tuotteen energiantensiivisyys eli energiankäyttö lopputuoteyksikköä kohden määrää pitkälti, kuinka paljon hyödykkeiden suhteellisen hinnat nousevat. Hyödykkeiden erot energia- ja hiilidioksidipäästöintensiteetissä ovat hyvin suuret (Mäenpää & Tervo 1994).

Käytännössä esimerkiksi hiilidioksidiveron vaikutus energiantuotannon rakentamiseen ja energian hintaan on suhteellisen yksinkertaisesti mallitettavissa. Sen sijaan energiansäästön ja energiansäästömarkkinoiden mallitus on huomattavasti hankalampaa. Esimerkiksi tyypillisesti teknis-taloudellisen mikrotason analyysin perusteella tietyt energiansäästötekniikat ovat kustannustehokkaita ratkaisuja jo nykyisillä energianhinnoilla. Toisaalta kuitenkin ko. tekniikoita ei kuitenkaan käytännössä valita. Todennäköisesti kuitenkin juuri tällä osa-alueella joustavuus voi käytännössä olla suurempi kuin etukäteen arvioidaan ja todennäköisesti

---

<sup>12</sup> Energiajärjestelmämallissa energiansäästötoimia kutsutaan energiankäytön tehostamistoimiksi. Taloustieteilijät kutsuvat ko. ilmiötä energian korvaamiseksi pääomalla ja/tai työllä. Yleisessä keskustelussa käytetään termiä energiansäästö, joka ei kuitenkaan ole kovin selkeästi määritelty. Esimerkiksi voi olla epäselvää tarkoitetaanko energiansäästöllä ominaiskulutuksen muutosta ja/tai tuotannon/kulutuksen tason muutosta. Tässä tutkimuksessa energiansäästöllä tarkoitetaan ominaiskulutuksen muutosta esimerkiksi tietyn huonelämpötilan saavuttamiseen tarvittavan (primääri)energiamäärän (kuten lämmityssähkön) muutosta. Energian säästön määrittelyä on tarkastellut muun muassa Kasanen (Kasanen 1990).

joustavuutta voidaan lisätä suuntaamalla julkista tukea nimenomaan energiansäästötekniikoiden käyttöönottovaiheeseen ja markkinointiin (Perrels 2001).<sup>13</sup>

Periaatteessa on siis mahdollista, että taloutta koskeva hiilidioksidipäästötavoite ei ole rajoite lainkaan eli tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrä ei siirry mihinkään hiilidioksidipäästörajoitteen vuoksi. Tällöin ilmastopolitiikasta ei luonnollisesti aiheudu kuluttajien hyödyn muutosta eikä talouden rakennemuutosta. Tällainen tilanne on mahdollinen mikäli taloudessa on mahdollista tuottaa (hyöty)energiaa samoilla kustannuksilla kuin alkutilanteessa (perusskenaariossa) ja ilman hiilidioksidipäästöjä. Taloudessa voidaan siis korvata hiilidioksidipäästöjä aiheuttavia energialähteitä hiilidioksidipäästövapailla energialähteillä ilman lisäkustannuksia. Tällainen tilanne voi käytännössä toteutua mikäli taloudessa voidaan lisätä esimerkiksi vesivoiman, uusiutuvien energialähteiden tai ydinvoiman käyttöä samoilla kustannuksilla kuin ilman hiilidioksidipäästörajoitetta. Luonnollisesti pidemmällä aikavälillä tekninen kehitys vaikuttaa huomattavasti siihen, mikä on fossiilisia polttoaineita korvaavien energialähteiden kustannuskehitys.

Periaatteessa hiilidioksidirajoitteen vaikutus talouden tuotantomahdollisuuksiin voisi olla olematon myös tilanteessa, jossa energiaa voitaisiin korvata muilla panoksilla hyvin alhaisilla kustannuksilla. Toisin sanoen energiansäästö olisi hyvin edullista. Käytännössä tilanne ei ole tällainen eli energian korvaaminen muilla panoksilla aiheuttaa väistämättä lisäkustannuksia.

### *Hiilidioksidipäästöjen tehokas kohdentaminen*

Jotta taloudessa tuotettaisiin tehokkaasti eli kuviossa 1 tuotantomahdollisuuksien joukon ulkoreunalla tiettyjen seikkojen oletetaan olevan voimassa. Talouden voimavarat ovat täyskäytössä ja ne on kohdennettu tehokkaasti, jolloin tuotantokelijöiden rajatuottavuudet ovat samat. Esimerkiksi pääoman tuottavuus on sama x:n ja y:n tuotannossa, jolloin kummankaan hyödykkeen tuotantoa ei voida lisätä siirtämällä pääomaa toisen hyödykkeen tuotannosta toisen hyödykkeen tuotantoon. Vastaava koskee muitakin tuotantopanoksia, kuten sähköä.

Kuviossa 1 on oletettu, että hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan tehokkaasti. Toisin sanoen myös niukat hiilidioksidipäästöt kohdennetaan tehokkaasti. Hiilidioksidipäästöjen tehokas kohdentaminen ei kuitenkaan ole niin yksinkertaisesti määriteltävä mekanismi kuin on oikeiden markkinahyödykkeiden kohdentaminen.

Tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrällä piste b kuviossa 1 voidaan kuvitella sisältävän markkinaratkaisun mukaisen hiilidioksidipäästöjen rajoittami-

---

<sup>13</sup> Energijärjestelmämallissa oletetaan, etteivät mitkään energiankäytön tehostamistoimet ole kannattavia perusskenaarion mukaisilla energianhinnoilla.



sen ja kohdentamisen. Markkinaratkaisun mukainen tilanne toteutuisi itsestään mikäli kuvion 1 taloudessa hiilidioksidipäästöt aiheutuisivat tuontienergian käytöstä, jonka maailmanmarkkinahinta nousisi niin, että talouden tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrä siirtyisi origoa kohden, kuten se on siirtynyt kuviossa 1. Tällöin hiilidioksidipäästörajoite toteutuisi automaattisesti markkinamekanismin mukaisesti.<sup>14</sup> Tällöin seuraisi sekä kotitalouksien hyödyn alentuminen että talouden rakennemuutos.

Mielikuvitusta hyväksikäyttäen voidaan kuvitella myös sellainen markkinamekanismia hyödyntävä tapa, jossa tavalla tai toisella hiilidioksidipäästöjä aiheuttavien energialähteiden kokonaismäärä laskisi hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavalle tasolle. Tällöin kyseisiin energialähteisiin lisättäisiin markkinoilla niukkuushintaa. Esimerkiksi 'maailmanhallituksen' asettama kansainvälinen hiilidioksidivero toteuttaisi tällaisen niukkuushinnan.

Ei voida kuitenkaan olettaa, että hiilidioksidipäästörajoitteen toteutuminen tapahtuu itsestään esimerkiksi taloudenpitäjien välisillä vapaaehtoisilla sopimuksilla.<sup>15</sup> Käytännössä hiilidioksidirajoitteen toteuttamisesta huolehtii julkinen valta eli julkisen vallan toimenpiteillä hiilidioksidipäästöistä tehdään niukka tuotantontekijä niin, että hiilidioksidipäästörajoite toteutuu.<sup>16</sup>

Tilanne voidaan tulkita siten, että julkinen valta ikään kuin ottaa omistukseensa hiilidioksidipäästöt ja jakaa ne sitten, tavalla tai toisella, taloudenpitäjille. Jakomenettelyiden tehokkuudet vaihtelevat, jolloin ei enää ole itsestään selvää, että taloudessa tuotetaan tuotantomahdollisuuksien tehokkaan käyrän mukaisesti. Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen voidaan toteuttaa myös siten, että taloudessa ei tuoteta tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien mukaan. Tätä kuvaavat pisteet d ja e kuviossa 1. Pisteessä d hyödykkeitä x ja y tuotetaan oikeissa suhteissa, mutta voimavarojen epätäydellisen käytön vuoksi niitä voitaisiin kumpaakin tuottaa enemmän. Tilanteessa e resurssien epätäydellisen käytön vuoksi hyödykkeitä x ja y tuotetaan tämän lisäksi väärässä suhteessa eli hyödykettä x tuotetaan suhteessa liikaa hyödykkeeseen y verrattuna.

---

<sup>14</sup> Itse asiassa tarvittava hiilidioksidivero ilmaisee Suomen kannalta, kuinka paljon hiilidioksidipäästöjä aiheuttavan energian tulisi kallistua. Esimerkiksi rajoitusskenaariossa OPI tarvittava hiilidioksidivero on noin 200 markkaa, jolla hiilidioksidivero kivihiihdon kohden on noin 480 markkaa. Kivihiihdon maailmanmarkkinahinta on noin 200 markkaa tonnia kohden.

<sup>15</sup> Koska yksittäisen taloudenpitäjän hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen aiheuttaa lisäkustannuksia, täysin vapaaehtoisessa päästöjen rajoittamisessa voi syntyä ns. vapaamatkustajaongelma. Yksi keino ratkaista ko. ongelma on julkisen sektorin määräämät toimenpiteet, jotka koskevat kaikkia talouden toimijoita.

<sup>16</sup> Todennäköisesti öljy korvataan muilla polttoaineilla seuraavien 50 vuoden aikana taloudellisesti hyödynnettävien varantojen ehtymisen vuoksi. Sen sijaan maakaasua ja etenkin kivihiihiltä riittää seuraavaksi sadaksi vuodeksi, jonka aikana ilmastonmuutoksen torjunnan voidaan olettaa tapahtuvan. Fossiilisten taloudellisesti hyödynnettävien energialähteiden kokonaismäärä riittäisikin sellaiseen hiilidioksidipäästöjen uraan, jolla ilmastonmuutos todennäköisesti toteutuu. Fossiilisten energialähteiden luonnollinen niukkeneminen ja siitä aiheutuva hinnan nousu ei siis ratkaise ilmastonmuutoksen torjunnan ongelmaa. Torjunta edellyttääkin julkisen vallan puuttumista markkinoiden toimintaan.

Periaatteessa on kaksi syytä, miksi hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen voi johtaa tehottomaan lopputulokseen. Ensinnäkin voi olla niin, ettei millään julkisen sektorin käytössä olevalla menettelyllä voida saavuttaa 'puhtaan' markkinaratkaisun mukaista tilannetta.<sup>17</sup> Toiseksi vaikka periaatteessa tällainen menettely olisikin olemassa käytännössä päädytään tehottomaan ratkaisuun.<sup>18</sup>

Mistä sitten koostuu pisteen b mukainen tilanne, jossa talous hyödyntää täysimääräisesti sekä tavanomaiset tuotannontekijät että käytettävissä olevat eli rajoitteen mukaiset hiilidioksidipäästöt? Tilannetta voidaan havainnollistaa tutkimalla, kuinka talous siirtyy tehokkaasti pisteestä a pisteeseen b. Periaatteessa tehokkuus johtuu kahdesta samanaikaisista toteutuvasta tekijästä:

- 1) Hiilidioksidipäästörajoitteen hinnoittelusta eli kyseisen tuotannontekijän niukkuuden välittämisestä taloudentoimijoiden päätöksiin,
- 2) Tuotannontekijöiden uudelleen kohdentamisesta energiantuotannossa ja hyödykkeiden tuotannossa. Laajemmin tulkittuna mikäli kuluttajatkin tuottavat hyödykkeillä ja palveluilla hyötyä määritelmä sisältää myös kulutusrakenteen muutoksen.

Kyseiset prosessit tapahtuvat samanaikaisesti, koska hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu ohjaa energiantuotannon, tuotannon ja kulutuksen rakennemuutosta. Energiantuotannossa käytetään pääomaa ja eri polttoaineita eri tavalla kuin alkutilanteessa ja seurauksena on energian hinnan nousu. Hinnan nousu koostuu kahdesta tekijästä. Ensinnäkin tuotantotekniikoiden ja polttoainerakenteen muutoksen vuoksi energian tuotantokustannukset ovat korkeammat kuin alkutilassa (perusskenaariossa). Esimerkiksi maakaasulla tuotettu sähkö on erillisessä lauhdesähkön tuotannossa 10-20 % kalliimpaa kuin kivihiihellä tuotettu sähkö. Kyseessä on kustannus, jota ei voida välttää, mikäli erillinen sähköntuotanto perustuu maakaasuun kivihiielen asemesta. Vastaavia kustannusten muutoksia aiheutuu esimerkiksi uusiutuvien energialähteiden käytöstä, vaikka kyseiset kustannukset eivät välttämättä suoraan ilmene julkisen sektorin tukien käytön vuoksi. Toisin sanoen kyseiset kustannukset johtuvat siitä, että tuotannontekijöitä; primäärienergialähteitä, energiankantajia (sähköä, lämpöä, polttoaineita) työtä ja pääomaa käytetään eri tavalla kuin alkutilanteessa.

Tehokkuuden toteutumisen kannalta on oleellista, että energiantuotannossa kohdennetaan hiilidioksidipäästöjen rajoittamistoimenpiteet tehokkaasti, jolloin

---

<sup>17</sup> Esimerkiksi voidaan väittää, että hiilidioksidivero on sekin epätäydellinen menettely, koska taloudessa on jo muita vääristäviä veroja (luku 2.5.). On kuitenkin oltava tarkkoja vertailutilanteen kanssa. Ei ole järkevää tehokkuusmielessä vertailla verotusoptimia talouksissa, joista toista koskee hiilidioksidipäästörajoite ja toista ei koske ko. rajoite. Toisin sanoen todellinen toiseksi paras tilannekin muuttuu mikäli taloutta koskee hiilidioksidipäästörajoite.

<sup>18</sup> Esimerkiksi intressiryhmät voivat vaikuttaa siihen millä menettelyllä hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen toteutetaan (Svendsen, Daugbjerg, Hjöllund & Pedersen 2001).

energiantuotannossa käytetään hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen mahdollisimman vähän tuotannontekijöitä (pääomaa, työtä jne.). Tällöin energian verotomat tuotantokustannukset nousevat niin vähän kuin on mahdollista hiilidioksidipäästörajoitteen vallitessa. Toisin sanoen esimerkiksi tuotetulla sähkön määrällä ja sähkön tuotannosta aiheutuville hiilidioksidipäästöillä sähköntuotantokustannuksia ei voida enää alentaa. Alemmat sähköntuotannon yksikkökustannukset edellyttäisivät joko pienempää sähköntuotantoa ja/tai suurempia sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjä.

Toiseksi suorien ('reaalisten' kustannusten) lisäksi hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu nostaa energianhintaa. Toisin sanoen siitä huolimatta, että energiantuotannossa vähennetään hiilidioksidipäästöjä kustannustehokkaasti, tietyn rajan jälkeen hiilidioksidipäästöjä kannattaa vähentää muualla kuin energiantuotannossa eli energiansäästöllä, tuotannon ja kulutuksen rakennetta sekä viime kädessä tasoa muuttamalla.<sup>19</sup> Periaatteessa kyseinen hinnoittelu ei poikkea minkään muun niukan tuotannontekijän, kuten pääoman hinnoittelusta. Pidetäänhän itsestään selvänä, että energiantuotannon edellyttävät pääomakustannukset sisältyvät energian kuluttajahintaan. Hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu antaa energian käyttäjille signaalin siitä, että energiantuotannossa on käytetty niukkaa tuotannontekijää eli tässä tapauksessa hiilioksidipäästöjä.

Julkisen sektorin hinnoittelemana eli esimerkiksi hiilidioksidiverolla tai huuto-kaupattavilla päästöoikeuksilla hiilidioksidiveron tuotto palautetaan takaisin talouteen eli tässä mielessä kustannukset poikkeavat välittömistä kustannuksista, joita ei voida palauttaa talouteen. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen 'reaaliset' kustannukset aiheutuvat seuraavista rinnakkaisista muutosprosesseista:

- 1) Energiantuotannossa käytetään tuotannontekijöitä eri tavalla kuin alkutilassa
- 2) Tuotannossa käytetään energiaa ja muita panoksia eri tavalla kuin alkutilassa, esimerkiksi energian säästöön käytetään enemmän pääomaa kuin alkutilanteissa
- 3) Kuluttajat käyttävät hyödykkeitä ja palveluita eri tavalla kuin alkutilassa
- 4) Reaalipalkan alentumisen vuoksi työn tarjontaa alenee, jolloin talouden tuotantoon käytettävissä olevat resurssit pienenevät

---

<sup>19</sup> Tuotannon ja kulutuksen tason muutokset toteuttavat tämän tutkimuksen mukaan varsin pienen osan hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisesta. Myös Suomen ilmastostrategian vaihtoehtojen vaikutukset tuotantoon ja kulutukseen arvioidaan suhteellisen vähäisiksi (Forsström & Honkatukia 2001, Kemppi, Perrels & Lehtilä 2001).

- 5) Pääoman tuottavuuden alentumisen vuoksi pääoman tarjonta vähenee, jolloin talouden tuotantoon käytettävissä olevat resurssit pienenevät<sup>20</sup>

Kolmen ensiksi mainittua tekijää aiheuttavat kustannuksia tuotannontekijöiden ja hyödykkeiden suhteellisen käytön muuttumisen vuoksi ('rakennemuutosvaikutus') ja kaksi viimeksi mainittua aiheuttavat kustannuksia tuotannontekijöiden kokonaismäärän muutoksen vuoksi ('tasovaikutus').

Energiajärjestelmän suorat kustannukset siis johtuvat energiatuotannon rakenteen muutoksesta ja energiankäytön tehostamisen kustannuksista. Välittömät kustannukset (hiilidioksidivero + suorat kustannukset) aiheuttavat kokonaistaloudellisia kustannuksia. Etenkin suorien (reaalisten) kustannusten vuoksi, vaikka hiilidioksidipäästöjä rajoitetaankin tehokkaasti, talouden tuotantomahdollisuudet ovat pienemmät kuin alkutilanteessa eli perusskenaariossa, jolloin luonnollisesti ei voida saavuttaa samaa hyvinvoinnin tasoakaan.<sup>21</sup>

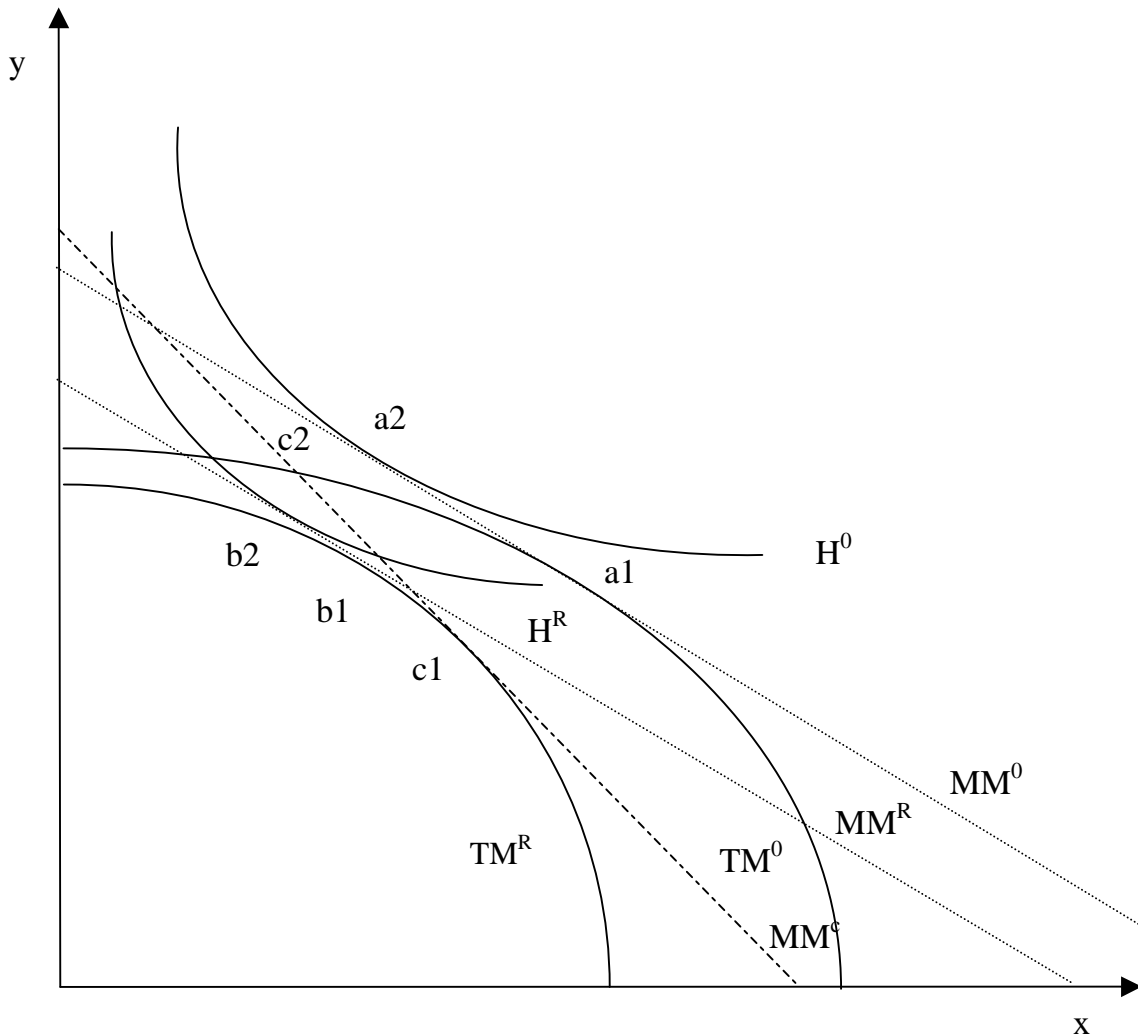
## 2.2 Pientä avointa taloutta koskeva hiilidioksidipäästörajoite

Luvun 2.1 analyysi pätee talouteen, jossa hyödykkeitä  $x$  ja  $y$  tuotetaan sekä kulutetaan eli suljettuun talouteen. Pienen avoimen talouden eli ulkomaankauppaa käyvän talouden tilanne on monimutkaisempi, mitä selvennetään kuviolla 2.

Kuvion 2 mukaisessa tilanteessa kuluttaja päätyy alkutilanteen hyötytasolle  $H^0$  hieman monimutkaisemmin kuin kuviossa 1. Talouden tuotantomahdollisuuksissa tilanne on samanlainen kuin on kuviossa 1 eli taloutta koskeva hiilidioksidipäästörajoite siirtää tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrää origoa kohden. Suora  $MM^0$  kuvaa hyödykkeiden  $x$  ja  $y$  maailmamarkkinahintaa eli hintasuhdetta, jolla hyödykkeitä  $x$  ja  $y$  vaihdetaan toisiinsa maailmanmarkkinoilla. Kuviossa 2 talous tuottaa alkutilassa, siis ilman hiilidioksidipäästörajotetta pisteen  $a1$  mukaisesti, mutta kuluttaa pisteen  $a2$  mukaisesti. Toisin sanoen kyseisen maa vie hiilidioksidi-intensiivistä hyödykettä  $x$  ja vaihtaa sitä toiseen hyödykkeeseen  $y$ . Tämä selviää, kun havaitsee, että hyödykkeen  $x$  kulutus ( $a2$ ) on pienempi kuin sen tuotanto ( $a1$ ) ja vastaavasti hyödykkeen  $y$  tuotanto ( $a1$ ) on pienempi kuin se kulutus ( $a2$ ).

<sup>20</sup> Avoimessa taloudessa pääoman määrä vähenee, koska kansainväliset pääomamarkkinat määräävät pääoman hinnan ja pääoman määrä on sopeutuva muuttuja. Käytännössä tämä ilmenee ns. hiilivuotona eli hiilidioksidi-intensiivisen tuotannon siirtymisenä muihin maihin. Suomessa pääomamarkkinoiden ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vaikutuksia pääoman tuottoasteen muutoksen kautta on tutkinut Honkatukia (Honkatukia 1998). Dynaamisessa perinteisessä makromallissa hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa pääoman tuottavuuteen, mikä vaikuttaa taloudenpitäjien säästämisalttiuteen ja tätä kautta talouden kasvuuraan.

<sup>21</sup> Tyypillisesti kokonaistaloudellisissa malleissa kuluttajan hyöty eli hyvinvointi riippuu hyödykkeiden kulutuksesta ja vapaa-ajan määrästä.



Kuvio 2. Hiilidioksidipäästörajoitteen vaikutukset pienessä avoimessa taloudessa.

Kansainvälisen kaupan ansiosta on mahdollista saavuttaa korkeampi hyöty kuin ilman kauppaa, koska hyötytaso  $H^0$  on suurempi kuin voidaan saavuttaa tehokaiden tuotantomahdollisuuksien käyrää sivuavalla hyötytason kuvaajalla (kuten kuviossa 1).

Hiilidioksidipäästörajoitteen vallitessa talouden tehokkaat tuotantomahdollisuudet ovat pienemmät eli voimassa on käyrä  $TM^R$ . Mikäli kyseinen maa toimii yksipuolisesti eli se on ainoa maa, joka vähentää hiilidioksidipäästöjään ja maa on lisäksi pieni, voidaan olettaa että maailmanmarkkinahinnat eivät muutu. Tällöin kuviossa 2 rajoitteen mukainen maailmanmarkkinoiden hintasuora on samansuuntainen kuin on alkutilanteen hintasuora. Tällöin tuotanto on pisteen  $b1$  mukainen ja kulutus on pisteen  $b2$  mukainen. Maa on edelleen hiilidioksidintensiivisen hyödykkeen viejä, mutta vienti on pienempää ja samoin tuonti. Ta-

louden pienempien voimavarojen vuoksi saavutettava hyvinvoinnin taso  $H^R$  on alhaisempi kuin alkutilanteessa.<sup>22</sup>

Mikäli muutkin maat rajoittavat hiilidioksidipäästöjään hiilidioksidi-intensiivisemmän hyödykkeen  $y$  suhteellinen maailmanmarkkinahinta väistämättä kohoaa. Tätä kuvaa maailmanmarkkinahintasuora  $MM^c$ . Tällöin talouden on mahdollista tuottaa pisteen  $c1$  mukaisesti ja kuluttaa pisteen  $c2$  mukaisesti. Saavutettava hyödyn taso on korkeampi kuin mitä saavutetaan silloin kuin toimitaan täysin yksipuolisesti, mutta se on väistämättä alhaisempi kuin alkutilanteessa.<sup>23</sup>

Kuvio 2 kuvaa yksinkertaistetusti Suomen tilannetta, koska Suomi vie hiilidioksidi-intensiivisiä tuotteita (kulutus on pienempi kuin tuotanto) ja tuo suhteessa vähemmän hiilidioksidi-intensiivisiä tuotteita (kulutus on suurempi kuin tuotanto).<sup>24</sup> Koska hiilidioksidi-intensiivisyys riippuu kahdesta tekijästä; energian hiilidioksidi-intensiivisyydestä ja tuotannon energiaintensiivisyydestä, vientiteollisuuden kohtaamaa ongelmaa voidaan ratkaista vaikuttamalla näihin kumpaankin tekijään. Tällainen politiikka ilmeni kuviossa 2 siten, että tehokkaiden tuotantomahdollisuuksien käyrä ei siirtyisikään yhtä paljon origoa kohden kuin alun pitäen oletettiin.

Mainio esimerkki hiilidioksidipäästörajoitteen vaikutuksista kansainvälisen kilpailun tapauksessa on perusmetallien valmistus. Suomessa sijaitsevan tuotannon välittömät eli pelkistyspolttoaineiden käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt (pl. ostetun energian kuten ostosähkön hiilidioksidipäästöt) ovat noin kuusi miljoonaa tonnia vuodessa. Tässä tutkimuksessa Suomen kasvihuonekaasupäästörajoitteen toteuttavaksi hiilidioksidiveroksi saadaan 100-200 markkaa, jolla ko. teollisuuden vuosittaiset välittömät hiilidioksidiverokustannukset olisivat 600-1200 miljoonaa markkaa. Toisin sanoen toimialan liikevoitto ei aina välttämättä riittäisi hiilidioksidiveron maksamiseen. Hiilidioksidiveron tapauksessa ko. tuotanto siirtyisi muihin maihin, koska Suomessa tapahtuva tuotanto olisi jopa absoluuttisesti tappiollista tai ainakin tuottaisi suhteessa kilpailijoihin liian vähän.

Mikäli hiilidioksidipäästöjä rajoitettaisiin maailmanlaajuisesti ja tehokkaasti, perusmetallien tuottajat maksaisivat kaikkialla esimerkiksi hiilidioksidiveroa, jol-

<sup>22</sup> Voimavarojen pienentyminen siis ilmenee myös viennin ja tätä kautta myös tuonin määrän alentumisena ja 'lopullisena' seurauksena on kotitalouksien kulutuksen sekä kotitalouksien hyödyn alentuminen.

<sup>23</sup> Kuviossa 2 on tietysti arvattu, mikä on uuden tilanteen mukainen maailmanmarkkinoiden hintasuora. Periaatteessa ko. hintasuora voidaan laskea maailmantalouden mallilla, jossa on mallitettu hyödykkeiden tuotannot, viennit ja tuonnit sekä otettu huomioon maakohtaiset hiilidioksidipäästökiintiöt.

<sup>24</sup> Suomen viennin ja tuonin ero hiilidioksidipäästöintensiivisyydessä ei ole kovin suuri. Vuoden 1990 panostuotostietojen perusteella arvioituna viennin hiilidioksidipäästöintensiivisyys oli 0,183 megatonnia miljardia markkaa kohden ja tuonin 0,156 megatonnia miljardia markkaa kohden (Mäenpää & Tervo 1994). Vuoden 1990 jälkeen Suomen viennin rakenne on muuttunut huomattavasti, joten lienee täysin mahdollista, että vuonna 2001 Suomen viennin hiilidioksidi-intensiivisyys on alhaisempi kuin tuonin hiilidioksidi-intensiivisyys.

loin ko. kustannus siirtyisi perusmetallien ostajien ja viime kädessä kotitalouksiin maksettavaksi. Metallin perusteollisuuden liikevoitto ei juurikaan muuttuisi, koska hiilidioksidivero siirrettäisiin tuotantokustannuksena kaikkialla kuluttajahintoihin. Suomessa sijaitsevan tuotannon suhteellinen kilpailuasema todennäköisesti jopa paranisi.<sup>25</sup>

### *Kaupankäynti hiilidioksidipäästöillä*

Hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa avoimen talouden tapauksessa talouden tilanteeseen vientihintakilpailun ohella myös panosmarkkinoiden välityksellä. Esimerkiksi mikäli maakaasun käyttöä lisäämällä pyritään ko. maan kaasumarkkina-alueella vähentämään hiilidioksidipäästöjä, maakaasun hinta nousee ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudelliset vaikutukset ovat suuremmat. Maan suhteellinen kilpailukyky ei välttämättä kärsi maakaasun markkinahinnan noususta, koska maakaasun hinnan kohoaminen voi sattumalta vaikuttaa samalla tavalla myös kilpailijamaihin, mutta joka tapauksessa hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamisen suorat kustannukset kasvavat. Tässä tutkimuksessa oletetaan, että jo perusskenaariossa maakaasun hinta nousee noin 20 % vuoteen 2010 mennessä.

Toinen seikka, joka vaikuttaa avoimessa taloudessa, on muiden maiden kasvihuonekaasupäästötavoitteet. Maille jaetut kasvihuonekaasupäästökaatit vaikuttavat pääasiassa energiavaltaisen tuotannon hintakilpailukykyyn, mutta etenkin energiahyödykemarkkinoihin (kuten öljy, kivihili, maakaasu ja sähkö).

Mikäli maille on jaettu kasvihuonekaatit, joiden vuoksi maiden kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen rajakustannukset poikkeavat toisistaan, periaatteessa rajakustannuksia voidaan tasata eli päästötavoitteen saavuttamisen kokonaiskustannuksia voidaan alentaa kahdella menettelyllä:

- 1) Päästöoikeuksien kaupalla
- 2) Käymällä kauppaa jollakin päästöihin kiinteästi liittyvällä hyödykkeellä.

Ensiksi mainitusta menettelystä on julkaistu varsin paljon teoreettisia tuloksia sekä käytännön läheisempiä malleihin perustuvia tuloksia. Tämän tutkimuksen kannalta toinen menettely on oleellinen tekijä, koska mallilaskelmissa on mukana hyödyke, jolla itse asiassa voidaan siirtää hiilidioksidipäästökaatit maasta toiseen, nimittäin sähkö. Hiilidioksidipäästökaatien ja sähkökaupan kytkentöjä on tutkittu esimerkiksi Pohjoismaisten sähkömarkkinoiden tapauksessa (Hauch 1999).

---

<sup>25</sup> Tämä koskee metallien valmistusta kokonaisuutena. Joidenkin metallien valmistuksen alatoimialojen suhteellinen asema voisi heiketä.

Suomen tilanteeseen vaikuttaa se, että se sijaitsee Venäjän naapurissa ja ilmasto-sopimuksessa Venäjälle on annettu ns. kuumaa ilmaa. Venäjä voi käyttää kuuman ilmansa eli ylimääräiset hiilidioksidipäästönsä myymällä päästöoikeuksia ja/tai myymällä hiilidioksidipäästöillä tuotettua sähköä. Suomen kannalta on periaatteessa sama ostaako se Venäjältä hiilidioksidin päästöoikeuksia vaiko hiilidioksidipäästöillä tuotettua sähköä. Venäjä hinnoittelee kummatkin menettelyt ostajan kannalta samoiksi. Sähkön siirto suhteessa suuren hiilidioksidipäästökiintiön maasta pienen päästökiintiön maahan tasaa hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannuksia samalla tavalla kuin hiilidioksidinpäästöoikeuksien kauppa.

Erillisen sähköntuotannon kilpailutilanne voi muuttua kaikkein eniten hiilidioksidipäästöjä rajoitettaessa (pl. öljynjalostus). Voitaneen nimittäin olettaa, että lähestulkoon kaikissa maissa kivihiili on erillisen sähköntuotannon polttoaine perusskenaarioissa ilman ydinvoimavaihtoehtoa. Toisin sanoen, kun kaikki edullisemmat sähköntuotantomuodot, kuten vesivoima ja yhteistuotantosähkö, ovat niiden teknis-taloudellisen kapasiteetin mukaisessa käytössä, sähköntuotannon kustannukset ja sähkön markkinahinnan määrää kivihiileen perustuva erillinen sähköntuotanto.<sup>26</sup> Tällöin kansainvälisten sähkömarkkinoiden tapauksessa maille jaetut hiilidioksidipäästökiintiöt voivat vaikuttaa voimakkaasti eri maiden erillisen sähköntuotannon kilpailukykyyn, jolloin kivihiilivoimaloita sijoitetaan suhteessa suurempien hiilidioksidipäästökiintiöiden maihin ja niillä tuotettua sähköä siirretään suhteessa pienemmän hiilidioksidipäästökiintiön maihin. Tämä on yksi maakohtaisten kasvihuonekaasukiintiöiden jaon aiheuttamista (odottamattomista) sivuvaikutuksista. Erillisen sähköntuotannon hintakilpailukykyyn vaikuttaa hiilidioksidivero, hiilidioksidipäästökiintiö ja tekniset normit. Esimerkiksi voidaan määrätä, että erillisessä sähköntuotannossa pitää käyttää maakaasua kivihiilen asemesta, jolloin hintakilpailukyky heikkenee verrattuna maihin, joissa kivihiilen käyttöä erillisessä sähköntuotannossa ei rajoiteta.

Luonnollisesti koko kansantalouden kilpailukykyyn näkökulmasta sähkön tuontiin ja vientiin liittyvä markkinamekanismi parantaa suhteessa niiden maiden asemaa, joiden hiilidioksidipäästökiintiö on suhteessa pienempi. Mikäli Suomen hiilidioksidipäästökiintiö on hintakilpailukykyyn näkökulmasta tiukka kansainväliset sähkömarkkinat voivat lieventää kilpailukykyongelmaa, mikäli sähköä voidaan tuoda Suomeen suurempien hiilidioksidipäästökiintiöiden maista. Sähkön tuontimahdollisuus onkin osa energiajärjestelmän joustavuutta.

---

<sup>26</sup> Koska ilman hiilidioksidipäästörajoitetta ja käytettävissä olevilla kivihiilen varannoilla ko. voimaloita voidaan rakentaa sähkön kysyntään suhteutettuna 'rajatta', sähkön hinnalla (ns. perusvoiman hinta) on ko. tuotantomuodon määräämä yläraja. Kyseisellä markkinahinnalla muut sähköntuottajat (kuten vesivoiman ja yhteistuotantolaitoksen omistajat) saavat ylimääräistä liikevoittoa. Kyseessä on toimialan luonteesta johtuva ylimääräinen liikevoitto (vastaavanlainen liikevoitto syntyy myös maataloudessa ja malmioiden hyödyntämisessä) eikä se johdu esimerkiksi julkisen sektorin kilpailua rajoittavista toimenpiteistä.



### 2.3 Hiilidioksidipäästöjen niukkuuden hinnoittelun vaikutukset

Hiilidioksidipäästöjen hinnoittelulla saavutetaan kaksi tavoitetta, joiden vuoksi aiheutuvat kustannukset ovat minimissään ja taloudessa tuotetaan niin paljon kuin annetuilla resursseilla on mahdollista tuottaa. Ensinnäkin energiantuotannossa hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu kohdentaa hiilidioksidipäästöjen rajoittamistoimet kustannustehokkaasti. Toisin sanoen energiantuotannon tekniikan muutos ja polttoainerakenteen muutos toteutetaan pienimmin kustannuksin. Tällöin energian tuotantokustannukset (veroton hinta) kohoaa, mutta mahdollisimman vähän.

Toiseksi energian hinnan muutoksen vuoksi (ml. edellä jo mainittu hiilidioksidipäästöjen hinnoittelun vaikutus energian hintaan) energiaa korvataan tuotannossa muilla panoksilla niin, että tuotantokustannukset muuttuvat mahdollisimman vähän. Esimerkiksi tyypillisesti energiaa säästetään investoimalla energiaa säästävään tekniikkaan niin, että tuotannon yksikkökustannusten muutos on mahdollisimman pieni. Tällöin myös vaikutus hintakilpailukykyyn on mahdollisimman pieni. Kun energiasäästöinvestoinnit ovat niin pienet kuin mahdollista, muihin tuottaviin investointeihin jää mahdollisimman paljon voimavaroja, jolloin tuotannon (tuotantokapasiteetin) muutos on pieni. Todellisuudessa tilanne on hieinan monimutkaisempi, koska osa energiasäästöinvestoinneista on tuottavia (esimerkiksi investoinnin takaisinmaksuaika on sama kuin muissakin investoinneissa) tai niiden toteuttamiseen liittyy ns. sivuhyötyjä (tuotantoprosessin muut ominaisuudet paranevat). Tällöin energiasäästöinvestointien tehokas määrä on suurempi, mutta joka tapauksessa tietyltä tasolta lähtien energiasäästöinvestoinnit kohottavat tuotannon yksikkökustannuksia.

Kolmanneksi kulutuksessa korvataan hyödykkeitä ja palveluita toisillaan niin, että kuluttajien hyödyn muutos on mahdollisimman pieni.

Edellä käytettiin hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisesta kustannustehokkaasti yleistä termiä hiilidioksidipäästörajoitteen hinnoittelu. Hiilidioksidipäästörajoite voidaan hinnoitella eli rajoite voidaan saavuttaa useilla menettelyillä, joista jokin, kuten hiilidioksidivero, toteuttaa teoreettisen optimin (kustannusminimin) ja jotkin menettelyt tuottavat jossakin määrin huonomman ratkaisun, mutta toteuttavat hiilidioksidipäästörajoitteen siedettävien kustannuksin. Kutsutaan näitä toisenlaisia ratkaisuja yleisesti toiseksi parhaiksi ratkaisuiksi.

Toiseksi parhaalla ratkaisulla voidaan tässä yhteydessä tarkoittaa itse asiassa kahta seikkaa. Ensinnäkin voidaan määritellä hiilidioksidiveroa tai hiilidioksidipäästöoikeuksien kauppaa korvaavat menettelyt energiajärjestelmän toiminnan kannalta toiseksi parhaiksi ratkaisuksi, koska ne eivät kohdena hiilidioksidipäästöjen rajoittamistoimenpiteitä tehokkaasti energiajärjestelmässä. Näitä toimenpiteitä ovat energiantuotannon rakennemuutos ja energiasäästö. Tehottomuus voi koostua siitä, että ensinnäkin energiantuotannossa ja energiasäästöissä

toimenpiteitä ei kohdenneta oikein, esimerkiksi sektori- tai toimialakohtaisesti. Toiseksi toimenpiteiden ja kustannusten jako energiantuotannon rakennemuutoksen ja energiansäästön välillä voi olla tehoton. Kolmanneksi vakavan hiilidioksidipäästörajoitteen tapauksessa myös kulutuksen ja tuotannon rakennemuutokset eivät kohdennu oikein. Kyseessä on siis suppea pelkästään päästöjen rajoittamisen kustannustehokkuuden näkökulmasta määritelty tehottomuus eli toiseksi paras ratkaisu.

