

VATT-KESKUSTELUALOITTEITA
VATT-DISCUSSION PAPERS

238

HIILIDIOKSIDI-
PÄÄSTÖJEN
RAJOITTAMISEN
KUSTANNUSTEN
ARVIOINNISSA
KÄYTETYT
KÄSITTEET JA
MITTARIT

Heikki Kemppi
Johanna Pohjola

ISBN 951-561-343-4

ISSN 0788-5016

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus

Government Institute for Economic Research

Hämeentie 3, 00530 Helsinki, Finland

Email: heikki.kemppi@vatt.fi

johanna.pohjola@metla.fi

Yliopistopaino

Helsinki, joulukuu 2000

KEMPPI HEIKKI – POHJOLA JOHANNA: HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN

RAJOITTAMISEN KUSTANNUSTEN ARVIOINNISSA KÄYTETYT KÄSITTEET JA MITTARIT. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2000, (C, ISSN 0788-5016, No 238). ISBN 951-561-343-4.

Tiivistelmä: Suomen kasvihuonekaasupäästötavoite vuodelle 2010 on vuoden 1990 päästöjen taso. Kyseisen tavoitteen saavuttaminen edellyttää muutoksia mm. energiantuotannossa, jotka vaikuttavat sähkön ja lämmön hintaan. Sähkön ja lämmön hinnan nousulla puolestaan on kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisia kustannuksia on arvioitu erilaisilla kustannuskäsitteillä ja -mittareilla. Saavutettujen tulosten kirjavuus vaikeuttaa kokonaistaloudellisesti tehokkaan ilmastopolitiikan suunnittelua. Tämän julkaisun tavoitteena on selkiyttää käytettyjä käsitteitä sekä esittää niiden yhtenevyyksiä ja eroja.

Suorat l. välittömät kustannukset kuvaavat tiettyjen toimenpiteiden kustannusvaikutusta useimmiten jollakin toimialalla kuten energiantuotannossa. Välittömät kustannukset ilmaisevat kustannuspaineen mikä ko. toimialalta siirtyy muualle talouteen. Kuitenkaan välittömät kustannukset eivät suoraan ilmaise, kuinka esimerkiksi sähkön hinta muuttuu. Sähkön hinnoittelusääntö vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka sähkön markkinahinta muuttuu.

Kokonaistaloudellisia kustannuksia mitataan tyypillisesti bruttokansantuotteen, kotitalouksien kulutuksen ja hyödyn muutoksilla. Periaatteessa kotitalouksien hyödyn muutos on oikea kustannusmittari, mutta käytännössä käytetään useimmiten kulutuksen muutosta. Bruttokansantuote ei ole hyvinvointimittari eikä sitä pidä käyttää ainoana kustannusmittarina.

Mallilaskelmien tuloksena saadaan usein myös hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero. Hiilidioksidivero ei mittaa hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellista rajakustannusta. Hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellinen rajakustannus on useimmiten kertaluokkaa suurempi kuin hiilidioksidivero ja siihen vaikuttaa merkittävästi, kuinka hiilidioksidiverotulot kierrätetään takaisin taloudessa.

Energiajärjestelmämallit tuottavat useimmiten alhaisemman hiilidioksidiveron kuin kokonaistaloudelliset mallit. Koska kokonaistaloudellisessa mallissa hiilidioksidipäästöjen alentamisessa on enemmän mahdollisuuksia kuin rajoitetummassa energiajärjestelmämallissa, kokonaistaloudellisilla malleilla arvioituna hiilidioksidiveron tulisi olla alempi kuin energiajärjestelmämallilla arvioituna. Ero tarvittavassa hiilidioksidiverossa johtuu pääosin energiantuotannon mallituserosta.

Asiasanat: ilmastopolitiikka, ympäristönsuojelun taloudelliset ohjaukeinot, hiilidioksidivero

KEMPPI HEIKKI – POHJOLA JOHANNA: HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN RAJOITTAMISEN KUSTANNUSTEN ARVIOINNISSA KÄYTETYT KÄSITTEET JA MITTARIT. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2000, (C, ISSN 0788-5016, No 238). ISBN-951-561-343-4.

Abstract: The greenhouse gas emission reduction target for Finland is to get the 2010 emission level down to the 1990 level of emissions. The fulfilment of the target implies costs changes in fuel choice and conversion technology in the energy sector (and some heavy industrial sectors) of the Finnish economy. These changes lead to higher prices for heat and electricity and thereby cause wider macroeconomic impacts.

The costs of CO₂-abatement have been analysed using several concepts of abatement costs and also using different ways of measurement of these costs. Results vary considerably, which makes it difficult to find cost-effective solutions to guide climate policy. The purpose of this report is to clarify different definitions and measurements by indicating to what extent and under which circumstances they differ.

Direct abatement costs usually represent the costs of measures taken in a specific sector of the economy, such as in energy production (for example the costs of switching from coal to gas in electricity production). Direct costs denote the starting level from which the costs spread out to other parts of the economy. The change of direct costs in electricity production do not straightaway determine the change of price of electricity. In order to know the price change one needs to know the applied pricing principle of electricity.

Macroeconomic costs are measured by the change of gross domestic product, the change of private consumption and the change of households welfare (utility). In principle the costs measurement should be based on the utility change, but in practice the change in household consumption is used instead. The change of gross domestic product is not a welfare indicator and it should not be used as a single measurement of costs.

An important result of the model calculations is the level of CO₂-tax required to achieve the CO₂-target. The level of CO₂-tax does not measure macroeconomic marginal cost of the CO₂-target. In model calculations the real macroeconomic marginal cost of the CO₂-ceiling is considerably larger than the CO₂-tax. Among others the macro-economic marginal cost depends on how the CO₂-tax revenue is recycled toward different sectors and households.

The technology oriented bottom-up models tend to give lower CO₂-taxes than macroeconomic models. Since the latter models encompass more alternatives to reduce CO₂-emissions, taxes calculated with macroeconomic models should be lower. In practice this difference in CO₂-tax required can be explained mainly by differences in the way energy production is modelled.

Key words: climate policy, economic instruments, CO₂-tax

Alkusanat

Vuoden 1999 huhtikuussa kauppa ja teollisuusministeriö sekä ympäristöministeriö sopivat Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen kanssa Suomen ilmastopoliittisen velvoitteen eli Kioton pöytäkirjan Suomen sitoumusten toteuttamisen taloudellisten vaikutusten arvioimisesta. Tutkimus, jonka ensimmäisen vaiheen nimeksi tuli Kioto vaihe I alkoi huhtikuussa 1999 ja päättyi huhtikuussa 2000. Ensimmäisen vaiheen tarkoituksena oli selvittää tiettyjä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseen liittyviä seikkoja;

- Päästöjen vähennystoimenpiteiden aiheuttamien kustannusten taloudelliset vaikutukset ja kustannusten mittaaminen;
- Energia- ja talousskenaarioiden laadintaperiaatteet ja aikaisemmin tehtyjen skenaarioiden tarkastelu;
- Linkityksen luominen energiajärjestelmää kuvaavan VTT:n käyttämän EFOM mallin ja kokonaistaloudellisen KESSU-mallin välille;
- Ilmastopolitiikan ohjauskeinojen esittely ja ohjauskeinojen arviointimenetelmät.

Tämä tutkimus käsittelee ensimmäistä kohtaa. Kohdista kaksi ja kolme on julkaistu muistiot. Neljännestä kohdasta on tehty oma raportti. Yhteenvetoraportissa käsitellään lyhyesti kaikkia neljää osa-aluetta.

Tutkimusta on ohjannut asiantuntija- ja johtoryhmä. Asiantuntijaryhmään kuuluvat Pekka Tervo kauppa- ja teollisuusministeriöstä, Magnus Cederlöf ympäristöministeriöstä ja Heikki Sourama valtiovarainministeriöstä sekä tutkijoita Valtion taloudellisesta tutkimuskeskuksesta ja Valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta. Johtoryhmään kuuluvat jäseninä alivaltiosihteeri Johnny Åkerholm valtiovarainministeriöstä, ylijohtaja Taisto Turunen kauppa- ja teollisuusministeriöstä, ylijohtaja Pekka Jalkanen ympäristöministeriöstä ja puheenjohtajana toimii ylijohtaja Reino Hjerppe Valtion taloudellisesta tutkimuskeskuksesta.

Adriaan Perrels

Projektin johtaja

Yhteenveto

Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisia vaikutuksia on arvioitu useilla malleilla ja käyttämällä useita erilaisia kustannusmittareita. Tutkimuksissa saadut erot kustannuksissa johtuvat siis sekä laskentamenetelmien eroista että erilaisista kustannusmittareista.

Taloudellisia kustannuksia on arvioitu suorien eli välittömien kustannusten avulla, joita ovat esimerkiksi energiajärjestelmän kustannukset, kun ko. sektorilla toteutetaan hiilidioksidipäästörajoite. Vaikka välittömät kustannukset ovat vain osittainen useimmiten yhtä sektoria koskeva kustannuskäsite, näiden kustannusten arviointi edellyttää useimmiten ko. sektoria kuvaavan mallin käyttöä. Esimerkiksi Suomessa energiajärjestelmän kustannuksia voidaan arvioida VTT:n käyttämällä EFOM-mallilla. Ainoastaan mikäli välittömät kustannukset tulkitaan hyvin kapeasti esimerkiksi tietyn tekniikan käyttöönoton aiheuttamiksi kustannuksiksi niiden laskeminen on suhteellisen yksinkertaista.

Yhteenlasketut välittömät kustannukset eivät välttämättä suoraan ilmaise sähkön ja lämmön hinnan muutoksia. Hinnan muutoksen laskeminen edellyttää, että tiedetään, mikä on sähkön ja lämmön hinnoittelusääntö. Periaatteessa sähkön tuotannon ja kysynnän tasapainon määrittymisen muuttuminen yhä markkinaehtoisemmaksi merkitsee sähkön hinnoittelun siirtymistä rajakustannushinnoittelun suuntaan.

Toinen käytetty kustannuskäsite on toimialan tai sektorin kustannukset. Tämä käsite voitaisiin tulkita välittömiksi kustannuksiksi, mutta toimialatasolla. Se voidaan kuitenkin tulkita myös ko. toimialan sopeutumiskustannukseksi kokonaistaloudellisen sopeutumisen yhteydessä. Esimerkiksi toimialan tuotannon muutos perusskenaarioon verrattuna kuvaa toimialan kustannusta. Useimmiten toimialojen kustannuksia esitetään ikään kuin sivutuotteena kokonaistaloudellisten mallitulosten yhteydessä.

Kolmas käytetty käsite ja mittari on kokonaistaloudelliset kustannukset. Näitä mitataan kahdella eri menetelmällä. Perinteisiä tai tyypillisiä kokonaistaloudellisia (makrotaloudellisia kustannuksia) kustannuksia mitataan bruttokansantuotteen määrän, kulutuksen, työllisyyden, inflaation, kauppataseen yms. muutoksella perusuraan verrattuna. Kyseisiä tuloksia saadaan useilla erilaisilla kokonaistaloutta kuvaavilla malleilla.

Toinen käytetty kokonaistaloudellinen kustannusmittari perustuu kotitalouksien hyödyn muutokseen. Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen muuttaa talouden hintoja ja määriä sekä tätä kautta kotitalouksien hyvinvointia. Kyseisessä mittarissa rahamitallistetaan eli arvioidaan kyseessä olevan hyvinvoinnin muutoksen kumoava (rahamitallinen) kompensatio. Useimmiten kyseinen kompensatio sisältää myös reaali-palkan ja vapaa-ajan muutoksen kautta aiheutuvan hyvinvointikustannuksen.

Periaatteessa kuluttajien hyvinvoinnin muutos on oikea mittari, mutta käytännössä hyödyn muutoksen rahamitallista arvoa ei voida yleispätevästi ja tarkasti laskea. Kompensatiomitat ovat suuntaa-antavia mittareita. Näiden ohella tai sijasta voidaan

käyttää kustannusmittarina kulutuksen muutosta, joka sisältää periaatteessa myös työllisyyden aiheuttaman kustannuksen. Sen sijaan bruttokansantuotteen määrä ei ole hyvinvointimittari eikä sitä pidä käyttää ainakaan ainoana kustannusmittarina. Bruttokansantuotteen sisältyy mm. investoinnit, jolloin investointien määrän muutos voidaan virheellisesti tulkita joko hyvinvointia lisääväksi tai vähentäväksi tekijäksi.

Kokonaistaloudellisten mallilaskelmien tuloksena saadaan useimmiten myös hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero. Hiilidioksidivero tulkitaan usein hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudelliseksi rajakustannukseksi, mutta se on sitä vain erikoistapauksissa. Käytännössä hiilidioksidivero on se hiilidioksidipäästöyksikön yksityistaloudellinen hinta, jolla hiilidioksidipäästörajoite taloudessa toteutuu.

Hiilidioksidivero voi olla joko teoreettinen kokonaistaloudellisen optimin mukainen hiilidioksidivero tai käytännön hiilidioksidivero, joka suoraan asetetaan polttoaineiden hiilipitoisuuden mukaan. Mallilaskelmat perustuvat jälkimmäiseen menettelyyn. Ensiksi mainitussa optimihiilidioksidiverossa veron määräytymisessä otetaan hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen lisäksi huomioon myös verotuksen optimi. Optimihiilidioksidivero on kompromissi kahden ristiriitaisen tavoitteen välillä; (1) verotuksen neutraalisuuden, mikä edellyttää verovarojen keräyksessä mahdollisimman lieviä käyttäytymismuutoksia, ja (2) hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen minimikustannuksin, mikä puolestaan edellyttää käyttäytymismuutoksia. Talouden hiilidioksidipäästörajoite periaatteessa lisää verotuksesta aiheutuvaa hyvinvointitappiota ainakin hiilidioksidiveron tapauksessa, koska hiilidioksidipäästötavoite rajoittaa verotuksen optimointia. Kuitenkin verotuksen rakenne voi olla lähtötilanteessa epäoptimaalinen, jolloin voidaan joissakin tapauksissa saavuttaa ns. tuplapotti. Tuplapotin tapauksessa toteutuvat samanaikaisesti alhaisemmat hiilidioksidipäästöt ja tehokkaampi verorakenne eli verotus alentaa kotitalouksien hyvinvointia vähemmän kuin aikaisemmin.

Hiilidioksidipäästötavoite voidaan saavuttaa useilla erilaisilla ohjauskeinoilla ja niiden käytöstä aiheutuvilla toimenpiteillä. Ohjauskeinot voidaan jakaa kahteen ryhmään reaali-palkkavaikutuksen näkökulmasta. Niihin ohjauskeinoihin, jotka välittömästi vaikuttavat julkisen talouden tuloihin ja menoihin. Tällaisia ohjauskeinoja ovat muun muassa verot, tuet ja kaupattavat hiilidioksidipäästökiintiöt. Toinen ohjauskeinoryhmä vaikuttaa epäsuorasti julkisen sektorin tuloihin ja menoihin. Tällaisia ohjauskeinoja ovat muun muassa ilmaiseksi jaettavat hiilidioksidipäästökiintiöt, tekniset normit ja vapaaehtoiset energiansäästö sopimukset.

Julkisen sektorin tuloihin ja menoihin vaikuttavilla ohjauskeinoilla voidaan tarvittaessa verotulojen takaisinkierrätyksen avulla kumota ko. ohjauskeinon vaikutus reaali-palkkaan. Esimerkiksi, kun hiilidioksidiverotulot kierrätetään takaisin talouden työn verotusta alentamalla, periaatteessa reaali-palkka alenee vain energiantuotannon välittömien kustannusten muutoksen verran. Koska hiilidioksidivero minimoi energiantuotannon välittömien kustannusten muutoksen, se on kokonaistaloudellisesti tehokas. Tällöin energian hinta kohoaa hiilidioksidiveron vuoksi, mutta

reaalipalkka alenee mahdollisimman vähän. Kyseinen kokonaistaloudellinen tehokkuus useimmissa mallilaskelmissa johtuu siitä, että niissä työ on mallitettu kokonaistalouden kannalta tärkeämmäksi panokseksi kuin energia.

Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero voidaan laskea sekä sektoria kuvaavilla malleilla että kokonaistaloudellisilla malleilla. Koska kokonaistaloudellisissa malleissa on enemmän mahdollisuuksia alentaa hiilidioksidipäästöjä, niiden mukaan laskettujen hiilidioksidiverojen tulisi olla alhaisempia kuin esimerkiksi energiajärjestelmämallilla laskettujen hiilidioksidiverojen.

Kokonaistaloudellisten mallien korkeat hiilidioksidiverot verrattuna energiajärjestelmämallien vastaaviin veroihin johtuvat siitä, että kokonaistaloudellisissa malleissa energiantuotanto on mallitettu jäykemmäksi kuin energiajärjestelmämalleissa. Energiantuotannon joustavuus vaikuttaa merkittävästi kokonaistaloudelliseen kustannukseen ja siihen, kuinka hiilidioksidipäästöjä taloudessa vähennetään. Mallien joustavuuserolle löytyy järkeenkäyvä selitys ja tarvittaessa kokonaistaloudellisten mallien energiantuotannon toimintaa voidaan tuoda lähemmäksi energiajärjestelmämallien toimintaa muuttamalla korvattavuusparametrien arvoja.

Sisällys

1 Johdanto.....	1
2 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisten kustannusten plaskelmissa käytetyt kustannuskäsitteet	3
3 Yhteenlasketut välittömät kustannukset ja sektorikohtaiset kustannukset.....	7
3.1 Yhteenlasketut välittömät kustannukset.....	7
3.2 Sektorin tai toimialan taloudelliset kustannukset.....	17
4 Kokonaistaloudelliset kustannusmittarit.....	21
4.1 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannustehokkuus	21
4.2 Makrotaloudelliset eli kokonaistaloudelliset kustannukset	25
4.3 Kotitalouksien hyödyn muutokseen perustuva kustannusmittari	26
5 Hiilidioksidivero kustannusmittarina.....	29
6 Yhteenveto ja johtopäätökset	43
Lähteet	47
LIITE	

1 Johdanto

Tässä raportissa esitellään hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen yhteydessä käytettyjä kustannuskäsitteitä. Eri kustannuskäsitteet ja erilaisilla kustannusmittareilla saadut arviot hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannuksista poikkeavat toisistaan, mikä vaikeuttaa tulosten tulkintaa ja ilmastopolitiikan suunnittelua. Tämän raportin tarkoituksena on selventää käytettyjä käsitteitä sekä esittää niiden välisiä yhteyksiä ja eroja.

Hiilidioksidiveroa ja kokonaistaloudellista kustannusta käsitellään muita käsitteitä ja mittareita tarkemmin. Raportin lopussa selitetään, kuinka energiantuotanto on tyypillisesti jäykemmin mallitettu taloudellisissa malleissa kuin mitä se on mallitettu insinööritietoon perustuvissa energijärjestelmämalleissa. Raportissa on suuntaa-antavia esimerkkejä kustannuksista ja niiden syntymekanismeista. Esimerkit perustuvat pääosin suomalaiseen tutkimukseen.

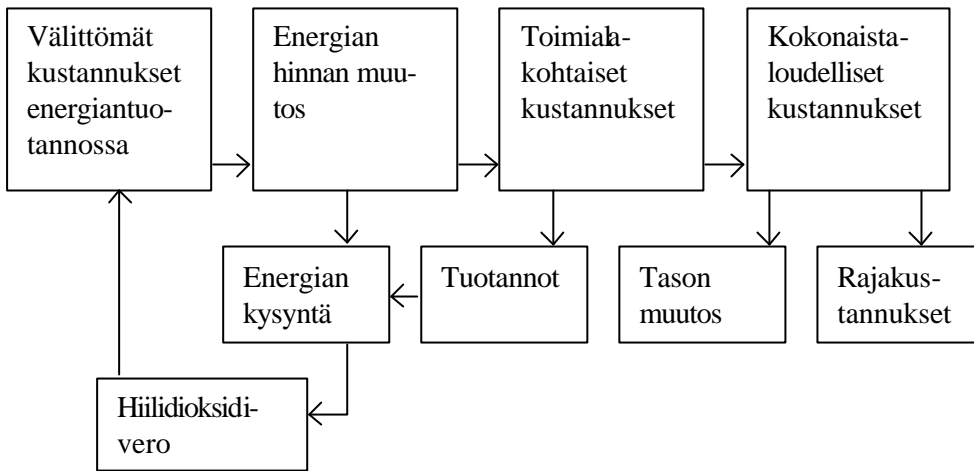
Luvussa kaksi esitellään lyhyesti kustannuskäsitteet. Luvussa kolme käsitellään kaksi kustannusmittaria ensiksi yhteenlasketut suorat (välittömät kustannukset) ja toiseksi toimialan tai sektorin taloudelliset kustannukset. Välittömien kustannusten yhteydessä tarkastellaan tarkemmin energiantuotannon kustannuksia. Luvussa neljä esitellään kaksi kokonaistaloudellista kustannusmittaria; ensiksi perinteiset kokonaistaloudelliset mittarit kuten bruttokansantuotteen tai kulutuksen määrän muutos ja toiseksi kuluttajien hyötyyn perustuva kustannusmittari. Viidennessä luvussa esitellään hiilidioksidivero, jota verrataan luvussa neljä esitettyihin kustannusmittareihin. Luvussa viisi esitetään myös, kuinka energiantuotannon joustavuus eli tarvittavan hiilidioksidiveron suuruus vaikuttaa siihen, kuinka hiilidioksidipäästöjen vähenemä taloudellisissa malleissa toteutuu. Luvussa kuusi esitetään yhteenveto ja johtopäätökset.

