

VATT-TUTKIMUKSIA  
73  
VATT-RESEARCH REPORTS

Heikki Kemppi  
Adriaan Perrels  
Johanna Pohjola

KASVIHUONEKAASU-  
PÄÄSTÖJEN  
ALENTAMISEN  
TALOUELLISET  
VAIKUTUKSET  
SUOMESSA

Vaiheen 1 loppuraportti

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus  
Government Institute for Economic Research  
Helsinki 2000

ISBN 951-561-355-8

ISSN 0788-5008

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus

Government Institute for Economic Research

Hämeentie 3, 00530 Helsinki, Finland

Email: [heikki.kemppi@vatt.fi](mailto:heikki.kemppi@vatt.fi)  
[adriaan.perrels@vatt.fi](mailto:adriaan.perrels@vatt.fi)  
[johanna.pohjola@metla.fi](mailto:johanna.pohjola@metla.fi)

J-Paino Oy

Helsinki, 2000

KEMPPI, HEIKKI - PERRELS, ADRIAAN - POHJOLA, JOHANNA: KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN ALENTAMISEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET SUOMESSA. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2000, (B, ISSN 0788-5008, No 73). ISBN 951-561-355-8.

**Abstract:** This is the final report of phase 1 of a study to assess the macro-economic cost for Finland of fulfilling the Kyoto Protocol. Special attention is paid to alternative cost representation concepts, dealing inter alia with problems such as GNP base versus welfare base, sector differences, preference shifts, etc. The report explains also different ways to build scenario's. Furthermore, a quick overview of policy instrument effectiveness is given. Finally, an overview and short discussion of cost estimated from other sources is given.

**Key words: instruments, climate policy, assessment**

KEMPPI, HEIKKI - PERRELS, ADRIAAN - POHJOLA, JOHANNA: KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN ALENTAMISEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET SUOMESSA. Helsinki, VATT, Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Government Institute for Economic Research, 2000, (B, ISSN 0788-5008, No 73). ISBN 951-561-355-8.

**Tiivistelmä:** Tässä tutkimuksessa esitetään Kioton ilmastopimuksen Suomen sitoumusten toteuttamisen taloudellisten vaikutusten ns. 1 vaiheen tutkimuksen tuloksia. Ensimmäinen vaiheen, joka alkoi huhtikuussa 1999 ja loppui huhtikuussa 2000, tavoitteita olivat muun muassa: (1) selventää hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisten vaikutusten arvioinnissa käytettäviä kustannuskäsitteitä ja -mittareita. Näitä tuloksia voidaan hyödyntää tutkimuksen toisessa vaiheessa tuotettavien taloudellisten vaikutusten arvioinnissa, (2) tarkastella talouden ja kasvihuone-kaasupäästöjen perusskenaarioita sekä teoreettisesti että käytännön skenaarioiden laadinnan näkökulmista. Näitä tuloksia voidaan hyödyntää perusskenaarion laadinnassa sekä rajoittamisskenaarioiden tulosten tulkinnassa vaiheessa kaksi, (3) selventää ilmastopolitiikan ohjauskeinojen ja toimenpiteiden käyttökelpoisuutta, ohjauskeinojen ja toimenpiteiden välisiä vuorovaikutuksia sekä luoda arviointikehikko eri vaikutusten, kuten kokonaistaloudellisten-, tulonjako ja ympäristövaikutusten arvioimiseksi, sekä (4) luoda linkitys VTT:n käyttämän energiajärjestelmämallin EFOM ja valtiovarainministeriön kehittämän dynaamisen kokonaistaloudellisen mallin KESSU:n välille.

**Asiasanat: ohjauskeinot, ilmastopolitiikka, arviointi**



## VATT ja ilmastopolitiikan kehitys

Ilmastopolitiikasta on tullut pitkälle tulevaisuuteen kestävä teema kansallisessa politiikassa. Ilmastomuutos ja sen torjunta on erittäin monimutkainen haaste, joka vaatii uusia tietoja, ratkaisuja ja sovelluksia monilta tieteellisiltä alueilta. Monimutkaisuus koskee myös ilmastopolitiikan taloustieteellisiä kysymyksiä. Sen takia ilmastomuutos on tullut myös tärkeäksi tutkimusaiheeksi VATT:n toiminta-alueelle. Lisäksi haasteen kansantaloudellisen merkityksen vuoksi ilmastomuutos on otettu yhdeksi avaintemaksi VATT:n tutkimusstrategiassa.

Ilmastomuutoksen talouteen liittyvät tutkimusongelmat koskevat monia eri osia taloustieteessä. Siis, vaikka ilmaston muutos on luokiteltu VATT:n tutkimusstrategiassa otsikon '*globaalinen kehitys*' alle, se koskee myös muita aiheita strategiamatriisissa, kuten esimerkiksi kestävä kehitys, talouden rakenteen muutokset, verokilpailu ja EU-integraatio. Lisäksi, ilmastomuutokseen liittyvien taloudellisten kysymysten analysointi edellyttää omaa spesifistä tietoa ympäristöstä ja energiataloudesta. Yksi VATT:n neljästä tutkimusalueesta on nimeltään *Ympäristö ja infrastruktuurit*. Ilmastopolitiikan tutkimus sopii luonnollisesti hyvin tähän tutkimusalueeseen. Tutkimusalueelle ollaan nyt luomassa omaa 'energia ja ympäristö'- lohkoa, jossa ilmastomuutokseen liittyvä tutkimus on erittäin keskeinen toiminta. Energia ja ympäristö-lohkolla on mahdollisuus löydä uusia kehitysideoita, jotka ovat hyödyllisiä myös muille VATT:n tutkimusaiheille. Tietysti tämä onkin erityisesti strategian ja strategiamatriisin tarkoitus, luoda lisäarvoa ristihedelmöityksellä. Esimerkiksi kestävä kehitys ja ilmastomuutos ovat hyvin läheisesti yhteen kuuluvia tutkimusaiheita.