Toiseksi em. energiajärjestelmän näkökulmasta kustannustehokas hiilidioksidivero voidaan määritellä toiseksi parhaaksi ratkaisuksi, koska se täytyy ottaa käyttöön taloudessa, jossa on jo muita vääristäviä veroja. Tällöin on mahdollista, että hiilidioksidivero on ikään kuin toiseksi paras ratkaisu, kun sitä verrataan teoreettiseen tilanteeseen, kuten alkutilanteeseen, jossa verotus perustuu ei-vääristäviin eli ns. könttäsommaveroihin (luku 2.5). Kyseessä on teoreettinen määritelmä, mutta sillä on myös käytännön merkitystä, koska hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen voi pahentaa verotuksen aiheuttamaa tehottomuutta.

Mikäli taloudessa ei olisi lainkaan vääristäviä veroja energiajärjestelmän näkökulmasta kustannustehokas hiilidioksidivero olisi myös kokonaistalouden näkökulmasta tehokas eli se ei olisi toiseksi paras ratkaisu. Hiilidioksidivero voidaan myös määritellä sellaiseksi, että se ottaa huomioon jo taloudessa olemassa olevat verot, jolloin se toteuttaa myös verotuksen optimin. Toisin sanoen tällöin verotus, hiilidioksidivero mukaan lukien, vähentää kotitalouksien hyötyä mahdollisimman vähän ja verotuksen reunaehtoina ovat sekä verokertymä että talouden hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttaminen.

Luvussa 2.5 tarkastellaan, kuinka itse asiassa edellä mainitut toiseksi parhaat ratkaisut joissakin tapauksissa liittyvät toisiinsa.

Hiilidioksidipäästöjen toiseksi parhaaseen hinnoitteluun eli hiilidioksidiveron kustannustehokkuuden jäljittelyyn on useita vaihtoehtoja. Edellä jo todettiin, että hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen minimikustannuksin edellyttää toimenpiteiden tehokasta kohdennusta energiantuotannossa, energiankäytössä hyödykkeiden ja palveluiden tuotannossa sekä kulutuksessa. Useimmiten hiilidioksidiveroa tai päästöoikeuksien kauppaa korvaavat toimenpiteet kohdistetaan 1) energiantuotantoon 2) energian käyttöön tuotannossa ja 3) energiankäyttöön kulutuksessa. Kaksi viimeksi mainittua kohderyhmää ovat tunnetusti yritysten energian säästö ja kotitalouksien energian säästö. Sen sijaan korvaavilla toimenpiteillä ei pyritä esimerkiksi kotitalouksien välillisen energiankäytön ohjaamiseen eli normeja ei aseteta energiaintensiivisten hyödykkeiden käytölle. Noin puolet kotitalouksien energiankulutuksesta on välillistä energiankulutusta. Kotitalouksien välillisestä energiankulutuksesta aiheutuviin hiilidioksidipäästöihin vaikutetaan tällöin energiantuotannon rakennemuutoksella.

Seuraavaksi käsitellään sekä energiantuotantoon että energiankäyttöön kohdistuvien toimenpiteiden taloudellisia seuraamuksia.

### 2.3.1 Energiantuotantoon kohdistuvat ohjauskeinot ja toimenpiteet

Energiantuotannon rakenteen muutosta hiilidioksidiveron ja sitä korvaavan päästönormin tapauksia havainnollistetaan yksinkertaistetulla kuviolla 3.<sup>27</sup> Kuviossa 3 vaaka-akselilla mitataan erillisessä sähköntuotannossa käytetyn kivihiilen määrää ja pystyakselilla käytetyn maakaasun määrää. Kivihiihtä ja maakaasua käytettäessä muodostuu jouleisokvantteja eli energiamääriä. Kyseiset jouleisokvantit vastaavat tiettyä tuotettua sähkömäärää. Kivihiilen ja maakaasun poltosta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä, joita kuviossa kuvaa 3 hiilidioksidipäästösuora PÄ. Kyseinen päästösuora on jyrkkä, koska yhdestä joulesta kivihiihtä aiheutuu noin 70 % enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin maakaasusta. Lisäksi sähköntuotannossa yhdellä joulella maakaasua voidaan tuottaa enemmän sähköä kuin yhdellä joulella kivihiihtä.<sup>28</sup>

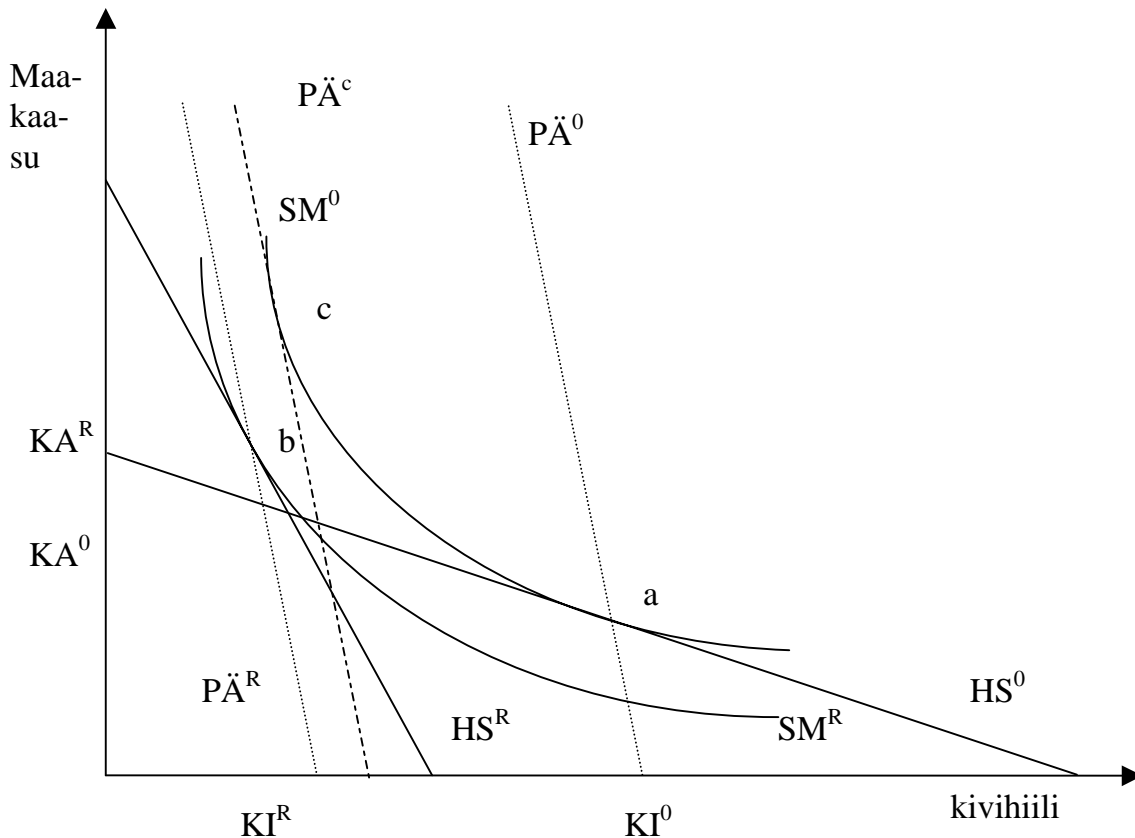
Kuviossa 3 alkutilannetta kuvaa kohta a, jossa sähköntuottajat minimoivat kustannuksensa käyttämällä suhteessa paljon kivihiihtä ja vähän maakaasua. Kustannusten minimointi perustuu polttoaineiden markkinahintoihin eli kustannussuoraan  $HS^0$ . Kustannusten minimoinnista seuraa sähköisokvantti  $SM^0$  ja hiilidioksidipäästöt  $PÄ^0$ . Kuvio 3 on piirretty olettamalla, että sähköisokvantti ja siitä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt perustuvat minimikustannusten mukaiseen sähköntuotantokustannukseen. Toisin sanoen sähköntuotannon yksikkökustannukset määräävät sähköntuotannon hinnan, joka määrää sähköntuotannon välityksellä tuotetun sähköntuotannon määrän eli myös sähköisokvantin ja aiheutuvat hiilidioksidipäästöt.

Hiilidioksidivero aiheuttaa kaksi seikkaa kuvion 3 mukaisessa tilanteessa. Ensimmäinen kustannusten minimointi edellyttää suurempaa maakaasun käyttöä kuin markkinahintoihin perustuva kustannusten minimointi. Tämä johtuu jo edellä mainitusta seikasta hiilen suuremmasta hiilidioksidipäästökertoimesta joulea

<sup>27</sup> Erilliseen sähköntuotantoon kuuluvat lisäksi tuontisähkö, ydinvoima, vesivoima, tuulivoima ja turpeella tuotettu lauhdevoima. Kuviossa 3 esitetään kahden fossiilisen pääpolttoaineen eli kivihiilen ja maakaasun väliseen valintatilanteeseen. Energijärjestelmämallissa erillisen sähköntuotannon tilanne on kuvattu monimutkaisemmin ja realistisemmin.

<sup>28</sup> Kivihiihtivoimalan hiilidioksidipäästöt ovat noin 0,8 miljoonaa tonnia tuotettua terawattituntia kohden ja maakaasuvoimalan hiilidioksidipäästöt ovat noin 0,35 miljoonaa tonnia tuotettua terawattituntia kohden. Kivihiilen hiilidioksidipäästökerroin on siis yli kaksinkertainen maakaasun päästökertoimeen verrattuna. Energiemarkkinoilla maakaasujoule on jopa kaksi kertaa kalliimpi kuin kivihiihtijoule ja huolimatta maakaasuvoimaloiden korkeasta hyötysuhteesta ja pienemmistä investoinneista sähkötehoyksikköä kohden kivihiihtellä tuotetun sähköntuotantokustannukset ovat alhaisemmat kuin maakaasulla tuotetun sähköntuotantokustannukset (Liite I), joten perustilanteessa käytetään suhteessa paljon kivihiihtä ja vähän maakaasua erillisessä sähköntuotannossa. Sähköntuotannon ja lämmön yhteistuotannossa maakaasun sijasta on kilpailukykyinen polttoaine erillisen sähköntuotannon kivihiihtivoimalan tuotantokustannusten mukaisella sähköntuotannon hinnalla, koska maakaasuvoimaloiden rakennusaste (sähköntuotannon ja lämmöntuotannon välinen suhde) on korkea.

kohden ja myös sähköyksikköä kohden. Tällöin tietyllä sähköisokvantilla sähkön tuottajan kannattaa siirtyä maakaasuintensivisempään tuotantoon.<sup>29</sup>



Kuvio 3. Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen erillisessä sähköntuotannossa.

Toiseksi sähköntuotannon yksikkökustannukset kohoavat hiilidioksidiveron vuoksi. Maakaasun käyttö on kalliimpaa ja hiilidioksidivero lisätään sähkön hintaan. Esimerkiksi 100 markan hiilidioksidivero tonnia kohden lisää maakaasulla tuotettuun sähköön hiilidioksidiverokustannusta noin 3,5 penniä kilowattituntia kohden ja kivihiilellä tuotettuun sähköön tulee hiilidioksidiverokustannusta noin 8 penniä.

Maakaasun osuuden lisääminen sähköntuotannossa kohottaa tuotantokustannuksia tuotannon korkeamman yksikkökustannuksen vuoksi, mikä alentaa sähkön kysyntää. Toisaalta maakaasuun siirtyminen vähentää hiilidioksidiveroa myytyä kilowattituntia kohden, mikä lisää sähkön kysyntää. Lisäksi sähköntuotannossa voi olla kustannustekijöitä, joiden vuoksi pelkkä maakaasun käyttö ei minimoi kustannuksia. Voiton maksimoinnissa sähköntuottajat ottavat kaikki nämä tekijät huomioon, jolloin todennäköisesti hiilidioksidiveron tapauksessa erillisessä säh-

<sup>29</sup> Toisin sanoen käytettävien polttoaineiden suhteelliset hinnat muuttuvat, jolloin kustannukset minimoiva polttoaineiden käyttösuhte sijaitsee (tässä nimenomaisessa tapauksessa) sähköisokvantilla vasemalla.

köntuotannossa ei käytetä pelkästään maakaasua, mutta sitä käytetään huomattavasti enemmän kuin perusskenaariossa (ilman hiilidioksidiveroa).<sup>30</sup>

Kuviossa 3 sähköntuotannon kohonneet yksikkökustannukset (ml. hiilidioksidiveron vaikutukset) johtavat siihen, että sähkön kysyty ja näin ollen myös tuotettu sähkömäärä on pienempi. Kuviossa 3 tämä ilmenee siten, että optimi sijaitsee origoa lähempänä sijaitsevalla sähköisokvantilla  $SM^R$  pisteessä b. Pisteessä b kohdalla sähköisokvantti sivuaa hiilidioksidiveron mukaista kustannussuoraa  $HS^R$ . Hiilidioksidipäästöt ovat kustannusminimin mukaiset eli tasolla  $PÄ^R$ .

Kuviolla 3 voidaan esittää, kuinka hiilidioksidipäästöjen vähentäminen tasolta  $PÄ^0$  tasolle  $PÄ^R$  koostuu ikään kuin kahdesta tekijästä; sähköntuotannon rakennemuutoksesta ja sähköntuotannon määrän muutoksesta. Pisteessä c päästöt ovat  $PÄ^c$  mukaiset ja pisteessä hiilidioksidiveron mukainen kustannussuora (ei piirretty kuvioon 3) tangeeraa alkutilanteen sähköisokvanttia. Hiilidioksidipäästöjen vähentyminen tasolta  $PÄ^0$  tasolle  $PÄ^c$  johtuu sähköntuotannon rakennemuutoksesta, koska määritelmällisesti sähköntuotanto on vakio. Hiilidioksidipäästöjen vähentyminen tasolta  $PÄ^c$  tasolle  $PÄ^R$  johtuu sähköntuotannon määrän muutoksesta, koska määritelmällisesti kivihiilen ja maakaasun käytösuhde on vakio. Kuvio 3 on pyritty laatimaan realistiseksi, jolloin valtaosa hiilidioksidipäästöjen vähenemästä johtuu sähköntuotannon polttoainerakenteen muutoksesta ja pieni osa sähköntuotannon määrän muutoksesta.

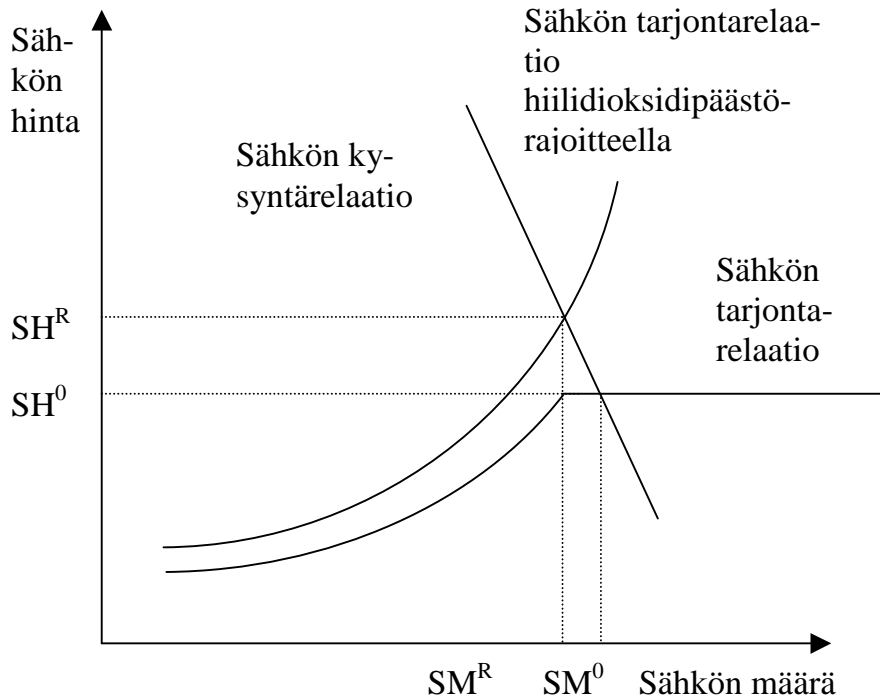
Hiilidioksidiveron tapauksessa optimi on siis pisteessä b, jolloin tuotetaan sähköisokvantin  $SM^R$  mukaisesti. Sähkön kuluttajahintaan sisältyy myös aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen mukainen hiilidioksidivero. Taloustieteessä oletetaan usein, että tuotannon minimikustannuksia kuvaava tilanne on kuvion 3 mukainen, jolloin isokvantit ovat toistensa kopioita ja aina yhtä kaukana toisistaan. Toisin sanoen tuotannon skaala ei vaikuta tuotannon yksikkökustannuksiin. Tällöin isokvantin  $SM^R$  tuottamisen yksikkökustannukset eli kustannukset ilman hiilidioksidiveroa ovat samat kuin isokvantin  $SM^0$  tuottamisen kustannukset pisteessä c, koska kummallakin isokvantilla kyseisissä pisteissä maakaasun ja hiilen käytösuhde on sama.<sup>31</sup> Sähkön kuluttajahinta ei ole sama, koska isokvantilla  $SM^0$  kohdassa c hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat kuin isokvantilla  $SM^0$  pisteessä b, jolloin samalla hiilidioksidiverolla sähkön kuluttajahinta on korkeampi isokvantilla  $SM^0$  kuin isokvantilla  $SM^R$ .

Kuvioon 4 on piirretty sähkönkysyntärelaatio sähköntuottajan näkökulmasta, jolloin sähkön kysyntä sisältää kaikki sähkön hinnan muutoksen aiheuttamat sähkön kysynnän sopeutumistoimenpiteet eli sähkön säästön, tuotannon rakenne-

<sup>30</sup> Kivihiilellä tuotetaan eri rajoitusskenaariossa erillisessä sähköntuotannossa 1,5-2 TWh sähköä (luku 5).

<sup>31</sup> Kyseessä on tyypillinen tuotantofunktion homoteettisuusoletus, jolloin tuotannon yksikkökustannukset riippuvat vain panosten välisestä käytösuhteesta eikä tuotannon tasosta silloin, kun tuotanto tapahtuu vallitsevilla panoshinnoilla minimikustannuksin.

muutoksen ja viime kädessä myös tuotannon tason muutoksen vaikutuksen sähkönkysyntään.



*Kuvio 4. Sähkön kysyntä ja tarjonta perusskenaariossa ja hiilidioksidipäästörajoitteella.*

Kuviossa 4 sähkönmäärä  $SM^0$  ja sähkönhinta  $SH^0$  vastaa kuvion 3 tilannetta a ja sähkönmäärä  $SM^R$  ja sähkönhinta  $SH^R$  vastaa kuvion 3 tilannetta b. Tällöin sähkönhinta  $SH^R$  sisältää myös hiilidioksidiverosta aiheutuvan kustannuksen.

Mikäli sähköntuottajalle asetetaan hiilidioksidipäästöjen  $PÄ^R$  mukainen hiilidioksidipäästörajoite (kuvio 3), jolloin voiton maksimointi johtaa pisteen b valintaan tai sähköntuottaja velvoitetaan normeilla käyttämään tuotannossa määrä  $KI^R$  kiivihiiltä ja määrä  $KA^R$  maakaasua, jolloin myös toteutuu pisteen b mukainen tilanne, sähköntuottajan tuottama sähkönmäärä on kuvion 4 määrän  $SM^R$  mukainen, mutta sähkönhinta ei ole tämän mukainen, koska kiintiöinnin tapauksessa sähkönhintaan sisältyvät vain tuotannon tekniset yksikkökustannukset, ei hiilidioksidiveroa. Kuitenkaan hiilidioksidipäästökiintiö ei salli sähköntuottajan tuottavan enempää sähköä kustannustehokkaasti kuin määrän  $SM^R$  kuviossa 4 tai isokvantin  $SM^R$  mukaisesti kuviossa 3.

Kuinka tämä kysytyn ja tuotetun sähkömäärän sekä sähkönhinnan välinen ristiriita ratkeaa? Ratkaisu on hyvin yksinkertainen mikäli muita mahdollisuuksia tuottaa sähköä kustannustehokkaasti ei ole tai jos on niin kyseiset mahdollisuudet

sisältyvät sähköntuottajan kohtaamaan sähkön kysyntärelaatioon kuviossa 4. Hiilidioksidiveron tapauksessa hiilidioksidipäästöjen niukkuus selittää sähkön-tuotannon kokonaishinnan ja mikäli hiilidioksidipäästöt kiintiöidään vastaavan-lainen niukkuus selittää sähkön hinnan.<sup>32</sup> Toisin sanoen hiilidioksidiveron tapa-uksessa jokin osan sähkön hinnan muutoksesta ( $SH^R - SH^0$ ) selittyy hiilidioksi-diverolla, ja hiilidioksidipäästöjen kiintiöinnin tapauksessa vastaava osa selittyy hiilidioksidipäästöjen kiintiöinnistä aiheutuvalla sähkön niukkuudella.

Hiilidioksidiveron tapauksessa osa sähkön hinnan noususta siis aiheutuu hiiliok-sidipäästöjen niukkuudesta, kun sama osa sähkön hinnan noususta selittyy hiili-dioksidipäästöjen kiintiöinnistä aiheutuvalla sähkön niukkuudella. Sähkön ku-luttajan kannalta tilanne on täysin sama, mutta talouden näkökulmasta tilanne on toinen. Hiilidioksidiveron tapauksessa hiilidioksidipäästöjen niukkuus verotetaan yhteiskunnalle ja hiilidioksidiveron tuotot palautetaan taloudenpitäjille muiden verojen alennuksina. Hiilidioksidipäästöjen kiintiöinnin tapauksessa aiheutettu sähkön niukkuus koituu voittoina sähköntuottajan eduksi ja sillä osalla millä ko. voittoja verotetaan voidaan muita veroja alentaa (luku 2.5).

Taloutta koskeva rajoite johtaa aina niukkuushinnan syntymiseen – tavalliset tuotantontekijät pääoma ja työ ovat esimerkki markkinaperusteisesta niuk-kuushinnoittelusta – ja niukkuushinnoittelun tulot voidaan hiilidioksidipäästöra-joitteen tapauksessa jakaa yksityisille taloudenpitäjille tai verottaa yhteiskunnal-le.

Mitä voidaan tehdä mikäli toisaalta ei haluta käyttää hiilidioksidiveroa eikä toi-saalta tuottaa sähköntuottajille ylisuuria voittoja sähkön kuluttajien kustannuk-silla.

Kuvion 3 perusteella havaitaan, että sähköntuotannon hiilidioksidipäästörajoit-teella  $P\ddot{A}^R$  voidaan tuottaa enemmän sähköä käyttämällä enemmän maakaasua ja vähemmän kivihiltä. Kuviossa 3 tilanne on sellainen, että kyseinen sähköntuo-tannon maksimi löytyy jonkin sähköisokvantin ja hiilidioksidipäästörajoitteen  $P\ddot{A}^R$  tangeerauskohtassa. Kivihillen 'pakkokorvaaminen' maakaasulla päästöiso-kvanttikuvaajaa  $P\ddot{A}^R$  pitkin pitää hiilidioksidipäästöt vakiona, mutta sähköntuo-tanto kasvaa. Myös sähköntuotannon yksikkökustannukset kasvavat, koska ky-seessä ei ole enää kustannukset minimoiva hiilen ja maakaasun käyttösuhde.<sup>33</sup>

<sup>32</sup> Erillisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt voidaan siis kiintiöidä esimerkiksi määräämällä, että tuottajien käytettävä  $z$  terajoulea maakaasua ja  $q$  terajoulea kivihiltä. Sen sijaan esimerkiksi maakaasun käyttöpakko ei sinänsä rajoita hiilidioksidipäästöjä millekään tasolle. Toteutuvat erillisen sähköntuotan-non hiilidioksidipäästöt riippuvat maakaasun käyttöpakon tapauksessa maakaasulla tuotetun sähkön hin-nasta, muun sähköntuotannon reaktiosta ja sähkön kysynnän reaktiosta.

<sup>33</sup> Mikäli hintasuora  $HS^0$  kuvaa markkinahintojen mukaista polttoaineiden hintasuhdetta, esimerkiksi pisteen  $c$  mukainen polttoaineiden käyttösuhde merkitsee huomattavasti korkeampia tuotannon yksikkö-kustannuksia, kun maakaasun ja kivihillen markkinahinnat eivät muutu.

Hiilidioksidivero voidaan korvata teknisellä normilla, kuten maakaasun käyttöpakolla erillisessä sähköntuotannossa (ainakin uusissa voimalaitoksissa) tai hiilidioksidipäästökiintiöllä. Mikä ratkaisu on paras sähkön tuottajien voittojen näkökulmasta ja mikä on paras sähkön kuluttajien kannalta?

Perusskenaariossa sähkön markkinahinnan määrää (yksinkertaistetusti) kivihiihellä tuotetun sähkön hinta. Mikäli kivihiihellä tuotetun sähkön määrää rajoitetaan tai määrätään esimerkiksi maakaasun käyttöpakko aiheutuu kaksi seikkaa. Ensimmäkin muun sähkön tarjonta reagoi kohoavaan hintaan eli muu sähköntuotanto (ml. sähkön tuonti) on suurempi kuin mitä se on kivihiihellä tuotetun sähköntuotantokustannusten mukaisella tasolla. Tyypillisesti tuontisähkön lisäksi myös yhteistuotantosähkön määrä voi lisääntyä sähkön markkinahinnan noustessa. Toiseksi sähkön kysytty määrä alenee sähkön hinnan nousun vuoksi.

Voidaan siis määritellä ensinnäkin muun sähköntuotannon tarjontajousto sähkön markkinahinnan suhteen ja toiseksi sähkön kysynnän hintajousto sähkön markkinahinnan suhteen. Markkinatasapaino riippuu muun muassa siitä, missä määrin muun sähköntuotanto aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä eli minkälainen päästörajoite koskee muuta sähköntuotantoa sekä siitä missä määrin ja millä kustannuksilla muuta sähköntuotantoa voidaan lisätä. Tässä tutkimuksessa muuta sähköntuotantoa voidaan varioida oletuksilla lisäydivoimasta ja tuontisähköstä.<sup>34</sup>

Voidaan erottaa erilaisia tehokkaita (sähkön markkinahinta on mahdollisimman alhainen) tuotanto- ja hintaregiimejä:

- 1) Sähkön markkinahinta ylittää maakaasulla tuotetun sähköntuotannon yksikkökustannuksen ja maakaasulla tuotetaan sähköä erillisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästökiintiön mukainen määrä.<sup>35</sup> Tällöin sähkön markkinahinnan määrää muun sähköntuotannon olosuhteet eli muun sähköntuotannon tarjonta.
- 2) Sähkön markkinahinta on maakaasulla tuotetun sähköntuotantokustannusten mukainen. Tällöin muun sähkön tarjonnan olosuhteet eli muun sähköntuotannon tarjonta ratkaisee, mikä on maakaasulla tuotetun sähkön markkinaosuus ja mikä on muun sähköntuotannon markkinaosuus.

<sup>34</sup> Tyypillisesti maakaasulla tuotettu sähkö on laskelmien mukaan noin 20 % kalliimpaa kuin kivihiihellä tuotettu sähkö. Sähköntuotantokustannus eli markkinahinta on noin puolet sähkön kuluttajahinnasta. Sähkön kysynnän hintajoustopuolella puoli maakaasulla tuotettuun sähköön siirtyminen, kun siis oletetaan sähkön markkinahinnan riippuvan täysimääräisesti erillisen sähköntuotannon kalleimman tuotantomuodon tuotantokustannuksista, aiheuttaa noin viiden prosentin muutoksen sähkön kysynnässä.

<sup>35</sup> Teknisesti voidaan laskea hiilidioksidiveroon perustuva implisiittinen hiilidioksidipäästökiintiö. Ongelmana on luonnollisesti se, että mikäli hiilidioksidipäästörajoitetta ei toteuteta hiilidioksidiverolla ko. päästökiintiö ei välttämättä ole optimaalinen. Voitaneen kuitenkin olettaa, että joissakin tapauksissa optimaalinen hiilidioksidiveron korvaava päästökiintiö ei juurikaan poikkea hiilidioksidiveron mukaisesta päästökiintiöstä.



- 3) Sähkön markkinahinta on alhaisempi kuin on maakaasulla tuotetun sähköntuotannon yksikkökustannukset. Tällöin sähköntuotannossa käytetään kivihiiltä ja sähkön markkinahinnan määrää muun sähköntuotannon olosuhteet.

Sähkön niukkuudesta eli markkinahinnan noususta on kaksi seurausta. Ensinnäkin muun sähköntuotannon kannattavuus paranee, koska sähkön hinta kohoaa. Tällöin muu sähköntuotannon tuotanto kasvaa. Toiseksi sähkön niukkuushinnasta hyötyvät ylimääräisten voittojen vuoksi kaikki sähköntuottajat paitsi se, jonka tuotantokustannukset määräävät sähkön hinnan. Olosuhteista riippuu, onko tuotantokustannusten määrääjä muu sähköntuotanto, maakaasulla tuotettu sähkö vaiko tuontisähkö.

Tekninen normi, kuten maakaasun käyttöpakko, voi joissakin tapauksissa johtaa parempaan ”toiseksi paras”-ratkaisuun kuin ilmaiseksi jaettavat päästökaupat. Tällöinkin tuotetun sähkön markkinahinta nousee, mutta vähemmän kuin ilmaiseksi jaettavien päästökauppojen tapauksessa.<sup>36</sup> Koska sähkön markkinahinta nousee, tietyille sähkön tuottajille syntyy ylimääräisiä liikevoittoja, mutta todennäköisesti huomattavasti vähemmän kuin ilmaiseksi jaettavien päästökauppojen tapauksessa.<sup>37</sup>

#### *Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen ja sähkön hinnanmuodostus*

Sähkön hinnanmuodostus voi periaatteessa perustua kahteen äärimenettelyyn ja tietysti näiden painotettuun yhdistelmään. Energiamääriin perustuva hinnanmuodostus toteutuu, kun sähkön hinta kuluttajille perustuu sähkön keskimääräiseen tuotantokustannukseen. Tällöin esimerkiksi vesivoimalla tuotettu sähkö myydään vesivoimalla tuotetun sähkön hinnalla jne. Tällöin jokaisen sähköntuotantomuodon kustannus sisältää normaalin pääomakorvauksen, muttei ylimääräistä liikevoittoa.

<sup>36</sup> Oletetaan, että hiilidioksidiveron mukainen (rajoitusskenaario OP1) implisiittinen erillisen sähköntuotannon maakaasun ja kivihiilen hiilidioksidipäästökaupat noin viisi miljoonaa tonnia jaetaan ilmaiseksi (kuvitteelliselle) yhtiölle Suomen Suvereenit Sähköntuottajat. Kyseisen yrityksen (kuvitteellinen) toimitusjohtaja H.J.A Kemppi määrää ko. päästökauppojen käytettäväksi mahdollisimman vanhoissa lauhdekivihiilivoimaloissa, koska tällöin sähköä voidaan tuottaa ko. päästökauppoilla mahdollisimman vähän, jolloin sähkön myyntihinta nousee mahdollisimman paljon ja lisäksi yhtiön sähköntuotannon yksikkökustannukset ovat mahdollisimman alhaiset. Toisin sanoen sähkön myyntihinnan ja tuotantokustannuksen välinen erotus (voitto) on mahdollisimman suuri. Fossiilisia polttoaineita käyttävät Suomessa toimivat kilpailijat eivät ole vaaraksi ylisuurille liikevoitoille, koska koko erillisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästökauppojen omistaa ko. yritys.

<sup>37</sup> Teknisen normin tapauksessa osa hiilidioksidipäästörajoituksen kustannuksesta voi siirtyä maakaasun tarjoajalle maakaasun korkeamman hinnan vuoksi. Vastaava pätee luonnollisesti myös tuontisähkössä eli Suomen sähköntuotantoa koskeva hiilidioksidipäästökaupat voi johtaa kustannusten siirtymiseen ulkomaille. Kyseessä eivät kuitenkaan ole välttämättä ylimääräiset liikevoitot, vaan kysynnän kasvusta aiheutuva tuotannon lisäyksen tuoma (luonnollinen) liikevoiton lisäys. Lisäksi kysynnän lisäys voi useimmiten kohottaa tuotannon yksikkökustannuksia eli tarjontarelaation on nouseva. Esimerkiksi VTT:n arvioima Venäjän Suomen lähialueiden sähkön tarjontarelaatio on nouseva (aivan kuten on Suomenkin sähkön tarjontarelaatio).

Tuotannon rajakustannukseen perustuva hinnanmuodostus perustuu viimeisimmän eli kalleimman sähköntuotantomuodon mukaisiin kustannuksiin. Tyypillisesti ko. kustannus määräytyy erillisen sähköntuotannon kustannusten mukaan ja useimmiten kivihieillä tuotetun sähkön mukaan. Tällöin kaikki muut sähköntuotantomuodot paitsi sähkön markkinahinnan määräävä tuotantomuoto saavat ylimääräistä liikevoittoa.

Kilpailullisilla sähkömarkkinoilla lyhyellä aikavälillä sähkön tuotanto tapahtuu tuotantomuotojen muuttuvien kustannusten mukaisessa järjestyksessä ja hinnan määrää muuttuvilta kustannuksiltaan kallein tuotantomuoto. Tällöin lyhyellä aikavälillä muut sähkön tuotantomuodot kuin muuttuvilta kustannuksiltaan kallein sähköntuotantomuoto kattavat markkinahinnan ja muuttuvien kustannusten erotuksella kiinteitä kustannuksia, käytännössä pääomakustannuksia. Pitkällä aikavälillä sähkön markkinahinta ylittää kalleimpien muuttuvien kustannusten tuotantomuodon mukaisen markkinahinnan siinä määrin, että myös ns. huippukuormaan tuottavaan sähköntuotantoon kannattaa pitkällä aikavälillä investoida. Investoinnit niin sanottuun perusvoimaan perustuvat pääosin em. muuttuvien kustannusten ja markkinahinnan erotukseen siten, että perusvoimakapasiteetti vaikuttaa (kysynnän ohella) toteutuvaan sähkön markkinahintaan (joissakin yhteisissä käytetään nimitystä sähkön rajahinta).<sup>38</sup>

Hiilidioksidiverokertymä perustuu polttoaineiden hiilipitoisuuteen, joten ko. verokertymä perustuu aina keskimääräisiin hiilidioksidipäästöihin. Sen sijaan sähköntuotannon rajakustannus ja näin ollen myös markkinahinta sisältää joko täysin tai ainakin osittain kalleimman hiilidioksidipäästöjä aiheuttavan sähköntuotantomuodon mukaisen hiilidioksidiveron.

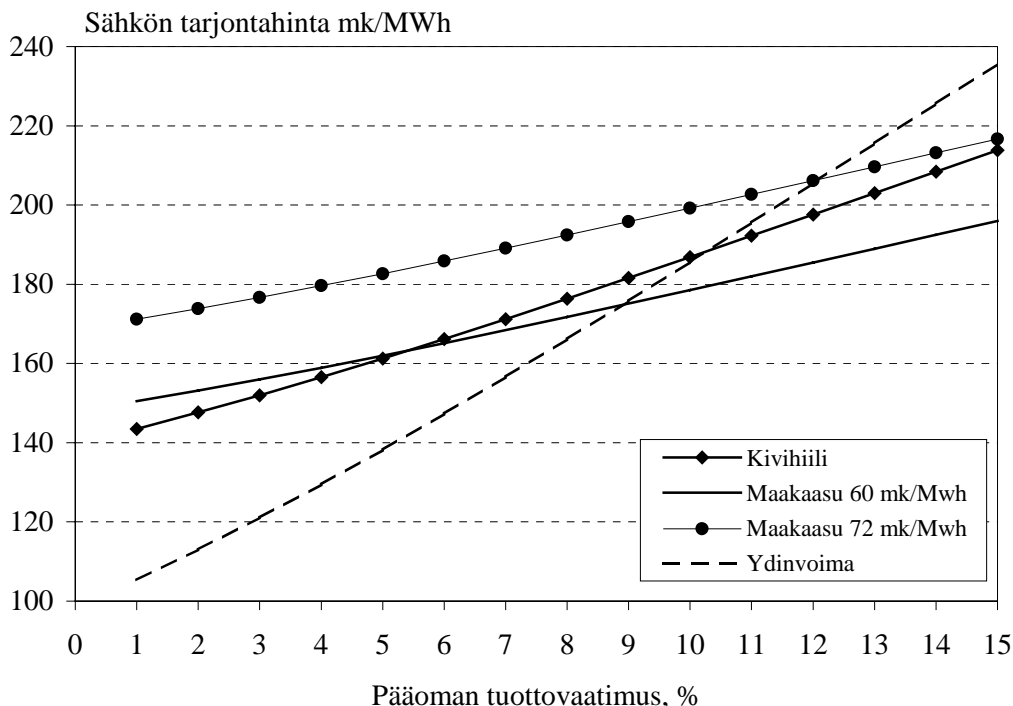
Sähköntuotantokustannuksen tai tarjontahinnan voidaan ajatella määräytyvän kahdella vaihtoehdoisella tavalla. Kustannuslaskentaan perustuvassa menettelyssä oletetaan, että pääoman tuottoprosentti on vakio, jolloin pääoman määrä tuotettua yksikköä kohden kerrottuna pääoman tuottoprosentilla tuottaa pääomakustannukset (ml. pääoman kuoletus) ja sähkön tarjontahinta saadaan lisäämällä kaikki muutkin kustannukset (työ, primäärienergia yms.).<sup>39</sup>

Pääomantuottoon perustuvassa menettelyssä sähköntuottajat asettavat sähkön markkinahinnan sellaiseksi, jolla toteutuu haluttu sijoitetun pääoman tuottoprosentti. Tämä lienee kilpailullisten sähkömarkkinoiden mukainen periaate.

<sup>38</sup> Sähkön hinnoittelusta ja investointiperusteista löytyy tietoa mm. internetistä osoitteesta: <http://www.stoft.com/x/book/index.shtm>, (Power System Economics, S. Stoft).

<sup>39</sup> Liitteessä I on esitetty esimerkki erillisen sähköntuotannon tuotantokustannuksista eri sähköntuotantomuodoilla kustannuslaskentaan perustuvassa tapauksessa.

Kuviossa 5 on esitetty sähkön tarjontahinta samoilla oletuksilla kuin mitkä ovat liitteessä I esitettävät erillisen sähköntuotannon eri tuotantomuotojen tuotannon yksikkökustannukset.



Kuvio 5. Sähkön tarjontahinnan riippuminen (vaaditusta) pääoman tuottoasteesta.

Kuvion 5 perusteella noin yhdeksän prosentin sijoitetun pääoman tuottovaatimukseen saakka ydinvoima on edullisin erillisen sähköntuotannon vaihtoehto. Hiilivoima on edullisempaa kuin maakaasuvoima, mikäli pääoman tuottovaatimus on alhaisempi kuin viisi prosenttia ja maakaasun hinta on 60 mk/MWh. Alhaisella maakaasun hinnalla (60 mk/MWh) yli viiden prosentin tuottovaatimuksella maakaasu on edullisempi kuin kivihiili. Korkea maakaasun hinta (72 mk/MWh) tekee siitä suhteessa edullisen sähköntuotannon vaihtoehdon vasta noin 12 prosentin tuottovaatimuksella.

Kuvion 5 taustalla on oletus, että investoijat päättävät sijoittavatko ne sähköntuotantoon vai ei. Tällöin sähköntuotantoon sijoitetaan silloin, kun vallitsevissa olosuhteissa pääomalle saadaan kilpailukykyinen tuotto. Päämakustannukset eli pääoman tuottovaatimus määrää sähkön markkinahinnan. Vaikka tilanne on erilainen kuin kustannuslaskentaan perustuvassa sähkön hinnan määräytymisessä, johtopäätökset ovat samanlaiset. Esimerkiksi maakaasun käyttö kohottaa sähkön markkinahintaa useimmilla pääoman tuottovaatimuksilla. Vastaavasti hiilidioksidivero voi johtaa tietyissä markkinaolosuhteissa sähkön markkinahinnan nousuun täysimääräisesti hiilidioksidiveron määrällä.