2 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisten kustannusten laskelmissa käytetyt kustannuskäsitteet

Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannuslaskelmissa on käytetty useita kustannuskäsitteitä ja -mittareita. Seuraavassa luettelossa on esitelty niistä tärkeimmät.

- (1) Yhteenlasketut välittömät kustannukset saadaan integroimalla rajakustannukset suoritettujen päästövähennysten suhteen (Weyant 1993). Kyseessä on siis rajakustannuksia kuvaavan funktion alla oleva pinta-ala rajoittamattomien päästöjen tasolta päästötavoitteeseen. Ilmastopaneelin esittämät suorat tekniset ja rahataloudelliset tietyn tekniikan käyttöönotosta aiheutuvat kustannukset voidaan tulkita suoriksi kustannuksiksi (Ilmastopaneeli I. IPPC 1994).
- (2) Tietyn sektorin taloudelliset kustannukset (IPPC 1994), mikä voi tarkoittaa samaa kuin edellä mainitut suorat kustannukset, mutta toimialatasolla tarkasteltuna. Useimmiten toimialakohtaisia kustannuksia mitataan tuotannon muutoksella vertailu- eli perusskenaarioon verrattuna.
- (3) Makrotaloudelliset kustannukset. Näihin viitataan kirjallisuudessa käsitteillä hintojen ja määrien muutokseen perustuva kustannusanalyysi (Weyant 1993) sekä Ilmastopaneelin makrotaloudelliset kustannukset (IPPC 1994). Näitä mittareita käytetään etenkin empiirisessä työssä eli ne ovat mallilaskelmien tyypillisiä tuloksia. Yleisemmin käytetty mittari on nimenomaan reaalisen bruttokansantuotteen tason muutos. Kokonaistaloudellinen kustannus tarkoittaa samaa kuin makrotaloudellinen kustannus.
- (4) Kotitalouksien hyödyn muutokseen perustuva kustannusanalyysi (Weyant 1993) ja Ilmastopaneelin hyvinvointikustannukset tarkoittavat käytännössä samaa. Tässä mittarissa kokonaistaloudelliset suureet kuten kulutuksen ja työllisyyden muutokset muutetaan kotitalouksien rahamittallisen hyödyn muutoksiksi. Periaatteessa myös ympäristön laadun paraneminen, myös kasvihuoneilmion torjunta, voidaan arvottaa ja sisällyttää kotitalouksien kokemaan hyötyyn.
- (5) Hiilidioksidivero mittaa viimeisen hiilidioksidipäästöyksikön rajakustannusta (Weyant 1993), mutta ko. rajakustannus on vain erikoistapauksessa kokonaistaloudellinen rajakustannus. Mallilaskelmien tuloksena saatava hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero sekoitetaankin varsin usein kokonaistaloudelliseen rajakustannukseen eli hiilidioksidiveroa pidetään hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellisena rajakustannuksena.

Kuviossa 2.1 esitetään hiilidioksidipäästörajoitteen kustannusten läpimeno taloudessa ja tarvittavan hiilidioksidiveron määräytyminen.



Kuvio 2.1. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannukset taloudessa.¹

Periaatteessa kustannukset etenevät ketjussa energiantuotannon välittömistä kustannuksista toimialakohtaisten kustannusten kautta kokonaistaloudellisiin kustannuksiin. Kokonaistaloudellisiä kustannuksia mitataan joko tason muutoksella kuten esimerkiksi bruttokansantuotteen muutoksella tai rajakustannuksilla eli lasketaan bruttokansantuotteen muutos, kun hiilidioksidipäästötavoitetta hieman löydetään.

Hiilidioksidivero asetetaan mallilaskelmissa energiasektorilla fossiilisille polttoaineille niiden hiilisisällön perusteella. Tarvittavaan hiilidioksidiveroon eli verotukseen, jolla hiilidioksiditavoite toteutuu, vaikuttavat; (1) energiasektorin joustavuus eli esimerkiksi mahdollisuudet vähentää hiilidioksidipäästöjä polttoaineita vaihtamalla, (2) mahdollisuudet korvata energiaa muilla panoksilla tuotannossa ja (3) tuotannon joustavuus tuotantokustannusten suhteen.² Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero riippuu energiantuotannon olosuhteiden (joustavuuden) lisäksi muualta taloudesta tulevasta palautteesta (kuvio 2.1). Tähän palautteeseen vaikuttavat mm. pääoma- ja työmarkkinoiden toiminta sekä verotuksen rakenne. Joissakin energiajärjestelmää kuvaavissa malleissa, kuten EFOM:issa, kuvion 2.1 kohtaan energian kysyntä sisältyy myös energiankäytön tehostaminen eli energiansäästöinvestoinneilla saavutettavan energian käytön vähentyminen. Tällöin myös energiankäytön tehostamisen kustannukset sisältyvät välittömiin kustannuksiin.

Mallilaskelmissa kuviossa esitetyt 2.1 sopeutumiset; energiantuotannon muutos,

¹ Hiilidioksidivero voidaan korvata kuviossa 2.1 useimmissa tapauksissa jollakin muulla ohjaukeinnolla kuten esimerkiksi energian tuoton tuella, kuten uusiutuvien energialähteiden tuella.

² Tuotannon joustavuus sisältää myös tuotevalikoiman muutoksen vähemmän energiaa käyttäviin yksikköarvoltaan arvokkaampiin tuotteisiin. Tällaista muutosta ei useimmiten ole mallitettu yksittäiskohtaisesti, vaan se sisältyy tuotannon joustavuuteen.

energiankäytön, sekä tuotannon ja kulutuksen tason muutos tapahtuvat samanaikaisesti, mutta joissakin tapauksissa on hyödyllistä yrittää selvittää, kuinka paljon hiilidioksidipäästöjen alentumisesta tapahtuu energiantuotannossa, kuinka paljon energiansäästöllä eli energian korvaamisella muilla panoksilla sekä kuinka paljon tuotannon ja kulutuksen muutoksella (rakenteen ja tason muutokset).

Välittömiä kustannuksia lasketaan usein ko. sektoria kuvaavalla erillisellä mallilla. Energiantuotantoa kuvaavat mallit perustuvat varsin usein insinööritietoon (ns. bottom-up- mallit). Makrotaloudellisia kustannuksia arvioidaan kokonaistaloudellisilla malleilla (ns. top-down -mallit). Kokonaistaloudelliset mallit sisältävät energiantuotannon, mutta hyvin eri tavalla mallitettuna kuin insinööritietoon perustuvissa malleissa. Osa erilaisista tuloksista, esimerkiksi päästörajoitteen toteuttavan hiilidioksidiveron suuruus, johtuukin juuri energiantuotannon mallituseroista.

3 Yhteenlasketut välittömät kustannukset ja sektorikohtaiset kustannukset

3.1 Yhteenlasketut välittömät kustannukset

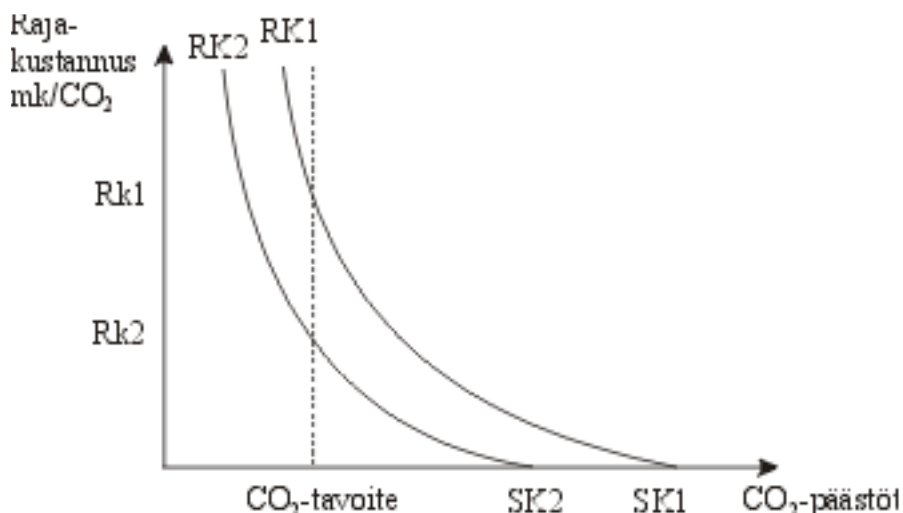
Yhteenlasketut välittömät kustannukset saadaan integroimalla rajakustannukset suoritettujen päästövähennysten suhteen (Weyant 1993). Kyseessä on siis rajakustannuksia kuvaavan funktion alla oleva pinta-ala rajoittamattomien hiilidioksidipäästöjen tasolta hiilidioksidipäästötavoitteeseen. Ilmastopaneelin esittämät suorat tekniset ja rahataloudelliset tietyn tekniikan käyttöönotosta aiheutuvat kustannukset voidaan tulkita suoriksi kustannuksiksi (IPPC 1994).

Ensiksi esitetty rajakustannuksiin perustuva kustannuskäsite on taloustieteen oppikirjojen mukainen tapa esittää kustannuksia. Se seikka, että kokonaiskustannukset saadaan integroimalla rajakustannukset seuraa matematiikan aksioomista. Käytännön ongelmana on se, ettei millään toimialalla tai koko taloudessa ole niin hyvin käyttäytyviä rajakustannuksia, että löydettäisiin integroitavissa oleva funktio. Kyseinen käsite tai mittari on sellaisenaan käytännössä harvoin relevantti. Aina ei myöskään käy ilmi, tarkoitetaanko tietyn toimialan tai koko talouden kustannuksia. Periaatteessa rajakustannukset voisivat kuvata vain yhden tehtaan tai voimalaitoksen rajakustannuksia ja Ilmastopaneelin esittämä kustannuskäsite voidaan tulkita näin kapeaksi.

Periaatteessa esimerkiksi tiettyjen tekniikoiden käyttöönotosta aiheutuvat yhteenlasketut tai integroinnilla saadut kustannukset energiantuotannossa ovat energiantuotannon välittömät kustannukset. Tällöin energiantuotannon välittömien kustannusten laskeminen edellyttää energiantuotannon olosuhteita kuvaavan mallin käyttöä.³

Rajakustannuksiin perustuvalla välittömien kustannusten kustannuskäsitteellä voidaan toki selvittää tiettyjä seikkoja, kuten perusskenaarion merkitystä välittömien kustannusten kannalta (kuvio 3.1).

³ Yhteenlasketut kustannukset saadaan joko integroimalla tai laskemalla ne tekniikoita ja niiden välisiä kytkentöjä yms. kuvaavalla mallilla. Malleissa ko. yhteenlasku ei ole yksinkertaista, koska energiantuotannossa on toisensa poissulkevia vaihtoehtoja. Mallilla ko. seikat voidaan ottaa huomioon.



Kuvio 3.1. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannukset energiantuotannossa.⁴

Kuviossa 3.1 esitetään energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannukset energiantuotannossa. Energiantuotannon kannalta talouden tonni- ja markkamääräiset tuotannot ovat eksogeenisiä eli ne vaikuttavat pääosin siihen, mistä rajakustannuskuvaaja RK alkaa vaaka-akselilla. Skenaariossa 1 tuotanto on suurempi kuin skenaariossa 2, jolloin skenaariossa 1 myös hiilidioksidipäästöt ovat suuremmat. Tällöin rajakustannukset ovat päästörajoitteen toteuttavalla hiilidioksidipäästötasolla skenaariossa 1 suuremmat (Rk1) kuin skenaariossa 2 (Rk2). Koska välittömät kustannukset ovat kuviossa 3.1 rajakustannusten kuvaajan pinta-ala siitä kohdasta, josta rajakustannusten kuvaaja vaaka-akselilla alkaa (SK1, SK2) kohtaan, jossa hiilidioksidipäästötavoite toteutuu (CO₂-tavoite), perusskenaario vaikuttaa myös välittömien kustannusten määrään. Kuten kuvioista 3.1 havaitaan välittömät kustannukset ovat perusskenaariossa 1 suuremmat, koska pinta-alaan vaikuttava matka vaaka-akselilla on pitempi ja ennen kaikkea, koska hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavalla päästötasolla kuvaaja RK1 on huomattavasti korkeammalla kuin kuvaaja RK2.

Kuviossa 3.1 ilmenee myös mallilaskelmissa usein saatu tulos eli aluksi päästöjen rajoittamiskustannukset muuttuvat maltillisesti, mutta kun pyritään yhä alempiin hiilidioksidipäästöihin, jossakin vaiheessa kustannukset kasvavat hyvin nopeasti. Tällöin hyvin pienikin hiilidioksidipäästöjen vähennys kohottaa kustannuksia huomattavasti. Rajakustannuksetkin voivat olla herkkiä perusskenaariota muuttavalle eli rajakustannukset riippuvat merkittävästi perusskenaariosta (RK1 vs. RK2 kuviossa 3.1).

⁴ Energiajärjestelmä on laajempi käsite kuin energiantuotanto. Energiajärjestelmä voi sisältää mahdollisuudet tehostaa energiankäyttöä eli ns. energiansäästöinvestoinnit. VTT:n EFOM-mallissa on mukana energiansäästömahdollisuudet (Lehtilä & Tuhkanen 1999).

Vaikka kuvion 3.1 mukainen tilanne on teoreettinen, ovat sen kuvaajat kuitenkin malleilla laskettavissa ja analyysissä käyttökelpoisia.⁵ Esimerkiksi Suomen energiajärjestelmää kuvaavassa EFOM-mallissa lasketaan energiajärjestelmän minimikustannusten muutos.⁶ Tällöin kuviossa 3.1 esitettyä kuvaajien RK1 ja RK2 alla olevia pinta-aloja eli välittömiä kustannuksia, kun ne lasketetaan mallilla, voidaan käyttää hyväksi muualle talouteen siirtyvien kustannuspaineiden arvioinnissa, kuten sähkön ja lämmön hinnan nousun arvioinnissa.

Kuvion 3.1 mukainen tarkastelu ei riitä taloudellisten vaikutusten arviointiin, ellei kuviossa esitetä koko talouden rajakustannuksia. Esimerkiksi energiantuotannossa kuvion 3.1 kuvaajien mukaiset kustannukset vaikuttavat sähkön ja lämmön hintaan perustilanteeseen verrattuna. Talouden toiminnan kannalta on oleellista se, kuinka paljon välittömät kustannukset muuttavat sähkön ja lämmön hintaa prosenteissa. Samoin on kaikilla muillakin toimialoilla eli panosten prosenttimääräiset hinnan muutokset ovat oleellisia. Välittömät kustannukset ovat kuitenkin taloudellisen analyysin lähtökohta.

Välittömät l. suorat kustannukset energiantuotannossa

Hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseen liittyvät suorat eli välittömät kustannukset energiantuotannossa riippuvat kahdesta tekijästä; tuotosten ja panosten hinnoista sekä tuotantotekniikoista. Välittömät kustannukset johtuvat ensinnäkin siitä, että hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamiseksi panoksia ei voida käyttää niiden markkinahintojen ja tekniikan määräämissä kustannukset minimoivissa suhteissa. Esimerkiksi energiantuotannossa kivihiili on kilpailukykyinen polttoaine lauhdevoimalla tuotettavan sähkön tuotannossa. Taloutta koskeva hiilidioksidipäästörajoite ei mahdollista kivihiilen käyttöä kustannusten minimoinnin mukaisesti. Tekninen kehitys voi parantaa muiden polttoaineiden, kuten maakaasun kilpailukykyä, mutta useimmiten oletetaan, että niistä ei tule täysin kilpailukykyisiä perusvaihtoehdon pääpolttoaineen kanssa, tässä tapauksessa siis kivihiilen kanssa. Kilpailukykytilanteeseen vaikuttaa luonnollisesti tarkasteluajanjakso, koska pidemmällä aikavälillä, kuten vuoteen 2020 mennessä, tekniikan voidaan olettaa muuttuvan varsin paljon.

Toinen välittömiin kustannuksiin vaikuttava tekijä on voimalaitosten pitoaikojen lyhentymisen hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen vuoksi. Suomen hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannuksia alentaa se, että suurehko osa voimalaitoksista pitää joka tapauksessa uusia ennen vuotta 2012 ja suurehko osa niistä voidaan hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariossa korvata maakaasuvoimaloilla (erilli-

⁵ Se, että mallilla voidaan laskea kuvion 3.1 mukaiset rajakustannusrelaatiot, ei välttämättä merkitse sitä, että mallin sisältämät välittömät rajoittamiskustannukset saadaan kuvion 3.1 kuvaajien integraaleina. Kustannuksiin ja rajakustannuksiin vaikuttaa energiajärjestelmässä muun muassa se, että tietyt tekniikat ovat toisensa poissulkevia.

⁶ Mallilaskelmien tulosten (Lehtilä & Tuhkanen 1999) avulla voidaan päätellä, että esimerkiksi kuutta prosenttia suuremmat kasvihuonekaasupäästöt perusskenaariossa kohottavat energiajärjestelmän välittömiä kustannuksia noin 60 %.

nen sähköntuotanto sekä sähkön ja lämmön yhteistuotanto) ja myös haketta käyttävillä voimaloilla (erillinen lämmöntuotanto sekä sähkön ja lämmön yhteistuotanto). Mikäli hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamiseksi voimalaitoksia pitää poistaa käytöstä tätäkin nopeammin tästä aiheutuu lisäkustannuksia.

Edellä mainitut välittömät eli suorat kustannukset ovat helposti ymmärrettävissä. Ovathan ne reaalisia polttoainekäytöstä ja investoinneista aiheutuvia kustannuksia. Useissa laskelmissa, kuten VTT:n EFOM -mallissa, sähkön ja lämmön tuotannon rajakustannukset sisältävät toisenkin osan edellä esitettyjen välittömien kustannusten lisäksi. Kyseessä on energiajärjestelmää koskevan hiilidioksidipäästörajoitteen ns. varjohinnan vaikutus energiantuotannon rajakustannuksiin. Kyseessä on hyvin oleellinen seikka kustannusten muodostumisessa ja kustannuskäsitteissä, joten seuraavaksi esitellään lyhyesti, kuinka energiajärjestelmämallissa (EFOM) lasketaan rajakustannukset.

Rajakustannukset esimerkiksi erillisen sähkön tuotannon rajakustannus koostuu kahdesta osasta. Esimerkiksi maakaasukombivoimalalla tuotetun sähkön kustannus koostuu ensinnäkin maakaasun käytön yksikkökustannusten erosta kivihiiheen verrattuna. Tämä on siis maakaasun käytön välittömät eli suorat kustannukset. Toinen kustannusten osa johtuu siitä, että maakaasun käyttö erillisessä sähköntuotannossa aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä noin 0,35 miljoonaa tonnia tuotettua terawattituntia kohden. Koska koko energiajärjestelmän tulee toteuttaa hiilidioksidipäästörajoite, maakaasulla tuotetun sähkön hintaan lisätään maakaasun käytöllä aiheutettujen hiilidioksidipäästöjen arvo eli hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus. Samantyyppinen rajakustannus lisätään muihinkin hiilidioksidipäästöjä aiheuttaviin sähkön ja lämmön tuotantomuotoihin. Mikäli hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannus on mallilla lasketussa tilanteessa esimerkiksi 200 markkaa hiilidioksiditonnia kohden maakaasulla tuotettuun sähköön lisätään jokaista terawattituntia kohden kustannuksia noin 70 miljoonaa markkaa (hiilidioksidipäästökerroin kertaa hiilidioksidipäästötonnin hinta eli tässä esimerkissä $350\,000 \times 200$). Hiilidioksidirajoitteesta aiheutuva rajakustannus kuvaa mallissa niitä sopeutumiskustannuksia mitä muualla energiajärjestelmässä tarvitaan, jotta maakaasukombivoimalalla voidaan tuottaa ko. määrä sähköä ja aiheuttaa ko. määrä hiilidioksidipäästöjä. Sähkön ja lämmön tuotannon rajakustannus sisältää ko. mallissa aina kummatkin kustannuskomponentit. Käytännössä jälkimmäinen kustannuskomponentti on sama kuin hiilidioksidivero.⁷

Se, että energiajärjestelmää kuvaavassa mallissa kunkin sähkön ja lämmön tuotantomuodon tuotannon rajakustannuksiin ja siis myös hintaan lisätään myös koko järjestelmän sopeutumiskustannukset eli hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen rajakustannus, johtaa ensinnäkin kustannustehokkaaseen ratkaisuun. Mikäli esimerkiksi maakaasukombivoimalalla tuotetun sähkön hintaan ei lisätä hiilidioksi-

⁷ Periaatteessa energiajärjestelmämallin tuloksena saatava hiilidioksidivero ja energiajärjestelmän rajakustannus ovat sama asia. Toisin sanoen hiilidioksidivero ilmaisee, kuinka paljon energiajärjestelmän minimikustannukset muuttuvat, kun hiilidioksidipäästörajoitetta hieman löystetään.

dipäästörajoitteen toteuttamisen rajakustannusten mukaista hiilidioksidiveroa, kyseinen kustannus ei häviä mihinkään. Muualla energiantuotannossa ja energian käytössä on tavalla tai toisella joka tapauksessa otettava huomioon maakaasukombivoimalalla tuotetut hiilidioksidipäästöt ja tästä aiheutuu kustannuksia, tosin ei maakaasukombivoimaloissa eikä edes välttämättä erillisessä sähköntuotannossa, vaan muualla energiajärjestelmässä.⁸

Toinen seuraus kyseisestä tavasta määritellä ja laskea kustannukset on se, että hiilidioksidipäästövapaat sähkön ja lämmön tuotantomuodot muuttuvat kilpailukykyisemmiksi. Näitä ovat muun muassa sähkön tuonti, ydinvoimalla tuotettu sähkö sekä uusiutuvat energialähteet. Myös maakaasun käyttö erillisessä sähkön tuotannossa muuttuu kannattavaksi, koska sen hiilidioksidipäästökerroin eli hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisesta aiheutuva rajakustannus on pienempi kuin suuremman hiilidioksidipäästökertoimen omaavalla kivihiihellä.

Insinöörimallin ajattelutapa, jossa energian tuotantokustannuksiin vaikuttaa myös hiilidioksidipäästörajoitteen varjohinta, ei ole taloustieteilijöille outo. Esimerkiksi hiilidioksidiveron kustannustehokkuus taloudellisissa analyyseissä perustuu hiilidioksidipäästörajoitteen varjohintaan.

Sähkön ja lämmön tuotannon hiilidioksidipäästöjen vaikutus sähkön ja lämmön hintaan

Vertailuskenaariossa eli perusskenaariossa oletetaan, että energiantuotannon hiilidioksidipäästöt määräytyvät vapaasti eli niitä ei rajoiteta. Tällöin keskimääräiset hiilidioksidipäästöt eli hiilidioksidipäästökerroin kehittyvät tietyllä tavalla. Suomen energiantuotannon perusskenaariossa oletetaan, että sähköntuotannon keskimääräiset hiilidioksidipäästöt kohoavat, kun erillisessä sähköntuotannossa turvaudutaan kivihiihen käyttöön perustuvaan voimalatekniikkaan. Perusskenaariossa siis oletetaan nykyisen ydinvoiman lisärakentamiskiellon olevan voimassa.

Hyödyllinen käsite, joka voidaan laskea suoraan energiajärjestelmämalleilla ja epäsuorasti arvioida taloudellisten mallien lopputuloksista, on sähkön ja lämmön tuotannon yksikkökustannusten jousto hiilidioksidipäästökertoimen (keskimääräiset hiilidioksidipäästöt eli yksikköpäästöt eli hiilidioksidipäästökerroin) suhteen. Kyseinen jousto ilmaisee, kuinka paljon sähkön ja lämmön yksikkökustannukset kohoavat prosenteissa, kun sähkön ja lämmöntuotannon hiilidioksidipäästökerrointa alennetaan x prosenttia. Mikäli jousto on kaksi hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentaminen kymmenellä prosentilla kohottaa sähkön ja lämmön tuotannon yksik-

⁸ Mikäli hiilidioksidipäästörajoitteen varjohintaa ei lisätä sähkön tuotannon rajakustannuksiin, erillisen sähkön tuotannon määrä ja siitä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat liian suuret kustannusminimin toteutumisen kannalta. Energiajärjestelmämalleissa sähköntuotannon rajakustannukset vaikuttavat energiansäätöön ja tätä kautta sähköntuotantoon. Sen sijaan tuotannot, kuten massa- ja paperiteollisuuden tuotanto, eivät sähkön ja lämmön hinnan muuttuessa muutu, kuten tapahtuu kokonaistaloudellisissa malleissa.

kökustannuksia kahdella kymmenellä prosentilla.⁹

Sähkön ja lämmön tuotannon yksikkökustannukset voivat sisältää hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavan hiilidioksidiveron ja välittömät kustannukset, jolloin kyseessä ovat kokonaisyksikkökustannukset (koy).¹⁰ Yksikkökustannukset voivat sisältää vain välittömät tuotannon muutoksesta aiheutuvat yksikkökustannukset (ryk). Jousto voidaan siis laskea joko koko yksikkökustannusten tai vain välittömien verottomien yksikkökustannusten suhteen.

Kun sähkön ja lämmön tuotannon välittömien tuotannon yksikkökustannusten (siis hiilidioksidiverottomat yksikkökustannukset) kustannusjoustoja yksikköpäästöjen suhteen merkitään termillä \hat{a} , voidaan johtaa hyvin yksinkertainen lauseke sille, mikä on välittömien tuotannon yksikkökustannusten (ryk) osuus koko yksikkökustannuksista (koy = välittömät kustannukset ja hiilidioksidivero yhteenlaskettuna). Oletetaan lisäksi, että yksikkökustannukset ovat sama kuin hinta, jolloin tiedetään myös hiilidioksidiveron osuus hinnasta. Lauseke on

$$\text{ryh/koy} = 1/(1+\hat{a})$$

Mikäli välittömien yksikkökustannusten jousto yksikköpäästöjen muutoksen suhteen on nolla ($\hat{a}=0$), jolloin hinta eli yksikkökustannukset eivät lainkaan muutu, kun sähkön ja lämmön yksikköpäästöt muuttuvat, veron osuus hinnasta eli yksikkökustannuksista on nolla. Siis mikäli yksikköpäästöjen alentaminen on äärimmäisen edullista tai siksi, että yksikköpäästökerroin on aina nolla, hiilidioksidiveroa ei lainkaan tarvita. Silloin, kun ko. jousto on puoli eli kymmenen prosentin alennus sähkön ja lämmön tuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöissä kohottaa välittömiä tuotannon yksikkökustannuksia viidellä prosentilla, veron osuus on kolmasosa koko yksikkökustannuksista. Kun välittömien yksikkökustannusten jousto päästökertoimen muutoksen suhteen on yksi eli kymmenen prosentin alennus yksikköpäästöissä kohottaa tuotannon välittömiä yksikkökustannuksia kymmenellä prosentilla, veron osuus on 50 %. Mikäli jouston arvo on kaksi hiilidioksidiveron osuus kustannuksista on jo 2/3. Toisin sanoen mitä hankalampaa hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen energiatuotannossa on eli mitä suuremman välittömien yksikkökustannusten muutoksen tietty hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentaminen aiheuttaa sitä suurempi on hiilidioksidiveron osuus kokonaisyksikkökustannuksista.¹¹

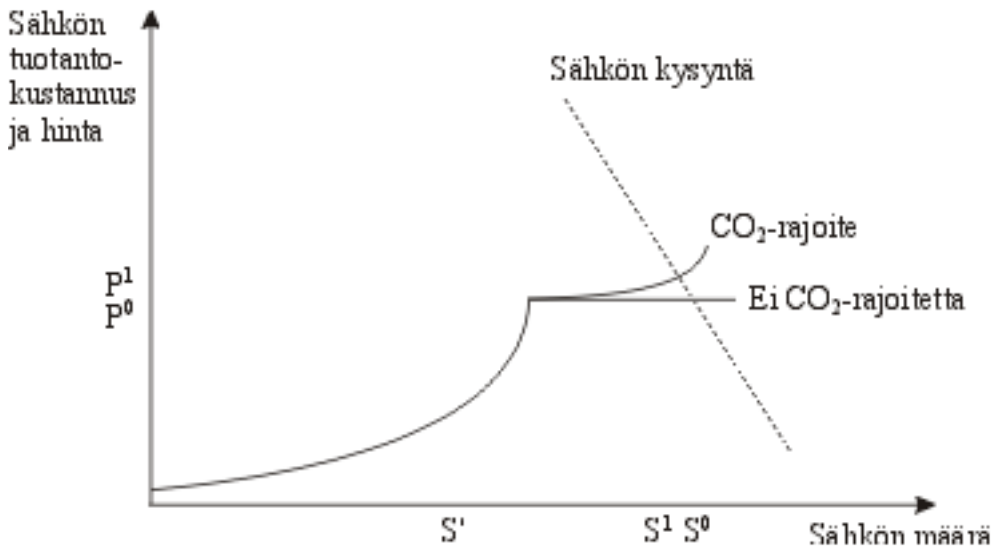
⁹ Käytännön ongelmana on esimerkiksi se, kuinka rakennusasteen nostamisen (sähkön tuotannon lisääminen lämpökuormayksikköä kohden) hiilidioksidipäästöjä alentava vaikutus jaetaan sähkölle ja lämmölle.

¹⁰ Välittömien kustannusten lisäksi on nimenä käytetty myös reaalisia tai suoria kustannuksia. Joka tapauksessa ko. kustannukset ovat niitä tuotannon yksikkökustannuksia, jotka eivät sisällä hiilidioksidiveroa, vaikka ko. kustannukset voivat johtua hiilidioksidiverosta.

¹¹ Kyseinen lauseke kuvaa hiilidioksidiveron osuuden koko hinnasta hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavalla sähkön ja lämmön hintatasolla. Se, kuinka paljon hinta eli kokonaisyksikkökustannukset muuttuvat perustilanteeseen verrattuna riippuu mm. siitä, kuinka paljon sähkön ja lämmön kysyntä määrä taloudessa muuttuu.

Sähkön hinnoittelusäännön vaikutus kustannuksiin

Yhteenlasketut välittömät kustannukset eivät välttämättä suoraan ilmaise sähkön ja lämmön hinnan muutoksia. Hinnan muutoksen laskeminen edellyttää, että tiedetään, mikä on sähkön ja lämmön hinnoittelusääntö. Periaatteessa sähkön tuotannon ja kysynnän tasapainon määrittymisen muuttuminen yhä markkinaehtoisemmaksi merkitsee sähkön hinnoittelun siirtymistä rajakustannushinnoittelun suuntaan.



Kuvio 3.2. Sähkön hinnan määräytyminen rajakustannushinnoittelun tapauksessa.

Kuviossa 3.2 on esitetty Suomen sähkön tarjonta (ml. tuonti). Sähkön tuotannon yksikkökustannukset ja markkinahinta kohoaa aluksi, kun sähkön kysyntä kasvaa. Sähkön tuonti ja vesivoimalla tuotettu sähkö ovat kaikkien halvimpia sähkön hankintamuotoja. Seuraavaksi edullisin hankintamuoto on sähkön ja lämmön yhteistuotannolla tuotettu sähkö. Seuraavana on ydinvoima. Kallein perusvoimavaihto silloin, kun taloudessa ei ole hiilidioksidipäästörajoitetta, on tavanomaisella kivihiililauhdevoimalalla tuotettu sähkö.¹² Se on myös sähkön hinnan yläraja silloin, kun taloudessa ei rajoiteta hiilidioksidipäästöjä. Kuviossa 3.2 sähkön hinnan yläraja perusskenaariossa on siis P^0 . Tarjontakäyrän vaakasuora osa kuvaa tavanomaisen kivihiileen perustuvan lauhdetuotannon tuotantokustannuksia.

Kivihiilen käyttö ei ole samassa laajuudessa mahdollista hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariossa kuin mitä se on perusskenaariossa. Kivihiilen käytön kor-

¹² Periaatteessa sähköä voidaan tuottaa myös erillisessä tuotannossa turpeella, mutta käytännössä tämä vaihtoehto ei liene enää realistinen. Suomen ainoa turpeen käyttöön perustuva lauhdevoimala on suljettu liiketaloudellisesti kannattamattomana.

vaaminen esimerkiksi maakaasulla kohottaa yksikkökustannuksia ja tätä kautta sähkön hintaa. Täydellisen rajakustannushinnoittelun tapauksessa sähkön hinta kohoaa tasolle P^1 . Kuviossa 3.2 välittömiä kustannuksia kuvaa pinta-ala, joka sijaitsee tiheällä katkoviivalla piirretyn kuvaajan ja vaakasuoran kuvaajan välissä tasolta S' tasoiille S^0 ja S^1 eli sähkön kysyntärelaatioon asti. Kuten havaitaan kuluttajien sähkölaskun muutos rajakustannushinnoittelun tapauksessa (P^0S^0 vs. P^1S^1) on moninkertainen välittömien kustannusten muutokseen verrattuna.

Kuviolla 3.2 voidaan havainnollista myös tuontisähkön markkinavaikutusta. Tuontisähkö vuoden 2000 tilanteessa sijaitsee tarjontarelaation alkupäässä sen edullisuuden vuoksi. Tuontisähkön määrä siis siirtää tarjontakuvaajaa oikealle, jolloin, kun sähkön kysyntä on tietyllä tasolla Suomen tarjonnasta poistuu kivihiililauhdetta (väli S^0 - S' supistuu). Kuten havaitaan pitkän aikavälin tasapainossa, jossa sähkön markkinahinnan tulee kattaa kaikki, ei vain tuotannon muuttuvat kustannukset, tuontisähkön hinta voi suurin piirtein kohota tavanomaisella lauhdekivihiilivoimalla tuotetun sähkön tasolle ja säilyttää kilpailukykyä.

Kuviossa 3.2 tiheällä katkoviivalla piirretty hiilidioksidipäästörajoitteen mukainen sähkön tarjontakäyrä sisältää joko välittömät kustannukset, ei hiilidioksidiveroa tai energiajärjestelmässä syntyvää hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannusta, tai tarjontakäyrä sisältää myös hiilidioksidiveron tai energiajärjestelmässä syntyvän hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannuksen. Kun minimoidaan energiajärjestelmän kustannuksia, sähkön hinta sisältää myös hiilidioksidipäästörajoitteen varjohinnan.

Lyhyellä aikavälillä hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa sähkön hintaan Suomessa yllä esitettyjen sähköntuotannon välittömien ja epäsuorien rajakustannusten kautta. Tilanne on siis katkoviivan mukainen kuviossa 3.2. Sähkön markkinahinta nousee perusskenaarioon verrattuna.

Sähkön markkinahinnan nousun kokonaistaloudelliset vaikutukset johtuvat pääasiassa sähkön hinnan noususta. Kyseessä on tulonsiirto sähkön kuluttajilta sähkön tuottajille. Täysin suljetussa taloudessa tulonsiirrot tapahtuvat kotimaan taloudenpitäjien välillä, jolloin kyseessä ovat kotitalouksien väliset tulonsiirrot. Myöskin julkinen sektori hyötyy sähkön markkinahinnan noususta, koska osa ylimääräisestä liikevoitosta verotetaan yritysverotuksen kautta. Avoimemmassa taloudessa osa tulonsiirroista eli ylimääräisestä liikevoitosta kohdistuu sähköntuotannon ulkomaalaisomistuksen vuoksi ulkomaille. Tällä on jonkin verran kokonaistaloudellisia vaikutuksia esimerkiksi kokonaiskysynnän välityksellä.

Pidemmällä aikavälillä sähkömarkkinoiden tilanne voi muuttua. Ensinnäkin tuontisähkön tarjonnan voidaan olettaa reagoivan Suomen kohonneeseen sähkön hintaan. Toisin sanoen osa kuviossa 3.2 katkoviivan taustalla olevista kustannuksista aiheuttavista toimenpiteistä jää pois, koska hiilidioksidipäästöjä vähennetään niiden asemesta sähkön tuonnilla. Sähkön markkinahinta ei nouse samalla tavoin kuin se nousee täysin suljetussa sähkömarkkinataloudessa.

Ääritapauksessa sähkön markkinahinta Suomessa ei riipu lainkaan Suomen hiili-

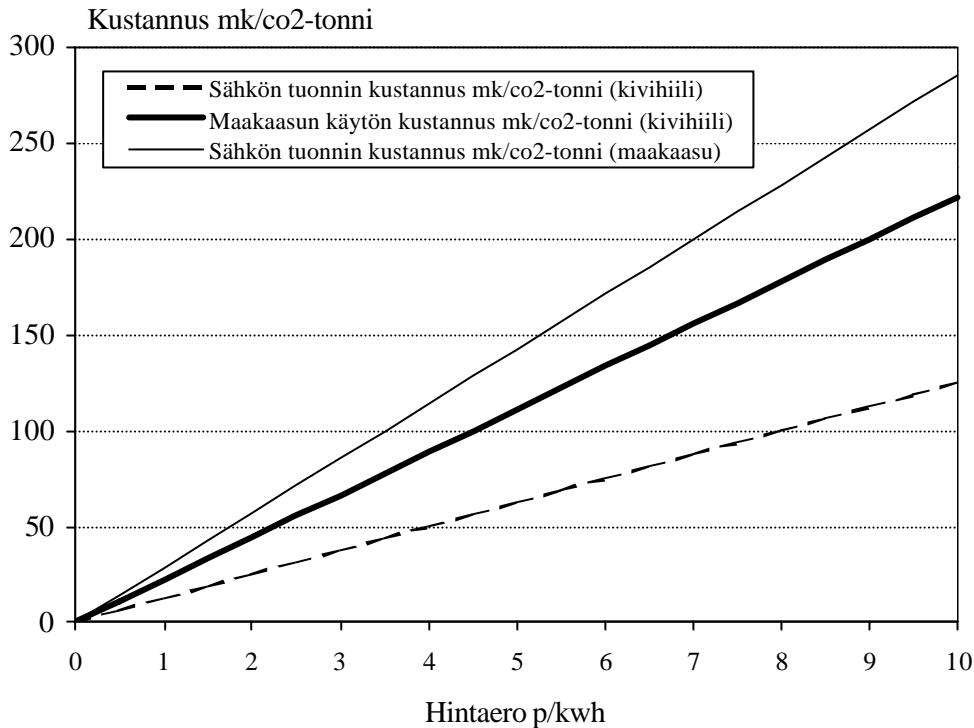
dioksidipäästörajoitteesta, koska laajemmilla sähkömarkkinoilla sähkön markkinahinta ei määräydy Suomen tuotantokustannusten perusteella, vaan kyseisillä markkinoilla. Sähkön markkinahinta määrää sähkön kysynnän Suomessa. Suomen sähköntuotannon olosuhteet määrittävät sen, mikä osa sähkön kysynnästä kannattaa tyydyttää Suomessa tapahtuvalla tuotannolla (tuotantokustannukset ovat samat tai alle sähkön markkinahinnan) ja mikä osa kysynnästä tyydytetään tuontisähköllä. Tällaisessa tilanteessa periaatteessa Suomi voi olla myös sähkön nettoviejä. Tällaisessa tapauksessa hiilidioksidipäästörajoitteen vaikutus sähkömarkkinoiden kautta Suomen talouteen on hyvin pieni.¹³

Välittömät kustannukset energiayksikköä tai hiilidioksiditonnia kohden

Usein käytetty ja kaikkein yksinkertaisin tapa esittää välittömiä kustannuksia on tietyn tekniikan aiheuttamat kustannukset joko tuotettua energiayksikköä kohden tai vähennettyä hiilidioksidipäästötonnia kohden. Kyseessä on tällöin tietyn tekniikan kustannustehokkuus. Kustannustehokkuus voidaan esittää myös tietyn sektorin tai toimialan suhteen, jolloin kyseessä on monien tekniikoiden suhteen yhteenlaskettu kustannuskäyrä, jonka laskeminen edellyttää useimmiten mallin käyttöä. Kuviossa 3.1 esitetyt rajakustannusten kuvaajat ovat juuri tällaisia ja ne voidaan muuttaa kustannuksiksi vähennettyä hiilidioksiditonnia kohden yksinkertaisesti muuntamalla vaaka-akseli vähennetyiksi hiilidioksiditonneiksi hiilidioksidipäästötonnien asemesta. Joissakin tapauksissa kustannukset voidaan esittää myös tuotettua energiayksikköä kohden, jolloin vaaka-akselin muuttuja on esimerkiksi Mwh.

Kuviossa 3.3 on esitetty kahden hiilidioksidipäästöjen rajoittamismenetelyn kustannustehokkuus. Menettelyt ovat maakaasun käyttö erillisessä sähkön tuotannossa kivihiilen asemesta ja sähkön tuonti. Vaaka-akselilla mitataan kustannuseroa penneinä tuotettua kilowattituntia kohden. Maakaasun kustannusero syntyy kivihiileen verrattuna. Esimerkiksi mikäli maakaasulla tuotettu sähkö on 4,5 penniä kalliimpaa kuin kivihiilellä tuotettu sähkö vähennetyn hiilidioksiditonnin hinta on näin mekaanisesti laskien noin 100 markkaa. Kuten kuvioista 3.3 havaitaan mitä kalliimpaa maakaasulla tuotettu sähkö on verrattuna kivihiilellä tuotettuun sähköön sitä kalliimpaa on myös hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen hiilidioksiditonnia kohden. Hiilidioksidirajoitteen rajakustannus on EFOM-laskelmissa suurin piirtein 200 markkaa, joten ko. kustannusrajalla maakaasulla tuotettu sähkö voi olla noin 9 penniä kalliimpaa kuin kivihiilellä tuotettu sähkö ja se on yhä kilpailukykyinen polttoaine erillisessä sähkön tuotannossa.

¹³ Jatkotutkimuksen tavoitteena on yrittää täsmentää sitä, kuinka sähkön markkinahinta määräytyy Suomessa hiilidioksidipäästörajoitteen tapauksessa. Yllä mainituilla kahdella ääriesimerkillä eli täysin suljetulla ja täysin avoimilla sähkömarkkinoilla voidaan joka tapauksessa arvioida hinnan muutoksen ja kokonaistaloudellisten vaikutusten (sähkön hinnan kautta) ääriarvot.