Kuvio 5 ilmentää myös sitä seikkaa, että samalla sähkön markkinahinnalla sähköntuottajien voitot poikkeavat toisistaan. Tällöin mikäli ns. vanhoilla tuottajilla on oikeus käyttää kivihiiltä ja uusilta toimialalle tulijoilta edellytetään maakaasun käyttöä kivihiilivoimalat tuottavat hyvin maakaasulla tuotetun sähkön kohottaessa sähkön markkinahintaa.<sup>40</sup>

Luonnollisesti, kuten jo todettiin, hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen voi tuottaa ylimääräistä liikevoittoa kuviossa 5 esitetyn pääoman tuottovaatimuksen lisäksi. Kuvion 5 perusteella useimmiten nimenomaan ydinvoimalat tuottaisivat erityisen hyvin mikäli ydinvoimaloilla tuotettu sähkö myydään sähkön markkinahinnalla.<sup>41</sup>

### 2.3.2 Energian kulutuksen ohjaus

Energian kulutuksen ohjaus normeilla eli energiansäästönormit ovat hieman hankalia analysoida malleilla, koska harvoissa kokonaistaloudellisissa malleissa energiankäyttö on niin yksityiskohtaisesti mallitettu, että normien kustannusvaihtelu voidaan laskea. Kuviossa 6 esitetään, kuinka periaatteessa energian käyttöön vaikuttavat energiankäytön kustannukset mukaan lukien energiaverot ja energian käyttönormit.

Kuviossa 6 vaaka-akselilla mitataan energian määrää ja pystyakselilla energian hintaa hyötyenergiayksikköä kohden. Hyötyenergian yksikköhinta sisältää kaksi tekijää. Ensinnäkin ostoenergian yksikköhinnan.<sup>42</sup> Tyypillisiä yksikköhintoja ovat sähkön hinta kilowattia kohden ja polttoöljyn hinta litraa kohden. Toinen energiankäytön yksikköhinnan elementti on energiaa hyödyntävän laitteiston yksikkökustannus ja energiaa hyödyntäviksi laitteistoiksi voidaan määritellä myös energiaa säästävät laitteet, kuten lämmön talteenottolaitteet. Laitteiston yksikkökustannus sisältää sekä pääomakustannukset että käyttökustannukset, kuten huoltokustannukset. Esimerkiksi suoran sähkölämmityksen yksikkökustannukset koostuvat sähkön kilowattihinnasta ja käytännössä sähköpattereiden pääomakustannuksista. Korkeampi sähkön hinta voi johtaa koneellisen ilmaston tapauksessa siihen, että kuluttaja investoi lämmön talteenottoon, mikä vähentää lämmitys­sähkön kulutusta, mutta lisää pääomakustannuksia.<sup>43</sup>

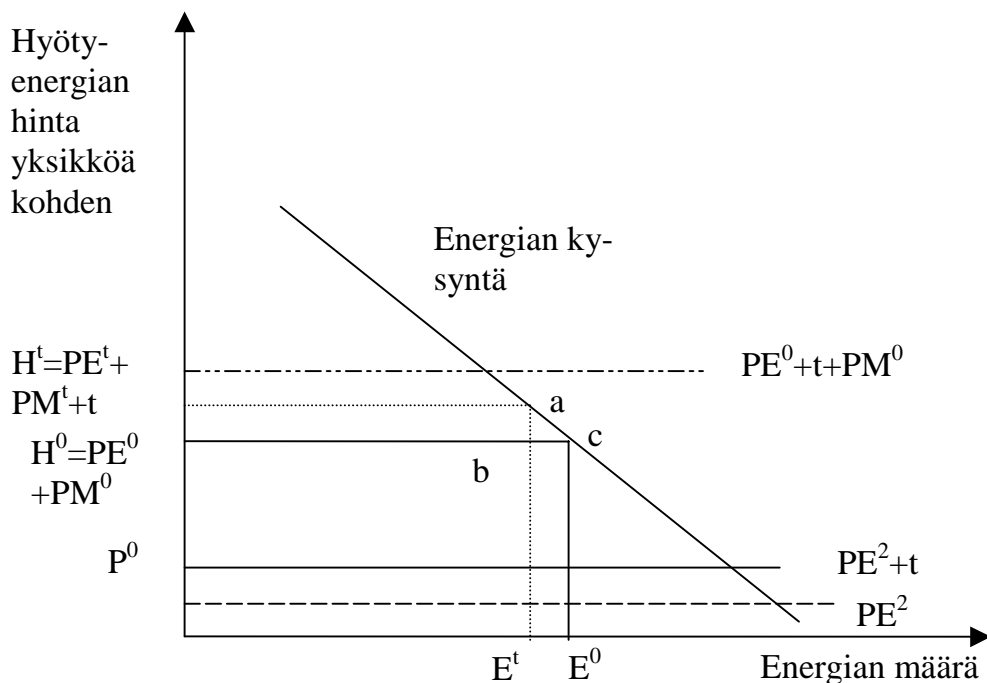
---

<sup>40</sup> Hiilidioksidiverolaskelmissa käytetään erillisessä sähköntuotannossa jossakin määrin kivihiiltä vuonna 2010. Tällöin ainakin osa kivihiilivoimalan odotettua alhaisemmasta käyttöasteesta aiheutuvasta tappiosta kompensoituu ennakoitua korkeammalla sähkön markkinahinnalla.

<sup>41</sup> Mikäli ydinvoimaloilla tuotettu sähkö myydään 'omakustannushintaan' ydinvoiman edullisuus ilmenee kuitenkin vaihtoehtokustannuslaskelmissa.

<sup>42</sup> Ostoenergialla tarkoitetaan tässä yhteydessä jotakin energiankantajaa, kuten sähköä, kaukolämpöä tai öljyä. Tekstissä käytetään vain termiä ostoenergia.

<sup>43</sup> Luonnollisesti kaikki energiansäästölaitteet tulevat huomattavasti edullisemmaksi, kun ne voidaan asentaa integroidusti uuteen asuntoon. Lisäksi valinnanvaraa on enemmän. Kuitenkin useimmiten lienee joitakin mahdollisuuksia energiansäästöön laiteinvestoinneilla.



Kuvio 6. *Energian kysynnän ja hyötyenergian yksikköhinnan välinen suhde energiaveron tapauksessa.*<sup>44</sup>

Kuvion 6 alkutilanteessa kuluttajan hyötyenergian yksikkökustannus koostuu energiankantajan yksikköhinnasta  $PE^0$  ja laitteiston käytön yksikköhinnasta  $PM^0$ . Oletetaan, että julkinen valta asettaa  $t$ :n suuruisen energiaveron, joka on alkutilanteen ostoenergianhinnan mukainen eli vero on 100 % ( $t=PE^0$ ). Mikäli kuluttaja ei lainkaan reagoi energiaveron energiakäytön yksikkökustannus on  $PE^0 + PM^0 + t$ . Oletetaan kuitenkin, että 100 prosentin vero johtaa siihen, että kuluttaja investoi energiaa säästävään tekniikkaan ja kyseisellä tekniikalla ostoenergian kulutus puolittuu.<sup>45</sup> Kyseinen investointi maksaa hyötyenergiayksikköä kohden  $PM^t$  verran.

Energiaverosta seuraa kaksi seikkaa. Ensinnäkin hyötyenergian yksikkökustannus nousee tasolle  $PE^2 + t + PM^2$ , mikä on vähemmän kuin, jos kuluttaja ei investoisi energiaa säästävään tekniikkaan. Tällöin kustannus olisi korkeampi eli  $PE^0 + t + PM^0$ . Energiaa säästävä tekniikka siis laskee hyötyenergian yksikkökustannusta. Koska energiaa kuluu vain 50 % alkutilanteen kulutuksesta, energian oston ja energiaveron yksikkökustannus puolittuu. Toisaalta ko. investointi mak-

<sup>44</sup> Kuvio 6 on raportista 'How to achieve the Kyoto Target in Belgium – modelling methodology and some results, Prost & Regemorter 2000.

<sup>45</sup> Esimerkiksi uuden tavanomaisesti rakennetun omakotitalon lämmitysenergiankulutus ( $120 \text{ kw/m}^2\text{a}$ ) voidaan suurin piirtein puolittaa investoimalla rakennusvaiheessa lisäeristykseen ja lämmöntalteenottoon.

saa  $PM^t$  verran ja kaiken kaikkiaan laitekustannukset muuttuvat  $(PM^t - PM^0)$  verran. Ostoenergian yksikkökustannus muuttuu tasolta  $PE^0$  tasolle  $(PE^0 + t)$ .<sup>46</sup>

Koska hyötyenergian yksikkökustannus kohoaa (osittain ostoenergian veron vuoksi), ostoenergian määrä vähenee alkutilanteen tasolta  $E^0$  tasolle  $E^t$ .

Koska energiaveron tuotto kierrätetään takaisin, energiaverot eivät vaikuta lainkaan energiakäytön muutoksesta aiheutuvaan kuluttajan hyvinvointitappioon.<sup>47</sup> Aiheutuva hyvinvointitappio johtuu kahdesta tekijästä:

- 1) Energiankäytön vähentymisestä aiheutuvasta hyvinvointitappiosta. Kuviossa 6 tätä mittaa kolmio abc. Kyseessä on vähentyneestä energiankäytöstä aiheutuva kuluttajan ylijäämän muutos.
- 2) Hyötyenergian kohonneista yksikkökustannuksista, jotka arvioidaan veron mukaisella ostoenergian määrällä  $E^t$ . Tämä hyvinvointitappio koostuu verottoman yksikkökustannuksen muutoksesta eli  $\{(PE^t + PM^t) - (PE^0 + PM^0)\}E^t = \{(0.5PE^0 + PM^t) - (PE^0 + PM^0)\}E^t$

Toiseksi mainittu termi mittaa siis hyötyenergian yksikkökustannuksen muutosta. Koska ostoenergian veroton hinta ei muutu, yksikkökustannusta toisaalta alentaa energiansäästön vaikutus ostoenergiankulutukseen ja toisaalta yksikkökustannusta korottaa energiansäästöinvestoinnin kustannus. Voidaan olettaa, että alkutilanteessa energiansäästöön ei hinnoilla  $PE^0$  ja  $PM^0$  investoida, joten ko. kustannus on positiivinen. Tässä tutkimuksessa energiakäytön tehostamistoimien kustannukset, jotka ovat osa energiajärjestelmämallin laskemista suorista kustannuksista, vastaavat käytännössä erotusta  $\{PM^t - PM^0\}E^t$ .<sup>48</sup>

Kuvion 6 vaaka-akselilla mitataan ostoenergian määrää. Viimekädessä kuluttaja ei saa hyötyä ostoenergiasta, vaan hyötyenergiasta. Ostoenergian hyöty on välillistä. Esimerkiksi sähkölämmityksessä ostosähkön hyöty on välillistä ja lopullista hyötyenergiaa on saavutettu huonelämpötila. Tällöin energiakuluttajan hyvinvoinnin muutoksen ensimmäinen osatekijä (kohta 1 luettelossa) mittaa huonelämpötilan muutoksen aiheuttamaa hyvinvointitappiota ja toinen osatekijä (kohta 2 luettelossa) mittaa ko. alhaisemman huonelämpötilan tuottamisen tuotantokustannusten muutosta (verojen vaikutus pl.).

<sup>46</sup> Oletusten mukaan  $PE^t = 0,5PE^0$ .

<sup>47</sup> Tällöin oletetaan, että kuluttaja voi ostaa veronpalautuksilla muita hyödykkeitä ja koska kuluttaja on optimoinut hyödykkeiden kulutuksen alkutilanteessa (hyödyn muutos on nolla), niin suuntaamalla energiaverojen veronpalautus optimin mukaisesti muiden hyödykkeiden kulutukseen energiaveron ja sen palautuksen vaikutus kuluttajan hyvinvointiin on suurin piirtein plus miinus nolla.

<sup>48</sup> Periaatteessa voitaisiin siis arvioida yksittäisen energiansäästötekniikan tai jopa tekniikoiden vaikutus kuluttajan ylijäämään eli hiilidioksidiverosta aiheutuva hyvinvointikustannus. Energiakäyttöä tehostetaan myös teollisuudessa ja palveluissa. Näillä sektoreilla tapahtuvien muutosten vaikutukset voidaan arvioida eri menettelyllä.

Käytännön ongelmana on se, että hyötyenergian kysyntää on vaikea empiirisesti havaita. Esimerkiksi lämmityssähkön kysyntään ei suoraan mittaa taustalla vaikuttavan hyötyenergian eli huonelämmön kysyntää, koska niiden välissä on lämmitystekniikka. Kuvion 6 tapauksessa ostoenergian määrät arvioidaan niihin liittyvän hyötyenergian käyttökustannuksilla, jolloin itse asiassa mitataan käytännössä hyötyenergian määrän muutoksen hyvinvointivaikutuksia (ostoenergian määrän muutoksen avulla).

Energiaveron asemesta voidaan periaatteessa määrätä veroa vastaava energiansäästönormi. Tällöin hyötyenergian verottomat yksikkökustannukset ovat veron verran alemmat, joten hyötyenergian määrä ja näin ollen myös ostoenergian määrä on periaatteessa suurempi kuin on kuvion 6 ilmaisemassa tilanteessa. Esimerkiksi huonelämpötila on periaatteessa korkeampi, koska sähköä käytetään lämmitykseen enemmän energiansäästöinvestoinneista huolimatta.

Joissakin tapauksissa, kuten huonelämpötilan tapauksessa, hyötyenergian kysynnän voitaneen kuitenkin olettaa olevan varsin joustamatonta.<sup>49</sup> Tällöin toisaalta hyötyenergian määrän muutoksesta aiheutuva hyvinvointitappio on suhteellisen pieni. Vastaavasti veroratkaisu ja normiratkaisu eivät eroa paljonkaan toisistaan, koska ostoenergian verottomuus ei juurikaan lisää hyötyenergian määrää eli ei vaikuta huonelämpötilaan.

Tällöin useissa energiaverojen ja normiohjauksen tapauksissa kohtuullisen hyvän arvio kuluttajan hyvinvoinnin muutokselle saadaan laskemalla yksikköenergiaveron/normin mukaisella hyötyenergian määrällä, käytännössä ostoenergian määrällä, hyötyenergian tuottamisen kustannusten muutos.

Koska esimerkiksi asuntojen lämmitykseen kohdistuvan energiansäästönormin tapauksessa ostoenergian määrä on jonkin verran suurempi kuin on hiilidioksidiveron tapauksessa, suuremman ostoenergian kulutuksen vuoksi hiilidioksidin päästökertoimen ostoenergian tuotannossa tulee olla alhaisempi, jotta hiilidioksidipäästötavoite toteutuu. Toisin sanoen voimavaroja tulee kohdistaa energiansäästönormin tapauksessa (verrattuna hiilidioksidiveroratkaisuun) joko energiantuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentamiseen tai tiukempaan energiankulutusnormiin. Joissakin tapauksissa tästä aiheutuvat kustannusten muutokset (kokonaiskustannusten kasvu) eivät välttämättä ole kovinkaan suuria, etenkin silloin, kun toimenpiteet valitaan kustannustehokkuusjärjestyksessä.

Toinen seikka, joka aiheutuu normiohjauksesta puhtaaseen hiilidioksidiveroratkaisuun verrattuna on kustannusten jakautuminen. Normiohjauksen voitaneen olettaa olevan alttiimpi lobbaamiselle, jolloin hiilidioksidipäästörajoitteen to-

---

<sup>49</sup> Tätä voitaneen perustella fysiologisilla seikoilla, jolloin huonelämpötilassa on tietty alaraja, joka alimennään vasta 'äärimmäisillä' hyötyenergian yksikkökustannuksilla. Toisaalta huonelämpötilan nostotakaan ei juurikaan ole kuluttajalle hyötyä.

teuttamisen kustannuksia siirretään talouden sektoreilta toisille niin, että loppu-tulos voi olla hyvinkin erilainen hiilidioksidiveroon perustuvaan kustannusmini-miin verrattuna. Toisaalta tosin käytännössä myös verojärjestelmiin ml. ympä-ristöveroihin intressiryhmät ovat vaikuttaneet varsin voimakkaasti (Svendsen, Daugbjerg, Hjöllund, Pedersen 2001).

### 2.3.3 Energiantuotannon rakenteen muutoksen hyvinvointivaikutukset vs. energiansäästön hyvinvointivaikutukset

Aikaisemmin jo todettiin, että hiilidioksidipäästörajoite useimmiten kannattaa toteuttaa sekä energiantuotannon rakennemuutoksella että energiantuotannon rakennemuutoksesta aiheutuvan energian hinnan aikaansaamalla energian käytön muutoksella. Yksinkertaistetun esimerkin avulla hiilidioksidiveroon perustuvaa optimiratkaisua voidaan verrata pelkästään energiansäästöllä toteuttavaan hiilidi-oksidi-päästöjen rajoittamisen kustannuksiin. Energian käytön muutos voidaan toteuttaa, kuten luvussa 2.4.3 esitetään energiasäästönormeilla tai energiaveroilla. Sähkövero on puhdas energiavero ja 1990-luvun alkupuoliskolla keskustelussa esillä ollut ns. EY-energiavero on osittainen energiavero. Kummatkaan eivät täysmittaisesti ohjaa energiantuotannon rakennemuutokseen, jolloin niiden hiili-dioksidipäästöjä alentava vaikutus perustuu energiantuotannon vähentymisen hiilidioksidipäästöjä alentavaan vaikutukseen.

Vertailua varten tarvitaan kaksi hyödyllistä käsitettä, joista toinen on jo talous-tieteen perusoppikirjoissa esiteltävä energian kysynnän hintajousto:

$$(1) \alpha = (\partial E / \partial H)(H/E),$$

joka ilmaisee, kuinka paljon prosenteissa energian kysyntä muuttuu, kun energi-an hinta muuttuu yhden prosentin. Kaavassa (1) E on energian määrä ja H on energian hinta. Tässä esimerkissä oletetaan ko. jouston arvoksi puoli, jolloin kymmenen prosentin muutos energianhinnassa muuttaa energian kysyntää viisi prosenttia.

Oletetaan lisäksi yksinkertaisesti, että energian verolliset tuotantokustannukset ovat puolet energian kuluttajahinnasta.<sup>50</sup> Tällöin kaava yksi korjattuna energian tuotantokustannusten muutoksen joustoksi puolittaa jouston arvon. Toisin sanoen kun energian tuotantokustannukset esimerkiksi kohoavat 20 prosenttia energian-kysyntä alenee vain viisi prosenttia. Tällöin oletetaan, että energian tuotantokus-tannukset eivät muuta verollisten tuotantokustannusten ja energian kuluttajahin-

---

<sup>50</sup> Joustot arvioidaan kuluttajahinnan muutosten avulla ja sähkön kuluttaja hinnasta (kotitaloussähkö) jakelukustannusten osuus on noin puolet. Kuten jo todettiin kuluttajan hyvinvoinninmuutoksessa on oleellista tässä tapauksessa hyötyenergian muutos. Tällöin yhtälössä (1) oleva energia tarkoittaa joko suoraan hyötyenergian määrää tai ostoenergian ja hyötyenergian välinen suhde on kiinteä.



nan suhdetta. Käytännössä tämä ei välttämättä ihan tarkkaan pidä paikkansa, koska energian kuluttajahintaa (kotitalouksille) lisätään arvonlisävero. Oletuksista seuraava harha ei kuitenkaan ole merkittävä. Merkitään korjattua joustoa muuttujalla  $\alpha'$ .

Toinen tarvittava jousto ilmaisee energian käyttökustannusten muutoksen (prosentteissa) ja energiantuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöjen muutoksen (prosentteissa välisen suhteen). Kun merkitään hiilidioksidin yksikköpäästöjä muuttujalla  $v$ , jouston kaavaksi saadaan

$$(2) \beta = (\partial H / \partial v)(v/H).$$

Mikäli kyseisen jouston arvo on esimerkiksi puoli, energiantuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentaminen kymmenellä prosentilla lisää energiankäytön verollista hintaa viidellä prosentilla. Pienempi jouston itseisarvo on kokonaistaloudellisesti parempi, koska tällöin tietyn hiilidioksidipäästörajoituksen toteuttaminen kohottaa vähemmän energian käytön yksikköhintaa. Kutsutaan kaavan (2) joustoa energiajärjestelmän kustannusjoustoksi.

Kun yhdistetään edellä esitetyt kaavat saadaan,

$$(3) \epsilon = \alpha' \beta = (\partial E / \partial H)(H/E)(\partial H / \partial v)(v/H),$$

joka ilmaisee, kuinka paljon prosentteissa energian kulutus  $E$  muuttuu, kun energiantuotannon yksikköpäästöt  $v$  muuttuvat yhden prosentin. Olettamalla kysyntärelaation alapuolisen pinta-alan mittaavan kuluttajan ylijäämää kaavan kolme joustolla saadaan lineaarisen kysynnän tapauksessa likiarvo kuluttajan ylijäämän muutoksen ja vähennetyn hiilidioksidipäästö määrän ( $P\ddot{A} = vE$ ) välille.<sup>51</sup> Likiarvo on

$$(4) \Delta YJ / \Delta P\ddot{A} \approx (H/v) \{ \epsilon / (1 + \epsilon) \}$$

Mikäli jouston  $\epsilon$  arvo kasvaa, koska yhtälön (2) jouston arvo kasvaa, tietyn hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoitteen vaikutukset kuluttajien ylijäämään suurenevät. Ääritapauksessa energiajärjestelmän yksikköpäästöjen kustannusjousto lähestyy ääretöntä, jolloin esimerkiksi hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentaminen energiatuotannossa ei ole lainkaan mahdollista. Tällöin yhtälön (4) raja-arvona on  $(H/v)$ , mikä voidaan tulkita myös kuluttajan ylijäämän muutokseksi silloin, kun hiilidioksidipäästöjä pyritään rajoittamaan energiaverolla.<sup>52</sup> Tulokse-

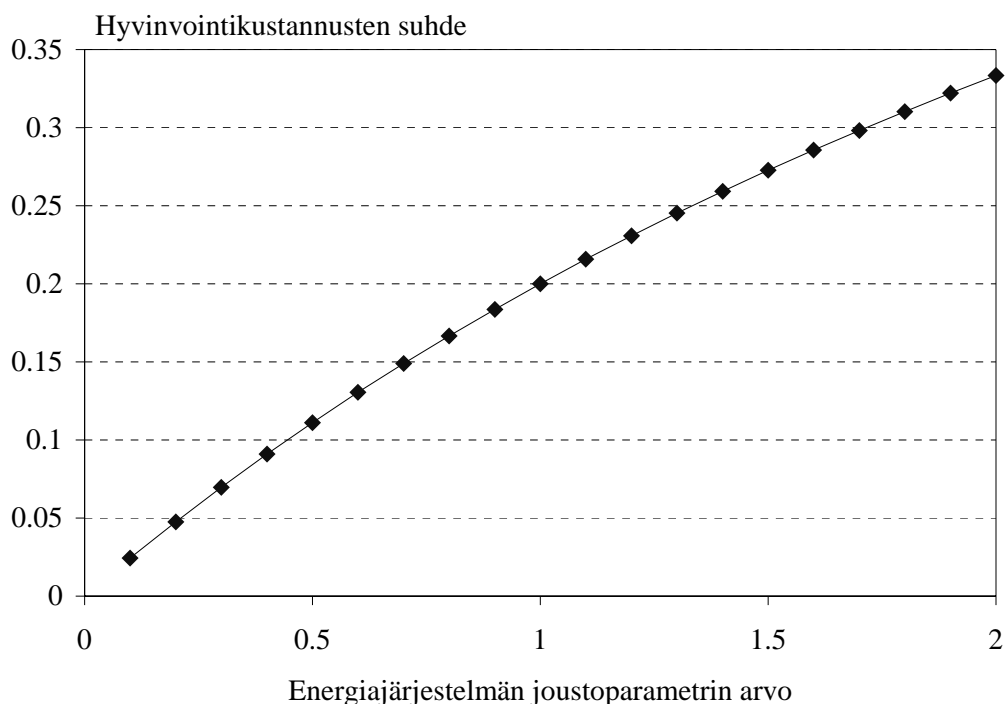
<sup>51</sup> Barnett esittää artikkelissaan ko. menettelyä kuluttajan ylijäämän muutoksen arvioinnissa (Barnett 1980).

<sup>52</sup> Termi  $H/v$  eli esimerkiksi kilowattitunnin hinta per kilowattitunnin tuottamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt kasvaa, kun hiilidioksidipäästöjä vähennetään (pl. ajassa tapahtuva tekninen kehitys). Ensinnäkin osoittajassa hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa vallitsevien vähenevien tuottojen vuoksi kuluttajahinta kohoaa lisääntyvästi ja samalla nimittäjä pienenee. Esimerkiksi energiantuotannon rakennemuutos,

na on, että yhtälö (5) ilmaisee energiajärjestelmän rakennemuutoksesta aiheutuvan kuluttajan ylijäämän muutoksen ja pelkästä energiaverotuksesta aiheutuvan kuluttajan ylijäämän välisen suhteen:

$$(5) (\Delta YJ/\Delta RA)/(\Delta YJ/\Delta EV) \approx \varepsilon/(1+\varepsilon)$$

Oletetaan, kuten jo aikaisemmin todettiin energiankysynnän hintajoustoksi puoli, jolloin korjattu hintajousto on 0,25. Energian käyttökustannusten ja energiajärjestelmän yksikköpäästöjen välinen jousto on sekä empirinen suure. Pidetään energian kysynnän hintajousto puolena ja vaihdellaan energiajärjestelmän joustavuutta siten, että kustannusjousto vaihtelee välillä 0,1-2. Tällöin kaavaa (5) hyödyntämällä saadaan kuvio 7.



*Kuvio 7. Energiankäytön hiilidioksidinyksikköpäästöjen muuttamisesta ja energiaverosta aiheutuvan kuluttajien ylijäämien muutoksien suhde.*

Mikäli energiajärjestelmän joustavuusparametrin arvo on 10 kaavan (5) ilmaiseமாகsi suhteeksi tulee 0,71 ja jouston arvolla 100 arvoksi tulee 0,96.<sup>53</sup> Energiajärjestelmämallin tulosten perusteella jouston arvo vaihtelee välillä 0,1-1,2 eli energiajärjestelmän joustavuuden hyväksikäytöllä saavutetaan huonoim-

mikä alentaa hiilidioksidin yksikköpäästöjä heikentää energiansäästön kannattavuutta hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa.

<sup>53</sup> Suhteella on raja-arvona yksi, jolloin siis energiajärjestelmän hiilidioksidipäästöjen yksikköpäästöjen vähentämisen kustannusjouston arvo lähestyy miinus ääretöntä.

massakin tapauksessa vain noin viidenneksen hyvinvointitappio verrattuna tilanteeseen, jossa hiilidioksidipäästöjä vähennetään esimerkiksi pelkästään energiaverolla.

Kyseessä oleva joustavuus on energiajärjestelmän monimutkaisten toimintojen tulos, joten sen arvo voidaan päätellä ainoastaan epäsuorasti energiajärjestelmällin tulosten perusteella. Oleellista on, että energiantuotannon ja tätä kautta energiajärjestelmän joustavuuteen vaikutetaan energiapolitiikalla, kuten turpeen käyttömäärää koskevilla rajoituksilla, sähkön tuonnin säätelyllä ja lisäydinvoiman rakentamista koskevilla luvilla. Sähkön tuonnin ja lisäydinvoiman vaikutus jouston arvoon on ilmeisesti todennäköisesti useita satoja prosentteja. Toisin sanoen näiden joustavuustekijöiden puuttuminen moninkertaistaa jouston arvon ja kaavan (4) perusteella kuluttajien kokema hyvinvointitappio kasvaa lähes samassa suhteessa.

Energiajärjestelmän kustannusjouston itseisarvon pienentyminen siis etenkin energiantuotannon joustavuuden lisääntyminen ilmenee laskelmissa ensinnäkin energiansäästön vähentymisenä, koska energian verollinen hinnan nousu on pienempi. Toiseksi tarvittava energiaverokertymä alentuu, koska hiilidioksidipäästötavoite voidaan saavuttaa alemmilla rajakustannuksilla eli alhaisemmalla hiilidioksidiverolla.

## 2.4 Hiilidioksidipäästörajoite ja verotus

### 2.4.1 Panosten välinen vero-optimi

Energiaverotuksella pyritään tyypillisesti kasvihuonekaasupäästöjen pääasiassa hiilidioksidipäästöjen alentamiseen.<sup>54</sup> Samalla useimmiten energiaverokertymä kasvaa ja kyseinen energiaverokertymän muutos kierrätetään tasapainotetun budjetin tapauksessa takaisin talouteen muuta verotusta alentamalla. Joissakin tapauksissa tarvittava energiaverokertymä alenee, jolloin muita veroja korotetaan julkisen sektorin budjettitasapainon säilyttämiseksi.

Ympäristöverokertymän kasvattaminen ja ympäristötavoitteen saavuttaminen ovat tavallaan vastakkaisia tavoitteita. Mikäli ympäristövero on tehokas keino haitallisten päästöjen rajoittamisessa alhaisten rajoittamiskustannusten vuoksi veropohja eli päästöt vähenevät ja näin myös verokertymä pienenee. Kasvihuonekaasupäästötavoitteen tapauksessa (fyysinen) veropohja on vakio, koska veronalaiset hiilidioksidipäästöt pidetään aina tavoitteen mukaisella tasolla eli hiili-

---

<sup>54</sup> Energiaverotuksella pyritään myös energiansäästöön ja joissakin tapauksissa esimerkiksi päästöveroilla happamoittavien päästöjen vähentämiseen. Esimerkiksi Ruotsissa on käytössä typenoksidien ja rikkidioksidin päästömaksut.

dioksidipäästötavoitetta ei ainakaan aliteta.<sup>55</sup> Kuitenkin rajoittamiskustannukset vaikuttavat verokertymään myös tässä tapauksessa, koska hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero riippuu rajoittamistoimenpiteiden kustannuksista. Joustavampi energiajärjestelmä merkitsee alhaisempaa hiilidioksidiveroa ja myös pienempää hiilidioksidiverokertymää.<sup>56</sup>

Hiilidioksidipäästöjä voidaan alentaa hyvin erilaisilla vero- tai toimenpideratkaisilla. Jotkin veroratkaisut kohdentavat päästöjen rajoittamistoimenpiteet tehokkaammin kuin toiset ja erot tehokkuudessa ilmenevät sekä välittömien kustannusten erona että verokertymäerona. Tehokas verotus alentaa useimmiten huomattavasti myös keskimääräisiä yksikköpäästöjä, koska energiantuotannon rakenne muuttuu enemmän ja energian käyttö ei vähene yhtä paljon kuin vähemmän tehokkaissa ratkaisuissa.

Vastaavasti tehottomammat ohjaukeinot lisäävät sekä välittömiä kustannuksia että tarvittavaa energiaverokertymää. Äärimmäisessä ratkaisussa verotetaan pelkästään energian käyttöä (terajoulevero tai sähkövero) eikä lainkaan hiilidioksidipäästöjä.<sup>57</sup> Tällöin keskimääräiset päästöt muuttuvat hyvin vähän ja energiankäyttö muuttuu paljon. Yksikköpäästöt muuttuvat enemmän tehokkaamman ohjaukeinon tapauksessa kuin tehottomamman.<sup>58</sup> Tehokkuutta voidaan mitata myös tarvittavalla (päästörajoitteen toteuttavalla) energiaverokertymällä.

Energiasäästönormit vaikuttavat energian käytön kautta energiaverokertymään ja myös tätä kautta kokonaistaloudelliseen tasapainoon.<sup>59</sup> Energiatuet vaikuttavat energian hinnan ja julkisen sektorin budjetin kautta. Energiatukien välitön vaikutus on energian hintaa alentava ja toisaalta takaisinkierrätettävien verojen määrää vähentävä.

---

<sup>55</sup> Hiilidioksidivero ilmaisee päästörajoitteen saavuttamisen rajakustannukset eli sen kuinka paljon viimeisimmän hiilidioksidipäästötonnin rajoittaminen on lisännyt kustannuksia. Periaatteessa mikäli hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen on hyvin edullista tarvittava hiilidioksidivero on hyvin alhainen ja se voi olla myös nolla. Tällöin energiantuotantoa ja käyttöä ei tarvitse verottaa lainkaan hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseksi.

<sup>56</sup> Tulevaisuudessa tiukempi kasvihuonekaasupäästötavoite (pienempi 'fyysinen veropohja') puolestaan periaatteessa kohottaa hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannuksia ja tätä kautta hiilidioksidiverokertymä kasvaa (rajakustannus kertaa fyysinen veropohja = hiilidioksidiverokertymä). Toisaalta kuitenkin tekninen kehitys vaikuttaa siihen, kuinka hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannukset muuttuvat tulevaisuudessa. Toisin sanoen hiilidioksidivero ei välttämättä pitkällä aikavälillä takaa kasvavaa tai edes pysyvää veropohjaa.

<sup>57</sup> Lämmöntuotannon polttoaineiden verotus heikentää yhteistuotantosähkön kilpailukykyä ellei samanaikaisesti tavalla tai toisella lisätä erillisen sähköntuotannon samoilla polttoaineilla tapahtuvan sähköntuotannon kustannuksia. Toisin sanoen yhteistuotannon lämmöntuotannon polttoaineiden verotus lisää joissakin tapauksissa hiilidioksidipäästöjä.

<sup>58</sup> Tämä ei päde mikäli ei ole mitään mahdollisuuksia vähentää yksikköpäästöjä esimerkiksi polttoainerakenteen muutoksella. Energiajärjestelmämallin tulosten perusteella yksikköpäästöjä voidaan vähentää merkittävästi, jolloin ohjaukeinojen ja toimenpiteiden tehokkuudella on merkitystä.

<sup>59</sup> Energiasäästönormit alentavat tarvittavaa hiilidioksidiveroa ja siirtävät suoria kustannuksia energiantuotannon rakennemuutoksesta energiasäästöön.

Kokonaistaloudellisiin laskelmiin vaikuttaa merkittävästi kahden rajoitteen välinen vuorovaikutus. Toinen rajoite on energiajärjestelmämallin minimikustannuksiin vaikuttava kasvihuonekaasupäästörajoite eli hiilidioksidipäästörajoite. Toinen rajoite on kokonaistaloudellisessa mallissa oleva verokertymärajoite. Mallilaskelmissa kyseiset rajoitteet toimivat ikään kuin teknisinä rajoitteina, mutta niillä ja niiden välisellä vuorovaikutuksella on myös teoreettista merkitystä.

Energiajärjestelmämallin toimintaa voidaan tältä osin kuvata äärimmäisen yksinkertaistetusti seuraavasti:

(Netto)energiaverokertymä = f{energiaverot, energiatuet, energiatuotannon rakenne(ei-lisäydinvoimaa/lisäydinvoimaa/maakaasuverkon laajuus/yms.), energiasäästönormit, tuotannon tasot, kasvihuonekaasupäästörajoitus,...}

Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava eli tarvittava energiaverokertymä riippuu merkittävästi energiantuotannon rakenteesta. Esimerkiksi lisäydinvoiman tapauksessa energiaverokertymä on pienempi kuin ilman lisäydinvoimaa mikäli energiajärjestelmämallia käytetään mallina, jossa hiilidioksidivero määräytyy hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen rajakustannusten perusteella. Tällöin energiatuotannon rakenne ei vaikuta vain energiantuotannon suorien kustannusten kautta kokonaistalouteen, vaan myös energiaverokertymän kautta. Myös muut yllä esitetyt tekijät vaikuttavat sekä suorien kustannusten että energiaverokertymän kautta kokonaistaloudellisiin kustannuksiin.

Kun taloudessa tulee toteuttaa hiilidioksidipäästörajoite, voidaan esittää seuraavat periaatteelliset energiaverotuksen (muutoksen) vaikutusluokat:

1. Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen hiilidioksidiverolla ja työvoimaverojen takaisinkierrätyksellä aiheuttaa kokonaistaloudellisen tappion, jota työvoimaveroihin perustuvalla energiaverokertymän takaisinkierrätyksellä voidaan korkeintaan alentaa. Tällainen tilanne toteutuu esimerkiksi silloin, kun alkutilanteessa verotus on asetettu optimaaliseksi ja ko. tilanteeseen lisätään hiilidioksidipäästörajoite. Hiilidioksidipäästörajoite rajoittaa verotuksen optimointia ja talouden tasapaino väistämättä heikkenee. Kun hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan, energiaverokertymä kasvaa.<sup>60</sup>
2. Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen hiilidioksidiverolla ja työvoimaverojen takaisinkierrätyksellä ei aiheuta kokonaistaloudellista tappiota. Toisin

<sup>60</sup> Kohentuvalla talouden tasapainolla tarkoitetaan tässä yhteydessä kotitalouksien hyödyn muutosta. Sillä ei tarkoiteta esimerkiksi työllisyyden lisääntymisestä. Koska hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen merkitsee suoria kustannuksia eli reaali-palkkojen alentumista, talouden työn määrä todennäköisesti lisääntyy eli työllisyyden lisäys on useimmiten hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen triviaali seuraus. Kohdan 1 mukainen tulos on yleisin. Hiilidioksidiveron käyttöönotto aiheuttaa kokonaistaloudellisen tappion, mutta ko. kustannusta voidaan merkittävästi vähentää kohdistamalla hiilidioksidiverokertymän takaisinkierrätys vääristävien verojen alentamiseen. Tällainen tilanne toteutuu myös silloin, kun verotus on alkutilanteessa epäoptimaalista ja hiilidioksidivero pahentaa edelleen tilannetta.

sanoen hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen toimii verotuksessa hyödyllisenä lisärajoitteena, jonka ansiosta alkutilanteen epäoptimaalista verotusta korjataan paremmaksi. Kun päästörajoite toteutetaan, energiaverokertymä kasvaa.<sup>61</sup>

3. Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen hiilidioksidiverolla alentaa tarvittavaa energiaverokertymää ja huolimatta työvoimaverotukseen perustavasta budjetin tasapainottamisesta kokonaistaloudellinen tasapaino paranee. Tällöin hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen korjaa alkutilanteen liian korkean energiaverotuksen oikeammaksi.
4. Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen hiilioksidiverolla alentaa tarvittavaa energiaverokertymää ja työvoimaverotukseen perustavan budjetin tasapainottamisen vuoksi kokonaistaloudellinen tasapaino heikkenee. Tällöin hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen johtaa epäoptimaaliseen tilanteeseen verotuksessa.

Joissakin tapauksessa niin sanottu kaksoishyöty (tuplapotti joissakin yhteyksissä) on mahdollinen eli hiilidioksidipäästörajoitteen lisääminen verotuksen rajoitteeksi kohentaa verotuksen kautta talouden tasapainoa. Periaatteessa tämä on mahdollista sekä energiaverokertymän lisäyksen että vähenemisen tapauksessa.

On myös periaatteessa täysin mahdollista, että verotuksen optimointi edellyttää alhaisempia hiilidioksidipäästöjä kuin pelkkä hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen.

Kun hiilidioksidipäästörajoite on sitova, neljäs vaihtoehto on sellainen, jossa verotuksen optimoinnin kannalta hiilidioksidipäästöjen tulisi olla suurempia, mutta hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen ei tätä salli. Tällöin osa hiilidioksidipäästörajoitteen aiheuttamasta kokonaistaloudellisesta tappiosta johtuu verotuksen epäoptimaalisuudesta aiheutuvasta hyvinvointitappiosta. Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen edellyttämät suorat kustannuksethan aiheuttavat aina hyvinvointitappion.

Energiaverotuksen kokonaistaloudelliset vaikutukset johtuvat kahdesta päätekiestä. Ensinnäkin suorista kustannuksista, joita ei siis voida takaisinkierättää. Toiseksi energiaverojen määrästä ja niiden takaisinkierätysmenettelystä. Ensiksi mainitut ovat ikään kuin reaalisia kustannuksia ja yhteiskunnan tavoitteena voitaneen useimmiten pitää ko. kustannusten minimointia.<sup>62</sup> Päästöjen vähentämisen

<sup>61</sup> Tämä tulos saadaan joissakin mallilaskelmissa. Esimerkiksi Alatalon tutkimuksessa (Alatalo 1998) saadaan tämäntyyppisiä tuloksia.