Kuvio 3.3. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannustehokkuus maakaasun käytön ja sähkön tuonnin tapauksissa. Maakaasua verrataan kivihiileen ja sähkön tuontia maakaasulla ja kivihiilellä tuotettuun sähköön.¹⁴

Sähkön tuonnin kanssa kilpaileva kotimainen erillisen sähköntuotannon sähkö voi olla tuotettu joko kivihiilellä tai maakaasulla. Kun vertailutilanteena on kivihiili, vaaka-akselilla hintaero kuvaa tuontisähkön ja kivihiilellä tuotetun sähkön kustannuseroa. Esimerkiksi mikäli tuontisähkö on neljä penniä kalliimpaa kuin kivihiilellä, tuotettu sähkö hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen sähkön tuonnilla maksaa 50 markkaa hiilidioksiditonnia kohden.

Mikäli erillisessä sähkön tuotannossa käytetään maakaasua kivihiilen asemesta vaaka-akselilla on maakaasulla tuotetun sähkön ja sähkön tuonnin välinen hintaero. Tällöin mikäli tuontisähkö on 7 penniä kalliimpaa kuin maakaasulla tuotettu sähkö hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen korvaamalla maakaasulla tuotettua sähköä tuontisähköllä maksaa 200 markkaa hiilidioksiditonnia kohden.

Perusskenaariossa erillisen sähkön tuotannon polttoaine on kivihiili, jolloin kustannustehokkuusvertailu maakaasuun verrattuna pätee. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariossa erillinen sähkön tuotanto perustuu sekä maakaasuun että ki-

¹⁴ Kuvio 3.3 on piirretty olettamalla kivihiilelle hiilidioksidipäästökerroin 0,8 miljoonaa tonnia hiilidioksidia tuotettua sähkö terawattituntia kohden. Maakaasun vastaava kerroin on 0,35 miljoonaa tonnia.

viihiileen, jolloin tuontisähkön vertailutilanne on monimutkaisempi. Kuitenkin kuvion 3.3 perusteella voidaan päätellä, että hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariossa tuontisähköstä kannattaa hiilidioksidipäästörajoitteen 200 markan rajakustannuksella maksaa varsin paljon, kun ko. kustannusta verrataan kotimaassa toteutettaviin toimenpiteisiin. Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen rajakustannus ilmaisee osan kotimaisista kustannuksista.¹⁵

Kustannukset esitetään joskus myös energiayksikköä kohden. Esimerkiksi tarvittava tuki lasketaan usein megawattituntia kohden. Tällaisia laskelmia voi olla hyvin vaikea tulkita, koska esimerkiksi sähkön megawattitunnin hinta on noin kaksinkertainen lämmön megawattituntihintaan verrattuna. Sama markkamääräinen tuki megawattituntia kohden on sähkölle suhteessa puolta pienempi. Toinen analyysia hankaloittava seikka on sähkön ja lämmön yhteistuotanto, jossa lisäkustannukset tai tuki täytyy jakaa sähkölle ja lämmölle. Kuten jo aikaisemmin todettiin taloudellisessa analyysissä oleellista ovat prosenttimääräiset muutokset, jolloin megawattitunnin hinta tulee tietää.

3.2 Sektorin tai toimialan taloudelliset kustannukset

Tietyn sektorin taloudelliset kustannukset (IPPC 1994) voisi periaatteessa tarkoittaa samaa kuin edellä esitetyt välittömät kustannukset, mutta toimialatasolla.¹⁶ Toimialan taloudellisilla kustannuksilla voidaan tarkoittaa

- tuotannon yksikkökustannusten muutosta (reaaliset kustannukset ja/tai verot sisältävät tuotannon yksikkökustannukset)
- tuotannon muutosta
- kustannusten ja/tai tuotannon muutoksen kompensoivaa rahasummaa

Jotkut teollisuuden toimialat käyttävät runsaasti energiaa erityisesti sähköä, jolloin energiantuotannossa tapahtuvat kustannusmuutokset (luku 3.1) merkitsevät kohonneita yksikkökustannuksia ja kilpailukyvyyn menetyksiä. Viimeksi mainitut johtavat pidemmällä aikavälillä myös tuotannon tason muutokseen.

Energian hinnan kustannusjousto ja tuotannon kustannusjousto

Tuotannon muutoksia voidaan tarkastella kahden jouston avulla. Ensimmäinen analyysissä tarvittava jousto on tuotannon yksikkökustannusten muutoksen (prosentteissa) suhde energian hinnan muutokseen (prosentteissa). Mikäli kyseinen jousto

¹⁵ Todellisuudessa sähkön tuonnista tehtävät oletukset (tuontisähkön tarjontakäyrä) vaikuttavat myös hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannukseen. Periaatteessa sähköntuontimahdollisuus alentaa rajakustannuksia.

¹⁶ Tällöin välittömät kustannukset ilmaisisivat vain tietyn tekniikan käyttöönotosta aiheutuvat välittömät kustannukset ja toimialan kustannukset seuraisivat ko. kustannuksista. Toimialan kustannukset riippuvat mm. kilpailutilanteesta eli sama tekniikka aiheuttaisi eri toimialoilla erilaiset taloudelliset kustannukset.

on 0,2 niin kymmenen prosentin nousu energian hinnassa kohottaa tuotannon yksikkökustannuksia kaksi prosenttia. Jousto lasketaan välittömästi käytetyn energian suhteen eli muihin panoksiin välillisesti sisältyvä energia ei sisälly joustoon.

Kyseiselle joustolle saadaan yläraja energiakustannusten kustannusosuuden avulla. Mikäli energiankäyttö olisi täysin joustamatonta ja energian osuus kokonaiskustannuksista olisi kymmenen prosenttia jouston itseisarvo olisi 0,1. Tällöin energian hinnan nousu kymmenellä prosentilla kohottaisi tuotannon yksikkökustannuksia prosentilla. Useimmiten jousto on alhaisempi, koska energiaa voidaan tuotannossa jossakin määrin korvata muilla panoksilla, kuten pääomalla. Kyseinen korvattavuus eli joustavuus alentaa energian hinnan kustannusjousto.

Toteutuvaan tuotannon muutokseen vaikuttaa tuotannon kustannusjousto. Se ilmaisee, kuinka paljon tuotanto pitkällä aikavälillä prosenteissa muuttuu, kun tuotannon yksikkökustannukset muuttuvat tietyn määrän prosenteissa. Joissakin kokonaistaloudellisissa malleissa (numeeriset yleisen tasapainon mallit) käytetyt tuotannon kustannusjoustojen arvot ovat varsin korkeita, esimerkiksi jouston itseisarvo voi olla 10. Tällöin yhden prosentin muutos tuotannon yksikkökustannuksissa muuttaa tuotantoa pitkällä aikavälillä kymmenen prosenttia.¹⁷

Tuotannon prosenttimuutos saadaan yhdistämällä kaksi edellä esitettyä joustoa. Mikäli energian hinnan kustannusjousto on 0,05, tuotannon kustannusjousto on 10 ja energian hinta kohoaa kymmenen prosenttia, tuotannon muutos pitkällä aikavälillä on $0,1 \times 0,05 \times 10$ eli viisi prosenttia. Tapauksesta riippuen energian hinnanmuutos voi sisältää hiilidioksidiveron tai pelkästään energiasektorin reaalkustannusten muutoksen. Energianhinnan muutos, joko verollisen ja verottoman hinnan muutos, riippuu energiantuotannon olosuhteista. Suomalaisissa hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavissa kokonaistaloudellisissa laskelmissa esimerkiksi puunjalostusteollisuuden tuotanto alenee tyypillisesti 20-25 % perusskenaarioon verrattuna (Honkatukia 1999, 2000, Pohjola 1997).

Tuotannon muutos prosenteissa ei ilmaise arvon muutosta. Yksi keino tuoda esille arvon muutos on kertoa yllä esitetyt määrän muutokset toimialan tuotteen hinnalla.

Edellä jo mainittiin, että energian hinnan nousu vaikuttaa tiettyjen teollisuuden toimialojen kustannuksiin ja kilpailukykyyn merkittävästi. Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen vaikuttaa kuitenkin kaikkein eniten energiantuotantoon, etenkin erillisen sähköntuotannon kilpailukykyyn. Perusskenaariossa erillisen sähköntuotannon kilpailukyky siis mahdollisuus kilpailla tuontisähkön kanssa perustuu kivihiilen käyttöön. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaarioissa kivihiilen käyttö perusskenaarion laajuudessa ei ole mahdollista, vaan korvaavana polttoaineena vaihtoehdossa, jossa ei rakenneta lisäydinvoimaa, on maakaasu. Mikäli kilpailijamaissa voidaan edelleen käyttää kivihiltä erillisessä sähköntuotannossa Suomen erillisen sähköntuotannon kilpailukyky heikkenee. Toinen seikka, joka vaikuttaa erillisen sähköntuotannon kilpailukykyyn on se, että suomalaisten sähkön ostajien kannalta

¹⁷ Joissakin kokonaistaloudellisissa malleissa kuten KESSU:ssa jousto on periaatteessa ääretön.

tuontisähkö on hiilidioksidipäästövapaata ja maakaasuunkin perustuvassa erillisessä sähköntuotannossa aiheutuu hiilidioksidipäästöjä.

Erillisen sähköntuotannon kilpailukykytilanne ilman lisäydinvoimaa on todennäköisesti hyvin vaikea. Periaatteessa muualta energiajärjestelmästä voidaan kohdentaa hiilidioksidipäästöjä erilliseen sähköntuotantoon niin, että kivihiilen käyttö peruskenaarion laajuudessa on mahdollista tai että kivihiieltä voidaan käyttää enemmän kuin energiajärjestelmän kustannukset minimoivassa rajoittamisskenaariossa käytetään. Tällaisen politiikan kokonaistaloudelliset kustannukset ovat niin suuret, ettei sellaiseen todennäköisesti ryhdytä. Energiajärjestelmämallissa tällaisesta menettelystä aiheutuvien kustannusten alaraja on hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus eli suomalaisissa laskelmissa noin 200 markkaa hiilidioksidipäästötonnia kohden.¹⁸

¹⁸ Energiajärjestelmämallissa ikään kuin jaetaan hiilidioksidipäästöjä eri sektoreille tuotantomuotojen välittömien kustannusten ja hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannusten perusteella (ensimmäinen vaihe). Tässä ratkaisussa siis kaikkiin hiilidioksidia tuottaviin energiantuotantomuotoihin lisätään niiden hiilidioksidipäästökertoimen ja hiilidioksidipäästörajoitteen hinnan mukainen kustannuselementti. Mikäli energiajärjestelmässä poiketaan ensimmäisen vaiheen mukaisesta hiilidioksidipäästökertoimen jaosta, hiilidioksidipäästöjen uudelleenjakoa hiilidioksiditonnia kohden maksaa vähintään hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannuksen verran. Mikäli hiilidioksidipäästöjen uudelleenjakoa maksaisi hiilidioksiditonnia kohden vähemmän kuin mikä on hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus, ensimmäisessä vaiheessa toteutuvat energiajärjestelmän kustannukset eivät voi olla minimikustannuksia.

4 Kokonaistaloudelliset kustannusmittarit

4.1 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannustehokkuus

Kokonaistaloudellisten kustannusmittareiden ja käsitteiden yhteydessä täytyy väistämättä ottaa kantaa ohjauskeinoon, jolla hiilidioksidipäästötavoite toteutetaan. Ohjauskeino vaikuttaa sekä kokonaistaloudelliseen kustannukseen että kustannusten jakoon talouden toimijoiden välillä.

Ohjauskeinot voidaan jakaa sellaisiin, jotka välittömästi vaikuttavat julkisen sektorin tuloihin ja menoihin. Näitä ovat hiilidioksidivero, kaupattavat päästökiintiöt ja tuet. Toisen ryhmän muodostavat sellaiset ohjauskeinot, jotka eivät välittömästi vaikuta julkisen sektorin tuloihin ja menoihin. Näitä ovat mm. ilmaiseksi jaettavat päästökiintiöt ja tekniset normit.

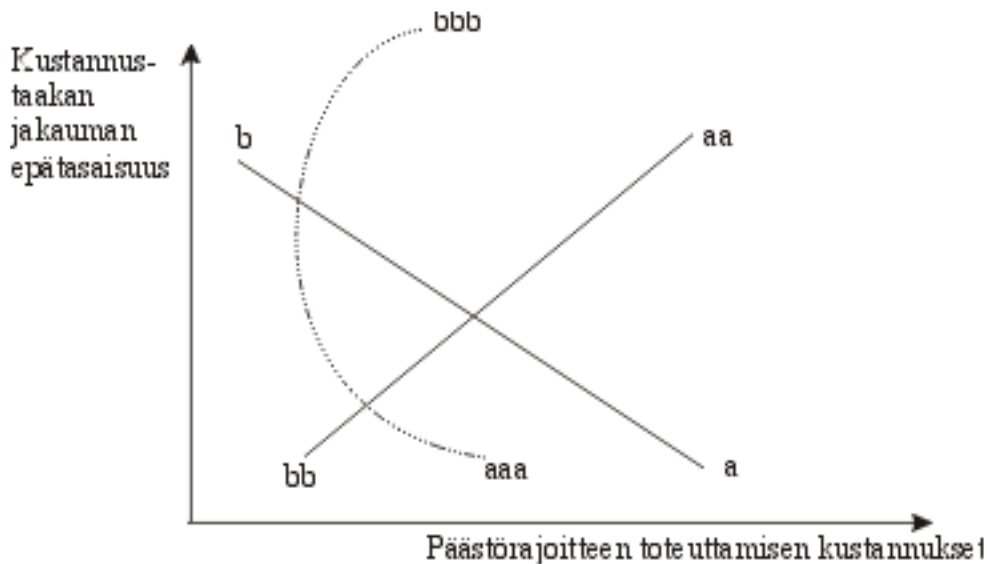
Luvussa 5 esitetään tarkemmin, kuinka hiilidioksidipäästöjen vähenemä voidaan jakaa kolmeen osaan, päästöjen vähentämiseen energiantuotannossa, talouden rakennemuutokseen sekä tuotannon ja kulutuksen tason muutokseen. Kokonaistaloudellisia kustannuksia voidaan käsitellä myös kustannustehokkuuden toteutumisen näkökulmasta. Erot kustannustehokkuudessa johtuvat siitä, että hiilidioksidipäästöjen vähenemässä eri osa-alueilla on eri merkitys.

Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisessa on kaksi äärimmäistä vaihtoehtoa

- (a) Kustannustehokkaat menettelyt minimoivat rajoitteen saavuttamisen kokonaistaloudelliset kustannukset, mutta yritys- ja toimialakohtaisten kustannusten jakauma voi olla hyvinkin epätasainen, jolloin myös toimialojen tuotannot eli talouden tuotantorakenne (suhteellisesti) muuttuu paljon vertailutilanteeseen verrattuna. Myös hyödykkeiden hinnan muutosten vuoksi kuluttajien ostovoima muuttuu eri tavoilla esimerkiksi rikkaimpien ja köyhimpien kotitalouksien kohdalla.
- (b) Kustannusten jakauman epätasaisuuden lieventäminen lisää hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamisen kokonaistaloudellisia kustannuksia. Tällöin toimialojen tuotannot muuttuvat vähemmän eli talouden tuotantorakenteen suhteellinen muutos vertailutilanteeseen verrattuna on pienempi. Hiilidioksidiverosta luopuminen periaatteessa vähentää kotitalouksien tulonjaon muutosta, mutta se merkitsee käytännössä hiilidioksidipäästövähennysten ja siis myös kustannusten kohdistamista kotitalouksille eli kotitalouksien kustannukset eivät hiilidioksidiverosta luopumisen vuoksi vähene.¹⁹

¹⁹ Lisäksi hiilidioksidiveroa korvaavat ohjauskeinot kohottavat sähkön ja lämmön hintaa eli hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen tulojakoa epätasaisena vaikutus säilyy. Tulonjakovaikutus riippuu merkittävästi siitä, koskeeko hiilidioksidivero myös liikennepolttoaineita. Liikennepolttoaineita verotetaan jo nyt hiilidioksidipäästötönä kohden moninkertaisesti muihin polttoaineisiin verrattuna, joten hiilidioksidipäästöjä rajoitettaessa ei todennäköisesti ole kustannustehokasta lisätä liiken-

Voidaan siis valita kokonaistaloudellisesti kustannustehokas, esimerkiksi hiilidioksidiveroon perustuva menettely, tai kokonaistaloudellisesti vähemmän tehokas menettely. Kuvio 4.1 ilmaisee tilanteen heuristisesti. Kuviossa pystyakselilla kustannusten jakauman epätasaisuus lisääntyy ylöspäin siirryttäessä ja vaaka-akselilla päästörajoitteen saavuttamisen kustannukset lisääntyvät oikealle mentäessä.²⁰



Kuvio 4.1. Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen kustannusten ja kustannustaakan jakautumisen välinen suhde.

Kuviossa 4.1 kuvaaja a-b ilmaisee kokonaistaloudellisissa mallilaskelmissa havaitun valintatilanteen kokonaistaloudellisten kustannusten ja kustannusten jakauman tasaisuuden välillä. Tilanne b kuvaa kustannustehokasta menettelyä, jossa päästörajoitteen saavuttamisen kokonaistaloudelliset kustannukset ovat minimissä, mutta toimialoittainen kustannustaakka jakaantuu hyvin epätasaisesti. Vastaavasti tilanteessa a on erinäisin toimenpitein vähennetty kustannusten jaon suhteellista epätasaisuutta, mutta samalla päästörajoitteen toteuttamisen kokonaistaloudelliset kustannukset ovat lisääntyneet. Mikäli päästörajoitteen toteuttamisen kokonaistaloudellisia kustannuksia mitataan esimerkiksi bruttokansantuotteen muutoksella kuvion 4.1 sanoman mukaan hyväksymällä pienempi bruttokansantuote voidaan haluttaessa saavuttaa toimialojen välinen tasaisempi kustannusten jakauma. Perusskenaarion

nepolttoaineiden verotusta.

²⁰ Kuviossa 4.1 pyritään ilmaisemaan minkälainen valintatilanne mallilaskelmien mukaan vallitsee toimialakohtaisten suhteellisten muutosten ja kokonaistaloudellisten kustannusten välillä. Tällöin pystyakselin mittarissa voisi olla lähtökohtana, vaikka tilanteen b mukainen kustannusten jako. Kuviossa 4.1 ilmaistaan yleisellä tasolla minkälainen valintatilanne eri näkemysten perusteella vallitsee. Kuviossa ei esimerkiksi oteta kantaa siihen, onko kuvaaja a-b kovera vaiko kupera.

mukainen tuotannon rakenne voidaan säilyttää, mutta tällöin kokonaistaloudelliset kustannukset kasvavat. Äärimmäisenä toimenpiteenä voitaneen pitää talouden toimialarakenteen pitämistä ennallaan ja talouden koon eli bruttokansantuotteen määrän pienentämistä hiilidioksidipäästörajoitteen mukaiselle tasolle. Tätä voisi kuvata vaikka tilanne a kuviossa 4.1. Mikäli hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamisen minimikustannukset ovat esimerkiksi puolen prosentin pudotus bruttokansantuotteessa, bruttokansantuotteen pienentämisvaihtoehdossa kustannukset ovat helppostikin 10-25 -kertaiset.

Kuvion 4.1 kuvaajan a-b mukainen tulos saadaan usein numeerisella yleisen tasapainon mallilla. Tällaisia tuloksia on saavutettu myös suomalaisilla malleilla (Pohjola 1997, Alatalo 1998). Kyseissä tutkimuksissa tietyt toimialat voivat olla kokonaan vapautettuja esimerkiksi hiilidioksidipäästöverosta, jolloin havaitaan, että hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamisen kokonaistaloudelliset kustannukset kohoavat. Kuvaajan a-b ilmaisema tilanne riippuu luonnollisesti hyvin paljon siitä, kuinka kustannusjakaumavaikutuksia ehkäistään eli kustannustaakan lisäyksen vaikutuksia pehmennetään. Toisin sanoen, missä määrin tietyn toiminnon kustannukset kohoavat, kun jonkun muun toiminnon päästöjen vähennystavoitetta lievennetään.

Yleensä polttoaineen hiilipitoisuuteen perustuvaa yleistä hiilidioksidiveroa pidetään kustannustehokkaana ratkaisuna. Tästä ratkaisusta voidaan poiketa muun muassa seuraavilla menettelyillä:

- vapautetaan jotkin talouden sektorit hiilidioksidiverosta, jolloin hiilidioksidipäästöjen vähennyksen kustannustehokkuus eri toimialojen ja sektoreiden välillä eroaa. Vähentämiskustannuksia siirretään niille taloudenpitäjille, joita hiilidioksidivero koskee.
- toteutetaan hiilidioksidipäästötavoite teknisillä normeilla ja ilmaiseksi jaetuilla hiilidioksidipäästökiintiöillä.²¹ Tällöinkään hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kustannustehokkuus ei toteudu. Lisäksi talouteen syntyy niukkuustuloja, jotka alentavat korkeamman energian hinnan vuoksi reaali-palkkaa.