<sup>62</sup> Joissakin yhteyksissä esitetään, että suorien kustannusten kierättäminen kotimaassa on edullisempaa kuin niiden maksaminen ulkomaille. Kokonaistaloudellisissa laskelmissa tarkastellaan joskus sitä kenelle suorat kustannukset maksetaan, siis maksetaanko suoraa kustannuksia ulkomaisille vai ko. kotimaisille taloudenpitäjille. Energiasektorilla esimerkiksi vaihtoehtoina voi olla tuontisähkö ja/tai maakaasun tuonti verrattuna kotimaisten biopolttoaineiden käyttöön. Yleisen tasapainonmalleissa useimmiten kulutuksen ja

tehokkuus perustuu sekä suorien kustannusten että energiaverokertymän minimoimiseen. Periaatteessa voisi olla mahdollista, että hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa suoria kustannuksia lisäävä ja siis näiden suhteen tehottomampi energiaverotus johtaisi energiaverokertymän lisääntymisen ja takaisinkierrätyksen kautta parempaan tulokseen kuin tehokkaampi energiaverotus (kuten hiilidioksidivero).<sup>63</sup> Toisin sanoen kokonaistalouden tasolla suorien kustannuksen lisääntymisen tehokkuusvaikutus kompensoituisi verotuksen tehokkuusvaikutuksella. Tällaisessa tilanteessa toteutuisi yllä esitetyistä vaihtoehdoista toinen ja lisäksi hiilidioksidipäästöjen tulisi olla hiilidioksidiveron tapauksessa alemmat kuin mikä talouden on hiilidioksidipäästötavoite, jotta hiilidioksidiverolla voidaan toteuttaa vero-optimi.

## **2.4.2 Energiaverokertymän takaisinkierrätyksen kokonaistaloudelliset vaikutukset**

Energiaverojen takaisinkierrätys vaikuttaa mallilaskelmissa talouden tasapainoon useimmiten kotitalouksien käytettävissä olevien tulojen välityksellä. Teoreettisesti verojen takaisinkierrätys vaikuttaa useimmiten etenkin työmarkkinoiden ja työn hinnan kautta.

Hiilidioksidipäästöjen rajoittamispolitiikka (ml. energiaverot) vaikuttavat reaaliiseen ostovoiman välittömästi energian hinnan nousun ja välillisesti muiden hyödykkeiden hinnan nousun vuoksi (energian hinnan nousun ns. välillinen vaikutus). Tasapainotetun budjetin tapauksessa ensinnäkin työvoiman verotusta, kuten tuloveroa, voidaan alentaa energiaverojen tuotoilla. Tällä on välitön reaali-palkkaa kohottava vaikutus eli energian hinnan muutosta kompensoiva vaikutus. Lisäksi työvoimaverojen alentaminen alentaa työvoimakustannuksia. Tällöin osa energianhinnan muiden hyödykkeiden hintoja kohottavasta vaikutuksesta kumoutuu, koska joidenkin hyödykkeiden hinnat voivat jopa alentua. Reaalipalkkavaikutukseksi jää se osa energianhinnan noususta, johon eivät sisälly energiaverot. Tätä kustannusta ei voida verotuksella kompensoida, joten se vaikuttaa reaali-palkkaan.

Ympäristö ja energiaverojen takaisinkierrätys voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, joiden taloudelliset vaikutukset poikkeavat toisistaan. Periaatteessa on viisi

---

kuluttajien kannalta on samantekevää maksetaanko korkeammat tuotantokustannukset (tämän tutkimuksen suorat kustannukset) ulkomaille vai kotimaahan. Suorat kustannuksethan ovat määritelmällisesti kustannuksia, jotka kohottavat tuotantokustannuksia ja vastaavalla määrällä vähentävät kotitalouksien kulu-tusta.

<sup>63</sup> Tilanne ei liene kovinkaan todennäköinen. Sen toteutuminen edellyttäisi varsin vääristynyttä tilannetta verotuksen alkutilanteessa. Tällöin mallilaskelmissa esimerkiksi hiilidioksidivero tuottaisi ns. tuplapotin ja talouden tasapainoa voitaisiin edelleen kohentaa siirtymällä hiilidioksidipäästöjen verottamisesta energiankäytön verottamiseen, jolloin hiilidioksidipäästöt pysyisivät rajoitteen mukaisina, mutta energiaverokertymä kasvaisi ja suorat kustannukset lisääntyisivät.

menettelyä takaisinkieppää veroja tai kerätä takaisin veroja, joista yksi on teoreettinen vertailutapa ja neljä on käytännössä mahdollisia. Menettelyt ovat

1. Könttäsimmäpalautus, jossa jokaiselle kuluttajalle palautetaan sama määrä.<sup>64</sup> Siis palautus on henkeä kohden sama eikä riipu mistään taloudellista muuttujasta. Tällöin könttäsimmäpalautus ei myöskään vaikuta ohjaavasti mihinkään taloudelliseen muuttuajaan, kuten työntarjontaan tai tietyn hyödykkeen kysyntään. Könttäsimmäpalautuksessa kotitalouksille yksinkertaisesti palautetaan energiaveroilla kerätty summa siten, ettei kotitalouksien ostovoima muutu energiaverojen vuoksi. Vastaavasti määritellään könttäsimmävero.
2. Työnantajien sosiaaliturvamaksujen alentaminen, jolla on vaikutusta työn hintaan. Periaatteessa työvoiman kysyntä kasvaa, mutta vaikutus riippuu siitä, miten työmarkkinat on mallitettu.
3. Palkansaajien tuloverotuksen alentaminen, jolla on epäsuoraa vaikutusta työn hintaan. Periaatteessa työvoiman kysyntä kasvaa työvoiman tarjonnan vaikutuksen kautta, mutta vaikutus riippuu siitä, miten työmarkkinat on mallitettu.
4. Hyödykeverotuksen alentaminen, jolla on useimmiten suurin piirtein sama vaikutus kuin on palkansaajien tuloverotuksella (kohta 3), koska taloudellisissa malleissa hyödykkeiden verotuksen vaikutus työn tarjonnan kautta on melkein sama kuin on kotitalouksien tuloverotuksen vaikutus.
5. Pääomaverotuksen alentaminen.

Suomalaisella aineistolla tehdyissä mallilaskelmissa on pääasiassa tutkittu neljää ensiksi esitettyä vaihtoehtoa ja viimeksi mainittua vaihtoehtoa ei ole tutkittu suomalaisissa mallilaskelmissa.

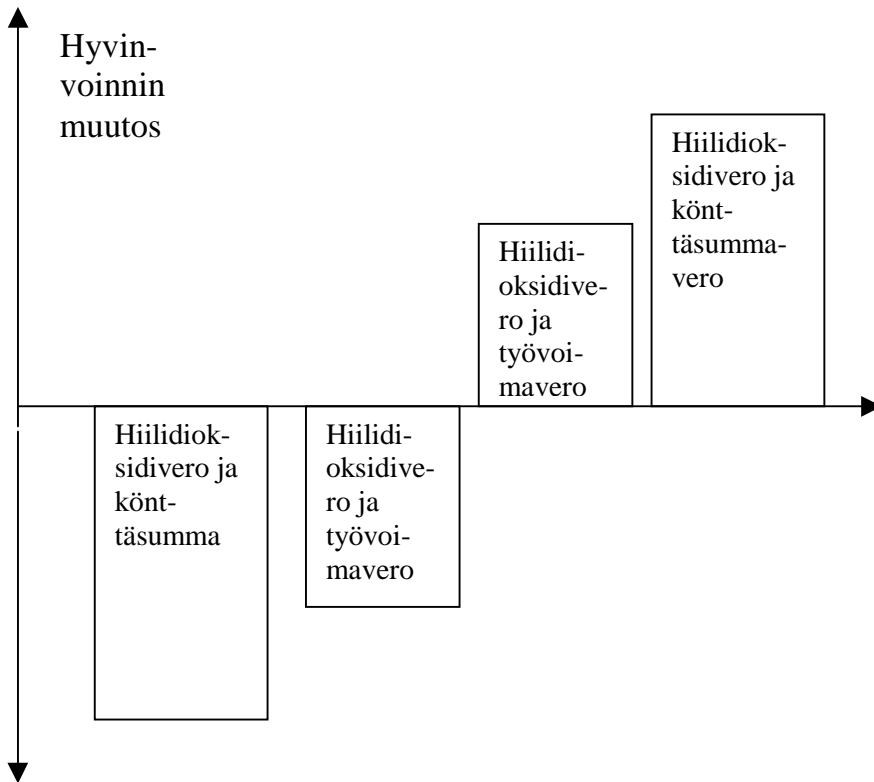
Kuviossa 8 esitetään, kuinka teoriassa ja empiirisissä mallilaskelmissa verotulojen takaisinkieppäys (ml. verotulojen palautus) vaikuttaa aiheutuvaan kokonaistaloudelliseen tappioon kahden tutkimuksessa käytettyjen verojen tasapainottamismenettelyn tapauksissa: könttäsimmäverotuksen ja työhön kohdistuvan verotuksen tapauksessa.<sup>65</sup> Kaikissa tapauksissa oletetaan, että energiaverotuksessa tehtävät muutokset johtavat työvoimaan kohdistuvan verotuksen muutokseen julkisen talouden budjettirajoitteen kautta.

---

<sup>64</sup> Könttäsimmävero tai könttäsimmätuki on teoreettinen apuväline, jota käytetään taloudellisissa analyyseissä vertailutilanteena. Könttäsimmämenettelyllä vero tai tuki ei lainkaan vaikuta taloudelliseen käyttäytymiseen (koska ne eivät suoraan muuta suhteellisia hintoja), joten ko. menettelyllä verotuksesta aiheutuva ns. tehokkuustappio poistuu. Kaikissa muissa menettelyissä verot tai tuet vaikuttavat taloudelliseen käyttäytymiseen, mistä useimmiten aiheutuu hyvinvointitappiota. Luonnollisesti työn tarjonta ja hyödykkeiden kysyntä reagoivat könttäsimmäpalautuksesta aiheutuvaan tulovaikutukseen. Ko. tulovaikutusta ei kuitenkaan yleisesti pidetä vääristävänä.

<sup>65</sup> Kokonaistaloudellista kustannusta mitataan usein kuluttajan hyvinvoinnin muutoksella ja useimmiten ko. hyvinvointiin ei sisälly ympäristön laadun vaikutus kuluttajan hyvinvointiin.





*Kuvio 8. Esimerkki energiaverokertymän muutoksen takaisinkierrätyksen kokonaistaloudellisista vaikutuksista: könttäsommamenettely ja työhön kohdistuvan verotuksen muuttaminen.*

Kuviossa 8 kaksi vasemman puolimaista palkkia kuvaavat tyypillistä ympäristöpolitiikasta johtuvaa energiaverotuksen kiristämisen kokonaistaloudellista vaikutusta. Energiaverotuksen kiristäminen, kuten mallilaskelmissa tyypillisesti hiilidioksidivero, johtaa hyvinvointitappioon, mutta suurehko osa ko. tappiosta voidaan kumota alentamalla energiaverotuksen tuotolla työhön kohdistuvaa verotusta. Toisin sanoen ympäristöpolitiikasta aiheutuvaan kustannukseen vaikuttaa merkittävästi se, kuinka esimerkiksi energiaverokertymän lisäys palautetaan talouteen (Bovenberg & Goulder 1994).

Kuviossa 8 kaksi oikean puolimaista palkkia kuvaavat tilannetta, jossa energiaverotusta alennetaan. Alkutilanteen oletusten mukaan tällä on positiivisia kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Näihin positiivisiin kokonaistaloudellisiin vaikutuksiin vaikuttaa kuitenkin se, kuinka menetetyt energiaverotulot kerätään takaisin. Kun verotulojen vaje katetaan työhön kohdistuvan verotuksen kiristämällä, osa positiivisesta vaikutuksesta kumoutuu tätä kautta. Mikäli verotulojen taso palautetaan könttäsommaveroilla positiivinen kokonaistaloudellinen vaikutus on suurempi.

Kuvion 8 vasemman puoleiset palkit kuvaavat tilannetta rajoituskenaarioissa ilman lisäydinvoimaa ja oikean puoleiset palkit lisäydinvoimalla. Tällöin mikäli verotuksen muutokset perustuvat aina työn verotukseen verojärjestelmän ja muun talouden vuorovaikutus vaikuttaa siten, että lisäydinvoima vaikuttaa vähemmän edullisemmalla kuin, jos verotuksen muutokset perustuvat könttäsommaverotukseen.

Kuvion 8 mukainen tarkastelu perustuu numeerisilla yleisen tasapainonmalleilla saatuihin tuloksiin. Laskelmissa käytettävä malli ei ole ko. mallityyppiä, vaan ekonometrinen makromalli, jossa on, kuten jo todettiin, kaksi verojen tasapainotusvaihtoehtoa; työnantajien sosiaaliturvamaksujen alentaminen ja kotitalouksien tuloverotuksen alentaminen.<sup>66</sup> Vaikka viimeksi mainittu viedään ikään kuin könttäsommamalliin ja ensiksi mainittu vaikuttaa ikään kuin työhön kohdistuvalta verotukselta, niiden kokonaistaloudelliset vaikutukset ovat mallityypin ominaisuuksista johtuen päinvastaiset. Työnantajien sosiaalivakuutusmaksujen alentaminen vaikuttaa hyvin heikosti energiaverotuksen kokonaistaloudellisen tappion kompensoinnissa, kun taas välittömien tuloverojen alentamisen kompensoiva vaikutus on suurempi.

Kuvio 8 liittyy myös edellisessä luvussa esitettyyn verotuksen optimaalisuuteen. Kuviossa 8 verotuksen lähtökohtana on se, että energiaverotuksen nostaminen nykyiseen tilanteeseen verrattuna on kokonaistaloudellisesti haitallista. Tämä vastaa tilanteita 1 ja 3 sivujen 37-38 luettelossa. Verotuksen lähtötilanne voi periaatteessa olla päinvastainen. Tällöin kuviossa 8 vasemmanpuoleiset palkit kuvaisivat energiaveron alentamisen kokonaistaloudellisia vaikutuksia ja oikeanpuoleiset palkit kuvaisivat energiaveron noston kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Tämä vastaa edellä mainitun luettelon kohtia 2 ja 4.

### *Toiseksi parhaat hiilidioksidipäästöjen rajoittamismenettelyt ja verotus*

Luvussa 2.3.1 todettiin, että esimerkiksi sähkön hinta selittyy hiilidioksidiveron tapauksessa hiilidioksidiverolla (veroaste kertaa jäännöspäästöt) ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannuksilla (hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentamiskustannukset). Vastaavasti ilmaiseksi jaettavien hiilidioksidipäästökiintiöiden tapauksessa sähkön hinta selittyy rajoittamiskustannuksilla ja sähkön niukuushinnalla. Silloin kuin taloudessa ei ole lainkaan vääristäviä veroja, jotka kohottaisivat panosten ja tuotteiden hintoja, on samantekevää käytetäänkö hiilidioksidipäästötavoitteen saavuttamiseen ilmaiseksi jaettavia päästökiintiöitä vai hiilidioksidiveroa. Nimittäin talouden tasapainon kannalta on samantekevää palautetaanko hiilidioksidiveron tuotto kotitalouksille könttäsommamana (ei vääristävien verojen tapaus) vai saavatko kotitaloudet saman summan könttäsomma-

---

<sup>66</sup> Kolmas vaihtoehto eli hyödykeverotuksen alentamisen vastaa käytännössä kotitalouksien tuloverojen alentamista, kun veroale tai verojen korotus kohdistetaan kaikkiin hyödykkeisiin ja palveluihin.

na yritysten ylimääräisten voittojen muodossa (Goulder, Parry, Williams III & Burtraw 1998).

Edellä mainittu kahden tapauksen yhdenvertaisuus johtuu siitä seikasta, että hyödykkeiden hinnat kohoavat yhtä paljon kummassakin tapauksessa, koska hiilidioksidipäästörajoite on sama. Toisin sanoen suorat kustannukset ja niiden vaikutus hintoihin ovat samat. Toisessa tapauksessa jäännöspäästöjen arvo palautetaan verohallinnon kautta kotitalouksille könttäsummana ja toisessa tapauksessa se palautetaan yrityshallinnon kautta kotitalouksille ylimääräisistä liikevoitoista johtuvana könttäsummana.<sup>67</sup>

Tilanne on toinen silloin, kun taloudessa on vääristäviä veroja, kuten työvoimaan kohdistuvat verot. Kyseiset verot vääristävät talouden tilaa ja hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa tilanteeseen sitä edelleen pahentavasti. Lämmön ja sähkön hinta väistämättä kohoaa. Tällöin hiilidioksidiverolla voidaan kumota osa hyödykkeiden korkeammista hinnoista johtuvasta haitallisesta vaikutuksesta. Paradoksaalisesti vääristävät verot ovat peruste hiilidioksidiveron käytölle hiilidioksidipäästörajoitetta toteutettaessa.

Edellä esitetty argumentti perustui hiilidioksidipäästörajoitteen niukkuushinnan eli jäännöspäästöjen arvon kokonaistaloudellisiin vaikutuksiin. Toinen oleellinen tekijä, joka vaikuttaa talouden tilanteeseen on hiilidioksidipäästöjen rajoittamistoimenpiteiden kohdentaminen. Esimerkiksi energiavero on tehoton keino hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa, koska se ei sisällä kiihoketta hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentamiseen. Energian kuluttajahinta nousee liikaa ja julkinen valta pahentaa talouden vääristymiä. Energiaa käytetään liian vähän optimiin verrattuna.

Hiilidioksidiveron vaikutus talouden tasapainoon voidaan jakaa neljään eri komponenttiin (Goulder, Parry, Williams III & Burtraw 1998). Talouden tasapainolla tarkoitetaan tässä tapauksessa kuluttajan (kotitalouden) hyödyn muutosta, kun hiilidioksidiveroa muutetaan.

$$(6) \, dv/dt_E = dW^A + dW^O + \partial W^R + \partial W^I,$$

jossa  $v$  on kuluttajan hyödyn määrä ja  $t_E$  on hiilidioksidivero. Ensimmäinen termi oikealla yhtälössä (6) eli  $dW^A$  mittaa hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentamisesta aiheutuvaa hyvinvointitappiota eli hyvinvointikustannusta. Hiilidioksidive-

---

<sup>67</sup> Luonnollisesti edellytetään, että ilmaiseksi jaettavat hiilidioksidipäästökiintiöt vastaavat sektori- ja toimialakohtaisesti hiilidioksidiverolla toteutuvaa implisiittistä hiilidioksidipäästökiintiöiden jakoa. Kyseiset tapaukset eivät todellisuudessa tietenkään ole täysin identtisiä, koska ylimääräisten liikevoittojen kohdentuminen kotitalouksille todennäköisesti poikkeaa könttäsommaveronpalautuksien kohdentumisesta. Yleisen tasapainon numeerisissa malleissa vaikutukset ovat samanlaiset, koska kotitaloudet ovat identtisiä (kaikki kotitaloudet omistavat osan yrityksistä) ja kaikki kotitaloudet saavat könttäsommaveronpalautuksia.

ro johtaa tuotantokustannusten nousuun esimerkiksi sähkön ja lämmön tuotannossa ja ko. termi mittaa tätä kustannusta. Kustannus saadaan kertomalla tuotantokustannusten muutos tuotetulla määrällä. Oleellista ensimmäisessä termissä on se, että kyseessä ovat verottomat tuotantokustannukset. Tämä vastaa tämän tutkimuksen termiä suorat kustannukset, jotka siis ovat niitä energiajärjestelmän kustannuksia, joita ei voida takaisin kierrättää.

Toinen termi oikealla yhtälössä (6) eli  $dW^O$  mittaa hyvinvointikustannusta, mikä johtuu hiilidioksidiveron vuoksi kallistuneen hyödykkeen kysytyn määrän muutoksesta. Kysytyn määrän muutos sisältää tällöin myös hiilidioksidiveron vaikutuksen (sähkön ja lämmön kuluttajahinnan kautta) kysytyyn määrään. Termi saadaan kertomalla kysytyn määrän muutos jäännöspäästöjen arvolla. Jäännöspäästöjen arvo ilmaisee, kuinka paljon hiilidioksidivero (vain vero ei suorat kustannukset) kohottaa energiantuotannon yksikkökustannuksia.

Kolmas termi oikealla eli  $\partial W^R$  mittaa hiilidioksidiveron tuottamaa hyötyä verorakenteen muutoksen kannalta. Kyseessä on positiivinen takaisinkierrätys vaikutus, joka koostuu hiilidioksidiverokertymän muutoksesta kerrottuna työvoimaverojen aiheuttamalla kokonaistaloudellisella hyvinvointikustannuksella.

Neljäs termi oikealla eli  $\partial W^I$  mittaa hiilidioksidiveron ja muun verotuksen yhteisvaikutusta kuluttajan hyötyyn eli aiheutuvaan hyvinvointitappioon. Se koostuu kahdesta termistä. Ensinnäkin hiilidioksidivero johtaa korkeampien hintojen vuoksi alhaisempaan reaalipalkkaan ja tätä kautta työn tarjonnan muutokseen. Hyvinvointikustannus saadaan kertomalla työn tarjonnan muutos työn veroasteella.<sup>68</sup> Toinen termi mittaa työntarjonnan pienentymisestä aiheutuvaa hyvinvointitappiota verokertymän muutoksen kautta.

Ensimmäinen termi siis kuvaa aiheutuvia hyvinvointikustannuksia sähkön ja lämmön kokoavien tuotantokustannusten vuoksi. Toinen termi kuvaa tappiota, joka syntyy kun hiilidioksidivero vähentää sähkön ja lämmön kysyntää. Kolmas termi mittaa hyötyä, joka syntyy, kun hiilidioksidiverokertymällä alennetaan haitallista työn verotusta. Neljäs termi kuvaa hiilidioksidiverosta aiheutuvaa hyvinvointikustannusta toisaalta verotulojen alentumisen kautta ja toisaalta työtarjonnan vähentymisen kautta.

Kaksi ensimmäistä termiä yhtälössä (6) kuvaavat ikään kuin 'reaalisia' esimerkiksi sähkön ja lämmön hinnannoususta aiheutuvia kustannuksia. Kaksi viimeistä termiä aiheutuvat hiilidioksidiveron vaikutuksesta taloudessa, jossa on käytössä muita (haitallisia) veroja. Mikäli taloudessa olisi käytössä könttäsummaverotus kahta viimeistä termiä ei lainkaan olisi. Tällöin hiilidioksidiveron hyvinvointi-

---

<sup>68</sup> Työn veroaste mittaa yhden työyksikön arvon eroa toisaalta työntekijälle ja toisaalta työn teettäjälle eli se mittaa yhden työyksikön verottamisesta aiheutuvaa tappiota.

kustannukset aiheutuisivat pelkästään sähkön ja lämmön suorien tuotantokustannusten muutoksesta sekä sähkön ja lämmön käyttömäärän muutoksesta.

Edellä esitetty yhtälön (6) mukainen hajoitelma on hyödyllinen, kun arvioidaan hiilidioksidiverosta poikkeamisen hyvinvointivaikutuksia. Ensinnäkin ilmaiseksi jaettavat päästökiintiöt johtavat siihen, että kolmas termi jää pois, koska takaisin-kierrätettäviä verovaroja ei synny.<sup>69</sup> Sen sijaan ilmaiseksi jaettavat päästökiintiöt vaikuttavat verojärjestelmään, koska sähkön ja lämmön niukkuushinta alentaa reaali-palkkaa ja vähentää tätä kautta työn tarjontaa. Neljäs termi siis on mukana.

Energiavero johtaa siihen, ettei ensimmäistä termiä lainkaan ole, koska yksikköpäästöjen vähentämiseffekti jää pois. Hyvinvointitappio kuitenkin kasvaa, koska kolmen muun termin arvo kasvaa. Ensinnäkin sähkön ja lämmön kulutuksen on oltava pienempi kuin hiilidioksidiveron tapauksessa, koska sähkön ja lämmön tuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöt (hiilidioksidipäästöt tuotettua yksikköä kohden) ovat korkeammat. Korkeampi sähkön ja lämmön hinta merkitsee myös suurempaa tappiota reaali-palkkojen kautta (neljäs termi oikealla). Sen sijaan verotuksen tehokkuusvaikutus (kolmas termi oikealla) arvo kasvaa myös, koska energiaveron tapauksessa energiaverokertymän muutos on suurempi kuin hiilidioksidiveron tapauksessa. Tällöin muita haitallisen korkeita veroja voidaan alentaa. Perustilanteessa useimmiten kuitenkin neljäs termi on suurempi kuin kolmas termi, joten energiavero pahentaa tilannetta myös verojärjestelmän kautta.

Teknisluonteisia hiilidioksidiveroa korvaavia menettelyitä on useitakin. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa voidaan teoreettisesti tarkastella (1) yksikköpäästötasonormia (performance standard), joka määrää hiilidioksidipäästöt tuotettua yksikköä kohden. Esimerkiksi erillisessä sähkön tuotannossa hiilidioksidipäästöt saisivat olla korkeintaan 0,14 miljoonaa tonnia tuotettua terawattituntia kohden, (2) teknistä normia (technology mandate), jolla määrätään tietty hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannustaso tuotettua yksikköä kohden. Esimerkiksi kaikkien hiilidioksidipäästöjä aiheuttavien tuottajien toimialalla y tulee käyttää x markkaa tuotettua yksikköä hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen.

Teknisluonteiset päästönormit johtavat monimutkaiseen tilanteeseen, koska ensinnäkin ko. normeilla saavutettava hiilidioksidipäästötaso tulee kuitenkin olla päästörajoitteen mukainen. Toiseksi päästönormit eli toimenpiteet pitää jollakin tavalla kohdentaa eli toimialoille ja eri sektoreille. Koska saman yksikköpäästönormin kustannukset vaihtelevat toimialoilla ja vastaavasti samalla kustannustenkäyttönormilla saavutetaan hyvinkin erilaiset hiilidioksidipäästötasot, kokonaistaloudellinen tulos riippuu siitä, miten normit asetetaan.

---

<sup>69</sup> Tarkkaan ottaen tämä ei pidä paikkaansa mikäli yritykset maksavat tuloksestaan veroa. Tällöin takaisin-kierrätettävien verojen määrä riippuu yritysten voittojenveroasteesta. Teoreettisluonteisessa erikoistapauksessa, jossa yritysten voittoja verotetaan sataprosenttisesti ilmaiseksi jaettavat hiilidioksidipäästökiintiöt vastaavat verotuksen kannalta hiilidioksidiveroa (Fullerton & Metcalf 1997).

Yksikköpäästönormit voidaan asettaa siten, että yksikköpäästönormin vaikutus toimialan voittoon on sama kaikilla toimialoilla. Vastaavasti kustannustenkäytönormi voidaan asettaa siten, että hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannus on sama kaikilla toimialoilla (Goulder, Parry, Williams III & Burtraw 1998).

Hiilidioksidiveron tapauksessa hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannukset ovat kaikkialla taloudessa samat. Hiilidioksidiveron vaikutus toimialojen voittoon ei ole sama. Aivan kuten yksikköpäästönormin ja kustannustenkäytönormin tapauksissa eri hyödykkeiden hinnat muuttuvat hyvin eri tavoilla hiilidioksidiveron tapauksessa.

Kansallisessa ilmastostrategiassa yksi keino, jolla pyritään Suomen kasvihuonekaasupäästötavoitteen toteuttamiseen, on maakaasun käyttöpakko maakaasuverkon alueella. Kyseessä ei ole varsinainen yksikköpäästöstandardi, koska hiilidioksidipäästöjä tuotettua lämpö ja/tai sähköyksikköä kohden ei ole suoraan määrätty. Tosin ko. menettely määrää epäsuorasti laitokohtaiset (ei tuottajakohtaiset) hiilidioksidipäästöt maakaasun hiilidioksidipäästöjen mukaiselle tasolle. Koska määräys l. normi on sama kaikille tuottajille, määräyksen toteuttamisen kustannukset vaihtelevat huomattavasti. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa ko. menettely on suhteellisen tehokas. Erillisessä sähköntuotannossa maakaasun käyttöpakko vähentää hiilidioksidipäästöjä reilulla puolella tuotettua sähköyksikköä kohden. Mikäli maakaasulla tuotetun sähkön tuotantokustannus on 180 markkaa megawattituntia kohden ja kivihiilellä tuotetun sähkön tuotantokustannus on 160 markkaa megawattituntia kohden, laskennalliseksi hiilidioksiditonin vähentämiskustannukseksi saadaan reilut 40 markkaa tonnia kohden.

### **3 Suomalaiset tutkimustulokset hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusvaikutuksista**

#### **3.1 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vaikutukset energiajärjestelmässä**

Suomessa energiajärjestelmän tuotannon ja tuotantokustannusten kustannuksia sekä hiilidioksidipäästöjen rajoittamista on tutkittu kahdella mallilla VTT-Energian käyttämällä EFOM:illa ja Teknillisessä korkeakoulussa kehitetyllä energiajärjestelmän stokastisella optimointimallilla. VTT:n energian EFOM sisältää varsin yksityiskohtaisen kuvauksen muun muassa teollisuuden ja yhdyskuntien yhteistuotannosta sekä energiansäästökäytännöistä ja niiden kustannuksista. Teknillisen korkeakoulun optimointimalli on suppeampi ja siinä hyödynnetään stokastista optimointia, jossa sekä sähköntuotanto että kulutus on mallitettu satunnaismuuttujien avulla. Teknillisen korkeakoulun mallissa otetaan huomioon sähköntuotannon ja kulutuksen ajallinen riippuvuus sekä siihen liittyvät satunnaiselementit.

VTT-Energian EFOM malliin perustuvia tutkimuksia on vuosilta 1993 ja 1999. Ensiksi mainitussa tutkimuksessa (Lehtilä & Pirilä 1993) rajoitetaan hiilidioksidipäästöjen lisäksi myös typenoksidien- ja rikkidioksidipäästöjä. Tutkimuksessa tarkastellaan useita energiaverovaihtoehtoja. Ensinnäkin vaihtoehtona on tuolloin esillä ollut ns. EY-vero, joka perustuu puoliksi energialähteen hiilidioksidipäästöön ja puoliksi energiasisältöön. Kyseisessä veromallissa erillisen sähköntuotannon hiileen perustuvalla sähköntuotannolla on sekä energiavero että hiilidioksidivero. Periaatteessa energiavero, joka ei riipu lainkaan hiilidioksidipäästöistä, vastaa nykyistä sähköveroa. Kivihiilellä ja turpeella hiilidioksidivero on suurempi kuin energiavero, kun taas maakaasulla energiavero on suurempi kuin hiilidioksidivero. Vesivoimalla ja ydinvoimalla tuotetulla sähköllä on vain energiavero. Toinen verovaihtoehto on puhdas hiilidioksidivero, joka perustuu energialähteen hiilipitoisuuteen. Kyseinen hiilidioksidivero ei koske puupolttoaineita. Perustapauksessa hiilidioksidiveron taso ei määräydy hiilidioksidipäästötavoitteen mukaan, vaan hiilidioksidipäästövero määräytyy siten, että sen mukainen energiaverokertymä vastaa perusskenaarion energiantuotannon määrän ja rakenteen sekä EY-veron perusteiden mukaista energiaverokertymää. Lisäksi em. veroista sekä EY-verosta että hiilidioksidiverosta on tuplausvaihtoehdot, joissa verotasot ovat kaksinkertaiset. EY-verosta on lisäksi variaatio, jossa energiaveroista palautetaan osa, joka teollisuudessa käytetään vientituotteiden valmistamiseen. Vielä on verovaihto, joka perustuu EY-eroon ja hiilidioksidiveroon. Kaikkiaan verovaihtoehtoja (verotasot ja verorakenteet) on siis seitsemän, kun yhdeksi vaihtoehdoksi luetetaan se, että hiilidioksidi- tai energiaveroja ei ole lainkaan.

Luonnollisesti verotasot eroavat toisistaan. Esimerkiksi tuplausvaihtoehdossa kivihiilen verotaso on EY-verona 62,9 mk/MWh, EY-veron ja hiilidioksidiveron yhdistelmässä verotaso on 70,2 mk/MWh ja kaksinkertaisessa hiilidioksidiverossa verotaso on 77,1 mk/MWh. Näiden verovaihtoehtojen hiilidioksidivero ja implisiittinen hiilidioksidivero vaihtelee (kivihiilen verojen perusteella laskettuna) noin 188 markasta hiilidioksidipäästötonnia kohden noin 230 markkaan hiilidioksidipäästötonnia kohden (vuoden 1992 rahassa).

Kaikissa verovaihtoehdoissa energiaverotus koskee myös liikennepolttonesteitä. Tällöin esimerkiksi tupla-EY-vero merkitsee noin 55 markan veroa moottorinbensiinin sisältämää MWh kohden. Polttoainelitraa kohti ko. energiaveron määrä (pl. verosta aiheutuva alv) on noin 3,4 markkaa litraa kohden.

Edellä tarkemmin esitetyillä kolmella verovaihtoehdolla saavutetaan vuonna 2010 ilman lisäydinvoimaa noin 58 miljoonaa tonnin hiilidioksidipäästöt ja lisäydinvoimalla noin 50 miljoonaa tonnin hiilidioksidipäästöt. Kaikissa vaihtoehdoissa energiaverokertymän muutos on vähintään kymmenen miljardia markkaa. Suorat kustannukset ovat vuonna 2010 välillä 0,4–2,4 miljardia markkaa. Lisäydinvoima alentaa suoria kustannuksia sekä vähentää jonkin verran energiaverokertymää.<sup>70</sup> Energiaverokertymän kasvusta valtaosa selittyy liikennepolttonesteiden verolla. Edellä mainittu 3,4 markan vero litraa kohti tuottaisi vuoden 2000 moottorinbensiinin ja dieselöljyn kulutuksella arvioituna noin 16 miljardia markkaa.

Tutkimuksessa lasketaan teoreettiset suorat minimikustannukset, jotka perustuvat EY-veron ja hiilidioksidiveroyhdistelmän tuottaman hiilidioksidipäästötason saavuttamiseen. Osoittautuu, että teoreettinen kustannusminimi on melkein sama kuin EY-veron ja hiilidioksidiveron yhdistelmällä saavutettava minimikustannus. Tämä johtuu siitä, että kyseinen veroyhdistelmä on melkein puhdas hiilidioksidivero, jonka vuoksi hiilidioksidipäästöjen rajoittamistoimenpiteet kohdennetaan varsin kustannustehokkaasti.

Tutkimuksessa lisäydinvoima ja ydinvoima eivät kovin merkittävästi eroa suorien kustannusten määrässä. Tämä johtuu siitä yksinkertaisesta syystä, että verot asetetaan laskelmissa eksogeenisesti eikä hiilidioksidipäästötavoitteen mukaisesti. Tällöin ydinvoiman edullisuus hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa ilmenee noin kahdeksan miljoonan tonnin erona hiilidioksidipäästöissä eikä niinkään suorissa kustannuksissa eikä etenkin energiaverokertymässä.

Samalla, mutta pidemmälle kehitetyllä VTT-Energian mallilla, on laskettu myös vuonna 1999 Suomen Kioton tavoitteen mukaiset energiajärjestelmän minimikustannukset (Lehtilä & Tuhkanen 1999a,b). Näissä tutkimuksissa toisin kuin

---

<sup>70</sup> Lisäydinvoima vaikuttaa energiantuotantorakenteeseen ja tätä kautta jonkin verran energiaverokertymään.



vuoden 1993 tutkimuksessa lasketaan joissakin rajoittamisskenaarioissa minimikustannukset, mutta jätetään määrittelemättä ohjauskeino, jolla käytännössä ko. minimikustannukset saavutetaan. Mallissa asetetaan kasvihuonekaasupäästörajoite, joka toteutetaan minimikustannuksin. Minimikustannukset voidaan saavuttaa joko päästörajoitteen toteuttavalla hiilidioksidiverolla tai huutokaupattavilla päästöoikeuksilla, joissa päästöoikeuden hinnaksi tulee sama kuin hiilidioksidivero.

Energiajärjestelmämallissa ohjauskeino eli hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu ohjaa energiasäästötoimenpiteitä ja energiansäästötoimenpiteiden kustannukset ovat osa suorista kustannuksista. Luonnollisesti kokonaistaloudellisessa mallissa toteutuvat keinot vähentää hiilidioksidipäästöjä eli tuotannon ja kulutuksen rakennemuutos sekä tuotannon ja kulutuksen tason muutos eivät sisälly energiajärjestelmämallin kustannuksiin.

VTT-Energian vuonna 1999 tehdyt laskelmat eroavat päästöjen rajoittamisessa kahdessa suhteessa aikaisemmasta tutkimuksesta. Ensinnäkin päästötavoite ei koske vain hiilidioksidipäästöjä, vaan kaikkiaan kuutta kasvihuonekaasua, joista kolmen kaasun päästövähennykset ja päästöjen vähentämisen kustannukset sisältyivät energiajärjestelmämalliin. Tämä voi olla edullista hiilidioksidipäästöjä rajoitettaessa, koska mikäli muiden kaasujen vähentäminen on kustannustehokasta, hiilidioksidipäästöjen 'päästokiintiö' voi kasvaa, mikä alentaa hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannuksia. Toiseksi laskelmissa toimenpiteet ja implisiittisesti siten myös toimenpiteisiin johtavat ohjauskeinot ovat endogeenisiä ja päästötavoite on eksogeeninen. Vuonna 1993 tehdyssä tutkimuksessa ohjauskeinojen taso on eksogeeninen ja päästöt ovat endogeenisiä.

Ympäristöministeriölle tehdyssä tutkimuksessa tarkastellaan kaiken kaikkiaan kymmenen erilaisen kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisskenaarioiden vaikutusta energiantuotannon rakenteeseen ja aiheutuviin kustannuksiin (Lehtilä & Tuhkanen 1999a). Kun lisäksi tarkastellaan kahta ydinvoimavaihtoehtoa, rajoitusskenaarioita on kaiken kaikkiaan 20. Rajoitusskenaarioissa vaihdellaan lisäydinvoiman lisäksi muiden kasvihuonekaasupäästöjen määrää, sähkön enimmäistuontimäärää (5/6 TWh tai 10 % sähkön kokonaistuotannosta), turpeen energiakäyttömäärää sekä joustavuusmekanismeilla hankittavien hiilidioksidipäästöjen määrää. Kahdessa rajoitusskenaariossa optimoidaan kaasujen välinen kasvihuonekaasupäästövähennys eli pyritään kokonaisuudessaan mahdollisimman alhaisiin kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen kustannuksiin.

Rajoitusskenaarioiden suorat kustannukset vuonna 2010 vaihtelevat noin 400 miljoonasta markasta noin 3,2 miljardiin markkaa.<sup>71</sup> Korkeimmat kustannukset

<sup>71</sup> Kyseessä olevat suorat kustannukset vastaavan tämän tutkimuksen hiilidioksidiverosta aiheutuvia suoria kustannuksia. Sen sijaan ko. tutkimuksissa ei esitetä ohjauskeinon, kuten hiilidioksidiveron kustannuksia, eli tämä osa välittömistä kustannuksista puuttuu. Koska tutkimuksissa ohjauskeinona on implisiittisesti hiilidioksidivero, lasketut suorat kustannukset ovat teoreettisia minimikustannuksia.

ovat rajoitusskenaariossa ilman lisäydinvoimaa, sähkön tuonnilla viisi TWh, metaanipäästöillä kolme miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttonnia ja dityppioksidipäästöillä 4,5 miljoonaa ekvivalenttonnia sekä alhaisella turpeen energiakäytöllä. Vastaavasti kaikkein alhaisimmat suorat kustannukset saavutetaan optimoimalla eri kasvihuonekaasupäästöjen välinen päästöjen vähennys, käyttämällä lisäydinvoimaa ja joustavuusmekanismeja hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen. Tässä vaihtoehdossa alhaisista kustannuksista huolimatta muut rajoitteet olivat korkeita eli turpeen energiakäytöllä on suurin käyttötavoite ja sähkön tuonti on vain viisi TWh. Mikäli viimeksi mainituista rajoitteista luovutaan kustannukset olisivat jonkin verran alemmat.

Vuonna 2010 sähkön tuontimahdollisuus ja lisäydinvoima alentavat suoria kustannuksia merkittävästi. Lisäydinvoiman vaikutus suoriin kustannuksiin on noin miljardi markkaa.

Kasvihuonekaasupäästörajoitteen sitovuutta mittaa kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen marginaali- eli rajakustannus. Ilman joustavuusmekanismien hyödyntämistä ja ilman lisäydinvoimaa rajakustannus on reilut 200 markkaa tonnia kohden. Vastaavasti lisäydinvoimalla ilman joustavuusmekanismien hyväksikäyttöä rajakustannus alentuu 50-80 markalla tonnia kohden.