²¹ Honkatukian (2000) tulosten mukaan ilmaiseksi jaettavat hiilidioksidipäästökiintiöt minimoivat kokonaistaloudelliset kustannukset (kuluttajan kompensatiomitala arvioituna) ja kuluttajahinnat laskevat perusskenaarioon verrattuna silloin, kun talouden kilpailukyky heikkenee hiilidioksidipäästörajoitteen vuoksi (Suomi toimii yksipuolisesti). Silloin, kun kilpailukyky ei heikkene hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vuoksi, ilmaiseksi jaettavat hiilidioksidipäästökiintiöt tuottavat huomion ratkaisun ja kuluttajahinnat laskevat tällöinkin perusskenaarion verrattuna. Koska ko. menettelyssä nimenomaan puunjalostusteollisuuden tuotanto muuttuu radikaalisti hiilidioksidivero-ratkaisuun verrattuna, ilmaiseksi jaetut hiilidioksidipäästökiintiöt on mitä ilmeisimmin jaettu etenkin puunjalostusteollisuudelle. Esimerkiksi metallien perusteollisuuden tuotanto alenee enemmän ilmaiseksi jaettujen hiilidioksidipäästökiintiöiden tapauksessa kuin hiilidioksidiveron tapauksessa. Samoin käy erilliselle sähköntuotannolle. Hiilidioksidivero on ilmaiseksi jaettujen hiilidioksidipäästökiintiöiden tapauksessa korkeampi kuin hiilidioksidiveron tapauksessa (kilpailukykyyn heikentymisen tapaus). Artikkelista ei ilmene tarkemmin, kuinka hiilidioksidipäästöjen kiintiöt on jaettu eri toimialoille. Liitteessä 1 on Mäenpään ja Tervon (1994) tulosten mukainen hiilidioksidipäästöjen kiintiöinti (vuoden 1990 tilanteen perusteella).

- toteutetaan hiilidioksidipäästörajoite verottamalla energiankäyttöä (kuten sähköä) eikä hiilidioksidipäästöjä. Tällöin energiankäyttöä verotetaan käytännössä turhaan, mistä aiheutuu kokonaistaloudellisten kustannusten kasvu.

Lienee intuitiivista, että valintatilanne on kuvaajan a-b mukainen. Kuvaaja a-b pitää sisällään sekä tekniikoiden sisältämät korvaamismahdollisuudet että kuluttajien valintaan sisältyvät korvaamismahdollisuudet. Näiden mahdollisuuksien hyödyntäminen hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisessa aiheuttaa toimialojen tuotannon muutokset. Mikäli kaikilla toimialoilla olisi täysin sama tekniikka ja kuluttajien arvostukset olisivat täysin jäykät, ainoa tapa toteuttaa hiilidioksidipäästörajoite olisi skaalata talous hiilidioksidipäästörajoitteen mukaiselle tasolle. Kun taloudessa on joustavuutta, näin ei tarvitse menetellä.

Julkisessa keskustelussa esitetään suurin piirtein päinvastaisia näkemyksiä kustannustehokkuuden ja kustannusten jakautumisen välisestä suhteesta. Tällaista ajattelutapaa kuvaa tiheällä katkoviivalla piirretty kuvaaja aa-bb kuviossa 4.1. Kuvaaja aa-bb tulee tulkita siten, että mitä suurempiin muutoksiin toimialojen kustannuksissa ja tuotannoissa pyritään sitä suuremmat ovat rajoitteen saavuttamisen kustannukset. Tämä näkemys perustuu siihen, että suurilla ja nopeilla toimialojen tuotannon muutoksilla tuotantokapasiteettia häviää, jolloin kokonaistaloudelliset kustannukset ovat suuremmat. Toinen tämän näkemyksen piirre on se, että hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamisen kustannukset kaiken kaikkiaan ovat suuremmat kuin edellisessä näkemyksessä. Siksi kuvaajan aa-bb ilmaisema kokonaistaloudellisten kustannusten minimipiste (bb) sijaitsee oikealla verrattuna kuvaajan a-b minimipisteeseen.²²

Kyseinen tulkinta kokonaistaloudellisen kustannustehokkuuden ja kustannustenjaon välisestä suhteesta ei ole kovin intuitiivinen. Tulkinnan mukaan mitä vähemmän tehdään sitä pienemmät ovat kokonaistaloudelliset kustannukset. Tämä periaate varmasti pätee kustannuksissa, mutta kuinka hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää tekemällä vain vähän?

Tärkeä ero kustannuksissa syntyy talouden sopeutumiskustannuksissa. Sopeutumiskustannukset riippuvat suuresta määrin siitä, kuinka tuotannontekijät työ ja pääoma voivat liikkua talouden sektoreilta toisille. Esimerkiksi mikäli pääoma ei voi kitkattomasti siirtyä toimialalta toiselle ja investoinnit joudutaan kuolettamaan ennen aikojaan tämä nostaa pääomakustannuksia sekä vähentää käytetyn pääoman määrää. On vaikeaa kuvitella, kuinka tämän vaikutuksen huomioonottaminen vaikuttaisi merkittävästi toimialojen suhteellisiin kustannustehokkuuksiin päästöjen rajoittamisessa. Tällainen sopeutumiskustannusvaikutus lisää päästörajoitteen saavuttamisen kustannuksia, mutta laadullisesti tilanne säilyy kuvaajan a-b mukaisena.

Tuotantorakenteen muutoksen vähentäminen tapahtuu useimmiten siirtämällä kus-

²² Lievempi näkemys talouden joustamattomuuden vaikutuksista johtaa kuvaajaan, joka sijaitsee oikealle kuvaajasta a-b (ja jota ei ole piirretty kuvioon 4.1) ja jonka mukaan tiettyä toimialan kustannusten jakauman tasoa täytyy vastata suuremmat kokonaiskustannukset kuin mitä kuvaaja a-b ilmaisee.

tannuksia avoimelta sektorilta suljetulle eli palveluihin ja kotitalouksille. Kustannusten siirto kotitalouksille aiheuttaa kuitenkin kokonaistaloudellisia kustannuksia työmarkkinavaikutusten vuoksi. Mikäli työn hinta nousee kohonneiden elinkustannusten vuoksi, kotitalouksien lisäksi kustannuksia siirretään energiavaltaisilta toimialoilta työvoimavaltaisille aloille. Erityisesti vaikutukset työllisyyteen voivat olla merkittäviä.

Jonkinlaista kompromissia yllä esitettyjen näkemysten ääripäiden välillä kuvaa harvalla katkoviihvalla esitetty kuvaaja aaa-bbb. Sen mukaan nykyinen status quo - tuotantotilanne ei voi minimoida kustannuksia, muttei myöskään esimerkiksi ainoastaan hiilidioksidiveroon perustuva hiilidioksidipäästöjen vähentäminen, jolloin kustannusten jakauman muutos on suurin. Menettelyillä, jotka johtavat kohtuulliseen kustannusten jakauman muutokseen ja kohtuulliseen toimialoittaisen tuotannon jakauman muutokseen, saavutetaan rajoitteen saavuttamisen minimikustannukset. Tietyt toimialat tarvitsevat sopeutumisessa tukea. Lisäksi minimikustannukset sijoittuvat yllä esitetyn kahden ääri näkemysten väliin.

Kuvaajiin a-b ja aaa-bbb liittyy toinenkin seikka. Vaikka usein esitetään, että hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamisen kustannusten minimointi on yhteiskunnan tavoite, näin ei välttämättä ole. Voihan hyvin olla niin, että syystä tai toisesta myös toimialoittaiseen kustannusten suhteelliseen jakaumaan kiinnitetään huomiota, jolloin päätöksenteossa ei pyritä pisteeseen b kuvaajalla a-b, vaan johonkin pisteeseen välillä a-b. Kuvaajan a-b tapauksessa siis vaihdetaan ja on vaihdettava tasaisempi toimialoittainen kustannusten jako korkeampiin kokonaistaloudellisiin kustannuksiin.

Kompromissia eri näkemysten välillä edustaa sellainen ohjauskeinojen yhdistelmä, jossa säilytetään kiihoke hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen hiilidioksidipäästövapaiden energialähteiden tukemisella ja hiilidioksidiverolla. Tarvittaessa joillekin toimialoille annetaan väliaikaista taloudellista tukea. Hiilidioksidiverotuloja voidaan myös korvamerkitä eli kierrättää takaisin teollisuuteen ja energiantuotantoon.

Kokonaistaloudellisen rajakustannuksen ja myös kokonaistaloudellisten kustannusten riippumista eri tekijöistä käsitellään tarkemmin luvussa 5 hiilidioksidiveron yhteydessä.

4.2 Makrotaloudelliset eli kokonaistaloudelliset kustannukset

Kyseessä lienevät käytetyimmät kustannusmittarit. Näihin viitataan kirjallisuudessa käsitteillä hintojen ja määrien muutokseen perustuva kustannusanalyysi (Weyant 1993) sekä Ilmastopaneelin makrotaloudelliset kustannukset (IPPC 1994). Näitä mittareita käytetään etenkin empiirisessä työssä eli ne ovat mallilaskelmien tyyppisiä tuloksia. Laskelmien tuloksena on työllisyyden, investointien, kulutuksen, inflaation, kauppataseen, bruttokansantuotteen yms. muutoksia. Yleisemmin käytetty mittari on nimenomaan reaalisen bruttokansantuotteen tason muutos. Muutos ilmoitetaan siis tasomuutoksena perusuraan verrattuna. Mikäli tilannetta analysoi-

daan dynaamisella mallilla tuloksena on talouden kasvuvauhdin muutos.

Tasomuutoksen lisäksi voidaan laskea hiilidioksidirajoitteen muutoksen vaikutus bruttokansantuotteeseen eli hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellinen rajakustannus bruttokansantuotteen muutoksella avulla laskettuna. Kokonaistaloudellista rajakustannusta ei saada suoraan, vaan se täytyy aina laskea varioimalla hiilidioksidipäästörajoitetta. Tällöin ikään kuin oletetaan bruttokansantuotteen määrä tavoitefunktioksi, jonka arvoon hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa. Rajakustannuksilla on täysin oikea tulkinta vain silloin, kun laskelmissa käytettävä malli perustuu tietyn tavoitefunktion maksimointiin tai minimointiin ja rajakustannus lasketaan ko. tavoitefunktion muutoksena (Bernstein, Montgomery, Rutherford & Yang, 1999).

Kokonaistaloudelliset kustannukset ja hyvinvointimittarit liittyvät kiinteästi yhteen ja niiden yhteyksiä käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa.

4.3 Kotitalouksien hyödyn muutokseen perustuva kustannusmittari

Kotalouksien hyödyn muutokseen perustuva kustannusanalyysi (Weyant 1993) ja Ilmastopaneelin hyvinvointikustannukset tarkoittavat käytännössä samaa. Luvussa 4.2 mainitut määrien ja hintojen muutokset muutetaan rahamittallisiksi kotitalouksien hyödyn muutoksiksi. Usein lasketaan kompensoiva tulovariaatio, joka on määritelmän mukaan se rahasumma, jolla kuluttaja on tapahtuneen hintojen muutoksen jälkeen yhtä hyvässä asemassa kuin hän oli ennen muutosta.

Kun lasketaan kompensoivan tulovariaation muutos hiilidioksidipäästörajoitteen muutoksen suhteen, saadaan kokonaistaloudellinen rajakustannus hyödyn muutoksen kautta mitattuna. Tätäkään rajakustannusta ei saada suoraan, vaan se lasketaan erikseen varioimalla hiilidioksidipäästörajoitetta ja laskemalla kuhunkin hiilidioksidipäästörajoitteen tasoon liittyvä kuluttajan kompensoimivan arvo. Tällöin ikään kuin oletetaan, että tavoitefunktio on kuluttajan hyötyfunktion arvo, johon hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa. Tässäkin tapauksessa rajakustannuksilla on täysin oikea tulkinta vain silloin, kun laskelmissa käytettävä malli perustuu tietyn tavoitefunktion maksimointiin tai minimointiin ja rajakustannus lasketaan ko. tavoitefunktion muutoksena (Bernstein, Montgomery, Rutherford & Yang 1999).

Bruttokansantuotteen muutoksella, kulutuksen muutoksella ja kuluttajan hyödyn arvon muutoksella lasketut kokonaistaloudelliset rajakustannukset eroavat samassakin mallissa, koska hyödyn muutos ja bruttokansantuotteen muutos eivät ole yksinkertaisessa suhteessa toisiinsa; periaatteessa vapaa-ajan mukaan ottaminen alentaa ainakin hiilidioksidiveroa ja todennäköisesti myös kansantaloudellista rajakustannusta.

Se, kuinka ko. muutos vaikuttaa kansantaloudelliseen rajakustannukseen ja kansantaloudelliseen tappioon on siis epäselvää. Toisaalta rahamittallisesti tavoitefunktion arvo on suurempi, kun siinä on mukana myös vapaa-ajan arvo. Tällöin tavoitefunktion muutoskin on suurempi. Mutta toisaalta kulutuksen korvaaminen vapaa-ajalla

toimii kyseisissä malleissa joustavuustekijänä: mikäli vapaa-ajan määrä kiinnitetään keinotekoisesti alkutilanteen tasolle, hyvinvointitappio kasvaa. Käytännössä vertailua voidaan tehdä vain sellaisilla malleilla, joissa on alun pitäenkin mukana vapaa-aika ja näissä malleissa vapaa-ajan mukana oleminen alentaa kokonaistaloudellisia kustannuksia.²³

Bruttokansantuotteen muutokseen perustuva kustannusanalyysi on epätäydellistä, koska bruttokansantuote ei varsinaisesti ole hyvinvointimittari. Taloudellisen toiminnan tavoite on kulutus, jolloin kulutuksen tasoa ja muutosta voitaneen pitää parempana hyvinvoinnin muutoksen mittarina kuin bruttokansantuotetta. Periaatteessa kulutuksen muutos sisältää myös työttömyyden aiheuttaman hyvinvointitappion. Bruttokansantuote sisältää mm. investoinnit, joten investointien lisäys voidaan mahdollisesti virheellisesti tulkita hyvinvointia lisääväksi tekijäksi. Investointien aleneminen taas alentaa bruttokansantuotetta, mutta periaatteessa tarvittavien investointien väheneminen on kansalaisten kannalta hyvä asia, koska kulutukseen jää enemmän voimavaroja.

Bruttokansantuote sisältää myös nettoviennin, jolloin kauppataseen ylijäämä kasvattaa bruttokansantuotetta. Tämäkin voi tapahtua kulutuksen kustannuksella.

Bruttokansantuotteeseen perustuva mittari ei anna kansalaisten vapaa-ajalle mitään arvoa ja on myös siksi epätäydellinen hyvinvoinnin muutoksen mittari (Goulder 1994). Kulutuksen muutoksen käytössä hyvinvoinnin muutoksen mittarina on osittain samoja ongelmia. Vapaa-ajan huomioon ottaminen merkitsee sitä, että työn tuottavuuden muutos täytyy myös ottaa huomioon. Joissakin mallilaskelmissa tämä otetaan huomioon muun muassa pääoman sopeutumisen kautta. Mikäli pääoma ja energia ovat toisiaan täydentäviä panoksia (komplementteja) energian hinnan nousu vähentää pääoman käyttöä ja tätä kautta alentaa työn tuottavuutta eli reaali-palkkaa.

Yksinkertaisemmat kuluttajien hyvinvoinnin muutosmittarit

Kompensoivan tulovariaation ohella voidaan käyttää yksinkertaisempia hyvinvoinnin muutoksen mittareita.²⁴ Tässä esitellään kaksi (Layard & Walters 1978). Laspeyrsin hyvinvoinnin muutoksen mitta on yksinkertaisesti:

$$L = -(\mathbf{p}^0 - \mathbf{p}^1)\mathbf{x}^0,$$

²³ Tällaisia tuloksia on saatu yleisen tasapainon malleilla, joilla on tarkasteltu kuinka rajakustannukset muuttuvat, kun kustannusmittarina on bruttokansantuote, kotitalouksien kulutus tai kotitalouksien kulutus ja vapaa-aika (Häkonsen & Mathiesen 1997).

²⁴ Hyödyn muutoksen rahamittallisen arvon laskeminen edellyttää kuluttajien hyödyn tason tietämistä (Johansson 1987). Koska hyödyn tasoa ei kuitenkaan tiedetä, kuluttajien hyödyn muutoksen rahamittallistamiseen perustuvia kustannusmittareita ei voida pitää eksakteina mittareina, vaan suuntaa-antavina ja täydentävinä mittareina. Lisäksi useimmiten kuluttajien hyödyn muutokseen vaikuttaa hinnan muutoksen ohella myös tuotteen laadun muuttuminen. Esimerkiksi vähemmän polttoainetta kuluttava henkilöauto (rajoiteskenaariossa) ei välttämättä ole kalliimpi kuin muuten (ei-rajoiteskenaario) ostettava auto, mutta auton ominaisuudet kuten kiihtyvyyys ja huippunopeus muuttuvat.

jossa tarkastellaan, kuinka paljon alkuperäisen hyödykekorin hankkimiskustannukset muuttuvat. Vastaavasti Paaschen hyvinvoinnin muutoksen mitta on

$$P = -(\mathbf{p}^0 - \mathbf{p}^1)\mathbf{x}^1,$$

jossa tarkastellaan lopputilanteen mukaisen hyödykekorin hankkimiskustannusten muutosta. Koska hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vuoksi on voimassa $\mathbf{p}^0 < \mathbf{p}^1$ kummatkin mitat ovat negatiivisia eli hyvinvointi alenee.

Laspeyrsin ja Paaschen mitat eroavat toisistaan, koska Laspeyrsin mitassa arvotus tapahtuu alkutilanteen kulutusmäärillä ja Paaschen mitassa lopputilanteen kulutusmäärillä. Mitä enemmän kotitalouksilla on mahdollista korvata hyödykkeitä toisiltaan sitä enemmän mitat poikkeavat toisistaan. Mikäli energian hinnan muutos johtaa energian hinnan nousun vuoksi kallistuneiden hyödykkeiden merkittävään korvaamiseen muilla vähemmän kallistuneilla hyödykkeillä Paaschen mitta voi antaa huomattavastikin alemman arvion hyvinvoinnin muutoksesta (hyvinvointitappiosta) kuin Laspeyrsin mitta.

Kokonaistaloudellisissa laskelmissa esimerkiksi kotitalouksien kulutuksen muutos arvioidaan kiinteähintaisina tietyn perusvuoden hintojen mukaisena. Kyseessä on Laspeyrsin määräindeksi.

5 Hiilidioksidivero kustannusmittarina

Hiilidioksidiveroa tulkittaessa se sekoitetaan varsin usein kokonaistaloudelliseen rajakustannukseen eli hiilidioksidiveroa pidetään hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellisena rajakustannuksena. Hiilidioksidivero mittaa viimeisen hiilidioksidipäästöyksikön rajakustannusta (Weyant 1993), mutta kyseinen rajakustannus on vain erikoistapauksessa kokonaistaloudellinen rajakustannus.²⁵

Hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellinen rajakustannus tai pikemminkin yhteiskuntataloudellinen rajakustannus saadaan mallilla, joka perustuu yhteiskunnan hyvinvoinnin maksimointiin ja johon asetetaan hiilidioksidipäästörajoite. Tällöin mallissa ratkaistaan optimaalinen hiilidioksidirajoitteen toteuttava verorakenne. Koska mallitetussa taloudessa on muitakin veroja kuin vain hiilidioksidivero ja mahdollisesti epätäydellisyyksiä, kuten epätäydellinen kilpailu hyödykemarkkinoilla, optimaalinen hiilidioksidivero ei ole puhdas hiilidioksidivero. Hiilidioksidivero ei siis perustu pelkkään hiilidioksidipäästöön (polttoaineen hiilipitoisuuteen), vaan esimerkiksi muut optimaalisella tasolla olevat panosverot vaikuttavat tietyn energiapanoksen hiilidioksidiveroon.

Tilanne on monimutkainen, koska verotuksella maksimoidaan yhteiskunnan hyvinvointia ehdolla, että julkinen kulutus on tietyllä tasolla ja että talouden tulee toteuttaa hiilidioksidipäästörajoite. Taloudessa pyritään kahteen keskenään ristiriitaiseen tavoitteeseen; verotulojen keräyksen eli julkisia menoja vastaavien tulojen keräämisen näkökulmasta verotuksen tulisi aiheuttaa mahdollisimman vähän käyttäytymisen muutoksia, mutta toisaalta hiilidioksidipäästöjen vähentäminen pienemmin kustannuksin edellyttää verotuksella aikaansaatuja käyttäytymismuutoksia. (Bovenberg & Goulder 1994). Hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan yhdessä muun verotuksen optimoinnin kanssa ja hiilidioksidivero on kompromissi, jolloin eri polttoaineita ei veroteta pelkästään niiden hiilipitoisuuden mukaan. Hiilidioksidipäästörajoite aiheuttaa tässä tapauksessa kustannuksia myös verojärjestelmän kautta, koska hiilidioksidipäästörajoite rajoittaa verotuksen optimointia.