Ilman lisäydinvoimaa joustavuusmekanismien hyödyntäminen alentaa rajakustannuksia noin 100 markalla tonnia kohden ja samoin käy lisäydinvoimalla.

Toisessa yksityiskohtaisessa VTT:llä tehdyssä tutkimuksessa arvioidaan kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen saavuttamisen kustannuksia ja vaikutuksia energiajärjestelmässä (Lehtilä & Tuhkanen 1999b). Rajoitusskenaariossa tarkastellaan Kioton tavoitteen toteuttamisen mukaisia kustannuksia joko ottamalla huomioon kaikki kolme kasvihuonekaasua tai vain hiilidioksidi. Kasvihuonekaasupäästöjä rajoitetaan myös siten, että tavoitteen on säteilypakotteen rajoittaminen. Kyseisessä tavoitteessa otetaan huomioon se seikka, että kolmen tarkastellun kasvihuonekaasupäästön elinikä ja näin myös niistä aiheutuva säteilypakote tarkasteluajanjaksolla (vuoteen 2040 asti) eivät ole samoja. Kasvihuonekaasupäästöt, joilla kasvihuonekaasupäästötavoite saavutetaan ovat hiilidioksidi, metaani ja dityppioksididi. Kolmen muun kaasun poisjättäminen tarkastelusta ei muuta tuloksia, koska näiden kaasujen osuus kasvihuonekaasupäästöistä on vajaa prosenti.

Rajoitusskenaarioissa on kasvihuonekaasupäästörajoitteen lisäksi varioitu myös maakaasun käyttömäärää, biomassan hyödyntämispotentiaalia ja –kustannuksia sekä uusien energiantuotanto- ja energiasäästötekniikoiden hintaa.

Ilman lisäydinvoimaa Kioto-tavoitteen toteuttaminen merkitsee energiantuotannon erityisesti erillisen sähköntuotannon rakennemuutosta. Perusskenaariossa erillinen sähköntuotanto perustuu pitkälti kivihiileen ja rajoitusskenaarioissa

maakaasuun. Energiantuotannon rakennemuutoksesta huolimatta teollisuuden sähkön kulutus alenee 4–7 prosenttia perusskenaariosta.

Ilman lisäydinvoimaa Kioto-tavoitteen toteuttamisen suorat kustannukset vuonna 2010 vaihtelevat miljardista markasta noin kahteen miljardiin markkaan. Alhaisimmat kustannukset aiheutuvat rajoitusskenaariossa, jossa energiantuotannon ja säästötekniikoiden tekninen kehitys oletetaan nopeaksi ja biomassan hyväksikäyttö kustannustehokkaasti on mahdollista. Korkeimpia noin kahden miljardin markan suoria kustannuksia voitaneen pitää oikeimpana kustannusmittarina, koska vuoteen 2010 mennessä ei voitane olettaa ainakaan kaikkien tekniikoita ja biomassaa koskevien optimististen oletusten voivan toteutua.

Vuonna 2010 ilman lisäydinvoimaa kasvihuonekaasupäästötavoitteen (kaikki kolme kasvihuonekaasua ovat mukana) toteuttamisen rajakustannus on noin 220–230 markkaa tonnia kohden.

Lisäydinvoima suurin piirtein puolittaa Kioto-tavoitteen toteuttamisesta aiheutuvat suorat kustannukset vuonna 2010. Lisäydinvoiman vaikutusta kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen rajakustannuksiin ei ole tutkimuksessa esitetty.

Teknillisen korkeakoulun mallilla on laskettu pääasiassa erilaisten energiantuotantovaihtoehtojen ja energian säästön vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin ja energiantuotantojärjestelmän kustannuksiin. Energiajärjestelmämallilla, luonnollisesti myös VTT:n mallilla voidaan laskea niin sanotut yhteisvaikutukset. Erityisen relevantteja tuloksia ovat kaukolämmön säästön ja sähkölämmitys sähkön säästön vaikutukset hiilidioksidipäästöihin. Osoittautuu, että lämmityssähkön säästö on suhteellisen tehokas keino (hiilidioksidipäästöjen määrän kannalta) hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä. Sen sijaan yhteistuotantolämmön säästön teho hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa riippuu pitkälti polttoaineesta, jolla ko. tuotanto tapahtuu. Esimerkiksi maakaasulla tuotetun yhteistuotantokaukolämmön säästö lisää energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä ja kivihiilellä tuotetun kaukolämmön säästö vähentää jossakin määrin hiilidioksidipäästöjä. Yhteisvaikutus syntyy tässä tapauksessa siitä, että yhteistuotannossa lämmön tuotannon vähentyminen vähentää myös sähkön tuotantoa ja ko. sähköntuotanto täytyy korvata erillisen sähköntuotannon lisäyksellä (Vehmas, Petäjä, Kaivo-oja, Malaska & Luukkanen 1998).

Tutkimuksessa on myös arvioitu sähkön säästön rajakustannus sähkön tuotantojärjestelmän kannalta. Osoittautuu, että vuonna 2010 kahden terawattitunnin sähkön säästö merkitsee 168–181 markan kustannussäästöjä sähkön tuotannossa megawattituntia kohden.

### 3.2 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudelliset vaikutukset

Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellisia vaikutuksia on arvioitu useilla erilaisilla malleilla. Luonnollisesti ennen Kioto-sopimuksen allekirjoittamista ja EU:n taakanjakoa Suomen hiilidioksidipäästötavoite ei ollut selvillä, joten eri tutkimusten hiilidioksidipäästörajoite on erilainen. Ainoastaan kaikkein uusimmissa tutkimuksissa rajoite on Suomen EU taakanjakoneuvotteluiden mukainen. Kuitenkaan nämäkään tutkimukset eivät ole kaikilta osin vertailukelpoisia, koska esimerkiksi perusskenaarioissa talouden kasvu ja rakenne on erilainen.

Taulukossa 2 on esitetty Suomen Kioto tavoitteen eli vuoden 1990 hiilidioksidipäästötason saavuttamisen kokonaistaloudelliset kustannukset eri tutkimuksissa.<sup>72</sup>

Taulukossa 2 on esitetty joidenkin kokonaistaloudellisten muuttujien vaihteluväli. Vaihteluväliin vaikuttaa muun muassa oletukset ulkomaankaupasta, työmarkkinoiden joustoista, hiilidioksidiveron takaisinkierrätysmenettelystä sekä energiantuotannon joustavuudesta. Sen sijaan esimerkiksi joustavuusmekanismien hyödyntämisen tai energiansäästön vaikutuksia muuttujien vaihteluväliin ei ole otettu huomioon. Honkatukian Kioto joustavuusmekanismeja käsittelevässä tutkimuksessa joustavuusmekanismien hyödyntäminen alentaa sekä tarvittavaa hiilidioksidiveroa että kulutuksen tai hyvinvoinnin muutosta (Honkatukia 1999a). Honkatukian energiansäästön kustannusvaikutusta käsittelevässä tutkimuksessa energiansäästö alentaa joissakin tapauksissa tarvittavaa hiilidioksidiveroa ja joissakin tapauksissa se nostaa sitä. Energiansäästön lisääntyminen alentaa kotitalouksien kulutusta joissakin tapauksissa ja joissakin tapauksissa se lisää kulutusta perustilanteeseen eli ei lainkaan energiasäästöä vaihtoehtoon (Honkatukia 1999b).

Taulukossa 2 ei ole esitetty vientilukuja, jotka ovat negatiivisia. Vienti vähenee, koska, kuten taulukosta ilmenee energiaintensiivisen vientiteollisuuden tuotanto alenee. Viennin alentumiseen vaikuttavat muun muassa onko vientiteollisuus vapautettu hiilidioksidiverosta (Honkatukia 1997, Alatalo 1998) ja se missä määrin vientiteollisuuden maailmanmarkkinahinnat reagoivat Suomessa tapahtuvan tuotantokustannusten muutoksiin, toisin sanoen, mikä on viennin hintajouaston arvo.

---

<sup>72</sup> Honkatukian vuoden 1997 tutkimuksesta on laskettu hiilidioksidipäästöjen '7,5 prosentin vaikutukset' (vuoden 1997 päästötasolta), mikä suurin piirtein vastaa Suomen Kioto tavoitetta, vaikutukset laskemalla yksinkertaisesti keskiarvot 10 ja 5 prosentin päästöjen vähentämisvaihtoehtojen tuloksista.

*Taulukko 2. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudelliset vaikutukset suomalaisissa tutkimuksissa.*

	Hiilidioksidivero mk/tonni	Bruttokansantuotteen muutos ero perusskenaarioon %	Kotitalouksien kulutus/hyöty ero perusskenaarioon %	Paperiteollisuuden tuotanto ero perusskenaarioon %	Perusmetallien tuotanto ero perusskenaarioon %	Sähköntuotanto ero perusskenaarioon %	Hiilidioksidipäästöjen muutos %
Alatalo 1998	110 – 275	-3,2 - (+0,3)	-3,1 - (+0,5)	-7,1 - (-2,5)	-13,8 - (-1,5)	-14- (+9)	16,2 -29,3
Honkatukia 1997	118,5 – 495,7	-0,9- (-0,44)	-0,23/-0,23 – (-0,7/-0,38)	-8,5- (+8,3)	-11,8 – (+21,8)	18,9 – (-12,5)	-10 % (vuoden 1997 tasolta)
Honkatukia 1998 <sup>x</sup>	264,7 – 534,6	-6 – 0	-20,1/-19,7 - (-0,8/-0,5)	ei raportoitu	Ei raportoitu	Ei raportoitu	-32,6 (suhteessa 2010 päästö-tasoon)
Honkatukia 1999a, joustavuusmekanis- meja ei käytetä <sup>x</sup>	473,3	-3,7	-4,2/-2,2	-17,7	-13,9	-27,4	-30,5 (suhteessa 1990 päästöihin)
Honkatukia 1999b, ei energian säästöä <sup>x</sup>	419-544	-3,1 - (-0,9)	-2,7/-1,9 - (-1,9/-1,1)	-14,4 – (-6,6)	-27,1 – (-11,5)	-17,9 – (-15,9)	-31,
Sulamaa 1995	240/70	-0,16	–	≈-2	≈-15	≈-50	≈-23
Pohjola 1997	275-354	-0,94- (-0,4)	-1,6 – (- 2,3)	-24- (-9)	-40 – (-2)	-22,3	-33,9
Forsström & Honkatukia 2001	Ei perustu hiilidioksidiveroon	-1,4 - (-0,2)	-1,4 - (-0,4)	-2,7 – (-1,1)	-4,2 – (-1,6)		
Kemppi, Perrels & Lehtilä 2001	Ei perustu hiilidioksidiveroon	-0,6 – (-0,3)	-1,2 – (-0,6)	-0,4 – (-0,1)	-0,2 - 0		

x= laskelmat eivät perustu täydelliseen hiilidioksidiveroon.

Pohjolan laskelmissa vientiteollisuuden hintajoustop alentaminen johtaa huomattavasti alhaisempaan hyvinvointitappioon. Tämä johtuu siitä, että ko. mallissa maa kykenee vaikuttamaan vaihtosuhteeseensa eli vaihtosuhte paranee.<sup>73</sup> Toisin sanoen maa kykenee maksattamaan osan välittömistä kustannuksista (veroista ja suorista kustannuksista) muilla mailla. Kun puunjalostusteollisuuden kustannusjoustoa alennetaan muiden teollisuudenalojen tilanne heikentyy, koska hiilidioksidipäästöt eivät tässä tapauksessa vähene samassa määrin puunjalostusteollisuuden tuotannon alentumisella. Tällöin muun teollisuuden on vähennettävä enemmän hiilidioksidipäästöjään.

Taulukon 2 perusteella voidaan päätellä, että periaatteessa samallakin kokonaistaloutta kuvaavalla mallilla tulokset vaihtelevat huomattavasti. Luonnollisesti mallien väliset tulokset eroavat myös huomattavasti, koska kuten jo mainittiin

<sup>73</sup> Vaihtosuhte paranee, kun vientihintojen suhde tuontihintoihin kasvaa. Tämä voi tapahtua joko tuontihintojen laskulla ja/tai vientihintojen nousulla.

muun muassa perusskenaariot eroavat toisistaan. Useimmiten hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen alentaa kotitalouksien kulutusta ja/tai hyötyä, kokonaistuotantoa ja vientiä. Kokonaistaloudellisissa mallilaskelmissa tarvittava Suomen hiilidioksidipäästötavoitteen toteuttava hiilidioksidivero on suhteellisen korkea, kun sitä verrataan energiajärjestelmämallin vastaavaan eli hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen rajakustannuksiin (ks. luku 3.2). Eroon on kaksi selitystä. Ensinnäkin kokonaistaloudellisissa malleissa energiantuotannon joustavuus on useimmiten pienempi kuin energiajärjestelmämalleissa (Kemppi & Pohjola 2000).<sup>74</sup> Toiseksi uusimmissa energiajärjestelmämallin tuloksissa (kaksi alinta riviä) otetaan huomioon useat kasvihuonekaasut eikä vain hiilidioksidia, jolloin hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannus alenee. Uusimmissa tutkimuksissa siis Suomen kasvihuonekaasupäästötavoite saavutetaan suhteessa suurilla muutoksilla energiantuotannossa ja suhteessa pienillä muutoksissa kulutuksessa ja tuotannossa, kun tuloksia verrataan aikaisempiin tutkimuksiin.

Energiajärjestelmämallin ja kokonaistaloudellisten mallien tulosten perusteella voidaan todeta, että hiilidioksidipäästörajoite todella on rajoite, mutta rajoitteen sitovuus eli sen vaikutus hyvinvointiin vaihtelee huomattavasti. Lähestulkoon kaikissa kokonaistaloudellisissa mallilaskelmissa hyvinvointi alenee perusskenaarioon verrattuna, mutta luonnollisesti kuluttajien taloudellinen hyvinvointi on vuonna 2010 hiilidioksidipäästörajoitteesta huolimatta korkeampi kuin esimerkiksi hyvinvointi on vuonna 2001.

#### *Suomalaisten mallilaskelmien tulokset toiseksi parhaiden menettelyiden taloudellisista vaikutuksista*

Tässä yhteydessä toiseksi parhaaksi menettelyksi on määritelty kustannustehokkaasta ratkaisusta poikkeava menettely, kuten hiilidioksidiverosta poikkeaminen tai hiilidioksidiverosta vapautukset. Tehokkuus on siis määritelty energiajärjestelmän kustannusten minimoimiseksi. Joissakin tutkimuksissa on menetelty siten, että on ensiksi laskettu kokonaistaloudelliset vaikutukset täydellisellä hiilidioksidiverolla ja sitten on tehty hiilidioksidiverojärjestelmään poikkeuksia esimerkiksi vapauttamalla tietyt toimialat hiilidioksidiverosta (Alatalo 1998, Pohjola 1997). Joissakin tutkimuksissa on tarkasteltu hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen näkökulmasta kustannustehottomia ohjauskeinoja, kuten nykyisen energiaverorakenteen vaikutuksia. Esimerkiksi Honkatukian laskelmissa tarkastellaan ensiksi nykyisen verorakenteen vaikutuksia, jonka jälkeen verorakenteeseen lisätään hiilidioksidipäästökiintiöjärjestelmä. Tällöin huutokaupattavilla päästökiintiöillä tietty toimiala maksaa ensiksi nykyiset energiaverot ja niiden lisäksi hiilidioksidipäästöistä. Honkatukia tarkastelee myös ilmaiseksi jaettavien hiilidioksidipäästökiintiöiden tapauksia. Honkatukia toteaaakin, että kyseisellä menettelyllä huutokaupattavien päästölupien järjestelmä ei tuota kustannusteho-

<sup>74</sup> Ero johtuu siitä, että energiajärjestelmämalleissa ja kokonaistaloudellisissa malleissa useimmiten energiantuotanto on mallitettu hyvin eri tavalla, mikä johtaa myös erilaiseen joustavuuteen

kasta ratkaisua, mutta kotimaisen päästölupakaupan vaikutuksia voidaan näin menetellen verrata nykyisen verojärjestelmän mukaisiin tuloksiin (Honkatukia 2000).

Alatalon tutkimuksessa tarkastellaan tapauksia, joissa jokin talouden sektori vapautetaan hiilidioksidiverosta. Kyseinen menettely kohottaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa ja eniten niissä tapauksissa, joissa jokin energiaintensiivinen teollisuuden toimiala tai koko energiaintensiivinen vientiteollisuus vapautetaan hiilidioksidiverosta (Alatalo 1998).

Alatalon tutkimuksessa laajan koko taloutta koskevan hiilidioksidiveron tapauksessa saavutetaan tuplapotti työllisyyden suhteen eli hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen Kioton tavoitteen tasolle lisää työllisyyttä. Positiivinen työllisyysvaikutus heikkenee, kun jokin talouden sektori vapautetaan hiilidioksidiverosta. Joustavien reaalipalkkojen ja kapeamman hiilidioksidiveropohjan tapauksessa bruttokansantuote alenee, kun se kattavan hiilidioksidiveron tapauksessa ei muutu lainkaan. Vastaavasti joustamattomien reaalipalkkojen tapauksessa bruttokansantuotteen muutos on sama tai alempi silloin, kun hiilidioksidiveropohjaan tehdään sitä kaventavia muutoksia.

Yksityiseen kulutukseen sekä joustavien reaalipalkkojen että joustamattomien reaalipalkkojen tapauksessa veropohjan kaventaminen vaikuttaa kulutusta alentavasti. Toisin sanoen tietyissä tapauksissa toteutuva positiivinen vaikutus yksityiseen kulutukseen heikkenee ja tietyissä tapauksissa toteutuva negatiivinen vaikutus vahvistuu. Luonnollisesti vientiteollisuuden vapauttaminen hiilidioksidiverosta pienentää hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vaikutuksia vientiin.

Pohjolan tutkimuksessa alunpitäen rauta- ja terästeollisuus on vapautettu hiilidioksidiverosta, joten herkkyytarkastelussa arvioidaan, kuinka kokonaistaloudelliset suuret muuttuvat, kun ko. toimialaa ei vapauteta hiilidioksidiverosta. Hyvinvointitappio pienenee ja bruttokansantuote alentuu vähemmän. Muut teollisuuden toimialat, kuten paperiteollisuus, hyötyy eli sen tuotanto on suurempi, kun myös rauta- ja terästeollisuuden hiilidioksidipäästöjä verotetaan (Pohjola 1997).

*Energiaverojen takaisinkierrätyksen taloudelliset vaikutukset suomalaisissa mallilaskelmissa*

Suomalaissa hiilidioksidi- ja energiaveromallilaskelmissa energiaverojen kertymän muutos perusskenaarioon verrattuna on aina ollut positiivinen, joten tuloksia ei ole lainkaan tapauksesta, jossa energiaverojen kertymä jää hiilidioksidiveron tapauksessa alemmaksi kuin perusskenaarion energiaverojen kertymä.<sup>75</sup>

<sup>75</sup> Nykyiset energiaverot; lämmöntuotannon polttoaineverot ja sähkövero vastaavat vuoden 2010 energiaverokertymän tasolla arvioituna noin 125 markan hiilidioksidiveroa, kun hiilidioksidiveropohja on sama kuin tässä tutkimuksessa. Mallilaskelmissa hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero on

Tutkimuksissa on tarkasteltu energiaverokertymän takaisinkierrättämisen vaikutuksia könttäsuummapalautuksina, tulonsiirtoina, jotka useimmiten vastaavat könttäsuummapalautuksia, työntekijöiden tuloverojen alennuksina ja työnantajien sosiaalivakuutusmaksujen alennuksina. Tutkimuksissa useimmiten könttäsuummapalautuksissa kokonaistaloudelliset vaikutukset ovat kaikkien heikoimmat.

Useimmiten muut menettelyt kuin könttäsuumma siis tuottavat hyödyn kannalta paremmin tuloksen. Honkatukian tutkimuksessa kuitenkin silloin, kun Suomen kilpailukyky heikkenee könttäsuummapalautus tuottaa hyödyn kannalta paremman tuloksen kuin sosiaaliturvamaksujen alentaminen (Honkatukia 1999b).

Alatalon tutkimuksessa joustavan reaali-palkan tapauksessa sosiaalivakuutusmaksuilla toteutettava takaisinkierrätys tuottaa paremman tuloksen kuin kotitalouksien tuloveroilla toteutettava takaisinkierrätys. Joustamattoman reaali-palkan tapauksessa hyödykeverojen alennus tuottaa parhaimman tuloksen. Joustavan reaali-palkan tapauksessa ja myös Honkatukian tutkimuksessa kotitalouksien tuloveroilla tapahtuva takaisinkierrätys on tehokkaampi menettely kuin on yritysten sosiaalivakuutusmaksuilla tapahtuva takaisinkierrätys.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että mallilaskelmien mukaan hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen ei useimmiten mahdollista kaksoishyötyä eli hyvinvoinnin lisääntymistä ja hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamista. Alatalon tutkimuksessa työllisyys sekä kulutus kasvavat, mikä todennäköisesti merkitsee myös hyvinvoinnin lisääntymistä, vaikka ko. tutkimuksessa ei esitetäkään varsinaisia hyvinvointituloksia. Muissa tutkimuksissa hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen merkitsee hyvinvoinnin alentumista perusskenaarioon verrattuna.

Tutkimusten mukaan energiaverojen palautusmenettely vaikuttaa merkittävästi hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisesta aiheutuviin kokonaistaloudellisiin kustannuksiin. Huonoin tulos saadaan könttäsuummapalautuksilla ja useimmiten paras tulos kotitalouksien tuloveroilla. Työnantajien sosiaaliturvamaksujen alentaminen pienentää myös merkittävästi kokonaistaloudellista kustannusta, mutta useimmiten vähemmän kuin kotitalouksien tuloverojen alentaminen.

---

useimmiten huomattavasti korkeampi. Kuten tässä tutkimuksessa osoittautuu hiilidioksidiveron kertymä ei välttämättä aina ole suurempi kuin perusskenaarion energiaverokertymä.



## 4 Hiilidioksidiverolaskelmien periaatteet ja tulokset

### 4.1 Laskelmien taustaoletukset ja periaatteet

Tämän tutkimuksen laskelmissa Suomen taloutta koskeva kasvihuonekaasupäästörajoite toteutetaan hiilidioksidiverolla. Hiilidioksidivero ei koske liikennepolttonesteitä, joiden vero hiilidioksidipäästöyksikköä kohden on jo nyt moninkertainen muiden polttoaineiden vastaavaan verotukseen. Liikennepolttonesteissä ovat voimassa nykyiset veroperusteet.<sup>76</sup> Hiilidioksidivero ei koske myöskään koksia, koksamo-, masuuni- ja konvertterikaasuja eikä masuuniöljyä, koska koksen ja öljyn käytölle pelkistäjänä raudan ja teräksen valmistuksessa ei ole teknis-taloudellista vaihtoehtoa ja lisäksi kilpailukykyiden vuoksi hiilidioksidiveroa ei voida toteuttaa.<sup>77</sup> Nykyiset uusiutuvien energialähteiden tuet ovat mallilaskelmissa voimassa eikä hiilidioksidivero koske puupolttoaineita niiden oletetun 'ilmastonmuutosneutraalisuuden' vuoksi.

Hiilidioksidiverolla korvataan nykyiset lämmöntuotannon polttoaineverot ja sähkövero. Näitä veroja perustellaan muun muassa energiantuotannon hiilidioksidintensivisyyden alentamisella, uusiutuvien energialähteiden käytön edistämällä ja energiansäästöllä. Hiilidioksidiverolla on samat vaikutukset, mutta käytännössä vaikutus kahteen viimeksi mainittuun tekijään riippuu tarvittavan hiilidioksidiveron suuruudesta.

Periaatteessa hiilidioksidiveron käyttö minimoi kaksi taloudellista tekijää energijärjestelmämallissa, (1) suorat kustannukset ja (2) tarvittavan energiaverokertymän. Ensiksi mainittua tekijää voidaan pitää mittatikkuna arvioitaessa vaihtoehtoisia hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamismenettelyitä, joissa suorat kustannukset ovat väistämättä suuremmat. Tarvittavaa hiilidioksidiverokertymää voidaan verrata nykyperusteisen energiaverotuksen kertymään ja voidaan tarkastella muun muassa tuotantopanosten verotuksen optimaalisuutta.

---

<sup>76</sup> Pelkästään bensiinin arvonlisävero vastaa noin 400 markan hiilidioksidiveroa hiilidioksidipäästötonnia kohden. Todennäköisesti hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen korottamalla liikennepolttonesteiden verotusta ei ole kustannustehokasta, koska näiden vero on alkutilanteessa moninkertainen muiden polttonesteiden verotukseen verrattuna, jonka vuoksi energiankäytön tehostamistoimenpiteet on viety pidemmälle liikennepolttonesteiden käytössä kuin muiden (fossiilisten) polttoaineiden käytössä.

<sup>77</sup> Herää tietysti kysymys, miksei energiaintensiivistä puunjalostusteollisuutta ole vapautettu hiilidioksidipäästöverosta. Ensinnäkin puunjalostusteollisuudella voidaan olettaa olevan paremmat mahdollisuudet sekä polttoainerakenteen muutokseen että energiansäästöön. Myös tuotejakaumaa voidaan jossakin määrin muuttaa. Lisäksi voitaneen olettaa, että puunjalostusteollisuudella on suurempi mahdollisuus siirtää kustannuksia vientihintoihin. Metallien perusteollisuutta ei ole vapautettu siihen ostoenergian kautta kohdistuvasta hiilidioksidiverosta.

Energiajärjestelmämallin laskelmissa toimii kaksi (lisä)rajoitetta, joista toinen koskee turpeen käyttöä ja toinen sähkön tuontia.<sup>78</sup> Turpeen käytöllä on alaraja, joka on vuoden 1990 turpeen käytön mukainen. Sähkön tuonti on korkeintaan kuusi terawattituntia. Laskelmissa tehdään herkkyystarkastelu, jossa sähkön tuonti määräytyy sähkön tuontitarjontarelaatioiden ja Suomen sähköntuotannon rajakustannusten mukaan, jolloin sähköntuonti on korkeintaan 15 TWh.

Laskelmissa on kaksi ydinvoimavaihtoehtoa ilman lisäydinvoimaa eli nykyisellä ydinvoimantuotantokapasiteetilla ja lisäydinvoimalla eli vuodesta 2008 eteenpäin on käytössä yksi 1300 MW tehoinen (lisä)ydinvoimala.

Herkkyystarkastelun vaihtoehdot lisäydinvoima ja sähkön tuonti ovat ilmasto-oliittisessa keskustelussa usein esillä, joten näistä todetaan lyhyesti seuraavaa:

- ydinvoimalla tuotetun sähköntuotantokustannukset perustuvat ydinvoiman teknis-taloudellisiin ominaisuuksien ja voimassa olevan lainsäädännön mukaisiin maksuihin ja normeihin
- sähkön tuontimahdollisuudet eli tuontisähkön tarjontarelaatio perustuu VTT:llä tehtyyn tutkimukseen sähkön tuontimahdollisuuksista. (Tuonti)sähkön tarjonnan kustannuksiin ei sisälly mahdollinen sähkön tuottajamaan perimä hiilidioksidipäästöoikeuden hinta.

Kaiken kaikkiaan siis arvioidaan neljän rajoitusskenaarion taloudelliset vaikutukset:

- 1) OP1: ei lisäydinvoimaa ja sähkön tuonti on korkeintaan kuusi TWh
- 2) OP1S: ei lisäydinvoimaa ja sähkön tuonti määräytyy Suomen sähköntuotannon rajakustannusten ja sähkön tuonnin rajakustannusten perusteella. Maksimi sähköntuonti on 15 TWh.
- 3) OP2: lisäydinvoima ja sähkön tuonti on korkeintaan kuusi TWh
- 4) OP2S: lisäydinvoimaa ja sähkön tuonti määräytyy Suomen sähköntuotannon rajakustannusten ja sähkön tuonnin rajakustannusten perusteella. Maksimi sähköntuonti on 15 TWh.

Hiilidioksidivero johtaa energiajärjestelmämallissa

- energiantuotannon rakenteen muuttumiseen mukaan lukien sähkön tuonti herkkyystarkastelussa

---

<sup>78</sup> Lisäksi mallissa on luonnollisesti useita muitakin (teknisiä) rajoitteita, kuten maakaasuverkon laajuus yms.

- uusiutuvien hiilidioksidiverottomien energialähteiden käytön lisääntymiseen
- energian kysynnän vähentymiseen energian säästön vuoksi

Laskelmissa edellä mainitut muutokset ovat endogeenisiä eli ne seuraavat kustannusten minimoinnista. Hiilidioksidiverolla ei siis pyritä energiansäästöön tai uusiutuvien energialähteiden käyttöön sinänsä, vaan niitä käytetään toimenpiteinä hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisessa siihen rajaan asti kuin on niitä kustannustehokasta käyttää. Toisin sanoen näissä laskelmissa niillä on välinearvo. Energian käyttöön liittyvien kustannusten minimointitavoite voidaan tulkita siten, että energian käytöstä on hyötyä yrityksille ja kotitalouksille, jolloin em. kustannusten minimointi merkitsee, että energiankäyttö taloudessa vähenee mahdollisimman vähän hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen vuoksi. Nämä oletukset vastaavat muiden hiilidioksidiverotutkimusten oletuksia. Toki taloustieteen menetelmien myös tässä tutkimuksessa käytettävillä malleilla, voidaan tarkastella mitä kustannuksia aiheutuu mikäli yhteiskunnalla on esimerkiksi energiansäästöä koskevia (erillisiä) tavoitteita.

Yhdessä rajoitusskenaariossa hiilidioksidiverokertymä on merkittävästi suurempi kuin on nykyisten energiaverojen kertymä perusskenaariossa (OP1) ja kahdessa hiilidioksidiverokertymä on pienempi kuin perusskenaariossa energiaverojen kertymä (OP2 ja OP2S). Yhdessä rajoitusskenaariossa (OP1S) energiaverokertymä ei juurikaan muutu. Koska takaisinkierrätettävien tai takaisinkerättävien energiaverojen määrä on suhteellisen pieni, kaikki rajoitusskenaariot lasketaan vain vaihtoehdolla, jossa energiaverokertymän lisäys takaisin kierrätetään kotitalouksien tuloveroilla ja vastaavasti energiaverojen vajeus kerätään takaisin kotitalouksien tuloveroilla. Mikäli verotuksen tasapainottaminen tapahtuisi työnantajien sosiaalivakuutusmaksuilla kokonaistaloudelliset tulokset eivät mainituilla energiaverokertymän muutoksilla juurikaan poikkeaisi julkaistuista tuloksista.

## 4.2 Energiajärjestelmämallin tulokset

### 4.2.1 Energiantuotannon rakenne ja energian säästö

Hiilidioksidin tapauksessa energiaverokertymään vaikuttaa pääasiassa hiilidioksidivero, joka taas riippuu hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannuksista. Tämä johtuu siitä, että hiilidioksidipäästöt ovat kaikissa vaihtoehdoissa varsin tarkkaan samat, eli veropohja (hiilidioksidipäästötonnit) on käytännössä vakio.<sup>79</sup> Tällöin energiaverokertymä riippuu tarvittavasta hiilidioksidiverosta tonnia kohden.

<sup>79</sup> Hiilidioksidipäästötavoite muuttuisi mikäli energiantuotantovaihtoehdot vaikuttaisivat merkittävästi kasvihuonekaasujen väliseen optimiin. Energiajärjestelmämallin tulosten perusteella kuitenkin käytännössä optimaaliset hiilidioksidipäästöt ovat vakiot, jolloin hiilidioksidivero kertymä riippuu hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannuksista eli tarvittavasta hiilidioksidiverosta.

Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannuksiin eli tarvittavaan hiilidioksidiveroon vaikuttaa näissä laskelmissa kaksi seikkaa: ydinvoimavaihtoehdot ja sähkön tuonti. Ydinvoima ja sähkön tuonti vaikuttavat kummatkin sen vuoksi, että ne ovat verottomia eli hiilidioksidipäästövapaita sähköntuotantomuotoja. Ydinvoima on lisäksi suhteellisen edullinen sähköntuotantomuoto, jopa perusskenaarion kivihiihivoimaan verrattuna. Ydinvoimalla on siis kaksi kustannusetua. Tämä ilmenee siten, että lisäydinvoima suurin piirtein puolittaa (sähkön tuonti korkeintaan 6 TWH) tarvittavan hiilidioksidiveron ja tuontisähkönkin tapauksessa se alentaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa noin 25 %.

Tuontisähkö ei ole yhtä edullinen vaihtoehto kuin lisäydinvoima (hintaa on korkeampi), mutta tuontisähkön edullisuutta lisää sen hiilidioksidipäästöttömyys. Tämä ilmenee siten, että ilman lisäydinvoimaa tuontilisäsähkö alentaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa noin 35 % ja lisäydinvoimalla noin viisi prosenttia.

Lisäydinvoima ja tuontisähkö vaikuttavat energijärjestelmässä samalla tavalla eli joustavuuden lisääjinä, mikä ilmenee niiden hiilidioksidiveroa alentavana vaikutuksena. Tällöin myös energiaverokertymä eli hiilidioksidiverokertymä vaihtelee varsin paljon ydinvoimavaihtoehdoista ja sähköntuontimahdollisuudesta riippuen.

Mikäli energiaverotuksen ainoana tarkoituksena on hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen, riittävään päästöjenvähennykseen johtava veropolitiikka (veroperusteet ja energiaverokertymä) riippuu huomattavasti energiantuotannon vaihtoehtoista.<sup>80</sup>

Taulukossa 1 ilmaistaan tarvittava hiilidioksidivero vuonna 2010 markkaa hiilidioksiditonnia kohden.

---

<sup>80</sup> Energiaverotuksella voi toki olla muitakin tavoitteita kuin hiilidioksidipäästöjen alentaminen, kuten esimerkiksi energiansäästö. Joissakin tapauksissa energiantuotannon ratkaisut ja energian säästö voivat joutua samantyyppiseen ristiriitaan kuin hiilidioksidipäästöjä rajoitettaessa energiaverokertymää koskevat tavoitteet ja energiantuotantorakenteen muutos. Esimerkiksi lisäydinvoiman tapauksessa energiansäästö-tavoite johtaa energiaverotuksen kiristymiseen, jotta edullisen sähköntuotantomuodon vaikutus sähkön kysyntään voidaan neutraloida.

*Taulukko 3. Hiilidioksidivero vuonna 2010 eri rajoitusskenaariossa vuoden 2000 rahassa.*

2010	Ei lisäydinvoimaa	Lisäydinvoima
Sähkön tuonti korkeintaan 6 TWh	OP1: 208	OP2: 106
Sähkön tuonti tuonnin rajakustannusten mukaan korkeintaan 15 TWh	OP1S: 135	OP2S: 101

Tarvittava hiilidioksidivero mittaa kasvihuonekaasurajoitteen sitovuutta. Hiilidioksidivero vaikuttaa myös sähköntuotannon ja käytön rajakustannuksiin, jolloin se vaikuttaa energiaverojen lisäksi myös tarvittaviin suoriin kustannuksiin. Uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen ja energiansäästö muuttuvat käänteisesti hiilidioksidiveron suhteen. Taulukossa 4 esitetään eri rajoitusskenaarioiden primäärienergiankulutus energialajeittain.

*Taulukko 4. Primäärienergiälähteiden käyttö 2010 perusskenaariossa ja eri rajoitusskenaarioissa.*

2010	Perusskenaario	OP1	OP1S	OP2	OPS2
Sähkön tuonti	19,8	21,6	50,4	21,6	26,8
Vesi ja tuuli	49,0	52,5	51,9	51,8	51,8
Ydinvoima	233,5	233,5	233,5	353,8	353,8
Puubiomassa	137,3	176,5	151,8	141,2	140,7
Jäteliemet	152,7	152,7	152,7	152,7	152,7
Öljy	372,3	378,2	376,2	377,4	377,3
Maakaasu	185,9	205,0	192,1	191,6	181,8
Turve	75,0	55,9	55,9	55,9	55,9
Hiili	241,5	104,3	114,5	112,3	115,4
Reaktiolämpö	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
Muut	40,2	57,2	56,1	53,4	54,0
YHTEENSÄ	1513,9	1444,2	1441,9	1518,6	1516,9

Korkea hiilidioksidivero ei-lisäydinvoimavaihtoehdossa (verrattuna lisäydinvoima vaihtoehtoon) ilmenee perusskenaariota pienempänä primäärienergian kulutuksena eli energiansäästönä (taulukko 4). Sähkön tuonti vähentää puubiomassan, maakaasun ja tuulivoiman käyttöä.

Lisäydinvoimalla primäärienergian kulutus on suurin piirtein perusskenaarion mukainen. Ilman lisäsähkön tuontia ydinvoima korvaa perusskenaarioon verrattuna hiiltä. Tuontisähkön määrä kasvaa jonkin verran myös lisäydinvoimalla tuontisähkövaihtoehdossa.

Maakaasun käyttö lisääntyy kolmessa vaihtoehdossa perusskenaarioon verrattuna. Eniten maakaasun käyttö lisääntyy ilman lisäydinvoimaa ja ilman tuontisähkämahdollisuutta sekä vähiten lisäydinvoimalla ja ilman tuontisähkämahdollisuutta. Lisäydinvoimalla ja tuontisähkämahdollisuudella maakaasun käyttö perusskenaarioon verrattuna hieman vähentyy. Turpeen käyttö on kaikissa vaihtoehdoissa sallitulla alarajalla, joten turvetta koskeva rajoite lisää kustannuksia kaikissa vaihtoehdoissa.

*Taulukko 5. Sähköntuotannon rakenne vuonna 2010 perusskenaariossa ja eri rajoitusskenaariossa.*

2010	Perus- skenaario	OP1	OP1S	OP2	OP2S
Ydinvoima	21,4	21,4	21,4	32,4	32,4
Vesivoima	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4
Tuulivoima	0,2	1,2	1,0	1,0	1,0
Hiili- ja turvelauhde	18,4	5,9	5,0	3,1	3,2
Maakaasu- ja öljylauhde	1,9	7,0	4,0	3,3	2,7
Teollisuuden yhteistuotanto	15,0	16,2	15,9	15,6	15,1
Kaukolämpöyhteistuotanto	16,4	17,3	17,0	17,1	16,7
Muut	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Nettotuonti	5,5	6,0	14,0	6,0	7,4
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>92,3</b>	<b>88,5</b>	<b>91,9</b>	<b>92,1</b>	<b>92,1</b>

Sähköntuotantorakenne poikkeaa luonnollisesti eri rajoitusskenaariossa siten, että lisäydinvoima korvaa perusskenaarioon verrattuna kivihiili- ja turvelauhdetta (taulukko 5). Vastaavasti sähköntuonti korvaa vastaavaan tuontirajoitevaihtoehtoon verrattuna ilman lisäydinvoimaa etenkin maakaasulauhdetta, sekä jossakin määrin hiili- ja turvelauhdetta sekä yhteistuotantosähköä. Lisäydinvoiman tapauksessa sähkön tuonti vaikuttaa maakaasulauhteen tuotantoon sekä yhteistuotantosähköntuotantoon.

Kaikissa rajoitusskenaariossa kivihiililauhteella tuotetaan huomattavasti vähemmän sähköä kuin perusskenaariossa. Esimerkiksi rajoitusskenaariossa OP1 kivihiilellä tuotetaan vähemmän kuin tuotettiin vuonna 1998.

Hiilidioksidivero lisää kaikissa vaihtoehdoissa sekä teollisuuden että yhdyskuntien yhteistuotannossa tuotetun sähkön määrää. Tämä voidaan tulkita siten, että yhteistuotannossa sähkön laskennallinen hiilidioksidivero tuotettua sähköyksikköä kohden on alhainen suhteessa erillisen sähköntuotannon hiilidioksidiveroon tuotettua sähköyksikköä kohden. Näin on siitä huolimatta, että erillisessä sähköntuotannossa rajoitusskenaariossa OP1 lisätään merkittävästi alhaisen hiilidi-

oksidipäästökertoimen omaavan maakaasun käyttöä.<sup>81</sup> Ainoastaan joustavimmas-  
sa tapauksessa (OP2S) yhteistuotannossa tuotetun sähkön määrä ei juurikaan  
muutu.