Kun hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan hiilidioksidiverolla, tästä aiheutuu kolmenlaisia kustannuksia. Ensinnäkin aiheutuu kustannuksia, jotka johtuvat siitä, että energiantuotannossa joudutaan käyttämään panoksia eri suhteissa kuin mitä käytetään niiden markkinahinnoilla. Lisäksi hiilidioksidipäästöjen alentamiseksi joudutaan käyttämään työtä ja pääomaa energiantuotannossa eri suhteissa kuin ilman hiilidioksidiveroa. Nämä ovat jo edellä mainittuja hiilidioksidiveron käytöstä aiheutuvia suoria eli välittömiä kustannuksia. Näistä aiheutuu tyypillinen hyvinvointitappio energiasektorilla.

Toiseksi energian hinnan nousu muuttaa energian ja muiden panosten välistä suhdetta. Energian hinta muuttuu siis sekä välittömien kustannusten että hiilidioksi-

²⁵ Teoreettisessa mallissa, jossa on tietty tavoitefunktio ja hiilidioksidipäästörajoite, hiilidioksidivero ja hiilidioksidirajoitteen marginaalinen vaikutus tavoitefunktioon (ns. Lagrangen kerroin) ovat samoja.

veron vuoksi. Tämä on tyypillinen verotuksesta johtuva hyvinvointitappio. Hiilidioksidiveron tehokkuus perustuu osittain juuri siihen, että sen avulla energian hinta nousee niin vähän kuin mahdollista. Mikäli hiilidioksidipäästöjä vähennetään energiaverolla tarvittava energiaveron muutos on suurempi kuin mitä on hiilidioksidiveron vaikutus energian hintaan, koska energiaverotus ei muuta energiantuotannon polttoainerakennetta.

Kolmas kustannus koostuu kahdesta termistä. Ensimmäinen johtuu siitä, että hiilidioksidipäästöjen tuotolla voidaan vähentää työn verotusta. Toinen termi johtuu verojen vuorovaikutuksesta; hiilidioksidivero kohottaa hyödykkeiden hinta ja alentaa reaalipalkkaa, josta seuraa verotulojen menetys, sekä hiilidioksidiveron työn tarjontaa suoraan vähentävä vaikutus.

Kuten havaitaan hiilidioksidiveron tai minkä tahansa ohjauskeinon kustannuksissa on osa, joka riippuu ko. ohjauskeinon ja verojärjestelmän vuorovaikutuksesta (Fullerton & Metcalf 1997).

Käytännön mallilaskelmissa ei useinkaan ole oikeata tavoitefunktiota eli kokonaistaloudellinen rajakustannus lasketaan epäsuorasti, kuten luvuissa 4.2 ja 4.3 esitettiin. Toiseksi malleissa käytetty hiilidioksidivero on puhdas hiilidioksidipäästöihin perustuva hiilidioksidivero eli mallilaskelmissa ei pyritä ratkaisemaan optimaalista verorakennetta.

Puhtaan hiilidioksidiveron avulla voidaan laskea saavutettava hiilidioksidipäästöjen vähenemä ja tavoitefunktion muutoksen avulla epäsuorasti kokonaistaloudellinen rajakustannus. Tyypillisenä tuloksena on se, että ensinnäkin hiilidioksidivero ja kokonaistaloudellinen rajakustannus poikkeavat toisistaan. Kokonaistaloudellinen rajakustannus on kertaluokkaa suurempi kuin hiilidioksidivero. Toiseksi se, kuinka hiilidioksidiveron tuotto palautetaan talouteen vaikuttaa merkittävästi kokonaistaloudelliseen rajakustannukseen (Bovenberg & Goulder 1994).

Käytännön malleissa hiilidioksidivero on tarvittava päästöyksikön hinta taloudessa, kun taloudessa toteutetaan hiilidioksidipäästörajoite. Vaikka hiilidioksidipäästöjä ei vähennetä hiilidioksidiverolla tai päästokiintiöiden kaupalla, hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen ns. varjohinta voidaan ainakin periaatteessa laskea.²⁶

Hiilidioksidiveroa ei pidä käyttää hyvinvoinnin muutoksen mittarina, mutta sen taso ilmaisee esimerkiksi sen, millä hinnalla kyseessä olevan talouden toimijat lähtevät ostamaan hiilidioksidipäästöoikeuksia (hiilidioksidipäästokiintiöitä) kansainvälisiltä päästöoikeuksien markkinoilta. Hiilidioksidiveroa voidaan pitää hiilidioksidin yksityistaloudellisena hintana. Samantyyppinen hinta syntyisi esimerkiksi pääomalle mikäli sille asetettaisiin kiintiö, joka on pienempi kuin mitä talouden alkutilanteessa käytetään.

Hiilidioksidiveroon ja kokonaistaloudellisiin kustannuksiin vaikuttavat tekijät

²⁶ Luvussa 3.1 esitetyn energiajärjestelmämallin tuloksissa rajakustannusten toinen osa perustuu nimenomaan energiajärjestelmää koskevan hiilidioksidipäästörajoitteen varjohintaan.

On luontevaa käsitellä hiilidioksidiveroa, kokonaistaloudellista rajakustannusta ja kokonaistaloudellista kustannusta (luvut 4.2 ja 4.3) yhdessä. Esimerkiksi useimmissa mallilaskelmissa hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan hiilidioksidiverolla, mistä kokonaistaloudelliset kustannukset aiheutuvat.

Hiilidioksidivero, hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellinen kustannus ja kokonaistaloudellinen rajakustannus riippuvat pääasiassa kolmesta tekijästä:

- 1 Bruttokansantuotteen määrästä (tai muusta tavoitefunktion arvosta), jolla hiilidioksidipäästörajoite ei ole sitova. Tavoitefunktio on useimmiten epäsuora; joko bruttokansantuote tai kuluttajien kokeman hyödyn taso.
- 2 Rajoitteen siis hiilidioksidipäästöjen määrästä perusskenaariossa. Kyseisellä hiilidioksidipäästöjen arvolla esimerkiksi bruttokansantuotteen määrä ei muutu, kun hiilidioksidipäästöjä hieman muutetaan.
- 3 Energiantuotannon ja talouden joustavuudesta:
 - energiantuotannon joustavuudesta; esimerkiksi, kuinka helposti eri polttoaineet voivat korvata toisiaan sähkön ja lämmön tuotannossa (luku 3.1)
 - tuotannon joustavuudesta; kuinka helposti energiaa voidaan korvata muilla panoksilla ja kuinka paljon tuotanto muuttuu yksikkökustannusten muuttuessa (luku 3.2)
 - lähtötilanteen verorakenteesta

Kohdat 1 ja 2 määräävät sen, kuinka paljon vähennettäviä hiilidioksiditonnetteja on.²⁷ Kuten kuviosta 3.1 ilmenee näiden vähennettävien tonnien lukumäärä vaikuttaa merkittävästi rajakustannuksiin ja välittömiin kustannuksiin energiantuotannossa. Tämä pätee myös hiilidioksidiveroon ja kokonaistaloudelliseen rajakustannukseen. Myös ne riippuvat merkittävästi vähennettävistä hiilidioksidipäästötonneista. Talouden tuotantorakennetta koskevat oletukset ovat siis oleellisia, kun tarkastellaan rajoittamiskustannuksia ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamistoimenpiteiden mitoitusta.

Taulukossa 5.1 esitetään hiilidioksidivero, hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus perusskenaariossa ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariossa.

²⁷ Kohta 1 eli tavoitefunktion arvo (taso) vapaassa optimissa määrää usein triviaalisti myös tavoitefunktion muutoksen, kun vapaasta optimista siirrytään rajoitettuun optimiin.

Taulukko 5.1. Hiilidioksidivero ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannus perusskenaariossa ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariossa.

	Hiilidioksidivero	Hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus
Perusskenaario	Lasketaan hiilidioksidipäästöt joko verottamassa tilanteessa tai nykyisten energiaverojen mukaisessa tilanteessa tai optimiverotuksen mukaisessa tilanteessa. Perusskenaarion hiilidioksidivero on harvoin nolla.	Periaatteessa hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus on aina nolla perusskenaarion mukaisilla hiilidioksidipäästöillä ja tällöin toteutuva päästötaso riippuu perusskenaarion määrittelystä (ks vierellä oletukset verotuksesta). Kuitenkin periaatteessa hiilidioksidipäästöt voivat olla perusskenaariossa esimerkiksi liian suuret, jolloin hiilidioksidipäästöjen alentaminen kohottaa tavoitefunktion arvoa.
Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaario	Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava vero ja ko. hiilidioksidipäästökiintiön mukaisessa kaupattavien päästökiintiöiden järjestelmässä päästöluvan hinta.	Tavoitefunktion muutos, kun hiilidioksidipäästörajoitetta hieman löystetään. Tavoitefunktiona voi olla kuluttajien hyöty tai kulutuksen määrä.

Kuten taulukkoon 5.1 on kirjattu hiilidioksidivero ja hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus ovat eri asia jo perusskenaarion mukaisilla päästöillä. Esimerkiksi kokonaistaloudellinen optimi voi edellyttää, että perusskenaariossa energiaa eli hiilidioksidipäästöjä verotetaan. Hiilidioksidivero ei ole nolla, mutta hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus on nolla ko. hiilidioksidiveron mukaisella tuotannolla ja hiilidioksidipäästöillä. Hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus voi olla myös negatiivinen, jolloin hiilidioksidipäästöjen vähentäminen kasvattaa tavoitefunktion arvoa. Tällainen tilanne vallitsee esimerkiksi silloin, kun energiankulutusta tavalla tai toisella tuetaan, jolloin energian ja muiden panosten välinen verotustilanne ei optimaalinen.

Mikäli hiilidioksidiveroa ei tarkastella hiilidioksidipäästörajoitteen kannalta, vaan verojärjestelmän kannalta (optimiverotuksen kannalta) hiilidioksidiveron aiheuttama kokonaistaloudellinen rajakustannus on useimmiten positiivinen jo perusskenaariossa.²⁸

²⁸ Täydellisen optimin laskeminen edellyttää, että myös julkisen sektorin tulonsiirtojen ja palvelutuotannon vaikutus kotitalouksien hyvinvointiin otetaan huomioon. Tällöin optimissa verotulojen hyöty em. tekijöiden kautta vastaisi verotulojen keräyksestä aiheutuvaa haittaa eli markkinatu-

Koska hiilidioksidivero ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellinen rajakustannus ovat eri asia, jokin taustamuuttuja voi vaikuttaa niihin eri tavoilla siis eri suuntaan tai samalla tavalla siis samaan suuntaan tapauksesta riippuen. Esimerkiksi

- joustavuuden lisääminen energiantuotannossa alentaa sekä hiilidioksidiveroa että kokonaistaloudellista rajakustannusta (myös kokonaistaloudellista kustannusta)
- viennin kustannusherkkyyden kohottaminen alentaa hiilidioksidiveroa ja kohottaa kokonaistaloudellista rajakustannusta (myös kokonaistaloudellista kustannusta)

Taulukossa 5.2 on esitetty muutamia suomalaisella mallilla ja aineistolla saatuja tuloksia (Pohjola 1997). Samanlaatuisia tuloksia on saanut myös Honkatukia (1999, 2000).

Taulukko 5.2 Hiilidioksidiveron ja hyvinvointitappion riippuminen eri tekijöistä suomalaisissa mallilaskelmissa.

	Hiilidioksidivero mk /CO₂-tonni	Hyvinvointitappio mrd mk
Perustapaus	275	5,9
Alhaisempi energian korvattavuusjousto	354	7,5
Massalla ja paperilla suurempi markkinavoima	290	3,2
Joustamaton reaali-palkka	247	19

Kun energian korvattavuus muiden panosten kanssa taloudessa alenee, hyvinvointitappio mukaan lukien kokonaistaloudellinen rajakustannus kohoaa. Myös tarvittava hiilidioksidivero on korkeampi kuin perustapauksessa. Hyvinvointitappiomittarit ja hiilidioksidivero siis muuttuvat samaan suuntaan. Samoin vaikuttaa, kuten yllä jo todettiin, joustavuuden lisääntyminen energiantuotannossa, jolloin sekä tarvittava hiilidioksidivero että hyvinvointitappio alenevat.

Mikäli viennissä massa- ja paperiteollisuudella on suurempi markkinavoima ulkomaat itse asiassa maksavat suuremman osan hiilidioksidiverosta. Tällöin kuitenkin ko. toimialan tuotanto ei muutu, siis alenee, yhtä paljon kuin perustapauksessa, jolloin tarvittava hiilidioksidivero on korkeampi kuin perustapauksessa. Koska veroa siirtyy ulkomaiden maksettavaksi ja tuotanto on suurempi, hyvinvointitappio on pienempi kuin perustapauksessa. Hiilidioksidivero ja hyvinvointitappio muuttuvat

tannon alentumista.

tässä tapauksessa eri suuntiin.

Kolmannessa tapauksessa oletetaan, että työmarkkinoilla reaali-palkka pysytetään alkutilanteen mukaisena. Tällöin työvoiman käyttö vähenee huomattavasti ja siitä huolimatta, että työvoimaa korvataan muilla panoksilla tuotanto alenee huomattavasti. Toki ennallaan pysyvä reaali-palkka vaikuttaa myös tuotannon yksikkökustannuksiin ja tätä kautta kilpailukyvyn välityksellä tuotantoon. Joka tapauksessa tuotanto muuttuu enemmän kuin perustapauksessa, mikä alentaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa. Hyvinvointitappio kuitenkin kasvaa perustapaukseen verrattuna. Tässäkin tapauksessa hiilidioksidivero ja kokonaistaloudellinen kustannus muuttuvat eri suuntiin.

Lisäksi Honkatukian (1998) tulosten mukaan, kun pääoman tuotto kiinnitetään vuoden 1990 tasolle kokonaistaloudellinen kustannus kasvaa ja tarvittava hiilidioksidivero alenee verrattuna tilanteeseen, jossa pääoman tuotto joustaa.

Hiilidioksidiveron vaikutuksesta reaali-palkkaan on useimmiten sekä empiirisissä mallilaskelmissa että analyttisissä tutkimuksissa saatu seuraava tulos:

- Kun hiilidioksidiveron tulot palautetaan talouteen työn verotusta alentavasti, hiilidioksidipäästöjen verottamisen reaali-palkkavaikutus suurin piirtein neutraloituu ja reaali-palkkavaikutus perustuu pääasiassa sellaiselle energian hinnan muutokselle, joka johtuu energiansektorin (verottomien) tuotantokustannusten muutoksesta. Reaali-palkka muuttuu hiilidioksidiveron tapauksessa energiantuotannon välittömien kustannusten muutoksen verran.

Tulos on oleellinen, koska koko talouden tasolla tarkasteltuna työ on tärkeämpi panos kuin energia.²⁹ Reaali-palkka siis alenee hiilidioksidiveroratkaisussa energia-tuotantojärjestelmän reaali-isten sopeutumiskustannusten verran. Tällöin mikäli hiilidioksidipäästöjä rajoitetaan jollakin muulla menettelyllä kuin hiilidioksidiverolla, välittömät kustannukset energiasektorilla ovat korkeammat, jolloin myös vaikutus reaali-palkkaan on suurempi. Tuloksen mukaan hiilidioksidiveron palautuksella työvoimaveroja alentamalla voidaan parhaimmillaan kumota hiilidioksidiveron vaikutus reaali-palkkaan, mutta ns. tuplapottivaikutusta eli hyvinvoinnin tason nousemista hiilidioksidiverolla ei useimmiten voida saavuttaa.

Edellä esitetty tulos voidaan yleistää koskemaan kaikkia sellaisia ohjauskeinoja, jotka vaikuttavat julkisen talouden tuloihin ja menoihin. Esimerkiksi tukemalla hiilidioksidipäästöjen vähennystä hiilidioksidiveroa vastaavalla määrällä ja verottamalla työtä ko. tukeen tarvittavalla määrällä energian hinnan alentumisen neutraloi työn verotuksen kiristyminen, jolloin reaali-palkka ei muutu (Fullerton & Metcalf 1997).

Ohjauskeinot, jotka eivät vaikuta julkisen sektorin tuloihin ja menoihin, voivat aikaansaada niukkuushinnan syntymisen kautta yksityistaloudellisia tuloja, jotka vaikuttavat energian hintaan. Esimerkiksi ilmaiseksi jaetut hiilidioksidipäästökiintiöt

²⁹ Todettakoon lisäksi, että reaali-palkka voi muuttua jonkin verran myös muiden panosten kuten pääoman sopeutumisen vuoksi.

aikaansaavat niukkuustuloa, joka siirtyy sähkön ja lämmön hintaan. Mikäli kyseisiä tuloja verotetaan työn verotusta voidaan osittain alentaa, jolloin osa, mutta vain osa niukkuushinnan aiheuttamasta hinnan reaali-palkkavaikutuksesta kumoutuu (Fullerton & Metcalf 1997).

Hiilidioksidivero energijärjestelmämalleissa (bottom-up -mallit) ja kokonaistaloudellisissa malleissa (top-down -mallit)³⁰

Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero voidaan laskea sekä sektorimalleilla että kokonaistaloudellisilla malleilla. Saman talouden ja saman päätösvaihtoehdon hiilidioksidiverot voivat poiketa toisistaan merkittävästi (esimerkiksi Suomessa):

- tyypillisesti energijärjestelmämallilla lasketut hiilidioksidiverot ovat noin 200 markkaa tonnia kohden, kyseessä on hiilidioksidivero, joka täytyy energijärjestelmässä asettaa fossiilisille polttoaineille, jotta energijärjestelmä toteuttaa hiilidioksidipäästörajoitteen³¹
- tyypillisesti kokonaistaloudellisilla malleilla lasketut hiilidioksidiverot ovat huomattavasti korkeammat eli luokkaa 300-600 markkaa hiilidioksiditonnia kohden

Koska kokonaistaloudellisissa malleissa on enemmän mahdollisuuksia alen-taa hiilidioksidipäästöjä, niiden mukaan laskettujen hiilidioksidiverojen tulisi olla alhaisempia kuin energijärjestelmämallilla laskettujen hiilidioksidiverojen.

Asiaa voidaan havainnollistaa kuviolla 3.1. Kun tarvittava hiilidioksidivero lasketaan energijärjestelmämallilla tuotannot pidetään muuttamattomina. Tätä voidaan kuvata käyrällä RK1 kuviossa 3.1 Rajakustannukset ovat Rk1. Kokonaistaloudellisissa malleissa energian hinnan muutos vaikuttaa tuotantoon eli tuotanto alenee. Tätä voidaan kuvata kuviossa 3.1 siten, että kustannuskäyrä siirtyy alemmaksi siis käyräksi RK2. Rajakustannus ja välittömät kustannukset alenevat, ja koska hiilidioksidirajoitteen aiheuttama rajakustannus ja tarvittava hiilidioksidivero energiantuotannossa muuttuvat samaan suuntaan, tarvittava hiilidioksidivero alenee.

Kokonaistaloudellisten mallien korkeat hiilidioksidiverot johtuvat siitä, että niissä energiantuotanto on mallitettu huomattavasti jäykemmäksi kuin energijärjestelmämalleissa. Kummassakin mallissa tapahtuu energiansäästöä. Energijärjestelmämalleissa tapahtuu energiansäästöinvestointeja ja taloudellisissa malleissa korvataan useimmiten energiaa pääomalla. Malleissa on siis voitu olettaa myös erilaiset mahdollisuudet korvata energiaa pääomalla ja osa tuloksista selittyy tällä.

³⁰ Kyseisistä mallityypeistä (bottom-up ja top-down) on tehty erillinen muistio esipuheessa mainitulle tutkimusohjelman ohjaus- ja johtoryhmälle. Muistiossa käsitellään mallityyppien ominaisuuksia hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusanalyysissä.

³¹ Hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus (hiilidioksidipäästörajoitteen Lagrangen kerroin) voidaan tulkita hiilidioksidiveroksi.

Energiatuotannon joustavuuden vaikutus päästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellisiin kustannuksiin

Oleellinen tekijä energiantuotannossa on se, kuinka paljon sähkön ja lämmön verollinen hinta muuttuu, kun sähkön ja lämmön tuotannosta aiheutuvia hiilidioksidin yksikköpäästöjä muutetaan, käytännössä alennetaan. Tämä tekijä voidaan tiivistää sähkön ja lämmön tuotannon yksikkökustannusten hiilidioksidipäästökerroinjoustoksi (luku 3.1).

Sähkön ja lämmön tuotannossa tuotannon yksikkökustannusten jousto hiilidioksidin yksikköpäästöjen eli päästökertoimen suhteen voi olla energiajärjestelmämallilla arvioituna noin puoli. Kokonaistaloudellisissa malleissa se on korkeampi esimerkiksi 1-3.

Energiantuotannossa tapahtuva sopeutuminen vaikuttaa kokonaistaloudellisiin kustannuksiin merkittävästi. Seuraavassa esimerkissä esitetään kuinka paljon. Analyysissä käytetään hyväksi kolmea eri joustoa:

- 1 sähkön ja lämmön tuotannon yksikkökustannusten hiilidioksidipäästökerroinjousto, mikä ilmaisee sen, kuinka paljon hiilidioksidiverollinen sähkön ja lämmön hinta nousee prosenteissa, kun sähkön ja lämmön tuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöt (siis hiilidioksidipäästökerroin) alenevat x prosenttia. Mikäli jousto on esimerkiksi yksi niin hiilidioksidipäästöjen yksikköpäästöjen alentaminen sähkön ja lämmön tuotannossa kymmenellä prosentilla kohottaa sähkön ja lämmön verollista hintaa (kokonaisyksikkökustannuksia) kymmenellä prosentilla,
- 2 rakennemuutosjousto, mikä ilmaisee sen, kuinka paljon sähkön ja lämmön ominaiskulutus tuotannossa muuttuu prosenteissa, kun sähkön ja lämmön hinta kohoaa x prosenttia (vaikutus tulee kohdasta 1). Mikäli jousto on esimerkiksi puoli niin sähkön ja lämmön kulutus tuotantoyksikköä kohden alenee viisi prosenttia, kun sähkön ja lämmön hinta kohoaa 10 prosenttia. Rakennemuutosjousto perustuu kahteen tekijään. Ensimmäkin tuotannon rakenne muuttuu toimialojen kilpailukyky muutosten vuoksi. Toiseksi sähköä ja lämpöä korvataan muilla panoksilla, kun sähkön ja lämmön hinta nousee,
- 3 tuotannon jousto, mikä ilmaisee sen, kuinka paljon tuotanto muuttuu prosenteissa, kun tuotannon ominaiskulutus muuttuu x prosenttia (vaikutus tulee kohdasta 2), mikäli jousto on esimerkiksi puoli ominaiskulutuksen alentuminen kymmenellä prosentilla alentaa tuotantoa viidellä prosentilla.

Yllä esitetystä listassa joustojen vaikutus etenee ketjussa, mutta mallilaskelmissa muutokset tapahtuvat samanaikaisesti. Joustot ovat siis sisäänrakennettuja. Silti kausaliteetti on samanlainen kuin yllä. Hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentaminen energiasektorilla kohottaa verollista sähkön ja lämmön hintaa. Tästä aiheutuu tuotannon rakennemuutos sekä tuotannon yksikkökustannusten muutos. Näistä taas seuraa kokonaistuotannon muutos.

Oletetaan, että hiilidioksidipäästöjä tulee alentaa noin 30 %. Oletetaan, että tuo-

tannon jousto on puoli ja rakennemuutosjousto on 0,3.³² Lisäksi oletetaan, että erilaisilla malleilla saadaan erilainen energiantuotannon yksikkökustannusten hiilidioksidipäästökerroinjousto. Oletetaan neljä tapausta:

- a. korkea yksikkökustannusten päästökerroinjousto energiantuotannossa eli jouston itseisarvo on kaksi. Tällöin energiantuotannossa alennetaan yksikköpäästöjä 15 %, josta seuraa sähkön ja lämmön verollisen hinnan nousu 30 %, josta seuraa tuotannon ominaiskulutuksen alentuminen 10 %, josta seuraa tuotannon alentuminen 5 %. Päästöjen alenema on noin 28 %.
- b. keskikorkea yksikkökustannusten päästökerroinjousto eli jouston itseisarvo on yksi. Tällöin energiantuotannossa alennetaan yksikköpäästöjä 20 %, josta seuraa sähkön ja lämmön verollisen hinnan nousu 20 %, josta seuraa tuotannon ominaiskulutuksen aleneminen noin 7 %, josta seuraa tuotannon aleneminen noin 3,5 prosenttia. Päästöjen alenema on noin 28 %
- c. alhainen yksikkökustannusten päästökerroinjousto eli jouston arvo on puoli. Tällöin energiantuotannossa alennetaan yksikköpäästöjä 25 %, josta seuraa sähkön ja lämmön verollisen hinnan nousu 12,5 %, josta seuraa tuotannon ominaiskulutuksen alentuminen noin 4 % ja josta seuraa tuotannon alentuminen noin 2 %. Päästöjen alenema on noin 30 %.
- d. hyvin alhainen yksikkökustannusten päästökerroinjousto eli jouston arvo on 1/4. Tällöin energiantuotannossa alennetaan yksikköpäästöjä 28 %, josta seuraa sähkön ja lämmön verollisen hinnan nousu 7 %, josta seuraa tuotannon ominaiskulutuksen alentuminen noin 2,1 % ja josta seuraa tuotannon alentuminen noin prosentilla. Päästöjen alenema on noin 30 %.

Esimerkissä on pidetty ennallaan sekä rakennemuutosjousto että tuotannon jousto. Mallilaskelmissa nämä tietysti riippuvat jossakin määrin siitä, kuinka paljon sähkön ja lämmön verollinen hinta muuttuu energiasektorilla vaiheessa yksi ja kuinka paljon ominaiskulutus muuttuu vaiheessa kaksi. Useimmiten yllä mainittujen joustojen arvo kasvaa, kun hiilidioksidipäästörajoite kiristyy. Tämä johtuu sopeutumisessa vallitsevista vähenevistä tuotoista.

Yksikkökustannusten hiilidioksidipäästökerroinjousto energiantuotannossa vaikuttaa kolmeen seikkaan. Ensinnäkin se vaikuttaa kokonaistaloudelliseen kustannukseen. Alhaisempi yksikkötuotantokustannusten hiilidioksidipäästökerroinjousto alentaa kokonaistaloudellista kustannusta eli tuotannon muutosta. Toiseksi sen arvo vaikuttaa siihen, kuinka hiilidioksidipäästöjä taloudessa vähennetään. Mikäli energiantuotanto on mallitettu jäykäksi hiilidioksidipäästöjen vähenemä toteutuu pitkälti tuotannon ominaiskulutuksen ja tuotannon tason muutoksilla (ml. kulutuksen vastaavat muutokset). Yllä esitetyssä esimerkissä jäykän energiantuotannon tapauksessa (jouston itseisarvo on kaksi) noin puolet päästöjen vähentymisestä tapahtuu muualla kuin energiantuotannossa. Joustavan energiantuotannon tapauksessa (jouston itseisarvo on puoli) valtaosa (noin 5/6) päästöjen alentumisesta tapahtuu ener-

³² Kyseessä olevat joustot on arvioitu epäsuorasti suomalaisten mallilaskelmien tulosten avulla.

giantuotannossa sähkön ja lämmön tuotannon hiilidioksidin yksikköpäästöjen alentumisella. Kolmanneksi yksikkökustannusten hiilidioksidipäästökerroin jousto vaikuttaa siihen, kuinka paljon sähkön ja lämmön verollinen hinta muuttuu. Hinnan muutos siis johtuu kahdesta tekijästä: energiantuotantojärjestelmän reaalisista muutoksista, kuten polttoainerakenteen muutoksen aiheuttamasta tuotannon yksikkökustannusten muutoksesta, sekä tarvittavasta hiilidioksidiverosta. Jäykempi energiantuotanto, kun muut tekijät pidetään ennallaan, kohottaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa (luku 3.1).

Top-down -mallien ja bottom-up -mallien ero; esimerkki erillisen sähköntuotannon mallituksesta

Miten energiatuotanto mallitetaan kokonaistaloudellisissa malleissa ja kuinka se mallitetaan energiajärjestelmämalleissa? Kuviossa 5.1 on esitetty tyypillinen taloustieteellisissä malleissa käytetty tuotantorakenne. Esimerkki koskee erillistä sähköntuotantoa siis tavanomaista lauhdevoimaa. Kuvioon 5.1 on piirretty yksi sähköisokvantti eli kyseisellä isokvantilla tuotetaan sähköä tietty määrä vaikkapa yksi terawattitunti. Sähköä voidaan tuottaa sekä kivihiilellä että maakaasulla.³³ Maakaasun markkinahinnalla noin 600 markkaa 1000 kuutiota kohden ja kivihiilen markkinahinnalla noin 200 markkaa tonnia kohden maakaasun hiilidioksidipäästöt maksavat melkein neljä kertaa enemmän kuin kivihiilen hiilidioksidipäästöjä. Vastaavasti markkinahinnoilla energiasisällön eli terajoulen hinta on kivihiilellä vajaat 8 markkaa ja maakaasulla noin 16,5 markkaa. Maakaasu on siis polttoaineen energiayksikköä kohden on yli 100 % kalliimpaa kuin kivihiili. Maakaasun korkeampaa hintaa erillisessä sähköntuotannossa kompensoi ensinnäkin se seikka, että pääomakustannukset sähkötehoyksikköä kohden ovat kivihiilellä noin 1,7-kertaiset maakaasuun verrattuna. Toiseksi maakaasuvoimaloissa hyötysuhde lähestyy 60 %, kun se on kivihiileen perustuvissa uusimmissa voimaloissa on noin 45 %. Kolmanneksi tietyt ympäristöhaitat ovat edullisemmin torjuttavissa maakaasukombivoimaloissa kuin kivihiiivoimaloissa.

Useimmiten, kun käytetään polttoaineiden markkinahintoja, niin pääomakustannuksien ja hyötysuhteen erosta huolimatta, taloustieteen menetelmin laaditussa perustilanteessa käytetään paljon kivihiiiltä ja vähän maakaasua. Perustilanne on pisteen a mukainen kuviossa 5.1. Perustilanne perustuu polttoaineiden suhteellisiin hintoihin, joita kuvaa kuviossa 5.1 tiheällä katkoviivalla piirretty (hinta)suora. Kohdassa a hintakuvaaja tangeeraa sähköntuotannon isokvanttia eli vallitsevilla hinnoilla kyseisen sähkömäärän tuottamisen kustannukset minimoituvat.

³³ Kyseessä on yksinkertaistus, koska yleensä kaasu ja kivihiili on laskettu yhteen terajouleissa eli kuviossa 5.1 on terajouleisokvantti. Ylemmällä tuotannon tasolla yhdistetään pääomaa ja terajouleisokvantteja, jolloin saadaan sähköisokvantteja. Tällöin hiilidioksidivero kohottaa terajoulepaketin hintaa, jolloin terajouleja korvataan pääomalla eli pääoman käyttö lisääntyy. Näin ei tapahdu todellisuudessa, kuten insinööritietämykseen perustuvan energiasektorimallin esittelyn yhteydessä myöhemmin tässä raportissa todetaan. Tämän raportin oleellinen sanoma energiantuotannon mallituksesta ei muutu, vaikka kuviossa 5.1 sähköisokvantin tilalle kuvitellaan terajouleisokvantti.

kansainvälisestä kirjallisuudesta.³⁴ Korvattavuusparametrin arvo on usein varsin pieni, esimerkiksi kivihiilen ja maakaasun välillä se voi olla 1,2 tai 1,5. Kyseinen parametrin arvo merkitsee sitä, että kuviossa 5.1 sähköisokvantti on varsin kupera eli tarvitaan varsin suuria suhteellisten hintojen muutoksia, jotta panosten käyttömäärät merkittävästi muuttuisivat.

Perustilanne (perusskenaarion tilanne) siis pisteen a mukainen tilanne kuviossa 5.1 ilmaisee oletuksen mukaan vuoden 2010 erillisen sähköntuotannon tilanteen. **Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen tilanteessa parametrit sekä korvattavuusparametri että osuusparametri pidetään ennallaan ja polttoaineiden suhteellista hintaa muutetaan esimerkiksi hiilidioksidiverolla.** Tällöin sähkön tuotannon yksikköpäästöt alenevat, koska kivihiiltä korvataan maakaasulla. Yksikköpäästöjen alentaminen ei ole kovin tehokasta, koska kuten yllä jo esitettiin, korvattavuusparametrin arvo on alhainen. Koska energiapanokset ovat hiilidioksidiveron vuoksi kalliimpia, erillisen sähköntuotannon yksikkötuotantokustannukset kohoavat. Lopputuloksena on, että yksikkökustannukset kasvavat suhteessa paljon ja yksikköpäästöt alenevat suhteessa vähän, jolloin yksikköpäästöjen kustannusjouston itseisarvo on suuri.

Insinöörیتیöön perustuvassa energiajärjestelmämallissa, kuten VTT:n käyttämässä EFOM mallissa sähköä voidaan tuottaa sekä maakaasulla että kivihieillä. Insinöörimallissa ei ole varsinaista sähköisokvanttia tai terajouleisokvantteja, vaan joukko kivihieilleen perustuvia tavanomaisia lauhdevoimaloita ja joukko maakaasuun perustuvia tavanomaisia lauhdevoimaloita. Tässä tapauksessa joukko voimaloita tarkoittaa sekä nykyisiä voimaloita että tulevia voimaloita siis potentiaalisia voimaloita. Toisin sanoen mallissa ratkaistaan kulloisillakin hinnoilla millaisella voimalalla vanhentuva voimala korvataan ja millaisiin voimaloihin erillisen sähkön tuotannon kapasiteetin lisäys perustuu.

Koska energiajärjestelmää kuvaavat mallit useimmiten perustuvat lineaariseen ohjelmointiin, tuloksena on tyypillisesti se, että tietyillä polttoaineiden hinnoilla kaikki korvaavat voimalat ja useimmiten, kun hinnat eivät ole radikaalisti muuttuneet, myös olemassa olevat voimalat ovat samaa tyyppiä. Esimerkiksi kaikki Suomen tavanomaiset lauhdevoimalat ovat käytännössä kivihieivoimaloita ja perusskenaariossa vanhentuvat kivihieivoimalat korvataan uusilla kivihieivoimaloilla. Mikäli tarvitaan erillisen sähköntuotantokapasiteetin lisäystä nämäkin voimalat ovat kivihieivoimaloita. Vuoteen 2010 mennessä erillisen sähköntuotannon kapasiteettia poistuu varsin paljon ja perusskenaariossa (sama kuin perustilanne a kuviossa 5.1) ratkaistaan millä voimalatyypeillä korvaaminen kustannustehokkaasti tapahtuu.

Hiilidioksidivero vaikuttaa insinöörimalleissa ensisijaisesti siihen millaisilla voimalatyypeillä vanhentuvaa kapasiteettia korvataan ja millaisilla voimaloilla tuotetaan lisäkapasiteetin sähkö. Mikäli hiilidioksidivero muuttaa maakaasun kivihieiltä

³⁴ Tämän jälkeen tarvitaan osuusparametrin arvo, jolla toteutuu havaittu panosten käyttösuhde tässä esimerkkitapauksessa siis perustilanteessa a. Osuusparametrin arvo lasketaan useimmiten automaattisesti.

kilpailukykyisemmäksi erillisessä sähkön tuotannossa, mallissa tapahtuu ensinnäkin se, että kaikki käytöstä poistuvat kivihiiivoimalat korvataan maakaasuvoimaloilla ja toiseksi lisäkapasiteetti perustuu maakaasuun. Tällöin kaksi tekijää vaikuttaa siihen, kuinka kallista hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen voimalarakennetta muuttamalla on. Ensinnäkin tietysti se, kuinka paljon kalliimpaa maakaasulla tuotettu sähkö on verrattuna kivihiiellä tuotettuun sähköön.³⁵ Toiseksi kustannukset riippuvat olemassa olevien kivihiiivoimaloiden ikäjakaumasta. Mikäli nyt käytössä olevat voimalat olisivat niin uusia, että ne olisivat vielä käytössä vuonna 2010 tämä tekijä lisäisi korvaamisen kustannuksia. Suomen tapauksessa kustannuksia alentaa se seikka, että ennen vuotta 2012 suuri osa kivihiiivoimaloista pitää perusskenaariossa joka tapauksessa korvata uusilla voimaloilla.

Joissakin energiajärjestelmämalleissa (kuten EFOM) oletetaan taloudenpitäjien tietävän jo nyt, että erillistä sähköntuotantoa koskee vuonna 2010 hiilidioksidipäästörajoite. Tällöin hiilen korvaaminen maakaasulla aloitetaan silloin, kun vanhoja hiilikäyttöisiä voimaloita poistuu käytöstä. Insinöörimallissa ei oleteta, että hiilidioksidipäästörajoite tulee yllätyksenä vuonna 2010. Mikäli mallissa tehtäisiin tällainen oletus vuonna 2010 erillisen sähköntuotannon voimalat olisivat kaikki kivihiiivoimaloita, jolloin niiden korvaaminen, nehan olisivat tällöin hyvin uusia vuonna 2010, maakaasuvoimaloilla olisi hyvin kallista. Tällöin tulos voisi hyvinkin olla samanlainen kuin kokonaistaloudellisissa malleissa, joissa kivihiiilen korvaaminen maakaasulla on vaikeaa ja siksi tästä aiheutuvat kustannuksetkin ovat korkeat.

Vuoteen 2010 mennessä hiilidioksidiveron tai muun ohjauskeinoon, joka johtaa kaasun käyttöön siirtymisen voi siis periaatteessa olla hyvin huomattava. Mikäli vuonna 2010 tarvitaan 20 TWh erillisellä sähkön tuotannolla tuotettua sähköä, pelkällä kivihiiellä tuotettuna tästä aiheutuisi noin 16 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt ja pelkällä maakaasulla tuotettuna noin 7 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt. Erillisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen vähenemä prosenteissa olisi siis melkein 60 %.

Korkea hiilidioksidivero kokonaistaloudellisissa malleissa perustuu siis osittain siihen, että kivihiiilen korvaaminen maakaasulla on erillisessä sähköntuotannossa vaikeaa, jolloin tarvitaan korkea hiilidioksidivero, jotta maakaasulla voitaisiin vähentää erillisen sähköntuotannon päästöjä. Korkeasta hiilidioksidiverosta huolimatta erillisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt eivät juurikaan alene, jolloin, kuten edellä jo todettiin, taloudessa vähennetään korkean sähkön ja lämmön hinnan vuoksi (koska hiilidioksidivero on korkea) sähkön ja lämmön käyttöä. Sähkön kor-

³⁵ Luvussa 2.1 mainittu erillisen sähköntuotannon energiajärjestelmän sopeutumisesta aiheutuva lisäkustannus eli hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus on maakaasulla noin 70 miljoonaa markkaa tuotettua terawattituntia kohden ja kivihiiellä noin 160 miljoonaa markkaa tuotettua terawattituntia kohden, kun hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannus on 200 markkaa hiilidioksidipäästötonnia kohden. Kivihiiilen korvaaminen maakaasulla johtuu juuri rajakustannuskomponentista, koska sähköntuotannon rajakustannuksiin lisätään myös hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisesta aiheutuva rajakustannus.

kea hinta tuottaa myös merkittävän tuotannon rakennemuutoksen ja lopulta myös tuotannon tason muutoksen.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Energiajärjestelmää kuvaavalla mallilla voidaan laskea hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen suorat eli välittömät kustannukset. Kyseiset kustannukset siirtyvät muualle talouteen sähkön ja lämmön hinnankorotuksina. Kyseessä on siirtyvien kustannusten alin arvio, kun ensiksi energiajärjestelmän tuotantokustannuksia on korjattu muualta taloudesta tulleella palautteella.

Välittömät kustannukset energiantuotannossa eivät välttämättä suoraan ilmaise sähkön ja lämmön hinnan muutoksia. Markkinahinnan muutoksen laskeminen edellyttää tietoa hinnoittelusäännöstä (kokonaiskustannukset vaiko rajakustannukset). Periaatteessa sähkön tuotannon ja kysynnän tasapainon määrittymisen muuttuminen yhä markkinaehtoisemmaksi merkitsee sähkön hinnoittelun siirtymistä rajakustannushinnoittelun suuntaan. Tällöin sähkön ja lämmön kustannukset kuluttajille ko- hoavat huomattavasti enemmän kuin mitä välittömiin kustannuksiin perustuva las- kelma tuottaa tulokseksi. Näin tapahtuu lyhyellä aikavälillä. Pidemmällä aikavälillä voi toteutua sellainen tilanne, jossa sähkön hinta määräytyy kansainvälisillä säh- kömarkkinoilla ja Suomea koskeva hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa siihen, kuin- ka kilpailukykyistä sähköntuotanto Suomessa on.

Hiilidioksidipäästörajoitteen taloudellisten vaikutusten arvioinnissa onkin tärkeää yrittää selvittää niin hyvin kuin mahdollista sähkön markkinahinnan ja Suomea kos- kevan hiilidioksidipäästörajoitteen väliset yhteydet. Välittömiin kustannuksiin ja rajakustannuksiin vaikuttaa useimmissa malleissa merkittävästi hiilidioksidipääs- töjen taso perusskenaariossa, joten tältä osin on luontevaa rajoiteskenaarioiden kokonaistaloudellisten vaikutusten yhteydessä suorittaa herkkyystarkastelua lähtö- tilanteen hiilidioksidipäästötason ja siihen vaikuttavien muuttujien osalta.

Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen kustannuksia ja rajakustannuksia mita- taan kahdella kokonaistaloudellisella mittarilla. Toinen on talouden makrosuurei- siin kuten bruttokansantuotteeseen perustuva mittari ja toinen on kuluttajien hyödyn muutokseen perustuva mittari. Vaikka käytettävässä mallissa ei olisikaan oikeata tavoitefunktioita, hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannus lasketaan usein epäsuorasti varioimalla hiilidioksidipäästöveroä ja tätä kautta hiilidioksidipäästöjä. Tällöin tavoitefunktion muutos ilmaisee hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustan- nuksen.

Bruttokansantuotteen muutoksella, kulutuksen muutoksella ja kuluttajan hyödyn arvon muutoksella lasketut kokonaistaloudelliset rajakustannukset eroavat samassa- kin mallissa, koska hyödyn muutos ja bruttokansantuotteen muutos eivät ole yksin- kertaisessa suhteessa toisiinsa. Periaatteessa vapaa-ajan huomioon ottaminen alen- tää hiilidioksidiveroa ja kokonaistaloudellista rajakustannusta.