Sähköntuotannosta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen vähentyminen on ositettu  
taulukossa 6 kahteen tekijään: sähköntuotantomäärän muutokseen ja sähköntuo-  
tannon hiilidioksidipäästökertoimen muutokseen. Taulukko 6 koskee rajoituske-  
naariota ilman lisäydinvoimaa ja sähköntuontirajoitteella. Muissa rajoituskena-  
rioissa sähköntuotantomäärän vaikutus hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen on  
olematon. Muissa rajoituskenaarioissa sähköntuotantoon liittyvät hiilidioksidi-  
päästöt vähenevät pääasiassa hiilidioksidipäästökertoimen muutoksen eli säh-  
köntuotannon rakennemuutoksen vuoksi.

*Taulukko 6. Sähköntuotannon (ml. sähköntuotanto yhdistetyssä tuotannossa)  
hiilidioksidipäästöjen vähentymisen osittaminen sähköntuotan-  
non rakennemuutokseen ja sähköntuotannon muutokseen rajoi-  
tusskenaariossa OP1. Vuoden 2010 tilanne. Miljoonaa tonnia.*

<b>2010</b>	Määrän muutok- sen vaikutus	Päästökertoimen muutoksen vai- kutuksen vaikutus	Yhteensä
Erillinen sähkön- tuotanto	1,15	7,17	8,32
Teollisuuden yh- teistuotanto	-0,10	0,26	0,16
Yhdyskuntien yh- teistuotanto	-0,23	1,24	1,00
Yhteensä	0,81	8,67	9,49
Jakauma	0,09	0,91	1,00

Sähköntuotantoon liittyvien hiilidioksidipäästöjen vähentymisestä noin kymme-  
nesosa selittyy sähkön määrän muutoksella ja loppu selittyy sähköntuotannon  
rakennemuutoksella rajoitusskenaariossa OP1. Negatiiviset luvut taulukossa 6  
merkitsevät yhteistuotantosähköntuotannon lisääntymistä eli hiilidioksidipäästö-  
jen lisääntymistä yhteistuotannossa. Kaiken kaikkiaan yhteistuotannon vaikutus  
on kuitenkin hiilidioksidipäästöjä vähentävä, koska yhteistuotantosähkössä hiili-  
dioksidipäästökertoimen alenee (lisääntyneen maakaasun ja bioenergiankäytön  
vuoksi). Kyseisen energiatuotantosektorin nettovaikutus on siis hiilidioksidi-  
päästöjä vähentävä.

Ainoastaan vaihtoehdossa ilman lisäydinvoimaa ja tiukemmalla sähkön tuonti-  
rajoitteella (OP1) sähköä säästetään merkittävästi 3,8 TWh eli prosenteissa noin

<sup>81</sup> Periaatteessa myös korkeampi sähkön hinta kohentaa maakaasun käyttöön perustuvan yhteistuotannon  
kilpailukykyä, koska maakaasulla saavutetaan suurempi sähköntuotanto tuotettua lämpöyksikköä kohden.

4,1 %. Muissa vaihtoehtoissa sähköntuotanto ja -kulutus on suurin piirtein perusskenaarion mukainen. Koska hiilidioksidipäästöjä vähennetään kuitenkin noin 16 %, voidaan todeta, että valtaosa päästöjen vähennyksestä toteutuu energian tuotannon rakennemuutoksella ja suhteellisen pieni osa energiansäästöllä.<sup>82</sup> Sähkön kulutus ilmenee taulukosta 7.

*Taulukko 7. Sähkön kulutus (TWh) vuonna 2010 perusskenaariossa ja eri rajoitusskenaarioissa.*

2010	Perusskenaario	OP1	OP1S	OP2	OPS2
Metsäteollisuus	31,0	29,6	31,0	31,0	31,0
Kemia ja petrokemia	5,7	5,4	5,7	5,7	5,7
Perusmetalli	5,7	5,6	5,7	5,7	5,7
Muu teollisuus	9,0	8,5	8,7	8,7	8,7
Asuinrakennusten lämmitys	8,2	7,3	8,1	8,2	8,2
Palvelurakennusten lämmitys	1,7	1,5	1,7	1,7	1,7
Kotitaloudet	12,3	12,1	12,3	12,3	12,3
Palvelut	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9
Maa- ja metsätalous	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Rakennustoiminta	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Henkilöliikenne	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Tavaraliikenne	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Yhteensä</b>	<b>89,1</b>	<b>85,4</b>	<b>88,7</b>	<b>88,8</b>	<b>88,8</b>

Sähkön käyttö taulukossa 7 ilmaisee saman kuin sähköntuotantokin eli merkittävästi sähköä säästetään ainoastaan ilman lisäydinvoimaa ja sähkön tuontirajoitteella. Rajoitusskenaariossa OP1 sähköä säästetään erityisesti sähkölämmityksessä 0,9 TWh (11 %), metsäteollisuudessa 1,4 TWh (4,5 %) ja muussa teollisuudessa 0,5 TWh (5,6 %). Suhteellisesti eniten sähkö säästetään palvelurakennusten lämmityksessä eli 11,8 %, mutta absoluuttinen sähkön säästö on vain 0,2 TWh.

<sup>82</sup> Energiantuotannon voimakas rakennemuutos vaikuttaa siihen, mikä osa hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä tulee lukea energiansäästöstä aiheutuvaksi ja mikä osa tulee lukea energiantuotannon rakennemuutoksesta aiheutuvaksi. OP1-rajoitusskenaariossa energiantuotannon (sähköntuotannon ja yhdistetyn tuotannon) hiilidioksidipäästöt vähenevät noin 13,1 miljoonaa tonnia eli prosenteissa 34,2%. Kun arvotetaan sähkö kaksi kertaa arvokkaammaksi kuin lämpö, energiantuotannon volyyymi muuttuu -3,5%/-2,7% ja energiamääriin perustuva volyyymi muuttuu -3,3%. Kun hiilidioksidipäästöjen vähentyminen noin 13,1 miljoonalla tonnilla ositetaan rakennemuutokseen ja energiansäästöön, ensiksi mainitun osuus on noin miljoona tonnia ja toiseksi mainitun osuus on noin 12,1 miljoonaa tonnia. Energiantuotannon rakennemuutoksen osuus hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä on siis noin 92 %. Tilanne on siis hyvin samanlainen kuin taulukon 6 perusteella voidaan päätellä. Muissa rajoitusskenaarioissa energiansäästön osuus on hyvin pieni.



Energiajärjestelmämallin tulosten perusteella ilmenee se seikka, että energiantuotannon rakennemuutos eli siirtyminen lisäydinvoimaan, maakaasuun, tuontisähköön, uusiutuvilla energialähteillä tuotettuun energiaan on kolmessa rajoitusskenaariossa kustannustehokas vaihtoehto energiasäästölle. Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen energiasäästöllä on kustannustehokasta vain, kun energiantuotannon joustavuus on suhteellisen pieni (OP1).

Mielenkiintoinen tulos on se, että energiajärjestelmän joustavuuden lisääntyminen, mikä selvimminkin ilmenee hiilidioksidiveron muutoksena, johtaa myös sähköntuotannon hiilidioksidipäästökertoimen alentumiseen. Perusskenaariossa vuoden 2010 sähköntuotannon hiilidioksidipäästökerroin on noin 0,24 miljoonaa tonnia TWh kohden, rajoitusskenaariossa OP1 se on noin 0,14, OP1S:ssa noin 0,12, OP2:ssa ja OP2S:ssa se on noin 0,1.<sup>83</sup> Alhaisempi hiilidioksidivero ei siis johda sähköntuotannon hiilidioksidipäästökertoimen kasvuun, vaan alentumiseen. Energiajärjestelmässä itse asiassa käytetään hyväksi nimenomaan erillisen sähköntuotannon joustavuuden lisääntymistä siten, että sähköntuotannon hiilidioksidipäästökertointa alennetaan ja näin 'säästetyt' hiilidioksidipäästöt kohdennetaan muualle energiajärjestelmässä, esimerkiksi erilliseen lämmöntuotantoon. Tällöin viime kädessä sähköntuotannosta ja/tai lisäydinvoimasta hyötyvät myös erillisen lämmöntuotannon kuluttajat, koska lämmön tuotantokustannukset ovat alhaisemmat ja lämmönkäytöntehostamistoimia tarvitaan vähemmän.

## 4.2.2 Välittömät kustannukset

Välittämät kustannukset vuonna 2010 vaihtelevat 0,6 miljardin kustannusten alentumisesta noin viiden miljardin markan kustannusten lisäykseen. Välittömistä kustannuksista hiilidioksidiverokertymästä aiheutuva energiaverokertymän muutos vaihtelee noin kolmesta miljardista miinus puoleentoista miljardiin markkaa. Suorat kustannukset, joita ei siis voida takaisin kierrättää, vaihtelevat noin miljardista noin kahteen miljardiin markkaan.<sup>84</sup>

Suurin noin kolmen miljardin energiaverokertymän muutos perustuu 4,6 miljardin energiaverokertymään perusskenaariossa ja noin 7,6 miljardin markan hiilidioksidiverokertymään (OP1). Vastaavasti noin 1,5 miljardin markan energiaverokertymän vähennys perustuu noin kolmen miljardin markan hiilidioksidivero-

<sup>83</sup> Yhdistetyn tuotannon hiilidioksidipäästöt kohdistetaan sähkölle tuotettujen energiamäärien suhteessa.

<sup>84</sup> Ilmastopoliittisen strategian vaihtoehdossa, jossa lisäydinvoimaa ei rakenneta (sähköntuotanto vaihtoehto 1) ja liikennepoltonesteiden veroja ei koroteta (verovaihtoehto 2), energiaverokertymä on vuonna 2010 noin 300 miljoonaa markkaa pienempi ja suorat kustannukset noin miljardin suuremmat kuin rajoitusskenaariossa OP1. Toisin sanoen, vaikka erillinen sähköntuotanto on vapautettu polttoaineveroista, energiaveroja kerätään lähes yhtä paljon kuin hiilidioksidiveron tapauksessa. Suuremmat suorat kustannukset johtuvat muun muassa energiantuotannon erilaisesta rakenteesta (hiilidioksidiveron tapauksessa käytetään esimerkiksi enemmän hiiltä ja vähemmän maakaasua kuin em. ilmastopoliittisessa vaihtoehdossa). Lisäksi energiasäästötoimenpiteet on kohdistettu eri tavoilla em. rajoitusskenaarioissa, jolloin kustannuksissa on syntynyt suurehko ero. Sähkön kokonaiskysyntä on em. rajoitusskenaariossa suurin piirtein sama.

kertymään (OP2S). Todettakoon, että perusskenaarion energiaverokertymä (pl. liikennepolttonesteiden verot) merkitsee noin 125 markan hiilidioksidiveroa tämän tutkimuksen mukaisille veronalaisille hiilidioksidipäästöille.

Mallilaskelmissa lasketaan keskiarvo vuosien 2005, 2008 ja 2010 välittömistä kustannuksista ja kyseinen keskiarvo viedään vuonna 2005 tasomuutoksena kokonaistaloudelliseen malliin. Kokonaistaloudellisen malliin vietävät välittömät kustannukset ovat tällöin noin kolmanneksen alhaisemmat kuin taulukon 8 mukaiset vuoden 2010 välittömät kustannukset. Verojen takaisinkierrätys tai takaisinkeräys perustuu siis taulukon 8 veroja alhaisemmille luvuille.<sup>85</sup> Taulukossa 8 ilmaistaan tilanne perusskenaarioon verrattuna.

*Taulukko 8. Rajoitusskenaarioiden välittömät kustannukset vuonna 2010.<sup>86</sup> Suluissa verokertymän muutos ilman liikenteen verokertymää.*

	Ei lisäydinvoimaa	Lisäydinvoima
Sähkön tuonti korkeintaan 6 TWh	Suorat kustannukset 2,1 miljardia markkaa Verokertymän muutos 2,9 (3,3) miljardia markkaa Välittämät kustannukset 5,0 miljardia markkaa	Suorat kustannukset 0,9 miljardia markkaa Verokertymän muutos -1,3 (-0,9) miljardia markkaa Välittämät kustannukset -0,4 miljardia markkaa
Sähkön tuonti tuonnin rajakustannusten mukaan korkeintaan 15 TWh	Suorat kustannukset 1,6 miljardia markkaa Verokertymän muutos 0 (+0,4) Välittömät kustannukset 1,6 miljardia markkaa	Suorat kustannukset 0,9 miljardia markkaa Verokertymän muutos -1,5 (-1,1) miljardia markkaa Välittömät kustannukset -0,6 miljardia markkaa

Vuoden 2010 tietojen perusteella arvioituna lisäydinvoimalla energiajärjestelmän verokustannukset olisivat pienemmät kuin perusskenaariossa, mikä johtuu siitä, että hiilidioksidipäästötavoitteen toteuttaminen ei edellytä perusskenaarion mukaisen energiaverokertymän keräämistä. Julkisen sektorin tasapainotetun budjetin vuoksi muita veroja tulee korottaa energiaverokertymän vajauksen verran.<sup>87</sup>

<sup>85</sup> Ratkaisu on sama kuin tehtiin Ilmastostrategian taloudellisten vaikutusten arvioinnissa.

<sup>86</sup> Taulukon 8 verokertymäluvut sisältävät myös liikenteen energiaverojen vaikutuksen energiaverokertymään. Liikenteen energiaverot vaikuttavat kaikissa rajoitusskenaarioissa noin 400 miljoonaa markkaa verotuloja vähentävästi vuonna 2010. Kaiken kaikkiaan siis liikenteen verojen vaikutus on varsin pieni, mutta ko. vaikutus otetaan huomioon kokonaistaloudellisessa mallissa, joka perustuu koko energiaverokertymän muutokseen.

<sup>87</sup> Lisäydinvoimalla energiajärjestelmän suorien kustannusten muutos on noin miljardi markkaa, mikä on noin 0,1% vuoden 2010 arvioidusta bruttokansantuotteesta. Kyseistä 0,1% pidetään kokonaistaloudellis-

Ilman lisäydinvoimaa ja sähkön lisätuonnilla tarvittava energiaverokertymä vastaa suurin piirtein perusskenaarion energiaverokertymää, jolloin kustannukset johtuvat pääasiassa suorista kustannuksista eli noin 1,6 miljardista markasta. Sen sijaan sähköntuontirajoituksella tarvittava energiaverokertymä on noin kolme miljardia markkaa suurempi kuin perusskenaarion energiaverokertymä ja suorat kustannukset ovat hieman yli kaksi miljardia markkaa.

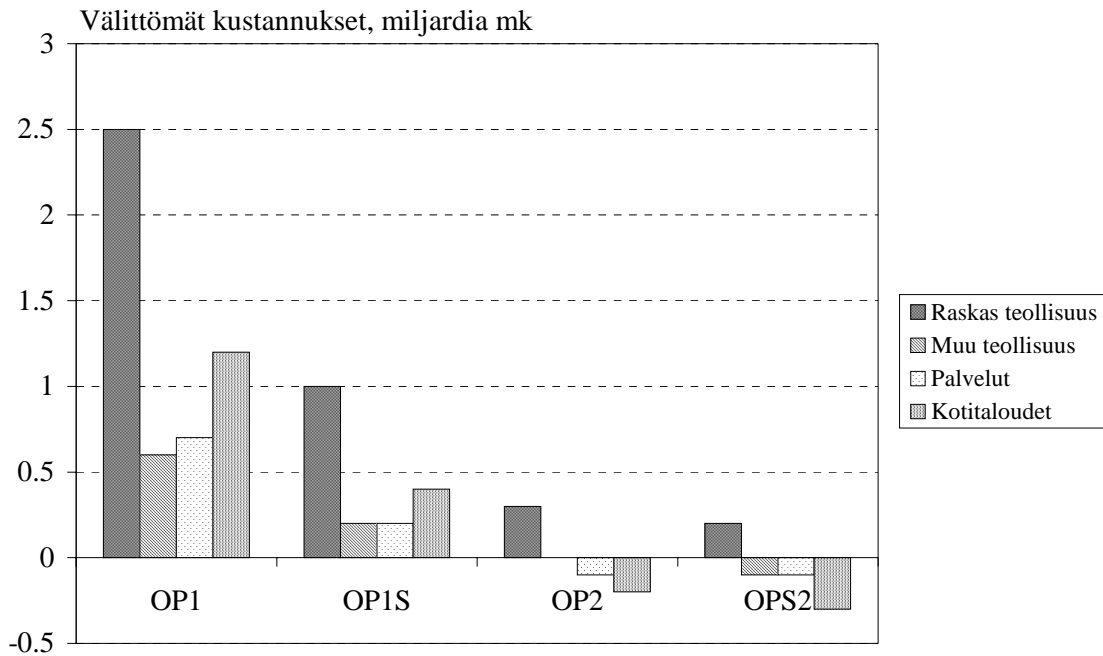
Kuviossa 9 esitetään, kuinka välittömät kustannukset kohdistetaan eri sektoreille kokonaistaloudellisessa mallissa. Kuviossa 9 ei esitetä liikenteen ja rakentamisen kustannuksia. Niille ei kohdennu suoria kustannuksia ja liikenteen vuoksi energiaverokertymä vähenee parilla sadalla miljoonalla markalla, mikä otetaan huomioon kokonaistaloudellisen mallin tasapainotetussa budjetissa. Liikenteen mallitus on ongelmallista sekä energiajärjestelmämallissa ja kokonaistaloudellisessa mallissa, mikä ei toisaalta tuota suurta harhaa tuloksiin, koska kuten jo todettiin hiilidioksidivero ei koske liikennepolttonesteitä.

Metsäteollisuuden, metallien valmistuksen ja kemian teollisuuden kustannukset ('raskas teollisuus') kohoavat 2,5 miljardiin markkaan vuonna 2010 (kuvio 9).<sup>88</sup> Metsäteollisuuden kustannukset ovat 60 % ko. kustannuksista eli 1,5 miljardia markkaa. Sähkön tuontimahdollisuus vähentää raskaan teollisuuden kokonaiskustannukset miljardiin markkaan, jolloin myös vaikutukset ko. toimialojen tuotantoon ovat pienemmät.

---

ten mallien käytössä (järkevä) laskennan kynnyksenä. Välittömien kustannusten muutos lisäydinvoimalla on noin puoli miljardia markkaa, jolloin kustannusshokki on laskentakynnyksen alapuolella ja kokonaistaloudellisiin tuloksiin on suhtauduttava varauksella.

<sup>88</sup> Rajoitusskenaariossa OP1 välittömät kustannukset ovat noin viisi miljardia markkaa vuonna 2010. Hiilidioksidiveron osuus on noin kolme miljardia ja suorien kustannusten osuus noin kaksi miljardia. Raskaan teollisuuden osuus välittömistä kustannuksista on noin puolet. Ilmastostrategian vaihtoehdossa ilman liikennepolttonesteiden verojen korotusta ja ilman lisäydinvoimaa välittömät kustannukset ovat noin kuusi miljardia markkaa vuonna 2010. Raskaan teollisuuden välittömät kustannukset ovat noin 1,3 miljardia markkaa. Näin ollen, vaikka hiilidioksidivero alentaa välittömien kustannusten kokonaismäärää Kansallisen ilmastostrategian ko. vaihtoehtoon verrattuna, se lisää (absoluuttisesti) raskaan teollisuuden välittömiä kustannuksia. Kuten tekstissä mainitaan sähkömarkkinoilla kustannuksia ei välttämättä kohdenneta samalla tavalla kuin on oletettu tässä tutkimuksessa, jolloin raskaan teollisuuden välittömien kustannusten määrä on todennäköisesti pienempi.

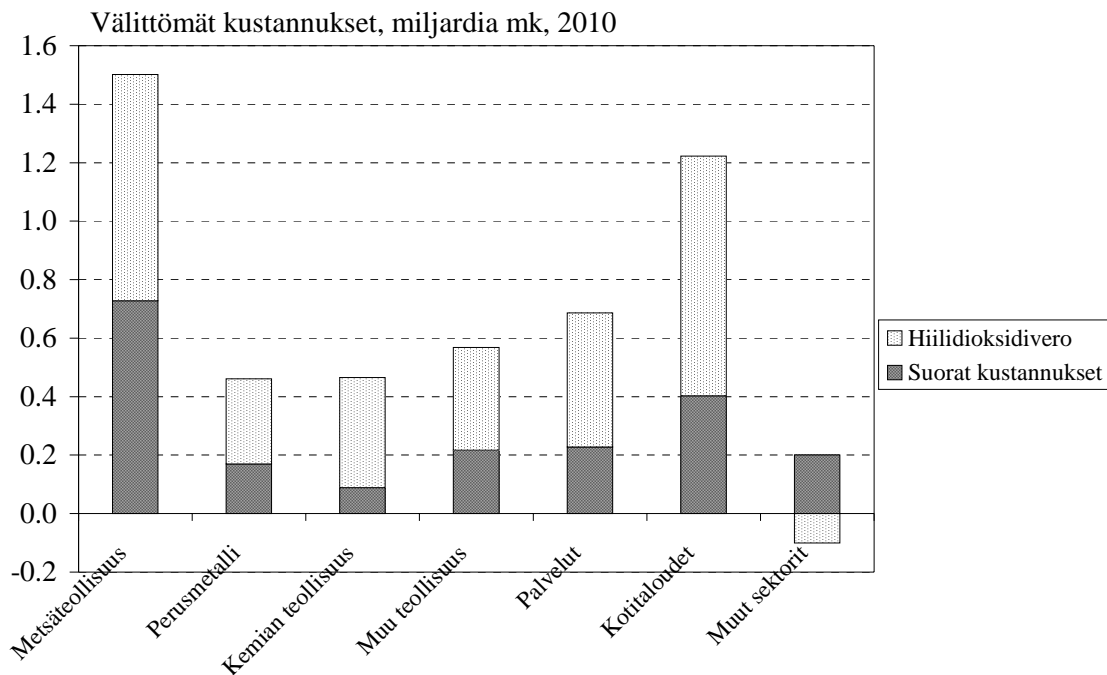


*Kuvio 9. Välittömien kustannusten määrä ja kohdentuminen eri sektoreille eri rajoitusskenaarioissa vuoden 2010 välittömien kustannusten perusteella.*

Suurimmat välittömät kustannukset aiheutuvat rajoitusskenaariossa OP1. Kustannusjako suoriin ja hiilidioksidiverokustannuksiin kyseisessä rajoitusskenaariossa esitetään kuviossa 10.

Raskaan teollisuuden suorat kustannukset ovat noin miljardia ja niiltä kerättävä hiilidioksidivero on noin puolitoista miljardia markkaa. Kotitaloudet maksavat välittömiä kustannuksia noin 1,2 miljardia markkaa, josta suoria kustannuksia on noin 400 miljoonaa markkaa.<sup>89</sup>

<sup>89</sup> Viime kädessä tietysti kaikki kustannukset lankeavat kotitalouksille työllisyyden muutoksen, hyödykkeiden ja palveluiden hintojen sekä yritysten voittojen kautta. Kokonaistaloudellisissa laskelmissa kustannuksia ei kuitenkaan ole viety näiltä kaikilta osin kotitalouksille.



Kuvio 10. Rajoitusskenaarion OP1 välittämien kustannusten jako kustannuslajeittain ja sektoreittain vuonna 2010.

Mallilaskelmissa hiilidioksidivero kohdistetaan varsin suoraviivaisesti kunkin sektorin energiakäytön mukaisesti, joten etenkin erillisestä sähköntuotannosta siirtyy hiilidioksidiveroa muille sektoreille.<sup>90</sup> Tämä seikka ilmenee hyvin kuvio 10. Voitaneen olettaa, että mallilaskelmien tulokset ovat ylin arvio raskaan teollisuuden kustannuksille. Todennäköisesti sähkömarkkinoilla kustannuksia ml. hiilidioksidivero kohdennetaan jossakin määrin eri tavoilla raskaan teollisuuden ja muiden sektoreiden välillä. Tällöin teollisuuden osuus kustannuksista on todennäköisesti alempi ja kotitalouksien ja palveluiden osuus suurempi, jolloin siis sekä hiilidioksidiverosta sekä suorista kustannuksista suurempi osa kohdistuu kotitalouksiin ja palveluihin.

### 4.3 Kokonaistaloudelliset vaikutukset

Energiajärjestelmässä välittömät kustannusten muutokset vaihtelevat noin viiden miljardin markan kustannusten lisäyksestä noin puolen miljardin markan kustannusten alentumiseen. Suorat kustannukset, joita ei siis voida takaisinkierrättää, ovat vuonna 2010 enimmillään noin kaksi miljardia markkaa. Suoria kustannuksia voidaan verrata öljyn maailmanmarkkinahinnan nousuun, koska myöskään öljyn maailmanmarkkinahinnan nousua ei voida takaisin kierrättää. Kahden miljardin markan suorat kustannukset vastaavat öljyn maailmanmarkkinahinnan py-

<sup>90</sup> Joustamattomimman (OP1) ja joustavimman tapauksen (OP2S) välinen ero erillisen sähköntuotannon hiilidioksidiverokertymässä on noin nelinkertainen. Suuri ero selittyy sekä tarvittavalla hiilidioksidiverolla että veropohjalla eli erillisen sähköntuotannon eri sähkön tuotantomuotojen tuotantomäärillä.

syvää nousua noin viidellä dollarilla barreliä kohden vuoden 2000 öljynkulutuksen tasolla arvioituna.<sup>91</sup>

Välittömät kustannukset voidaan suhteuttaa myös vuoden 2010 arvioituun bruttokansantuotteeseen, jolloin välittömät kustannukset ovat enimmillään (OP1) noin 0,5 % vuoden 2010 arvioidusta bruttokansantuotteesta ja suorat kustannukset ovat enimmillään (OP1) noin 0,2 % bruttokansantuotteesta.

Edellä esitetyn perusteella voisi olettaa, että vaihtoehtojen kokonaistaloudelliset vaikutukset ovat suhteellisen pienet. Kokonaistalouden tilannetta kuvaavat tulokset ovat taulukossa 9.

---

<sup>91</sup> Luonnollisesti öljyn hinnan muutos koskee kaikkia Suomen kilpailijamaita, joten samantyyppinen kustannusrasitus kohdistuu myös niihin. Suomen suhteellinen kilpailuasema ei välttämättä kovinkaan paljon heikkene. Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisesta aiheutuvaa Suomen suhteellisen hintakilpailukyyn muutosta on hyvin hankala arvioida, etenkin kesäkuussa 2001 sovittujen tarkistettujen maakoh- taisten kasvihuonekaasupäästötavoitteiden jälkeen. Lisäksi pidemmän aikavälin kilpailukyky on eri asia kuin lyhyen aikavälin kilpailukyky.

*Taulukko 9. Rajoitusskenaarioiden kokonaistaloudelliset vaikutukset vuonna 2010 tai vuonna 2010 ja 2015. Prosenttiero perusskenaarioon verrattuna (työllisyys tuhansissa henkilöissä).*

(2010+2015)/2 tai 2010 ja 2015	OP1	OP2	OP1S	OP2S
BKT	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2
KOTITAL. KULUTUS	-0,4	-0,4	-0,2	-0,4
INVESTOINNIT	-0,5	-0,3	-0,2	-0,3
VIENTI	-0,3	0	-0,1	0
TUONTI	-0,3	-0,1	-0,2	-0,1
TYÖLLISYYS (1000 h)	-7	-4	-4	-4
Maa- ja metsät.	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2
Massa- ja paperiteollisuus	-0,7/-1,5	-0/-0,1	-0,3/-0,6	-0/-0,1
Perusmetallien valmistus	-0,7/-1,1	-0,1/-0,2	-0,4/-0,6	-0,1/-0,2
Kemian teollisuus	-0,9/-1,4	-0,2/-0,3	-1,1/-1,6	-0,2/-0,3
Muu teollisuus	-0,2	-0,1	-0,2	-0,1
Kauppa	-0,4	-0,4	-0,2	-0,4
Yksityiset palvelut	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3
Yhteiskunnalliset palvelut	-0,4	-0,5	-0,3	-0,5

Taulukon 9 perusteella havaitaan, että parhaimmalla käytettävissä olevalla hyvinvointimittarilla arvioituna vaikutukset ovat -0,4 - (-0,2) % muutos kotitalouksien kulutuksessa. Kokonaistuotanto alenee 0,2-0,3% vuoden 2010 tasolta.<sup>92</sup> Rajoitusskenaariossa lisädinvoimalla ja sähkön tuonnilla kotitalouksien kulutuksen negatiiviseen tulokseen vaikuttaa se seikka, että energiaverojen vajoisuus katetaan kotitalouksien tuloverojen nostolla. Käytettävän kokonaistaloudellisen mallin tulosten mukaan siis vaihtoehdossa, jossa energiaverokertymä kasvaa ja työn verotusta vastaavasti alennetaan kotitalouksien kulutus alenee. Näin käy myös vaihtoehdossa, jossa energiaverokertymä alenee ja työn verotusta kiristetään. Hieman oudolta vaikuttava tulos voidaan selittää kahdella tavalla. Joko mallissa perusskenaariossa panosverot (energia vs. työvoimaverot) on asetettu optimaalisesti, jolloin poikkeama verotuksessa suuntaan tai toiseen aiheuttaa aina kokonaistaloudellisen tappion, tai mallin rakenne tuottaa ko. tuloksen. Ekonometrisen kokonaistaloudellisen mallin tapauksessa jälkimmäinen selitys on oikea. Tässä tutkimuksessa käytettävällä mallilla ei voida järkevästi tarkastella panosverojen optimaalisuutta.

<sup>92</sup> Kokonaistuotannon pieni muutos johtuu siitä, että suurimmat välittömät kustannukset omaavassa rajoitusskenaariossa OP1, välittömät kustannukset ovat noin 0,5 % vuoden 2010 bruttokansantuotteesta, mutta näistä välittömistä kustannuksista yli puolet (0,3% bruttokansantuotteesta) on takaisin kierrätettäviä veroja. Mikäli välittömät kustannukset koostuisivat ainoastaan verokustannuksista kyseisellä verotuksen rakenteen muutoksella (veroreformin suuruusluokka 0,3% bruttokansantuotteesta) ei tulisi käytännössä olla lainkaan kokonaistaloudellisia vaikutuksia.

Mikäli energiaverotus on alkutilanteessa liian kireää suhteessa työn verotukseen voi olla täysin mahdollista, että kahdessa rajoitusskenaariossa (OP2, OP2S) kokonaistaloudellinen tilanne paranee. Toisin sanoen noin miljardin markan suorat kustannukset kompensoituvat verotuksen tehokkuuden parantumisella (energiaverotusta löysennetään ja työn verotusta kiristetään). Mikäli energiaverotus on alkutilanteessa liian löysää suhteessa työn verotukseen, vaihtoehdon OP1 tulokset voisivat olla hieman positiivisempia sekä vaihtoehtojen OP2 ja OP2S tulokset hieman negatiivisempia.

Kokonaistaloudellisia kustannuksia ja rajoitusskenaarioiden välisiä eroja voidaan selittää myös välittömien kustannusten rakenteella ja veroteoriolla. Periaatteessa tärkeimmän panoksen eli työn kannalta reformit, joissa (1) energiaverotusta alennetaan ja vastaavalla määrällä kiristetään työnverotusta tai joissa (2) energiaverotusta kiristetään ja vastaavalla määrällä alennetaan työn verotusta, tuottavat reaali-palkkojen ja näin ollen myös työn tarjonnan ja kysynnän kannalta saman tuloksen. Nimittäin ensiksi mainitussa tapauksessa työn verotuksen kiristyminen suurin piirtein kumoaa alentuneen energiaverotuksen vaikutuksen reaali-palkkaan ja vastaavasti toiseksi mainitussa tapauksessa energiaverotuksen kiristymisen vaikutus reaali-palkkaan suurin piirtein kumoutuu työn verotuksen löysentämisellä. Näin järkeillen jäljelle jäävät suorat kustannukset, joita ei voida takaisin kierrättää. Tällöin lisäydinvoima voi vaikuttaa suorien kustannusten eron vuoksi (noin miljardi markkaa) siten, että eroa syntyy esimerkiksi bruttokansantuotteessa 0,1 % vuonna 2010.<sup>93</sup>

#### *Toimialakohtaisten kustannusten vertailu muihin tutkimuksiin*

Yllä esitetyissä laskelmissa vuodesta 2005 eteenpäin vientiteollisuuden tietyille toimialoille viedään kustannusshokki, joka alkaa vaikuttaa jo vuonna 2005 teollisuuden kilpailukykyyn ja tuotantoon. Kuten edellä esitetystä taulukosta 9 ilmenee käytettävässä kokonaistaloudellisessa mallissa ko. reaktio toteutuu hitaasti ja on vuonna 2015 ikään kuin kesken. Laskelmien perusteella voidaan kuitenkin arvioida, mikä on malliin vuonna 2005 vietyjen kustannusten vaikutus ko. toimialan tuotannon yksikkökustannuksiin vuonna 2005. Muissa malleissa käytettävien vientituotannon hintajouaston avulla voidaan likimääräisesti arvioida, mikä olisi ko. kustannusshokin vaikutus teollisuuden toimialojen tuotantoon pitkällä aikavälillä. Tuotannon hintajoustot ovat samat kuin Pohjolan tutkimuksessa (Pohjola 1997) eli energiaintensiivisten raskaiden (metsäteollisuus, kemia ja perusmetalli) toimialojen hintajousto on -10 ja muiden toimialojen hintajousto on -2.

---

<sup>93</sup> Vaikutus on näinkin pieni, koska lisäydinvoima alentaa suoria kustannuksia noin miljardi markkaa ja kyseinen miljardi markkaa on vain noin 0,1% vuoden 2010 arvioidusta bruttokansantuotteesta. Kireämman hiilidioksidipäästörajoitteen tapauksessa lisäydinvoiman vaikutus tarvittavaan hiilidioksidiveroon ja aiheutuviin suoriin kustannuksiin on luonnollisesti suurempi.



*Taulukko 10. Tiettyjen teollisuuden toimialojen pitkän aikavälin laskennalliset tuotannon prosenttimuutokset eri rajoitusskenaarioissa.*

	OP1	OP2	OP1S	OP2S
Massan ja paperin valmistus <sup>94</sup>	-10,0	-0,6	-4,4	0,0
Kemian teollisuus	-11,0	2,4	-5,0	2,0
Metallien valmistus	-7,0	-1,5	-3,5	1,1
Koneiden valmistus	-0,4	0,1	0,1	0,1
Kulkuneuvojen valmistus	-2,8	-0,4	-0,7	-0,6

Taulukon 10 perusteella raskaiden toimialojen tuotannot alentuisivat pitkällä aikavälillä noin kymmenen prosenttia ilman lisäydinvoimaa ja sähkön tuonnin perusoletuksilla. Sähkön tuontimahdollisuus puolittaa teollisuuden tuotannon muutokset ja käytännössä lisäydinvoimalla raskaiden teollisuudenalojen tuotanto ei juurikaan muuttuisi. Taulukon 10 laskennassa ei ole otettu huomioon toisin kuin muissa pitkän aikavälin tasapainoon perustuvissa ja mallien käyttöön perustuvissa vaikutuslaskelmissa työvoimaverojen alennuksen tai korotuksen vaikutusta ko. toimialan tuotannon yksikkökustannuksiin. Raskaiden toimialojen tilanne ei välttämättä kovin paljon muuttuisi, koska ensinnäkin työvoimaverojen muutos ei missään vaihtoehdossa ole kovinkaan suuri ja toiseksi raskailla toimialoilla työvoimakustannukset eivät ole kovin suuri osa välittömistä tuotantokustannuksista.

#### **4.4 Tulosten tulkintaa ilmastopolitiikan toteuttamisen kannalta**

Kokonaistaloudelliset kustannukset johtuvat kolmesta kustannuselementistä. Ensinnäkin energiankäytön tehokkuuskustannuksesta. Tämä kustannuselementti johtuu siitä, että energia hinta on rajoitusskenaarioissa korkeampi hiilidioksidiveron vuoksi kuin mikä on energian hinta perusskenaariossa. Tällöin taloudenpitäjille hyödyllistä energiaa käytetään vähemmän kuin perusskenaariossa. Tätä kustannusvaikutusta lieventää se seikka, että hiilidioksidiverolla korvataan lämmöntuotannon polttoaineverot ja sähkövero, joiden kokonaiskertymä peruske-

<sup>94</sup> Rajoitusskenaariossa OP1 massa- ja paperiteollisuuden tuotannon yksikkökustannukset lisääntyvät noin prosentilla. Allekirjoittanut (HK) on arvioinut tilastokeskuksen ympäristösuojelutietojen perusteella, että 1990-luvulla vesiensuojelun kustannusten vaikutus ko. toimialalla tuotannon yksikkökustannuksiin oli samaa luokkaa eli noin prosentin lisäys tuotannon yksikkökustannuksiin.

naariossa vastaa noin 125 markan hiilidioksidiveroa. Toisin sanoen, vaikka hiilidioksidivero kohottaa energian kuluttajahintaa, tästä aiheutuva tehokkuustappio on pienempi kuin, jos hiilidioksidipäästörajoite toteutettaisiin nykyisellä energiaverorakenteella. Aiheutuvia välittömiä kustannuksia siis pienentää se seikka, että hiilidioksidipäästörajoitetta toteuttaessa siirrytään hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kannalta tehokkaampaan energiaverotukseen.<sup>95</sup>

Toinen kustannuselementti on reaali-palkkakustannus, jota korostetaan etenkin teoreettisemmissä hiilidioksidipäästöveroanalyysissä. Reaali-palkkakustannus aiheutuu hiilidioksidiveron takaisinkierrätyksen tapauksessa energian hinnan verottoman osan kustannusten noususta. Voidaan nimittäin olettaa, että hiilidioksidiveron tuoton palauttaminen työvoimaveroja alentamalla suurin piirtein kumoaa hiilidioksidiveron vaikutuksen reaali-palkkaan. Toisin sanoen työn verotus alenee samalla määrällä millä energian verotus kiristyy, jolloin reaali-palkka alenee verottomien siis suorien kustannusten nousun verran. Reaali-palkan alentuminen puolestaan vähentää työn tarjontaa ja vaikuttaa talouden kokonaistuotantoon, mutta etenkin työvoimavaltaiten toimialojen tilanteeseen. Tämän tutkimuksen mallilaskelmissa oletetaan reaali-palkkojen olevan joustavat eli reaali-palkkakustannusta ei mallilaskelmissa esiinny.<sup>96</sup>

Vastaavasti voidaan määritellä pääoman tuoton kautta aiheutuva kustannus, johon voidaan vaikuttaa kohdistamalla hiilidioksidiveron tuoton takaisinkierrätys pääomaverotuksen alentamiseen. Tällä voidaan kumota pääoman tuottoa alentavaa vaikutusta ja näin vähentää pääoman määrän vähentymisestä aiheutuvaa kokonaistaloudellista kustannusta.

Hiilidioksidivero ja suorat kustannukset eli välittömät kustannukset aiheuttavat 'oikeassa' taloudessa kustannuksia sekä reaali-palkkojen että pääomantuoton kautta. Useimmissa tapauksissa tutkitaan reaali-palkkakustannusta ja korostetaan

<sup>95</sup> Ilmastostrategian vaihtoehdossa ilman lisäydinvoimaa (sähkön hankintavaihtoehto 1) ja verovaihtoehdossa ilman liikennepolttonesteiden korotuksia (verovaihtoehto 2) vuonna 2010 veroluokassa I sähkövero on keskimäärin 8 penniä kilowattituntia kohden ja veroluokassa II nimellinen sähkövero on 4,8 penniä kilowattituntia kohden. Kyseiset sähköverot vastaavat sähköveroluokassa I laskennallisesti noin 600 markan hiilidioksidiveroa tonnia kohden ja sähköveroluokassa II laskennallisesti noin 360 markan hiilidioksidiveroa tonnia kohden. Hiilidioksidivero korottaa rajoitusskenaariossa OP1 (laskennallisesti sähkön-tuotannon keskimääräisten hiilidioksidipäästöjen perusteella laskettuna) sähkön hintaa noin kolme penniä.

<sup>96</sup> Laskelmissa käytettävässä kokonaistaloudellisessa mallissa ei ole mallitettu työn tarjontaa reaali-palkasta riippuvaksi. Periaatteessa reaali-palkkakustannuksen arviointi on mahdollista ko. mallilla, mutta tällöin tulos käytännössä riippuu mallinkäyttäjän näkemyksestä ko. vaikutuksesta. Mikäli kaikki suorat kustannukset (1-2 miljardia markkaa) lankeavat kotitalouksien maksettavaksi kyseinen summa on noin 0,3-0,6 % vuoden 2010 palkkasummasta ja 0,2-0,4 % vuoden 2010 kotitalouksien kulutusmenoista. Työn tarjonnan jousto reaali-palkkojen suhteen arvioidaan suhteellisen pieneksi eli useimmiten alle 0,5:ksi. Reaali-palkkakustannus keskimääräisesti arvioituna ei siis ole kovin merkittävä. Esimerkiksi työn tarjonnan hintajouston arvolla 0,25 ja kustannusten muutoksella (likimain reaali-palkan alennus) 0,5 % työntarjonta vähentyy noin 0,1 %. Se, että työmarkkinoilla reaali-palkat ovat joustavat ei tietenkään poista suorista kustannuksista aiheutuvaa hyvinvointikustannusta. Hyvinvointikustannus on vain pienempi joustavien reaali-palkkojen tapauksessa. Joka tapauksessa kotitalouksien ostovoima heikkenee suorien kustannusten vuoksi.

työmarkkinoiden kautta välittyviä kustannuksia. Tämä johtunee siitä, että useimmissa malleissa työ on implisiittisesti mallitettu tärkeämmäksi panokseksi kuin pääoma ja lisäksi oletetaan, että työn korkea verotus alkutilanteessa merkitsee suhteessa suurempaa hyvinvointitappiota työmarkkinoilla kuin pääomamarkkinoilla. Tekninen selitys reaali-palkkatappioiden korostamiseen voi joissakin tapauksissa olla se, että pääomamarkkinoiden kautta tapahtuvan kustannuksen tutkiminen järkevästi edellyttäne dynaamisen kokonaistaloudellisen mallin käyttöä ja useat analyysit perustuvat staattiseen malliin.

Rakennemuutoskustannukseksi voidaan määritellä se, että toimialojen kehitys poikkeaa perusskenaarion kehityksestä. Tämä johtuu muun muassa siitä, että tiettyjen toimialojen kilpailukyky heikkenee ja siitä, etteivät työvoima ja pääoma voi kitkatta siirtyä taantuvilta toimialoilta kasvaville (hyötyville) toimialoille.<sup>97</sup> Rakennemuutoskustannus syntyy siitä, että ensinnäkin eri toimialoilla sekä viennin osuus tuotannosta että kilpailutilanne vientimarkkinoilla vaihtelee huomattavasti. Joillakin toimialoilla kilpailutilanne on kireä, jolloin tuotantokustannusten muutos vaikuttaa merkittävästi tuotantoon, etenkin pidemmällä aikavälillä. Joillakin toimialoilla viejillä on markkinavoimaa, jolloin ne voivat siirtää ainakin osan kohonneista tuotantokustannuksista hintoihin. Osa tuotannosta on talouden suljetulla sektorilla, jossa kustannukset voidaan siirtää hintoihin ja tuotantovaikeus on pienempi kuin avoimella sektorilla.

Koska tuotannon energiavaltaisuus, pääomavaltaisuus ja kireä kilpailutilanne vientimarkkinoilla korreloivat suhteellisen voimakkaasti keskenään, rakennemuutoskustannusta voidaan lieventää kohdistamalla hiilidioksidiveron tuotto tai osa tuotosta pääomaverotuksen alentamiseen. Myös muutkin teollisuuden hintakilpailukykyä helpottavat menettelyt ovat mahdollisia.<sup>98</sup> Näin menetellen todennäköisesti useimmiten kokonaistaloudelliset kustannukset kasvavat, kun tilannetta verrataan työvoiman verotukseen kohdistuvaan takaisinkierätykseen. Menettelyllä saavutetaan kuitenkin tasaisempi kustannustenjakko, eli raskaan vientiteollisuuden suhteellinen asema helpottuu.<sup>99</sup>

<sup>97</sup> Koska mallilaskelmien tulosten perusteella minkään toimialan tuotanto ei absoluuttisesti alene, voitaneen pikemminkin väittää, ettei toisen toimialan kasvun kiihtymisellä voida kompensoida toisen toimialan hitaampaa kasvua. Joissakin tapauksissa työtä säästävän teknisen kehityksen vuoksi toimialan hitaampi kasvu voi johtaa kitkatyöttömyyden kasvuun. Teollisuuden raskaat toimialat vähentävät tulevaisuudessa työvoimaa tuotannon kasvusta huolimatta, joten hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vuoksi vähentämisen trendi on jyrkempi.

<sup>98</sup> Tehokkuuden kannalta tuen tulisi olla riippumatonta ko. toimialan hiilidioksidipäästöistä. Esimerkiksi voimassaolevan energiaverotuksen teollisuutta koskevat 'veroleikkurit' merkitsevät sitä, että tietyn tason jälkeen teollisuuden energiaverojen ei nosto lainkaan nosta energianhintaa eikä se näin ollen johda energiansäästöön. Tämä on yksi syy miksi nykyinen energiaverorakenne on hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä kustannustehoton. Tässä tutkimuksessa teollisuuden veroleikkurit eivät ole voimassa eli hiilidioksidivero koskee efektiivisesti myös teollisuutta.

<sup>99</sup> Mielenkiintoinen kysymys on se, miten paljon hiilidioksidivero muuttuu, kun takaisinkierätyksen menetelyä muutetaan työvoimaverotuksen kautta tapahtuvasta takaisinkierätyksestä pääomaverotuksen kautta tapahtuvaan takaisinkierätykseen. Lopputulos on monimutkaisten reaktioiden tulos. Esimerkiksi periaat-

Edellä esitetystä seuraa hyvin tärkeä periaate ilmastopoliittisen ohjelman suunnitteluun. Periaate voidaan kiteyttää seuraavasti:

- Optimaalisten ohjauskeinojen ja toimenpiteiden löytäminen on taiteilua tehokkuuskustannusten ja rakennemuutoskustannusten välillä.

Tehokkuustappiota voidaan alentaa kohdentamalla vero-ohjausta suhteessa enemmän aiheutettujen hiilidioksidipäästöjen mukaan. Hiilidioksidivero on äärimmäinen tällainen toimenpide. Tällöin teollisuuden - etenkin raskaan teollisuuden - osuus kustannuksista kasvaa ja voi käydä niin, että vaikka välittömät kustannukset kokonaisuudessaan alentuvat, raskaiden toimialojen välittömät kustannukset lisääntyvät absoluuttisesti. Tehokkuustappion alentumisen toinen puoli on rakennemuutoskustannusten kasvu. Tähän liittyy myös kysymys siitä, missä määrin kustannuksia voidaan suoraan siirtää kotitalouksille esimerkiksi energiansäästönormeilla ilman merkittäviä haitallisia työmarkkinavaikutuksia. Energiansäästönormit vähentävät energiaverokertymää, joka on kompensoitava lisäämällä joko energiaverotusta tai muuta verotusta. Kokonaistaloudellisissa laskelmissa energiansäästönormit vaikuttavat talouteen myös verojärjestelmän välityksellä.

Tavoitteena on saavuttaa kasvihuonekaasupäästötavoite mahdollisimman pienin kokonaistaloudellisin kustannuksin. Kustannustehokkaimmasta ratkaisusta voidaan joutua poikkeamaan muiden rajoitteiden vuoksi:

- kotitalouksien tulonjaon muutosta koskevat rajoitteet<sup>100</sup>
- aluekehitystä koskevat rajoitteet
- kilpailukykyä koskevat rajoitteet (koko talouden/joidenkin toimialojen kilpailukyky)<sup>101</sup>

---

teessa raskaan teollisuuden parempi asema korottaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa. Toisaalta pääomamarkkinoiden välityksellä sekä energiantuotannon investoinnit ja investoinnit energiansäästöön voivat olla aikaisempaa edullisempia, mikä voi puolestaan alentaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa.

<sup>100</sup> Yleisesti ottaen on osoittautunut, että ympäristönsuojelu, kuten vesiensuojelu, jätehuolto ja ilmaston muutoksen torjunta kohottaa hyödykkeiden ja palveluiden hintaa. Useimmiten suhteessa eniten nousevat ns. perustarpeiden tyydyttämisen tarvittavien hyödykkeiden hinnat, kuten elintarvikkeiden, veden, sähkön ja lämmön hinnat. Koska ko. hyödykkeet muodostavat köyhemmillä kotitalouksilla suuremman osan tuloista (köyhemmät kotitaloudet myös kuluttavat suuremman osan tuloistaan) kuin rikkaammilla kotitalouksilla, ympäristöpolitiikan vaikutukset tulonjakoon ovat useimmiten regressiivisiä. Toisin sanoen köyhemmillä kotitalouksilla kustannusten muutosten osuus käytettävistä olevista tuloista on suurempi kuin rikkaammilla kotitalouksilla. Tämä koskee myös energiaveroja ml. hiilidioksidivero (esimerkiksi Mustonen & Sinko 2000).

<sup>101</sup> Oletetaan, että metallien valmistuksen pelkistyspolttoaineita verotettaisiin. Tämä luonnollisesti laskisi huomattavasti tarvittavaa hiilidioksidiveroa, mutta oletetaan yksinkertaisesti, että ko. hiilidioksidiverolla ko. tuotanto siirtyisi kokonaan Suomesta ulkomaille ennen vuotta 2010. Tällöin talouden muiden sektoreiden hiilidioksidipäästövähennys tavoite alenisi noin kuudella miljoonalla tonnilla, jolloin voidaan olettaa, että hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen ei aiheuttaisi lainkaan lisäkustannuksia muille sektoreille ja toimialoille (ydinvoima ja tuontisähköoletuksista riippumatta). Toisin sanoen kokonaista-

Koska ilmastopolitiikan kustannustehokkuus lienee tärkein kriteeri, kokonaistaloudellisten kustannusten lisääminen muiden rajoitteiden perusteella täytyy olla selkeästi ja johdonmukaisesti perusteltavissa. Esimerkiksi hiilidioksidiveroa voidaan vastustaa sen vaikutuksella kotitalouksien tulonjakoon. Kuitenkin samalla tahallisesti unohdetaan, että hiilidioksidiveron korvaavan politiikkavaihtoehdon tulonjakovaikutukset ovat vielä pahemmat.<sup>102</sup> Useimmiten kustannustehokkuus on sama kuin mahdollisimman alhainen energianhinnan nousu ja tällöin kustannustehokkuus ja tulonjakotavoitteet (mahdollisimman vähän tulonjakoa muuttava rajoitusskenaario) eivät ole keskenään ristiriidassa.

Vastaavasti voidaan vastustaa jotakin ohjauskeinoa sen toimialakohtaisilla kilpailukykyvaikutuksilla, vaikka ohjauskeino voi olla koko talouden kilpailukyvyn kannalta parempi.

Energiajärjestelmässä todellisiin aiheutettuihin hiilidioksidipäästöihin enemmän perustuva ilmastopoliittinen ohjelma kohdistaa kustannuksia suhteessa enemmän teollisuuteen ja vastaavasti vähemmän palveluihin ja kotitalouksiin. Tästä aiheutuu suhteessa suurempi rakennemuutuskustannus, mutta suhteessa pienempi tehokkuuskustannus. Tehokkuuskustannusten alentuminen ilmenee useimmissa mallilaskelmissa koko talouden tasolla mm. suurempana kotitalouksien kulutuksena ja suurempana bruttokansantuotteena. Vastaavasti kustannusten siirto kotitalouksille ja palveluille vähentää rakennemuutuskustannuksia ja lisää tehokkuuskustannuksia, mikä ilmenee mm. kotitalouksien kulutuksen ja bruttokansantuotteen alentumisena.

Kansantaloudessa puolestaan useimmissa mallilaskelmissa veronkierrätyksen kohdistaminen pääomatuloihin ja yritysten sosiaaliturvamaksuihin lieventää rakennemuutuskustannusta. Vaikutus tehokkuuskustannuksiin voi olla suhteellisen vähäinen, mutta joka tapauksessa kustannustaakkaa siirretään kotitalouksille vientiteollisuudelta. Vastaavasti verojenkierrätyksen kohdistaminen kotitalouksien tuloverotukseen lisää rakennemuutuskustannusta ja vaikutus tehokkuuskustannuksiin voi olla suhteellisen vähäinen. Joka tapauksessa tällöin siirretään kustannuksia kotitalouksilta vientiteollisuuteen.

Yhdistämällä em. osa-alueet saadaan yksi mahdollinen 'ilmastopolitiikan toiminnan nelikenttä'. Kyseisen nelikentän vaihtoehdot ovat periaatteellisia eikä niitä

---

loudelliset kustannukset aiheutuisivat yksinomaan raudan ja teräksen valmistuksen 'katoamisen' vaikutuksista. Vuoden 2000 tietojen perusteella ko. toimialan osuus bruttokansantuotteesta oli noin 0,7%, mikä myös olisi karkeasti arvioituna kokonaistaloudellisen tappion suuruus pitkillä aikavälillä.

<sup>102</sup> Esimerkiksi hiilidioksidipäästötavoitteen toteuttaminen sähköverolla hiilidioksidiveron asemesta merkitsee pahempia tulonjakovaikutuksia, koska kotitalouksien energian hinta nousee sähköveron tapauksessa enemmän kuin hiilidioksidiveron tapauksessa. Tulonjakovaikutuksia tulisikin verrata siten, että lasketaan hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavan hiilidioksidiveron tulonjakovaikutukset sekä hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavan vaihtoehdon tulonjakovaikutukset ja sitten verrataan tulonjakovaikutuksia keskenään. Luonnollisesti tulonjaon lisäksi kiinnostuksen kohteena voisi olla myös. em. politiikkavaihtoehtojen vaikutukset erilaisten kotitalouksien kulutuksen **tasoon**.

ole tässä tutkimuksessa mallilaskelmilla arvioitu.<sup>103</sup> Nelikentässä on tyypitelty politiikkavaihtoehtojen ominaisuuksia.

Nelikentän laadinnassa on oletettu, että kun energiajärjestelmässä toimenpiteitä kohdistetaan suhteessa enemmän hiilidioksidipäästöjen mukaisesti seuraa kaksi seikkaa. Ensinnäkin energiajärjestelmän rakennemuutos on suurempi ja toiseksi teollisuuden energiansäästötoimenpiteiden määrä ja luonnollisesti myös teollisuuden kustannukset kasvavat. Kotitalouksien ja palveluiden kustannukset alentuvat. Nämä tulokset perustuvat energiajärjestelmämallilla saatuihin tuloksiin.

Kyseessä on vaihtoehtojen suhteellinen vertailu, koska käytännössä kaikissa vaihtoehdoissa ilman lisäydinvoimaa energiantuotannon rakenne muuttuu ja energiaa säästetään. Sen sijaan hiilidioksidivero ja lisäydinvoima merkitsee sitä, että hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamiseksi tarvittava energiansäästö on hyvin vähäistä.

*Nelikenttä 1. Ilmastopolitiikan vaihtoehdot energiaverotuksessa ja energiaverokertymän takaisinkierrätyksessä.*

	<b>Verojen takaisinkierrätys työnantajien sosiaaliturvamaksuilla ja pääomaverolla</b>	<b>Verojen takaisinkierrätys kotitalouksien tuloveroilla</b>
<b>Energiajärjestelmässä kustannuksia teollisuudelta kotitalouksille (suhteessa vähemmän hiilidioksidipäästöihin perustuva päästöjen rajoittaminen)</b>	A: Pienen rakennemuutoksen rajoitusskenaario: muutokset energiajärjestelmässä ja talouden tuotantorakenteessa suhteessa pieniä. Rakennemuutoksen painopiste on kotitalouksien kulutuksessa ja palveluissa.	B: Energiajärjestelmän muutokset suhteellisen pieniä, kotitalouksien kustannuksia kompensoidaan veroilla. Rakennemuutoksen painopiste on kotitalouksien kulutuksessa ja palveluissa.
<b>Energiajärjestelmässä kustannuksia kotitalouksilta teollisuudelle (suhteessa enemmän hiilidioksidipäästöihin perustuva päästöjen rajoittaminen)</b>	C: Energiajärjestelmän muutokset suhteellisen suuria, teollisuuden kustannuksia kompensoidaan veroilla. Myös teollisuuden tuotantorakenne muuttuu pitkällä aikavälillä	D: Suuren rakennemuutoksen rajoitusskenaario: muutokset energiajärjestelmässä ja talouden tuotantorakenteessa suhteessa suuria.

<sup>103</sup> Mallilaskelmia 'haittaa' se seikka, että hiilidioksidiveronkin tapauksessa energiaverokertymän muutokset ovat hyvin pieniä, kun ne suhteutetaan työvoimaverojen (suorat tuloverot ja sosiaaliturvamaksut) kokonaiskertymään. Kovin suurta verouudistusta ei siis voida toteuttaa hiilidioksidiverolla, jolloin myös takaisinkierrätysjärjestelmien väliset erot eivät ilmene kokonaistaloudellisen tasolla. Vastaavan seikan toteavat Forsström ja Honkatukia laskiessaan ilmastostrategian kokonaistaloudellisia kustannuksia, jotka perustuvat nykyiseen energiaverorakenteeseen (Forsström & Honkatukia 2001).

Vaihtoehto A on tietyllä tavalla varovaisen politiikan skenaario, koska muutokset energiantuotannossa ja tuotantorakenteessa ovat suhteellisen pieniä. Kilpailukykyvaikutukset lienevät tässä vaihtoehdossa pienimmät, mutta sen vastapainona kotitalouksien ja palveluiden kustannustaakka on suurin.

Vastaavasti vaihtoehto D on radikaalein eli se johtaa suurimpaan muutokseen energiantuotannossa ja pidemmällä aikavälillä myös talouden tuotantorakenteessa. Myös kotitalouksien kulutus rakenne muuttuu, mutta vähemmän kuin vaihtoehdossa A.

Useilla mallilaskelmilla saadaan tulokseksi se, että aiheutettujen hiilidioksidipäästöjen mukainen menettely, kuten hiilidioksidivero, on myös kokonaistaloudellisesti tehokas, kun siihen yhdistetään työvoiman verotuksen alentaminen. Mallilaskelmien mukaan minimikustannukset siis toteutuvat vaihtoehdolla C/D.

Vaihtoehdot B ja C ovat tavallaan kompromisseja. Vaihtoehdossa B kotitalouksia hyvitetään siitä, että energiantuotannon rajoittamiskustannuksia on siirretty niille. Tässä vaihtoehdossa energiantuotannossa rajoittamiskustannuksia siirretään kotitalouksille ja palveluille, mutta tätä kompensoidaan kokonaistaloudessa verotuksen avulla.

Vastaavasti vaihtoehdossa C teollisuutta hyvitetään siitä, että energiantuotannon rajoittamiskustannuksia on suhteessa siirretty niille. Tässä vaihtoehdossa pyritään siis kompensoimaan energiantuotannon kustannusmuutosten kilpailukykyvaikutuksia verotuksen avulla. Erityisesti pääomaverotuksen alentaminen voi parantaa tulosta kilpailukykyvaikutusten näkökulmasta.

Todennäköisesti mallilaskelmissa vaihtoehtojen B ja C kokonaistaloudelliset vaikutukset ovat hyvin lähellä toisiaan. Esimerkiksi bruttokansantuotteen muutos on käytännössä sama. Sen sijaan ne eroavat toisistaan siinä miten päästörajoite toteutetaan. Vaihtoehdossa B suhteessa suurempi osuus päästöjen vähennyksestä saadaan aikaan kotitalouksien ja palveluiden energiansäästöllä. Vaihtoehdossa C suhteessa suurempi merkitys on energiantuotannossa tapahtuvilla muutoksilla. Mikäli energiantuotannossa on toteuttavissa suhteellisen kustannustehokkaita toimenpiteitä päästöjen rajoittamiseksi, päästötavoitteen toteuttaminen ei edellytä yhtä paljon energiasäästöä kuin esimerkiksi tarvitaan vaihtoehdossa B.

Vaihtoehdossa B ikään kuin lykätään energiantuotannon ja teollisuuden rakennemuutosta energiantuotantoon kohdistuvilla toimenpiteillä, mutta aloitetaan energiansäästö palveluissa ja kotitalouksien energiansäästöissä. Vaihtoehtoa voidaan perustella mikäli hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen ohella yhteiskunnalla on myös energiansäästötavoitteita.<sup>104</sup>

---

<sup>104</sup> Vaikka hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää energiansäästöllä silti hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen kustannustehokkaasti ja energiansäästö ovat ristiriitaisia tavoitteita. Kuten on todettu energiantuotannon

Vaihtoehdossa C aloitetaan toimenpiteet energiantuotannon ja teollisuuden rakenteen muuttamisessa, mutta lykätään kotitalouksien ja palveluiden energiasäästöä. Tätä vaihtoehtoa voidaan perustella kustannustehokkuudella, jolloin esimerkiksi energiansäästöllä sinänsä on vain välinearvoa hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa.

Toisin sanoen vaihtoehdossa B kotitaloudet ja palvelut säästävät enemmän energiaa kuin niiden kannalta kustannustehokas päästörajoitteen toteuttaminen edellyttäisi.



## 5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa Suomen ns. Kioto tavoite toteutetaan hiilidioksidiverolla. Nykyiset energiaverot, sähkövero ja lämmöntuotannon polttoaineverot korvataan hiilidioksidiverolla. Periaatteessa hiilidioksidivero kohdentaa energiajärjestelmässä hiilidioksidipäästöjen rajoittamistoimenpiteet tehokkaasti, jolloin sekä hiilidioksidiverokertymä että aiheutuvat suorat kustannukset ovat mahdollisimman alhaiset. Hiilidioksidivero johtaa myös energiantuotannon rakennemuutokseen, kuten uusiutuvien energialähteiden käytön lisääntymiseen ja energiankäytön tehostamiseen (arkikielellä energiansäästöön). Näissä laskelmissa nämä vaikutukset ovat kuitenkin endogeenisiä eli niiden määrää riippuu hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavan hiilidioksidiveron suuruudesta.

Hiilidioksidivero on useissa taloustieteellisissä mallilaskelmissa menettely, jolla kansallinen hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan. Tällöin oletetaan ensinnäkin, että yhteiskunnan tavoitteena hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen yhteydessä on mahdollisimman alhainen energian käytön yksikkökustannus, joka saavutetaan minimoimalla hiilidioksidiverokertymä ja hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisesta aiheutuvien toimenpiteiden suorien kustannusten määrä. Toiseksi energiantuotannon rakennemuutos ja energian säästö ovat välineitä hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisessa eikä niillä sinänsä ole itseisarvoa. Tällöin niille ei aseteta erillisiä (kustannuksia lisääviä) tavoitteita. Kolmanneksi laskelmissa toteutuvaa tuotannon ja kulutuksen rakennemuutosta ei estetä, vaan pikemminkin rakennemuutos on yksi hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen keino. Tämän tutkimuksen laskelmissa ko. keinoa hiilidioksidipäästöjä vähennettäessä ei käytetä, koska kokonaistaloudellisen mallin alentuneita tuotantoja ja kulutuskysyntöjä ei palauteta takaisin energiajärjestelmämalliin ja energiajärjestelmämallin tuloksia ei lasketa uudestaan. Kokonaistaloudellisten tulosten perusteella Suomen Kioto-tavoitteen toteutumisessa tuotannon ja kulutuksen rakennemuutoksen sekä tason muutoksen osuus on kuitenkin hyvin pieni.

Kun hiilidioksidipäästöjä koskevan rajoitteen mukaiset hiilidioksidipäästöt toteutetaan taloudessa (tavalla tai toisella), hiilidioksidipäästöihin ja niiden kautta myös energian hintaan syntyy väistämättä lisäkomponentti, jota voidaan nimittää hiilidioksidipäästörajoitteen niukkuushinnaksi. Niukkuushinta, jota tässä tutkimuksessa mittaa hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero, riippuu energiajärjestelmän joustavuudesta, mikä puolestaan riippuu ensinnäkin siitä, kuinka energiantuotannossa voidaan hiilidioksidin yksikköpäästöjä vähentää esimerkiksi polttoainerakennetta muuttamalla ja toiseksi siitä, missä määrin ja millä kustannuksilla yrityksissä ja kotitalouksissa voidaan tehostaa energian käyttöä.

Niukkuushinta riippuu myös menettelystä, jolla hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan. Periaatteessa hiilidioksidivero minimoi niukkuuden ja lisäksi hiilidioksi-

diveron tuotoilla voidaan alentaa esimerkiksi korkeaa työvoiman verotusta. Muiden menettelyiden kustannukset ovat suuremmat, koska sekä energiaverokertymä että etenkin suorat kustannukset eli hiilidioksidipäästöjen rajoittamistoimenpiteistä aiheutuvat kustannukset ovat suuremmat.

Laskelmissa hiilidioksidivero ei koske liikennepolttonesteitä, joissa oletetaan olevan voimassa nykyiset veroperusteet. Tätä poikkeusta perustellaan sillä seikalla, että perusskenaariossa liikennepolttonesteitä verotetaan hiilidioksidipäästöjä yksikköä kohden moninkertaisesti muihin polttoaineisiin verrattuna. Tällöin energian käytön tehostamistoimenpiteet on liikennepolttonesteiden käytössä viety pidemmälle kuin muiden polttoaineiden käytössä. Toinen poikkeus on biopolttoaineet, joita ei veroteta niiden käytöstä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen ilmastoneutraalisuuden vuoksi. Kolmas poikkeus ovat metallien valmistuksen pelkistyspolttoaineet, joita ei myöskään koske hiilidioksidivero. Tämä poikkeus on tehty kilpailukykyisyyden vuoksi. Lisäksi laskelmissa oletetaan, että nykyiset uusiutuvien energialähteiden tuet ovat voimassa.

Tarvittava hiilidioksidivero perustuu hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannuksiin ja tällöin ko. rajakustannuksiin vaikuttavat tekijät vaikuttavat myös tarvittavaan hiilidioksidiveroon. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kahden tällaisen tekijän vaikutusta. Kyseiset tekijät ovat sähköntuonti mahdollisuudet ja ydinvoimavaihtoehdot.

Tutkimuksessa oletetaan rajoitusskenaariossa OP1, että lisäydinvoimaa ei rakenneta ja että sähkön tuonti voi olla korkeintaan kuusi TWh. Rajoitusskenaariossa OP2 oletetaan 1300 MW tehoisen uuden ydinvoimalan olevan käytössä vuodesta 2008 eteenpäin ja sähkön tuonnin voivan olla korkeintaan kuusi TWh. Rajoitusskenaariossa OP1S oletetaan, että lisäydinvoimaa ei rakenneta ja että sähkön tuonti määräytyy Suomen sähköntuotannon kustannusten ja sähkön tuonnin kustannusten perusteella. Tässä rajoitusskenaariossa sähkön tuonti voi olla korkeintaan 15 TWh. Rajoitusskenaariossa OP2S on sekä lisäydinvoima että em. sähköntuontimahdollisuus (korkeintaan 15 TWh).

Tutkimuksessa osoittautuu, että energiantuotannon vaihtoehdot: lisäydinvoima ja sähköntuontimahdollisuudet vaikuttavat merkittävästi energiajärjestelmän joustavuuteen. Lisäydinenergia vaikuttaa siksi, että ensinnäkin se on suhteellisen edullinen sähköntuotantomuoto jopa perusskenaarion erillisen sähköntuotannon päävaihtoehtoon eli kivihiililauhdetuotantoon verrattuna ja ydinvoimalla tuotettu sähkö ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä. Ydinvoimalla on siis kaksi kustannusetua.

Tuontisähkö ei ole yhtä edullista kuin on ydinvoimalla tuotettu sähkö, mutta hiilidioksidipäästörajoitteen vallitessa sen edullisuutta lisää sen hiilidioksidipäästöttömyys. Kansainvälisten sopimusten mukaan hiilidioksidipäästöt luetaan tuottajamaan hiilidioksidipäästöiksi. Sähkömarkkinoilla Suomen sähköntuotantoa koskeva hiilidioksidipäästörajoite aiheuttaa kiihokkeen hankkia hiilidioksi-

päästövapaata tuontisähköä, joten tuontisähkö ei välttämättä lainkaan ole epärealistinen vaihtoehto.

Tässä tutkimuksessa niukkuushintaa siis mitataan hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavalla hiilidioksidiverolla ja ko. hiilidioksidivero vaihtelee noin 100 markasta reiluun 200 markkaan hiilidioksiditonnia kohden. Vastaavasti myös niukkuuden arvo eli hiilidioksidiverokertymä vaihtelee huomattavasti eli vajaasta neljästä miljardista markasta noin kahdeksaan miljardiin markkaan vuonna 2010.<sup>105</sup> Perusskenaariossa energiaveroja (pl. liikennepolttoaineiden verot) kerätään vajaat viisi miljardia markkaa vuonna 2010.

Lisäydinvoima suurin piirtein puolittaa tarvittavan hiilidioksidiveron ja ilman lisäydinvoimaa tuontisähkömahdollisuus alentaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa reilun kolmanneksen. Lisäydinvoiman tapauksessa tuontisähkömahdollisuus alentaa jonkin verran hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavaa hiilidioksidiveroa.

Tutkimuksen mallilaskelmissa hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan hiilidioksidiverolla, jolloin hiilidioksidipäästöihin liittyvä niukkuus verotetaan yhteiskunnalle ja hiilidioksidiveron tuotolla alennetaan kotitalouksien tuloveroja. Näin tapahtuu rajoitusskenaariossa OP1, jossa hiilidioksidiverokertymä on suurempi kuin on perusskenaarion energiaverokertymä. Rajoitusskenaariossa OP1S perusskenaarion energiaverokertymä käytännössä vastaa verollisten hiilidioksidipäästöjen mukaista hiilidioksidiverokertymää. Laskennallisesti perusskenaarion mukainen vuoden 2010 energiaverokertymä vastaa tämän tutkimuksen veronalaisille hiilidioksidipäästöille noin 125 markan hiilidioksidiveroa tonnia kohden.

Sen sijaan kahdessa rajoitusskenaariossa OP2 ja OP2S hiilidioksidiverokertymä on pienempi kuin on perusskenaarion verokertymä. Tällöin energiaverokertymän vaje katetaan lisäämällä kotitalouksien tuloverotusta.

Energiajärjestelmämallilla laskettavat välittömät kustannukset, jotka siis siirretään kokonaistaloudelliseen malliin, koostuvat energiaverokertymän muutoksen (hiilidioksidiverokertymä – perusskenaarion energiaverokertymä) lisäksi suorista kustannuksista. Suorat kustannukset johtuvat energiantuotannon ja etenkin energiankäytön tehostamisen (energiänsäästön) kustannuksista. Suorat kustannukset riippuvat myös energiantuotannon vaihtoehdoista. Ilman lisäydinvoimaa ja sähkön tuonnin olleessa kuusi terawattituntia (OP1) suorat kustannukset ovat vuonna 2010 noin kaksi miljardia markkaa. Sähköntuontimahdollisuus alentaa suorita kustannuksia noin puolella miljardilla markalla (OP1S) ja lisäydinvoima puolittaa suorat kustannukset noin miljardiin markkaan (OP2 ja OP2S).

---

<sup>105</sup> Mikäli hiilidioksidipäästöt kiintiöidään jakamalla ne taloudenpitäjille ilmaiseksi jaettujen hiilidioksidipäästöjen arvo on tietysti sama kuin yllä mainittu hiilidioksidipäästöjen niukkuuden arvo.

Kaiken kaikkiaan välittömät kustannukset vaihtelevat rajoitusskenaarion OP1 noin viiden miljardin markan kustannusten lisäyksestä noin puolen miljardin markan kustannusten vähentymiseen (OP2 ja OP2S).

Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen hiilidioksidiverolla johtaa erillisen sähköntuotannon rakennemuutokseen. Kivihiilen käyttö vähenee kaikissa rajoitusskenaariossa huomattavasti perusskenaarioon verrattuna. Luonnollisesti lisäydinvoima ja tuontisähkö vaikuttavat erillisen sähköntuotannon polttoaineraikenteeseen. Tuontisähkö ja lisäydinvoima korvaavat etenkin maakaasulla tuotettua sähköä.

Kaikissa rajoitusskenaariossa yhteistuotannolla tuotetun sähkön määrä lisääntyy perusskenaarioon verrattuna, eniten rajoitusskenaariossa OP1 2,1 TWh ja vähiten rajoitusskenaariossa OP2S 0,4 TWh. Yhteistuotannolla tuotetun sähkön määrän lisäys johtuu ensinnäkin siitä, että yhteistuotannon hiilidioksidipäästöt ovat huomattavasti erillistuotantoa pienemmät, jolloin hiilidioksidiverosta aiheutuva kustannustaakka on suhteessa alhainen. Toinen syy on se, että korkeampi sähkön hinta periaatteessa parantaa yhteistuotantosähkön kilpailukykyä. Kolmas syy on se, että hiilidioksidivero kohdistuu myös erillisen sähköntuotannon polttoaineisiin, jolloin yhteistuotantosähkön edullisuus (kilpailukyky) pääsee laskelmissa esiin.

Yhdessä rajoitusskenaariossa eli OP1:ssa hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttaminen edellyttää sähkön säästöä. Kyseisessä rajoitusskenaariossa sähkön käyttöä tehostetaan 3,7 TWh eli prosenteissa noin 4,2. Muissa rajoitusskenaariossa sähkön käyttö on lähes sama kuin perusskenaariossa.

Välittömät kustannukset ovat enimmillään noin 0,5 % vuoden 2010 arvioidusta bruttokansantuotteesta ja vähimmillään noin 0,2 %. Suorat kustannukset, joita ei voida taloudessa kierrättää takaisin, ovat enimmillään noin 0,2 % vuoden 2010 arvioidusta bruttokansantuotteesta ja vähimmillään noin 0,1 %.

Rajoitusskenaarioiden taloudelliset vaikutukset ovat 0,2-0,3 % vähennys bruttokansantuotteessa ja 0,2-0,4 % vähennys kotitalouksien kulutusmenoissa vuonna 2010. Kyseessä ovat erot perusskenaarioon verrattuna. Massa- ja paperiteollisuuden tuotanto on vuonna 2015 rajoitusskenaariossa OP1 1,5 % perusuran alapuolella ja muissa rajoitusskenaariossa 0,1 tai 0,2 % perusskenaarion alapuolella. Perusmetallien valmistuksen tuotanto alentuu vuonna 2015 perusuraan verrattuna enimmillään 1,1 % ja pienimmillään 0,2%. Kemian teollisuuden tuotanto on alentuu perusuraan verrattuna 0,3-1,4 %. Muun teollisuuden tuotanto alenee 0,1-0,2 %. Palveluiden ja kaupan tuotannon muutokset ovat käytännössä samat kuin kotitalouksien kulutuksen muutokset.

Muilla menetelmillä arvioituna pitkällä aikavälillä kolmen raskaan teollisuuden toimialan tuotannot alentuisivat 7-10 % rajoitusskenaariossa OP1 ja sähkön

tuontimahdollisuus suurin piirtein puolittaisi tuotannon vähenemän (OP1S). Rajoitusskenaarioissa, joissa oletetaan lisäydinvoima, käytännössä raskaiden toimialojen tuotannot eivät muuttuisi pitkällä aikavälillä (OP2, OP2S).

Kokonaistaloudellisiin kustannuksiin vaikuttavat ensinnäkin välittömien kustannusten määrä ja rakenne. Rajoitusskenaariossa OP1 välittömät kustannukset ovat vuonna 2010 noin viisi miljardia markkaa, josta noin kolme miljardia on hiilidioksidiverokertymää ja kaksi miljardia on suoria kustannuksia. Vastaavasti rajoitusskenaariossa OP2S välittömät kustannukset ovat noin puolen miljardin markan vähennys energiankäytön kustannuksissa. Tässä rajoitusskenaariossa energiaverokertymä alenee noin puolitoista miljardia markkaa ja suorat kustannukset ovat noin miljardi markkaa vuonna 2010. Raskaan teollisuuden tuotantoa lukuun ottamatta rajoitusskenaarioiden kokonaistaloudelliset vaikutukset (bruttokansantuotteen määrä, kotitalouksien kulutus) ovat käytännössä samat.

Toisin sanoen rajoitusskenaariossa (OP1), jossa energian verotus kiristyy ja energian käytön kokonaiskustannukset kasvavat, aiheutuu kokonaistaloudellinen tappio. Tässä rajoitusskenaariossa energiaverojen kertymän lisäys takaisin kierretään kotitalouksien tuloveroja alentamalla. Toisaalta rajoitusskenaarioissa (OP2, OP2S), joissa energian verotus löystyy ja energian käytön kokonaiskustannukset (lievästi) alentuvat, aiheutuu myös kokonaistaloudellinen tappio. Näissä rajoitusskenaariossa energiaverokertymän vajeus katetaan kotitalouksien tuloverojen nostolla.

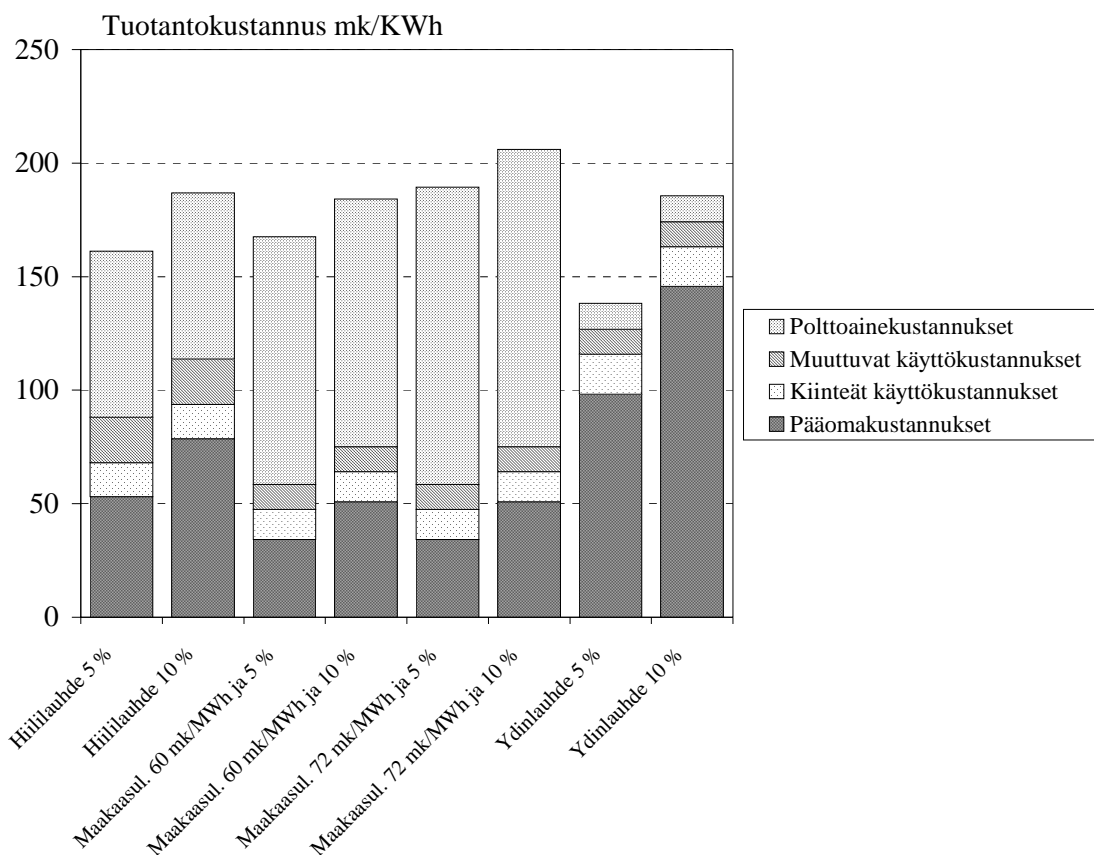
Kokonaistalouden tasolla ko. verokertymän muutosten vaikutuksen voidaan olettaa olevan hyvin marginaalinen, joten kokonaistaloudellisia vaikutuksia voidaan selittää pääasiassa ei-kierrätettävillä suorilla kustannuksilla. Näiden määrä vaihtelee miljardista kahteen miljardiin markkaa, jolloin kokonaistaloudellisiin vaikutuksiin syntyy 0,1/0,2 % ero.

Hiilidioksidiveron kustannukset jaetaan mallilaskelmissa toimialoille varsin suoraviivaisesti niiden energiankäytön mukaisesti. Esimerkiksi vuonna 2010 kolmen raskaan teollisuuden toimialan välittömät kustannukset ovat rajoitusskenaariossa OP1 noin 2,5 miljardia markkaa, josta noin 1,4 miljardia on hiilidioksidiveroa. Kokonaistaloudellisissa laskelmissa näinkään suuri kustannustaakan lisäys (noin yhden prosentin korotus tuotannon yksikkökustannuksiin vuonna 2005) ei ilmene kokonaistalouden tasolla suurena kustannuksena, koska ensinnäkin vuonna 2015 ko. teollisuuden toimialojen reaktio on vielä kesken ja toiseksi ko. teollisuudenalojen osuus kokonaistuotannosta on kuitenkin suhteellisen pieni.