Bruttokansantuotteen muutokseen perustuva kustannusanalyysi on epätäydellistä, koska bruttokansantuote ei varsinaisesti ole hyvinvointimittari. Taloudellisen toi- minnan tavoite on kulutus, jolloin kulutuksen tasoa ja muutosta voitaneen pitää pa- rempana hyvinvointi- ja hyvinvoinnin muutoksen mittarina kuin bruttokansantuotet-

ta. Malleissa, joissa ei ole vapaa-aikaa, kulutuksen muutos sisältää periaatteessa myös työllisyyden muutoksesta aiheutuvan hyvinvointitappion. Bruttokansantuote sisältää mm. investoinnit, joten investointien lisäys voidaan mahdollisesti virheellisesti tulkita hyvinvointia lisääväksi tekijäksi. Investointien aleneminen taas alentaa bruttokansantuotetta, mutta periaatteessa tarvittavien investointien väheneminen on kansalaisten kannalta hyvä asia, koska kulutukseen jää enemmän voimavaroja.

Bruttokansantuotteeseen perustuva mittari ei anna kansalaisten vapaa-ajalle mitään arvoa ja on myös siksi epätäydellinen hyvinvoinnin muutoksen mittari. Kulutuksen muutoksen käytössä hyvinvoinnin muutoksen mittarina on osittain samoja ongelmia. Vapaa-ajan huomioon ottaminen merkitsee sitä, että työn tuottavuuden muutos täytyy myös ottaa laskelmissa huomioon.

Hiilidioksidivero sekoitetaan varsin usein kokonaistaloudelliseen rajakustannukseen eli hiilidioksidiveroa pidetään kokonaistaloudellisena rajakustannuksena. Hiilidioksidivero mittaa viimeisen hiilidioksidipäästöyksikön kokonaistaloudellista rajakustannusta vain erikoistapauksessa.

Periaatteessa voidaan erottaa kaksi hiilidioksidiveroa. Optimaalinen hiilidioksidivero on vero, jonka asettamisessa on otettu huomioon muut verot ja mahdolliset talouden epätäydellisyydet. Todennäköisesti optimihiilidioksidivero ei määräydy pelkästään polttoaineen hiilipitoisuuden perusteella. Vaikka hiilidioksidivero ei määräydy suoraan polttoaineen hiilipitoisuuden mukaan, talouden hiilidioksidipäästörajoite eli hiilidioksidipäästörajoitteen varjohinta kuitenkin vaikuttaa ko. veron määräytymiseen.

Toinen hiilidioksidivero on mallilaskelmissa käytetty hiilidioksidivero, joka määräytyy polttoaineen hiilipitoisuuden mukaan. Kyseisellä hiilidioksidiverolla taloudessa toteutetaan hiilidioksidipäästörajoite eikä pyritä optimiverotukseen.

Koska hiilidioksidivero, hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellinen rajakustannus ja kokonaistaloudellinen kustannus ovat eri asioita, jokin tekijä voi hyvinkin muuttaa hiilidioksidiveroa eri suuntaan kuin mihin kokonaistaloudellinen kustannus muuttuu. On tekijöitä, jotka alentavat sekä tarvittavaa hiilidioksidiveroa että kokonaistaloudellista kustannusta kuten joustavampi energiantuotanto. Toisaalta on tekijöitä, jotka alentavat tarvittavaa hiilidioksidiveroa, mutta kohottavat kokonaistaloudellista kustannusta ja päinvastoin. Kun tarkastellaan mallilaskelmien tuloksia, onkin kiinnitettävä huomiota kumpaankin tekijään.

Hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttava hiilidioksidivero voidaan laskea sekä sektorimalleilla että kokonaistaloudellisilla malleilla. Koska kokonaistaloudellisissa malleissa on enemmän mahdollisuuksia alentaa hiilidioksidipäästöjä, niiden mukaan laskettujen hiilidioksidiverojen tulisi olla alhaisempia kuin energiajärjestelmämallilla laskettujen hiilidioksidiverojen.

Kokonaistaloudellisten mallien korkeat hiilidioksidiverot verrattuna energiajärjestelmämallien vastaaviin veroihin johtuvat siitä, että kokonaistaloudellisissa malleissa energiantuotanto on mallitettu jäykemmäksi kuin energiajärjestelmämalleissa. Energiantuotannon joustavuus vaikuttaa merkittävästi kokonaistaloudelliseen

kustannukseen ja siihen, kuinka hiilidioksidipäästöjä taloudessa vähennetään. Mallien joustavuuserolle löytyy järkeenkäyvä selitys ja tarvittaessa kokonaistaloudellisten mallien energiantuotannon toimintaa voidaan tuoda lähemmäksi energiajärjestelmämallien toimintaa muuttamalla korvattavuusparametrien arvoja.

Ilmastopoliitiikan kannalta esimerkiksi hiilidioksidiveron poliittinen hyväksyttävyys voi riippua siitä, mikä on kasvihuonekaasupäästötavoitteen toteuttavan hiilidioksidiveron taso. Siksi taloudessa hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttavan hiilidioksidiveron taso ja sen käytön kokonaistaloudelliset vaikutukset olisi kyettävä arvioimaan mahdollisimman luetettavasti.

Lähteet

- Alatalo J (1998). Hiilidioksidiveron kaksoishyötyvaikutus. ETLA sarja B.141. Helsinki.
- Bernstein P, Montgomery D, Rutherford T & Yang G-F (1999). Effects of Restrictions on International Permit Trading: The MS-MRT model, *The Energy Journal* (The Costs of the Kyoto Protocol: a multi-model evaluation), Special Issue 1999.
- Bovenberg A & Goulder L (1994). Optimal environmental taxation in presence of other taxes: general equilibrium analyses. NBER Working Paper Series. Working paper 4897. Cambridge, United States.
- Finnenergy (1997). Sähkömarkkinat 2010; Sähkön käytön ja hankinnan kehitysnäkymiä. Tutkimusraportti 3. Helsinki.
- Finnenergy (2000): Sähkömarkkinat 2015. Sähkön käytön ja hankinnan kehitysnäkymiä. Tutkimusraportti 9. Helsinki.
- Fullerton D & Metcalf G (1997). Environmental controls, scarcity rents, and pre-existing distortions. NBER Working Paper Series, Working Paper 6091. Cambridge, United States.
- Goulder H (1994). Environmental taxation and the double dividend; a reader's guide. NBER Working Paper Series, Working Paper 4896. Cambridge, United States.
- Helsingin Energia (1999). Ympäristöraportti 98. Helsinki.
- Honkatukia J (1998). Arvioita ilmastotavoitteen kokonaistaloudellisista vaikutuksista Suomessa. Keskusteluaiheita 641, ETLA. Helsinki.
- Honkatukia J (1999). Kioton mekanismien käytön rajoittamisen vaikutukset Suomeen. Keskusteluaiheita 677, ETLA. Helsinki.
- Honkatukia J (2000). The effects of abatement policies on the Finnish economy. Teoksessa *Climate change - socioeconomic dimensions and consequences of mitigation measures*. Toimittanut Pekka Pirilä. Edita. Helsinki.
- Håkonsen L & Mathiesen L (1997). CO₂-stabilisation may be a no-regret policy. *Environment and Resource Economy* 9/2, 171-198.
- IPPC (1994) *Climate Change*. Cambridge University Press.
- Johansson P-E (1987). *The economic theory and measurement of environmental benefits*. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain.
- KTM (1995): *Biopolttoaineiden kilpailukyky sähkön ja lämmön tuotannossa*. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 99/1995. Helsinki.
- Layard P.R.G & Walters A.A (1978). *Microeconomic theory*. McGraw-Hill Book Company UK.
- Lehtilä A & Pirilä P (1993). Suomen energiaperäisten hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ja verot sen ohjauksena. VTT julkaisuja 785. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo.
- Lehtilä A (1995). Uusien energiatekniikoiden ja päästövähennyksen potentiaali Suomessa. VTT tiedotteita 1967. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo.
- Lehtilä A & Tuhkanen S (1999). Integrated cost-effectiveness analysis of green-

- house gas emission abatement. The case of Finland. VTT publications 374. Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- Parry I.W.H, Williams R.C & Goulder L.H (1997). When can carbon abatement policies increase welfare? The fundamental role of distorted factor markets. NBER Working Paper Series, Working Paper 5967. Cambridge, United States.
- Pohjola J (1997). CO₂-päästöjen vähentämisen kansantaloudelliset vaikutukset. Keskusteluaiheita 624, ETLA, Helsinki.
- Sähkö ja kaukolämpö 1998. Adato energia Oy. Helsinki.
- Sinko P (1999). Taxation, employment and the environment - general equilibrium analysis with unionised labor market. Government Institute for Economic Research, Research Reports 54. Helsinki.
- Mäenpää I & Tervo H (1994). Suomen energiankulutuksen ja ilmapäästöjen rakenteet vuonna 1990, Panos-tuotosanalyysi. Oulun yliopisto, Taloustieteen osasto, taloustieteellisiä keskustelualoitteita 15/1994.
- Weyant P (1993). Cost of reducing global carbon emissions. *Journal of Economic Perspectives* 7: 27-46.
- Weyant P & Hill J (1999). Introduction and overview. *The Energy Journal* (The Costs of the Kyoto Protocol: a multi-model evaluation), Special Issue 1999.

Liite I. Hiilidioksidipäästökiintiöiden jako vuoden 1990 hiilidioksidipäästöjen mukaan

Lähteenä Mäenpää I & Tervo H: Suomen energiankulutuksen ja ilmapäästöjen rakenteet vuonna 1990, Panos-tuotosanalyysi. Oulun yliopisto, Taloustieteen osasto, taloustieteellisiä keskustelualoitteita 15/1994. Hiilidioksidin päästökaupasta Kalle Määttä: CO₂-päästökauppa. Selvitys kansallisen päästökaupan käyttöönoton edellytyksistä sekä siinä huomioitavista seikoista. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 6/2000.

Taulukossa L1 esitetään toimialakohtainen hiilidioksidipäästökiintiöiden jako, joka perustuu tilanteeseen, jossa teollisuuden voimalat on toimialaistettu eli viety vastaaville toimialoille.

Taulukko L1. Hiilidioksidipäästökiintiöiden jako vuoden 1990 hiilidioksidipäästöjen perusteella. Lähde Mäenpää & Tervo 1994.

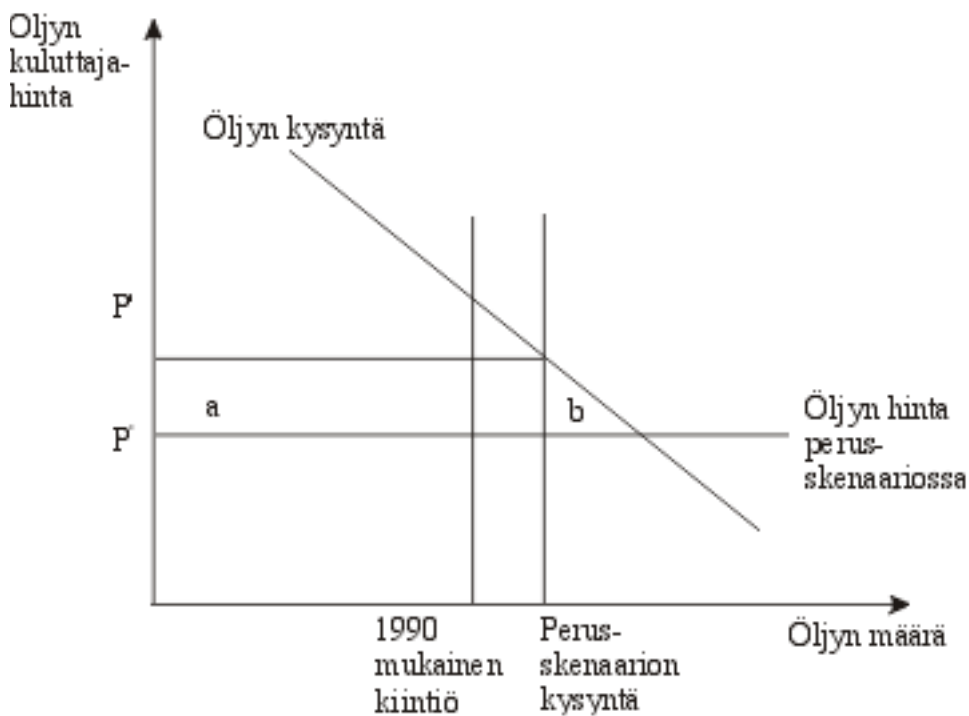
Toimiala/sektori	Hiilidioksidipäästökiintiö milj. tonnia	Osuus (%) koko päästöistä
Teollisuus	18,9	32,7
– massa ja paperiteollisuus	5,5	9,5
– kemian teollisuus	1,6	2,8
– öljynjalostus	2,2	3,8
– metallien valmistus	6,3	3,8
– savi, lasi ja kiviteollisuus	1,4	2,4
– muu teollisuus	2,0	3,5
Kuljetus	6,2	10,7
Asuminen	2,8	4,8
Kotitalouksien liikenne	6	10,4
Yhdyskuntien sähkön ja lämmön tuotanto	12,6	21,8
Erillinen sähkön tuotanto	3,2	5,5
Muut toimialat/sektorit	8,1	14,0
– maatalous	2	3,5
– maa- ja vesirakennus	1,5	2,6
– julkinen toiminta	1	1,7
– muut	3,6	6,2
Yhteensä	57,8	100,0

Käytännössä polttonesteiden kiintiöitä ei välttämättä jaeta yllä esitetyn kiintiöiden mukaisesti. Tällöin ainakin liikenteen, asumisen ja kotitalouksien liikenteen hiilidioksidipäästöt siirtyvät esimerkiksi öljynjalostuksen kiintiöön. Myös muilta toimialoilta, kuten maataloudesta siirtyy polttoaineiden hiilidioksidipäästöjä tällä tavoin öljynjalostukseen. Öljynjalostuksen kiintiö kasvaisi ainakin 17,3 miljoonaan hiilidioksiditonniin eli noin 30 % kaikista hiilidioksidipäästöistä. Mikäli kaikki öljytuotteiden hiilidioksidipäästöt viedään öljynjalostukselle ko. hiilidioksi-

päästökaantiö on noin 26 miljoonaa tonnia eli noin 44,5 % koko talouden hiilidioksidipäästöistä. Laskelmien mukaan hiilidioksidipäästörajoitteen varjohinta on noin 200 markkaa, jolloin laskennallisesti öljynjalostuksen hiilidioksidipäästökaantiön arvo olisi noin 5,2 miljardia markkaa.

Vuoden 1990 tilanteen mukaan jaetut hiilidioksidipäästökaantiöt merkitsevät sitä, että erillisen sähköntuotannon kiintiö ja näin ollen myös hiilidioksidipäästöt olisivat hyvin alhaiset. Sattumalta vuoden 1990 hiilidioksidipäästötilanne tuottaa suhteellisen tehokkaan lopputuloksen hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa, koska VTT:n laskelmien mukaan hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen on kaikkein edullisinta erillisessä sähköntuotannossa ja yllä esitetty kiintiöiden jako tuottaa tämän suuntaisen tuloksen. Vuoden 1990 mukaisella erillisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästökaantiöllä voidaan tuottaa kivihiilellä sähköä vain noin neljä terawattituntia ja maakaasulla noin yhdeksän terawattituntia.

Kuviossa L1 esitetään kuinka hiilidioksidipäästökaantiö vaikuttaa taloudessa. Kysessä on osittainen tarkastelu, jossa ei oteta huomioon kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Kuviossa L1 käytetään esimerkkinä öljyä, mutta tarkasteltavana voisi olla myös jokin muukin fossiilinen polttoaine, kuten kivihiili tai maakaasu.



Kuvio L1. Hiilidioksidipäästökaantiöiden jaon vaikutus taloudessa. Esimerkkinä öljyn kulutuksen kiintiöinti.

Kuviosta L1 ilmenee, että perusskenaarion markkinahinnalla öljyn kysyntä on suu-

rempi kuin mikä on vuoden 1990 perusteella jaetun hiilidioksidipäästötilanteen mukainen öljyn kulutus. Öljyn kulutuksen kasvu vuodesta 1990 vuoteen 2010 voi olla esimerkiksi 20 %, jolloin kiintiöinti merkitsee sitä, että öljyn kulutusta on vähennettävä noin 16,7 %. Kun öljyn hiilidioksidipäästökaantiö jaetaan esimerkiksi öljyn maahantuojille, öljyn kysyntä ylittää tarjonnan ja öljyn hinta nousee tasolle P' . Mikäli öljyn kysynnän hintajousto on puoli, 16,7 % määrän alennus kohottaa öljyn hintaa 8,4 % perustilanteeseen verrattuna.

Kuviossa L1 suorakaiteen a mukainen pinta-ala kuvaa tulonsiirtoa öljyn kuluttajilta öljykiintiöiden omistajille. Kyseisen tulonsiirron määrä on kiintiön koko kertaa kiintiöinnin aiheuttama öljyn hinnan nousu. Tulonsiirto kohdistuu kiintiöiden omistajille ja verottajalle siinä määrin, kun kiintiöiden omistajien voittoja verotetaan. Pinta-ala b, siis kolmion mukainen pinta-ala, kuvaa likimääräisesti kiintiöinnistä aiheutuvaa hyvinvointitappiota. Kyseessä on kiintiöinnin aiheuttama niin sanotun kuluttajan ylijäämän muutos.

Öljyä verottamalla voidaan myös saavuttaa hinta P' ja kiintiön mukainen öljyn kulutus. Tällöin valtion verotulot ovat suorakaiteen a suuruiset ja ko. verojen tuotolla voidaan alentaa muiden panosten, kuten työn verotusta. Kierrättämällä talouteen takaisin suorakaiteen a mukaiset verotulot työn verotusta alentamalla öljyn verotuksen aiheuttama reaali-palkkavaikutus suurin piirtein kumoutuu.

Periaatteessa öljykiintiöt voidaan jakaa myös suoraan öljyn käyttäjille. Tällöin kuvion L1 kysyntäkäyrän taustalla oleville taloudentoimijoille jaetaan kullekin oma öljykiintiönsä niin, että jaettujen kiintiöiden summa on sama kuin tavoitekiintiö. Jokainen kiintiön haltija saa ostaa kiintiönsä vanhaan hintaan eli hintaan P^0 . Tällöin kiintiöinti ei aiheuta tulonsiirtoa taloudenpitäjien välillä eli alueen a mukaista tulonsiirtoa ei suoriteta. Sen sijaan kiintiöinnistä aiheutuu edelleenkin hyvinvointitappiota kuten edellisessä tapauksessa eli kolmion b verran.

Yksi mahdollinen tapa jakaa hiilidioksidipäästökaantiöt on jakaa ne päästöhistorian perusteella, esimerkiksi vuoden 1990 tietojen perusteella. Suomessa tällainen menettely tuottaisi mielenkiintoisia tuloksia, koska vuonna 1990 suurin osa teollisuuden yhteistuotantovoimaloista kuului ko. teollisuuteen eli esimerkiksi puunjalostusteollisuuden omien voimaloiden hiilidioksidipäästöt kuuluivat hallinnollisesti ko. metsäyhtiölle. Vuoden 1990 jälkeen voimalaitoksia on yhtiöitetty ja myyty energiayhtiöille. Joissakin tapauksissa koko voimalaitos on myyty ja joissakin tapauksissa vain sähköntuotanto on yhtiöitetty ja myyty. Tällöin itse asiassa metsäteollisuudelta on siirtynyt hiilidioksidipäästöjä energiantuotannon yrityksille ja mikäli hiilidioksidipäästöt perustuvat vuoden 1990 päästöihin, energiayhtiöiden on ostettava metsäteollisuusyrityksiltä yhtiöitettyjen voimalaitosten hiilidioksidipäästökaantiöt. Kiintiöinti koskee tietysti vain fossiilisten polttoaineiden hiilidioksidipäästöjä.

Ilmaiseksi jaetut päästökaantiöt merkitsevät jälkimmäistä menettelyä, jossa jokainen saa hiilidioksidipäästökaantiönsä eli öljynsä perusskenaarion mukaiseen hintaan eikä joudu maksamaan ylimääräistä. Sen sijaan ensimmäisessä tapauksessa, vaikka

hiilidioksidipäästökiintiöt siis öljykiintiöt jaetaan öljyn maahantuojille ilmaiseksi, ne eivät ole ilmaisia öljyn loppukuluttajille.

Hiilidioksidipäästökiintiöiden vaikutuksen analysointia monimutkaistaa vielä se, että käyttäjille ilmaiseksi jaettavilla hiilidioksidipäästökiintiöillä voidaan päästökiintiöiden jaon jälkeen käydä kauppaa. Aikaisempien hiilidioksidipäästöjen perusteella (kuten vuoden 1990 tilanteen mukaan) jaettujen hiilidioksidipäästökiintiöiden arvo myöhemmin (kuten vuodesta 2005 eteenpäin) on taloudenpitäjille hyvinkin erilainen. Yllä esitetyssä esimerkissä jokainen voi öljykiintiönsä oston jälkeen joko myydä tai ostaa öljyä.