Todettakoon, että sähkömarkkinoilla kustannuksia ei todellisuudessa välttämättä jaeta aivan samalla tavalla kuin mallilaskelmissa on oletettu, jolloin todennäköisesti teollisuuden osuus välittömistä kustannuksista on pienempi ja kotitalouksien sekä palveluiden osuus on suurempi.

## LIITE I. Erillisen sähköntuotannon tuotantomuotojen tuotantokustannukset

Kustannuksiin perustuvassa sähkön hinnoittelussa lasketaan kaikki sähköntuotantoon liittyvät kustannukset yhteen ja lopputuloksena on sähkön tarjontahinta. Kustannuksia ovat mm. pääoma, työ ja primäärienergiakustannukset. Usein kustannukset eritellään niiden synnyn mukaan kiinteisiin tuotannosta riippumattomiin ja muuttuviin tuotannosta riippuviin kustannuksiin. Tyypillisesti esimerkiksi polttoainekustannukset ovat muuttuvia kustannuksia ja pääomakustannukset kiinteitä kustannuksia. Pääomakustannukset lasketaan sijoitetun pääoman, jota tyypillisesti mitataan investointina sähkötuotantotehoyksikköä kohden, ja korkotason avulla. Kuviossa L1 on käytetty annuiteettimenetelmää pääomakustannusta laskettaessa sekä kahta korkotasoa 5 % ja 10 %.



Kuvio L1. Erillisen sähköntuotannon tuotantomuotojen tuotantokustannukset.<sup>106</sup>

<sup>106</sup> Lähteenä on käytetty kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisua Teknologia ja kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen – Taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. Kivihiilen hinnaksi on oletettu 30 markkaa polttoaineen megawattituntia kohden.

Lisäksi maakaasulla tuotetun sähköntuotantokustannukset on laskettu kahdella maakaasun hinnalla 60 mk/Mwh ja 72 mk/Mwh. Kuvion L1 perusteella sähköntuotantokustannus ilman hiilidioksidiveroa vaihtelee 14 pennin ja 21 pennin välillä.

Hiilidioksidivero esimerkiksi 100 markkaa tonnia kohden lisää maakaasulla tuotettuun sähkön kustannusta noin 3,5 penniä ja kivihiilellä tuotettuun sähkөөn noin 8 penniä.

## LIITE II: Verotuksen rakenne ja hiilidioksidipäästöt

Tässä liitteessä tarkastellaan periaatteellisesti verotuksen ja hiilidioksidipäästöjen välistä suhdetta. Taloustieteessä on johdettu lukuisia tuloksia siitä minkälainen on optimiverotus eli verorakenne, jolla rahoitetaan tietyt julkiset menot pienimmän hyvinvointitappioiden.<sup>107</sup> Tässä liitteessä esitetään yksinkertaisia tapauksia energiaverotuksen optimaalisuudesta, jota mitataan kuluttajan hyödyllä. Esitettävät tapaukset ovat spekulatiivisia eikä niitä ole 'verifioitu' esimerkiksi mallilaskelmilla. Tarkoituksena on pohtia verotuksen ja hiilidioksidiverojen välistä suhdetta.

Oletetaan, että veroja on kahdenlaisia; energiaverot ja muut verot. Näiden kokonaisuus on vakio. Verotuksen rakenne eli jakauma muiden verojen ja energiaverojen välillä voi muuttua. Lisäksi energiahyödykkeiden verorakenne voi muuttua.

Tarkastellaan periaatteellisesti neljänlaista energiaverojen rakennetta eli veromallia :

1. Energiasisältövero: energiahyödykkeiden energiasisällön perusteella määräytyvä vero, jossa energiaveroperusteet ja energiaverokertymä on skaalattu tasolle, jolla toteutuu energian verotuksen ja muun verotuksen välinen optimi silloin, kun taloudessa ei ole voimassa hiilidioksidipäästörajoitetta.
2. Hiilidioksidivero: energiahyödykkeiden hiilisisällön perusteella määräytyvä vero, jossa energiaveroperusteet ja energiaverokertymä on skaalattu tasolle, jolla toteutuu energian verotuksen ja muun verotuksen välinen optimi silloin, kun taloudessa ei ole voimassa hiilidioksidipäästörajoitetta.<sup>108</sup>
3. Optimikokonaisenergiavero: energiaverorakenne, joka toteuttaa em. energian ja muun verotuksen välisen optimin sekä energiaverokertymän silloin, kun taloudessa ei ole voimassa hiilidioksidipäästörajoitetta.

<sup>107</sup> Esimerkiksi Handbook of Public Economics (ed. Auerbach A.J. & Feldstein M., North-Holland) osa I luvut 1-8 käsittelevät verotuksen perusteita ja tehokkuusvaikutuksia. Energiaverotuksen tehokkuutta verona käsittelee muun muassa Goulder (Energy Taxes: Traditional Efficiency Effects and Environmental Implications, NBER, Working Paper 4582).

<sup>108</sup> Herää tietysti kysymys miksi taloudessa pitäisi olla energiaverorakenne, joka perustuu hiilidioksidipäästöihin, vaikka taloudella ei ole hiilidioksidipäästörajoitetta. Suomessa oli käytössä 1990-luvun alkupuoliskolla hiilidioksidipäästöihin perustuva energiaverotus eikä Suomella tuolloin ollut sitovaa hiilidioksidipäästörajoitetta. Vastaavasti voidaan kysyä miksi energiaverotuksen pitäisi riippua energiahyödykkeiden energiasisällöstä. 1990-luvun alussa EU:ssa esitettiin energiaveromalleja, jotka olisivat olleet puhtaita energiasisältöveroja, puhtaita hiilidioksidiveroja tai näiden yhdistelmiä. Kovin selvää ei ollut miksi energiaverorakenteen tulisi olla juuri sellainen kuin tuolloin esitettiin. Kovinkaan pitkälle ei päästä perustelemalla ko. veromalleja esimerkiksi sillä, että hiilidioksidivero johtaa hiilidioksidipäästöjen vähentymiseen, energiasisältövero johtaa energian säästöön ja näiden yhdistelmällä minkään energiahyödykkeen kilpailukyky ei muutu liikaa.



Tässä veromallissa verotuksesta aiheutuvat hyvinvointitappiot minimoidaan myös energian 'sisällä'.

4. Optimihiilidioksidivero, joka toteuttaa kullakin hiilidioksidipäästörajoitteen tasolla kokonaoptimin eli verotuksesta aiheutuvat hyvinvointitappiot minimoidaan ehdolla, että talouden tulee toteuttaa tietty hiilidioksidipäästörajoite.

Veromallit 1-4 ovat voimassa ensinnäkin silloin, kun hiilidioksidipäästöjä ei tarvitse lainkaan rajoittaa. Vaikka hiilidioksidipäästöjä ei rajoiteta, todennäköisesti veromallit 1-3/4 johtavat erilaisiin hiilidioksidipäästöihin. Veromallit 3 ja 4 tuottavat alkutilanteessa samat hiilidioksidipäästöt,

On luonnollista, että veromalleissa 1 ja 2 energiaverotuksen tulos alkutilanteessa ei voi olla täydellinen, koska verotuksen optimointia (veromalliin 3 verrattuna) rajoitetaan liikaa. Näissä veromalleissa veroperusteena ovat joko energiahyödykkeen energiasisältö tai energiahyödykkeen hiilidioksidipäästöt. Kolmannessa veromallissa näitä energiaverotuksen rakenteen rajoitteita ei ole. Neljännessä veromallissa hiilidioksidipäästörajoite toimii verotuksen rajoitteena.

Mielenkiintoinen kysymys, johon voidaan vastata esimerkiksi mallilaskelmilla, on se missä määrin alkutilanteet veromalleilla 1-3/4 poikkeavat toisistaan. Kuinka paljon verotuksen tilannetta haittaa se, että energiaverotuksen perusteet on sidottu joko energiahyödykkeen hiili tai energiasisältöön. Mikä on optimaalinen energiaverokertymä alkutilanteessa eri veromalleilla? Ja viimein missä määrin eri veromallit johtavat eri hiilidioksidipäästöihin.

Silloin, kun taloudessa rajoitetaan hiilidioksidipäästöjä, veromallien 1-3 oletetaan toimivan siten, että energiaverotuksen rakenne pidetään alkutilanteen siis tilanteen, jossa hiilidioksidipäästöjä ei rajoiteta, mukaisena ja energiaverotuksen tasoa skaalataan tasolle, jolla hiilidioksidipäästörajoite toteutuu. On selvää, etteivät veromallit 1-3 enää ole optimaalisia. Tapaukset 1 ja 3 ovat selviä, koska taloutta koskeva hiilidioksidipäästörajoite muuttaa verotuksen optimoinnin (reuna)ehtoja niin paljon, että verorakennetta muuttamalla voidaan tietty hiilidioksidipäästörajoite toteuttaa pienemmillä kustannuksilla.

Vastaavasti myöskään veromalli 2 ei tuota parasta tulosta, koska myös hiilidioksidiverossa tulee ottaa huomioon verotuksen vaikutukset aiheutuvaan hyvinvointitappioon. Tämä on otettu huomioon veromallissa 4, joka 'aidosti' minimoi sekä verotuksesta että hiilidioksidipäästörajoitteesta aiheutuvat hyvinvointitappiot.

Veromallit 3 ja 4 eli täysin optimaalinen energiaverotuksen ja verotuksen rakenne on käytännössä hankala laskea. Ensinnäkin ilman hiilidioksidipäästörajoitetta tavoitteena on ensinnäkin minimoida energiakäytön 'sisällä' verotuksesta aiheutuvat hyvinvointitappiot. Tällöin tyypillisesti verotusta suunnataan energiahyödykkeisiin, joiden ns. kompensoitu hintajousto on pienempi. Kokonaisvaltaisessa

vero-optimissa otetaan kuitenkin huomioon energiahyödykkeiden ja työntarjonnan (sekä vapaa-ajan) välinen optimointi. Tällöin tyypillisesti pyritään esimerkiksi verottamaan enemmän niitä energiahyödykkeitä, jotka ovat vapaa-ajan kanssa komplementteja, koska tällöin itse asiassa kyetään verottamaan jossakin määrin myös vapaa-aikaa. Vastaavasti työn tarjonnan substituutteja pyritään verottamaan enemmän ja komplementteja vähemmän. Tällöin työn verotus ja energiaverorakenne riippuvat toisistaan.

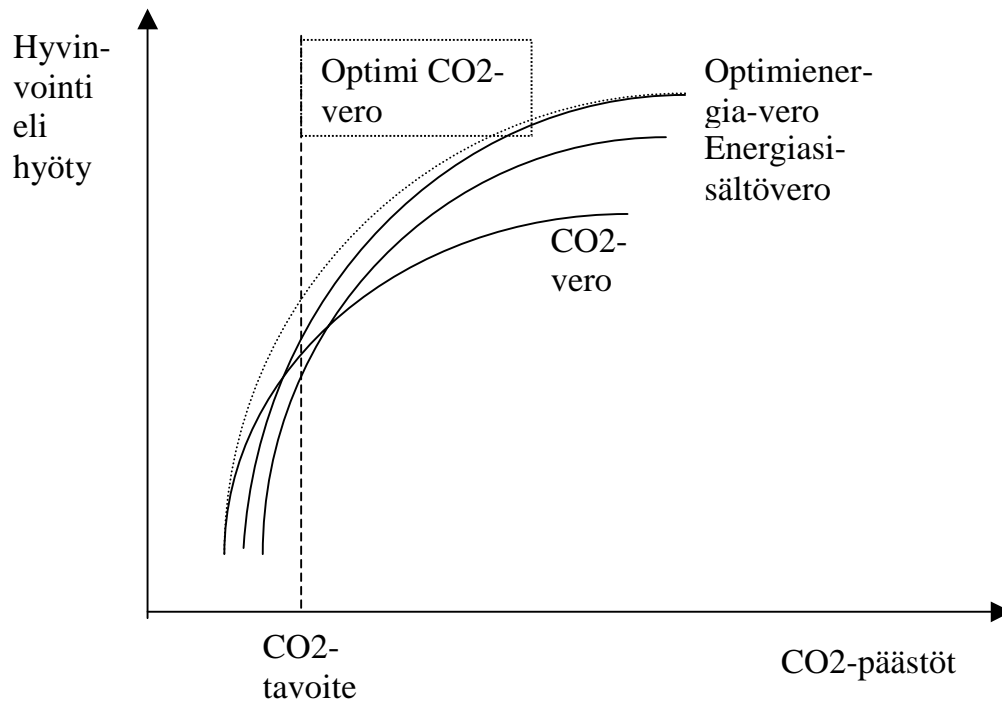
Optimaaliseen verosäätöön vaikuttaa esimerkiksi se, ovatko pääoma ja energia panoksina toisiaan korvaavia vaiko täydentäviä. Täydentävyyden tapauksessa energianverotus kohdistuu myös pääomaan ja pääoman verotus myös energiaan. Joillakin toimialoilla energia ja pääoma voivat olla toisiaan korvaavia ja joillakin toisiaan täydentäviä. Lisäksi tuotannossa työ, energia ja pääoma voivat riippua eri tavoilla toisistaan, jolloin optimiverosäännöstöstä tulee monimutkainen.

Kulutuksessa ovat voimassa vastaavat säännöt eli energiahyödykkeiden ja muiden hyödykkeiden verotus riippuu toisistaan.

Useimmiten siis optimiverotuksella nimenomaan ei pyritä ohjausvaikutukseen. Kuten jo todettiin optimiin pyrittäessä itse asiassa pyritään verottamaan hyödykkeitä, joiden kysyntä reagoi veroon mahdollisimman vähän. Erityisesti optimiverotuksella ei pyritä energian säästöön ellei sitten energiahyödykettä verottamalla voida tehokkaasti verottaa vapaa-aikaa. Tehokkuus periaatteetta l. tavoitetta voidaan verrata hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen verotuksella, jolloin nimenomaan pyritään ohjausvaikutukseen eli hiilidioksidipäästöjä aiheuttavien energiahyödykkeiden korvaamiseen vähemmän hiilidioksidipäästöjä aiheuttavilla energiahyödykkeillä sekä mikäli välttämätöntä hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamiseksi myös energian korvaamiseen muilla panoksilla (energiansäästöön).

Periaatteessa energiaverojen optimikertymä voisi optimissa olla nolla. Tällöin energiaveroasteet olisivat nollat, jolloin energiaverokertymä olisi nolla ja verotulot koostuisivat vain työvoimaveroista.

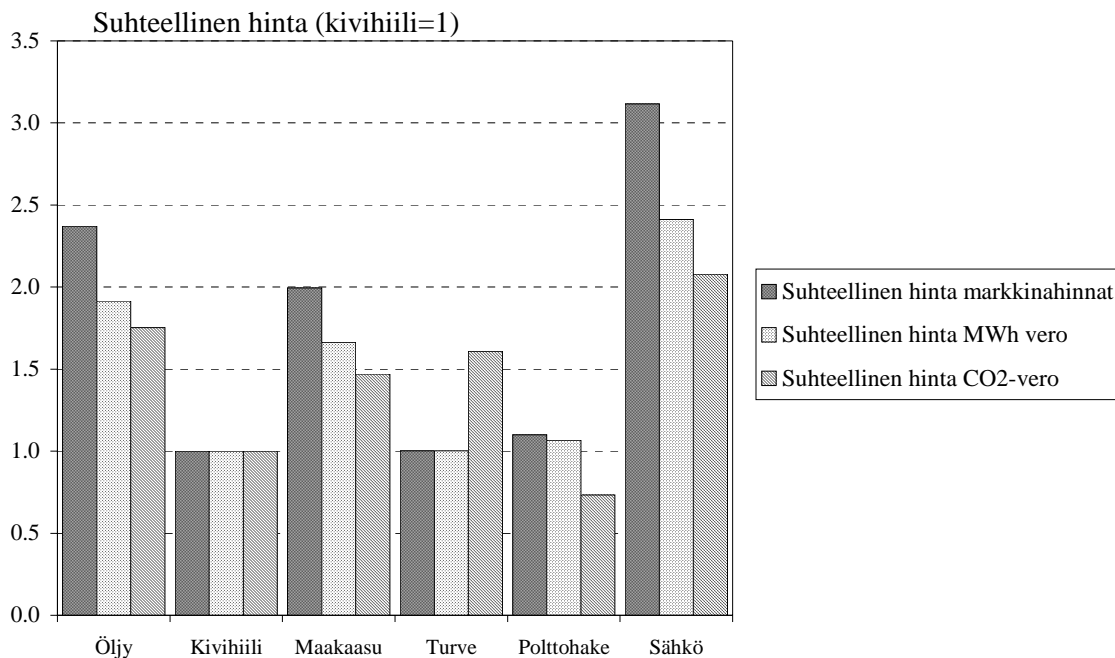
Tarkastellaankin kuitenkin mielenkiintoisempaa tapausta, jossa optimissa energiaverokertymä ei ole nolla. Kiinnostavaa on hyvinvoinnin (pl. tuotannon ja kulutuksen ympäristövaikutusten hyvinvointivaikutukset) ja hiilidioksidipäästöjen määrän välinen suhde.



*Kuvio L2. Verotuksen ja hiilidioksidipäästöjen suhde.*

Kuvio L2 voidaan selittää seuraavasti. Ensinnäkin voidaan olettaa (tämä on vain oletus, joka itse asiassa pitäisi testata) energiahyödykkeiden energiasäلتön mukaan määräytyvä vero vääristää energiantuotantoa vähemmän kuin hiilidioksidivero. Toisin sanoen energiasäلتöön perustuvalla energiaverolla energiahyödykkeiden suhteelliset hinnat muuttuvat vähemmän kuin hiilidioksidiverolla. Tällöin energiasäلتöverolla sekä hyvinvointi että hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat kuin hiilidioksidiverolla. Hyvinvointitulokset on triviaali, mikäli uskoo em. oletuksen olevan voimassa. Hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat kahdesta syystä. Ensinnäkin taloudellinen aktiviteetti on suurempi optimienergiasäلتöverolla ja toiseksi energiasäلتövero ohjaa vähemmän hiilidioksidipäästöjä alentavaan suuntaan. Siis sekä energiankäyttö että hiilidioksidipäästöt per energiayksikkö ovat korkeammat energiasäلتöverolla kuin hiilidioksidiverolla. Kuviossa 1 energiaveron mukaista optimia kuvaa kohta a2.

Kuviossa L3 esitetään suhteellisten hintojen muutos silloin, kun joko energiasäلتöverolla ja hiilidioksidiverolla kivihiilen hinta nostetaan 1,5-kertaiseksi (40 markasta 80 markkaan megawattituntia kohden).



*Kuvio L3. Polttoaineiden ja sähkön suhteelliset hinnat (suhteessa kivihiilen hintaan, joka on aina 1), kun kivihiilen hinta nostetaan energiasisältöverolla ja hiilidioksidiverolla 1,5-kertaiseksi.*

Kuten kuviosta L3 havaitaan hiilidioksidivero muuttaa polttoaineiden suhteellisia hintoja enemmän kuin energiasisältövero. Esimerkiksi markkinahinnoilla maakaasu on noin kaksi kertaa kalliimpaa megawattituntia kohden kuin kivihiili, energiasisältöverolla 1,66 kertaa kalliimpaa ja hiilidioksidiverolla noin 1,5 kertaa kalliimpaa. Vastaavasti sekä markkinahinnoilla että energiasisältöverolla turve on yhtä kallista kuin kivihiili, mutta hiilidioksidiverolla yli 1,5 kertaa kalliimpaa kuin kivihiili. Useimmiten hiilidioksidivero ja energiasisältövero muuttavat suhteellisia hintoja samaan suuntaan eikä verojen välinen ero ole kovin suuri.

Luonnollisesti optimikokonaisenergiaverolla saavutetaan kaikkien paras tulema silloin, kun hiilidioksidipäästöjä ei rajoiteta. Todennäköisesti myös hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat kuin energiasisällön mukaisessa optimiverotuksessa.

Todettakoon, että optimienergiaverotuksellakin talouden hiilidioksidipäästöt ovat todennäköisesti alhaisemmat kuin täydellisen optimiverotuksen eli ns. könttäsummaverotuksen tapauksessa. Toisin sanoen muu kuin teoreettinen optimivaihtoehto eli könttäsummaverotus aiheuttaa aina tuotannon ja kulutuksen vähentymistä sekä tätä kautta aina myös alhaisemmat hiilidioksidipäästöt. Toisin sanoen, vaikka hiilidioksidipäästöjen alentaminen ei olisikaan verotuksen tavoite,

tiettyjen julkisten menojen kattaminen muuttaa todennäköisesti talouden tuotantoa ja kulutusta siten, että hiilidioksidipäästöt vähentyvät.<sup>109</sup>

Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää optimiverotuksella ja energiasisältöön perustuvalla verotuksella siten, että pidetään verotuksen rakenne optimin eli alkutilanteen mukaisena ja skaalataan veroperusteita siten, että hiilidioksidipäästöt alentuvat. Hiilidioksidiverolla päästöjä vähennetään asettamalla energiahyödykkeille niiden hiilisisällön mukainen vero, jota skaalataan niin, että hiilidioksidipäästörajoite toteutuu. Hiilidioksidiverolla ei pyritä toteuttamaan energiaverotuksen ja työn verotuksen välistä optimia. Energiaverojen kokonaiskertymä määräytyy hiilidioksidipäästörajoitteen mukaan.

Luonnollisesti muut energiaverot kuin hiilidioksidivero ovat hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä tehottomia energiantuotannossa. Tehottomuus johtuu ennen kaikkea siitä, että ne eivät ohjaa energiantuotannossa tuotantoa hiilidioksidipäästöjä vähentävään suuntaan yhtä tehokkaasti kuin hiilidioksidivero. Tällöin suhteessa suurempi osa hiilidioksidipäästöjen vähennyksestä johtuu energiankäytön vähentämisestä kuin hiilidioksidiveron tapauksessa. Koska energiantuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöt ovat korkeammat energiasisältöveron ja optimiveron tapauksessa kuin ne ovat hiilidioksidiveron tapauksessa, samalla hiilidioksidipäästötasolla niiden energiaverokertymä on suurempi kuin on vastaava hiilidioksidiverokertymä.

Muiden kuin hiilidioksidiverojen tehottomuus johtuu siis ensinnäkin siitä, että energiaa käytetään muissa energiaveroratkaisussa vähemmän kuin hiilidioksidiverossa. Toiseksi hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen ns. suorat kustannukset kuten energiansäästön kustannukset ovat suuremmat muiden kuin hiilidioksidiveron tapauksessa.

Kun tilanteeseen lisätään hiilidioksidipäästörajoite, aluksi päästörajoitteen toteuttaminen energiaverolla tuottaa hyvinvoinnilla mitaten paremmat tuloksen. Toisin sanoen näillä hiilidioksidipäästöjen tasoilla verotuksen tavanomaiset hyvinvointivaikutukset (siis energiaveron ja työveron välinen optimi tässä tapauksessa) dominoivat hiilidioksidiveron ohjausvaikutuksia.

Jollakin päästörajoitteen tasolla on hyvinvoinnin näkökulmasta samantekevää käytetäänkö hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamiseen energiaveroa vai hiilidioksidiveroa.

---

<sup>109</sup> Esimerkiksi verotulot voidaan käyttää julkisen kulutuksen rahoittamiseen. Julkisen kulutuksen hiilidioksidi-intensiivisyys voi olla alhaisempi kuin yksityisen kulutuksen hiilidioksidi-intensiivisyys, jolloin verotuksella ja julkisilla menoilla toteutetaan hiilidioksidipäästöjä alentava talouden rakennemuutos. Lisäksi optimiverotuskin (pl. könttäsummaverot) alentaa talouden kokonaistuotantoa ja tätä kautta hiilidioksidipäästöjä.

Tiukemman päästörajoitteen tapauksessa hiilidioksidivero tuottaa hyvinvoinnin kannalta paremman tuloksen. Ensinnäkin hiilidioksidivero ja energiantuotannon rakennetta tehokkaammin hiilidioksidipäästöjä rajoittavaan suuntaan. Toisin sanoen energiantuotannossa päästöjenrajoittamisen kustannukset ovat pienemmät. Toiseksi energiaverolla toteutettava hiilidioksidipäästörajoite tuottaa suuremman energiaverokertymän kuin hiilidioksidiverolla toteutettu rajoite. Tällöin energiaveroilla energiaverojen ja työnverojen välinen tilanne muuttuu yhä epäoptimaaliseksi.

Ilman hiilidioksidipäästörajoitetta hiilidioksidiverorakenne haittaa verotuksen optimointia, jolloin hyvinvointi on alhaisempi kuin energiaveron tapauksessa. Vastaavasti hiilidioksidipäästörajoitteen vallitessa energiaverorakenne haittaa verotuksen optimointia, jolloin saavutetaan alhaisempi hyvinvoinnin taso kuin saavutetaan hiilidioksidiverolla.

Puhdas hiilidioksidiverokin voidaan muuttaa optimaaliseksi hiilidioksidiveroksi, jolloin mahdollisuuksien mukaan hiilidioksidiveron rakenteessa otetaan huomioon verotuksen muut tavoitteet, tässä tapauksessa verotuksesta aiheutuvat hyvinvointikustannukset. Tätä kuvaa kuviossa 1 katkoviivalla esitetty optimaalinen hiilidioksidivero. Hyvin pienillä päästöjen vähennystavoitteilla se on hyvin lähellä optimaalista energiaveroa ja toisaalta hyvin kireillä hiilidioksidipäästörajoituksilla se (todennäköisesti) lähestyy puhdasta hiilidioksidiveroa.

Teoreettisesti hiilidioksidipäästörajoitteen vaikutus voidaan määritellä (kuvio L2) hyötyeroksi, joka syntyy optimaalisen verotuksen perustilanteen (vapaan optimin) ja optimaalisen hiilidioksidiveron (joka toteuttaa hiilidioksidipäästörajoitteen) välillä. Kummassakin tapauksessa verorakenne on optimoitu, ensiksi ilman hiilidioksidipäästörajoitetta ja sitten hiilidioksidipäästörajoitteella, joten hyötyero johtuu hiilidioksidipäästörajoitteesta. Osa aiheutuvasta hyvinvointitappiosta johtuu suorista ei-kierrätettävistä kustannuksista ja osa siitä, että hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa verorakenteen optimointiin (sitä rajoittavasti).

Periaatteellisesti voidaan em. lisäksi tarkastella sekä hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen ja veroreformin yhteisvaikutusta hyötyyn. Tällöin osa hyödyn muutoksesta johtuu veroreformista ja osa talouden hiilidioksidipäästörajoitteesta.

## Lähteet:

- Alatalo J (1998): Hiilidioksidiveron kaksoishyötyvaikutus. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos B-sarja 141. Helsinki.
- Barnett A. H. (1980): The Pigouvian tax rule under monopoly. *American Economic Review* 70, 1037-1041.
- Forsström J & Honkatukia J (2001): Suomen ilmastostrategian kokonaistaloudelliset kustannukset. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita 759. Helsinki.
- Fullerton D. & Metcalf G. (1997): Environmental controls, scarcity rents, and pre-existing distortions. National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper Series, Working Paper 6091. Cambridge, United States.
- Goulder L. H, Parry I.W.H., Williams III, R.C. & Burtraw D (1998): The cost-effectiveness of alternative instruments for environmental protection in a second-best setting. National Bureau of Economic Research, NBER Working Paper Series, Working Paper 6464. Cambridge, United States.
- Hausch J (1999): The Kyoto Agreement Consequences for Nordic Electricity Market. Det ekonomiske Råd, Sekretariatet, Working Paper 1995:5.
- Honkatukia J (1998): Arvioita ilmastotavoitteen kokonaistaloudellisista vaikutuksista Suomessa. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita 641. Helsinki.
- Honkatukia J (1999): Kioto mekanismien käytön rajoittamisen vaikutukset Suomeen. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita 677. Helsinki.
- Honkatukia J (1999): The effects of energy saving on the costs of abatement policies in Finland. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita 693. Helsinki.
- Honkatukia J (2000) Kotimaisen päästökaupan kokonaistaloudelliset vaikutukset Suomessa. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita 718. Helsinki.
- Honkatukia J (2000): Arvioita energiaverotuksen taloudellisista vaikutuksista Suomessa. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita 719. Helsinki.
- Kasanen P (1990). Energian säästön määrittely. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskustelunaiheita 316. Helsinki.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö (2001): Teknologia ja kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen – Taustatyö kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 1/2001.

- Kauppa- ja teollisuusministeriö (2001): Kansallinen ilmastostrategia – Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja 2/2001. Helsinki.
- Kemppi H & Pohjola J (2000): Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten arvioinnissa käytetyt käsitteet ja mittarit. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Keskustelualoitteita 238. Helsinki.
- Kemppi H, Perrels A & Pohjola J (2000): Kasvihuonekaasupäästöjen alentamisen taloudelliset vaikutukset Suomessa. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia 73. Helsinki.
- Kemppi H, Perrels A & Lehtilä A (2001): Suomen kansallisen ilmasto-ohjelman taloudelliset vaikutukset. VATT-tutkimuksia 75. Helsinki.
- Lehtilä A & Pirilä P (1993): Suomen energiaperäisten hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja verot sen ohjauksena. VTT julkaisuja 785. Espoo.
- Lehtilä A & Tuhkanen S (1999): Integrated cost-effectiveness analysis of greenhouse gas emission abatement – The case of Finland. VTT Publications 374. Espoo.
- Lehtilä a & Tuhkanen S (1999): Skenaarioita Suomen kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisesta – yhteenveto ympäristöministeriölle tehdyistä laskelmista. VTT Energia, tutkimuslaskelma ENE&/19/99. Espoo.
- Mustonen E & Sinko P (2000): Hiilidioksidiveron vaikutus kotitalouksien tulonjakoon. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Keskustelualoitteita 232. Helsinki.
- Perrels A (2000): Selecting Instruments for a Greenhouse Gas Reduction Policy in Finland. VATT-Research Reports 69. Helsinki.
- Pohjola J (1997): CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen kansantaloudelliset vaikutukset: Tuloksia polttoainerakenteen muutokset huomioonottavasta CGE-mallista. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita 624. Helsinki.
- Proost S & Regemorter D (2001): How to achieve the Kyoto Target in Belgium – modelling methodology and some results. Kathelike Universiteit Leuven, Faculty of economics and applied economic sciences, Center for Economic Studies; energy, transport & environment. Working paper series n<sup>o</sup>2000-9.
- Svendsen T G, Daugbjerg C, Hjöllund L & Pedersen A B (2001): Consumers, industrialists and the political economy of green taxation: CO<sub>2</sub>- taxation in OECD: Energy Policy 29, 489-497. Elsevier.
- Mäenpää I & Tervo H (1994): Suomen talouden energiankulutuksen ja ilmapäästöjen rakenteet vuonna 1990 – Panos-tuotosanalyysi. Taloustieteen osasto, Oulun yliopisto, Taloustieteellisiä keskustelualoitteita No. 15. Oulu.



Vehmas J, Petäjä J, Kaivo-oja J, Malaska P & Luukkanen J (1998):  
Ilmastopolitiikka ja Suomi, Kansainvälisiä näkökohtia sekä kansallisia  
sähkötuotannon ja -kulutuksen skenaariota. Ympäristöministeriö. Suomen  
ympäristö, ympäristöpolitiikka 223. Helsinki.



**VATT-KESKUSTELUALOITTEITA / DISCUSSION PAPERS ISSN 0788-5016  
- SARJASSA ILMESTYNEITÄ**

216. Glazer Amihai – Niskanen Esko: Which Consumers Benefit from Congestion Tolls? Helsinki 2000.
217. Aronen Kauko: Kaupunkipoliittinen näkökulma alueiden väliseen tasaukseen. Helsinki 2000.
218. Luoma Kalevi – Järviö Maija-Liisa: Productivity Changes in Finnish Health Centres in 1988-1995: A Malmquist Index Approach. Helsinki 2000.
219. Kilponen Juha: On the Efficiency of Job and Income Protection in the Dynamic Labour Markets. Helsinki 2000.
220. Venetoklis Takis: Impact of Business Subsidies on Growth of Firms - Preliminary Evidence from Finnish Panel Data. Helsinki 2000.
221. Laakso Seppo: Asuntomarkkinoiden alueellinen kehitys Suomessa 1980- ja 1990-luvulla. Helsinki 2000.
222. Perrels Adriaan (ed.): Greenhouse Gas Policy Questions and Socio-Economic Research Implications for Finland in a National and International Context. Helsinki 2000.
223. Moilanen Paavo: Assessing the Effectiveness of Marginal Cost Pricing in Transport - the Helsinki Case. Helsinki 2000.
224. Hakola Tuulia: Navigating Through the Finnish Pension System. Helsinki 2000.
225. Tuomala Juha: Työttömien työmarkkinasiirtymät vuonna 1998. Helsinki 2000.
226. Korkeamäki Ossi – Kyyrä Tomi: Integrated Panel of Finnish Companies and Workers. Helsinki 2000.
227. Häkkinen Iida – Kirjavainen Tanja – Uusitalo Roope: School Resources and Student Achievement Revisited: New Evidence Using Panel Data. Helsinki 2000.
228. Perrels Adriaan – Weber Christoph: Modelling Impacts of Lifestyle on Energy Demand and Related Emissions. Helsinki 2000.
229. Hietala Harri: Suorien sijoitusten verorasituksen mittaamisesta. Helsinki 2000.
230. Virén Matti: How Sensitive is the Public Budget Balance to Cyclical Fluctuations in the EU? Helsinki 2000.
231. Ilmakunnas Seija – Kiander Jaakko – Parkkinen Pekka – Romppanen Antti: Globalisaatio ja työn loppu? Talous ja työllisyys vuoteen 2030. Helsinki 2000.
232. Mustonen Esko – Sinko Pekka: Hiilidioksidiveron vaikutus kotitalouksien tulonjakoon. Helsinki 2000.
233. Holm Pasi – Pankka Kari – Toivonen Seppo – Tykkyläinen Yrjö – Virén Matti: PK-yritysten turvallisuuskysely. Helsinki 2000.
234. Kiander Jaakko – Virén Matti: Do Automatic Stabilisers Take Care of Asymmetric Shocks in the Euro Area? Helsinki 2000.

235. Kiander Jaakko – Kilponen Juha – Vilmunen Jouko: Taxes, Growth and Unemployment in the OECD Countries - does Collective Bargaining Matter? Helsinki 2000.
236. Venetoklis Takis: Methods Applied in Evaluating Business Subsidy Programs: A Survey. Helsinki 2000.
237. Siivonen Erkki: Pohjoinen ulottuvuus: Investointien rahoitukseen liittyviä näkökohtia. Helsinki 2000.
238. Kemppe Heikki – Pohjola Johanna: Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten arvioinnissa käytetyt käsitteet ja mittarit. Helsinki 2000.
239. Virén Matti: Cross-Country Evidence on a Nonlinear Okun Curve. Helsinki 2000.
240. Pollari Johanna: Yhteistoteutuksen merkitys Suomen ilmastopolitiikassa. Helsinki 2000.
241. Coenen Heide: Network Effects in Telecommunications: when Entrants are Welcome. Helsinki 2000.
242. Moisio Antti: Spend and Tax or Tax and Spend? Panel Data Evidence from Finnish Municipalities during 1985 - 1999. Helsinki 2000.
243. Coenen Heide – Holler Manfred J.– Niskanen Esko (eds.): 5<sup>th</sup> Helsinki Workshop in Standardization and Networks 13-14 August, 2000. Helsinki 2000.
244. Virén Matti: Modelling Crime and Punishment. Helsinki 2000.
245. Nash Chris – Niskanen Esko (eds.): Helsinki Workshop on Infrastructure Charging on Railways 31 July - 1 August, 2000. Helsinki 2000.
246. Parkkinen Pekka: Terveystieteiden ja sosiaalipalvelujen vuoteen 2030. Helsinki 2001.
247. Riihelä Marja – Sullström Risto – Tuomala Matti: What Lies Behind the Unprecedented Increase in Income Inequality in Finland During the 1990's. Helsinki 2001.
248. Kangasharju Aki – Pekkala Sari: Regional Economic Repercussions of an Economic Crisis: A Sectoral Analysis. Helsinki 2001.
249. Kiander Jaakko – Luoma Kalevi – Lönnqvist Henrik: Julkisten menojen rakenne ja kehitys: Suomi kansainvälisessä vertailussa. Helsinki 2001.
250. Kilponen Juha – Sinko Pekka: Taxation and the Degree of Centralisation in a Trade Union Model with Endogenous Labour Supply. Helsinki 2001.
251. Vaitinen Risto: WTO:n kauppaneuvottelujen merkitys EU:n maataloudelle. Helsinki 2001.
252. Bjerstedt Katja: Työssä jaksamisesta ja työmarkkinoiden muutoksesta. Helsinki 2001.
253. Sinko Pekka: Unemployment Insurance with Limited Duration and Variable Replacement Ratio – Effects on Optimal Search. Helsinki 2001.
254. Rauhanen Timo: Arvonlisäverotus EU:n jäsenmaissa – voiko vientiä verottaa? Helsinki 2001.

255. Korkeamäki Ossi: Työttömyysriskiin vaikuttavat yksilö- ja yrityskohtaiset tekijät Suomessa 1990-1996. Helsinki 2001.
256. Kyyrä Tomi: Estimating Equilibrium Search Models from Finnish Data. Helsinki 2001.
257. Moisio Antti: On Local Government Spending and Taxation Behaviour – effect of population size and economic condition. Helsinki 2001.
258. Kari Seppo – Ylä-Liedenpohja Jouko: Klassillinen osakeyhtiövero kansainvälisen veroharmonisoinnin muotona. Helsinki 2001.
259. Kiander Jaakko – Vaitinen Risto: EU:n itälaajenemisen vaikutuksista: laskelmia tasapainomallilla. Helsinki 2001.
260. Hakola Tuulia – Uusitalo Roope: Let's Make a Deal – the Impact of Social Security Provisions and Firm Liabilities on Early Retirement. Helsinki 2001.
261. Hjerppe Reino – Kari Seppo – Lönnqvist Henrik (toim.): Verokilpailu ja verotuksen kehittämistarpeet. Helsinki 2001.
262. Hakola Tuulia – Lindeboom Maarten: Retirement Round-about: Early Exit Channels and Disability Applications. Helsinki 2001.
263. Kilponen Juha – Romppanen Antti: Julkinen talous ja väestön ikääntyminen pitkällä aikavälillä – katsaus kirjallisuuteen ja simulointeja sukupolvimallilla. Helsinki 2001.
264. Riihelä Marja – Sullström Risto – Tuomala Matti: On Economic Poverty in Finland in the 1990s. Helsinki 2001.
265. Parkkinen Pekka: Suomen ja muiden unionimaiden väestön ikärakenne vuoteen 2050. Helsinki 2002.
266. Kari Seppo – Ylä-Liedenpohja Jouko: Classical Corporation Tax as a Global Means of Tax Harmonization. Helsinki 2002.
267. Kallioinen Johanna: Pyöräilyn institutionaalinen asema liikennesuunnittelussa. Helsinki 2002.
268. Kangasharju Aki and Venetoklis Takis: Business Subsidies and Employment of Firms: Overall Evaluation and Regional Extensions. Helsinki 2002.
269. Moisio Antti: Determinants of Expenditure Variation in Finnish Municipalities. Helsinki 2002.
270. Riihelä Marja – Sullström Risto: Käytettävissä olevien tulojen liikkuvuus vuosina 1990-1999. Helsinki 2002.
271. Kari Seppo – Kröger Outi – With Hanna: Saksan verouudistus 2001. Helsinki 2002.
272. Kari Seppo: Norjan ja Suomen tuloverojärjestelmän vertailua. Helsinki 2002.
273. Sinko Pekka: Labour Tax Reforms and Labour Demand in Finland 1997-2001. Helsinki 2002.
274. Pekkala Sari – Kangasharju Aki: Adjustment to Regional Labour Market Shocks. Helsinki 2002.
275. Poutvaara Panu: Gerontocracy Revisited: Unilateral Transfer to the Young May Benefit the Middle-aged. Helsinki 2002.
276. Uusitalo Roope: Tulospalkkaus ja tuottavuus. Helsinki 2002.