Kokemukset Kioto-tutkimuksesta muodostavat hyvän pohjan, jolle voidaan edelleen rakentaa uusia tutkimuksia ja kansantaloudellisia malleja. Esimerkiksi, yhtenä tutkimusprojektina vuosina 2001 ja 2002 on yleisen tasapainomallin kehittäminen niin, että se on sovellettavissa kansainvälisten ilmastomuutoskysymysten tutkimista varten.

Ilmastotutkimuksen monimutkaisuus vaati luonnollisesti monelle taholle ulottuvaa yhteistyötä. Kioto-tutkimus loi laajaa ja hedelmällistä yhteistyötä VTT Energian kanssa. Toivottavasti Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT, toimii yhteistyökumppanina myös uusissa tutkimushankkeissa. Lisäksi, näyttää siltä että yhteydet Suomen ympäristökeskuksen, SYKE:n, kanssa mm. Best Available Technologies projektissa ja tulevassa Suomen Akatemian projektissa 'Ohjauksen mekanismien vaikutus ravinteiden kiertoon ekosysteemeissä ja talousjärjestelmissä' ovat luoneet uutta perustaa tulevaisuuden yhteistyölle. Haluttava seuraava askel olisi kansainvälisen yhteistyöprojektin kehittäminen ilmastopolitiikan alueella.

Reino Hjerpe, Ylijohtaja



## Esipuhe

Vuoden 1999 huhtikuussa kauppaa- ja teollisuusministeriö sekä ympäristöministeriö sopivat Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen kanssa Suomen ilmastoliittisen 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 rajoittamistoimenpiteistä aiheutuvat taloudelliset vaikutukset ja niiden mittaaminen;
- Energia- ja talousskenaarioiden laadintaperiaatteet ja aikaisemmin tehtyjen skenaarioiden tarkastelu;
- Linkityksen luominen energiajärjestelmää kuvaavan VTT:n käyttämän EFOM mallin ja kokonaistaloutta kuvaavan KESSU-mallin välille;
- Ilmastopolitiikan ohjauskeinojen esittely ja ohjauskeinojen arviointimenetelmät.

Tämä tutkimus on yhteenvetoraportti kaikista ym. osa-alueista. Kohdista kaksi ja kolme on julkaistu muistiot. Osa-alueelta yksi on julkaistu raportti; Kemppe ja Pohjola, *Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten arvioinnissa käytetyt käsitteet ja mittarit*, VATT Keskustelualoitteita 238, 2000. Samoin osa-alueelta neljä on julkaistu oma raporttinsa; Perrels, *Selecting Instruments for a Greenhouse gas Reduction Policy in Finland*, VATT Research Reports 69, 2000. Johanna Pollari on tehnyt taustatutkimuksena raportin, *Yhteistoteutuksen merkitys Suomen ilmastopolitiikassa*, VATT Keskustelualoite 240, 2000.

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

Adriaan Perrels

Projektin johtaja





## Yhteenveto

### Johdanto

Teollisuusmaiden muodostama ryhmä (Annex B maat) on sitoutunut Kioto ilmastosopimuksessa alentamaan kasvihuonekaasupäästöjään vuoden 1990 tasolta vuoteen 2012 mennessä. Euroopan yhteisöä koskeva tavoite kahdeksan prosentin alennus kasvihuonehuonepäästöissä tuotti EU:n taakanjakoneuvotteluissa Suomelle tavoitteen, jossa Suomen kasvihuonekaasupäästöt eivät kasva vuoden 1990 tasolta.

Kasvihuonekaasupäästöjen, etenkin hiilidioksidipäästöjen pitäminen vuoden 1990 tasolla edellyttää muutoksia energiantuotannossa, jotka nostavat energian etenkin sähkön ja lämmön hintaa. Energian hinnan nousulla on kokonaistaloudellisia vaikutuksia, jotka pyritään minimoimaan päästöjenrajoittamisskenaariossa eli toimenpideohjelmalla, jolla kasvihuonekaasupäästötavoite saavutetaan.

Eri ohjauskeinot vaikuttavat eri tavoilla päästöihin, päästötavoitteen toteuttamisen kokonaistaloudelliseen kustannukseen, kuten myös kustannustenjakoon taloudenpitäjien välillä. Valtion taloudellisessa tutkimuskeskuksessa tehtävä tutkimus tähtää viime kädessä kokonaistalouden näkökulmasta tehokkaiden ohjauskeinoyhdistelmien löytämiseen.

Tutkimuksen ensimmäisen vaiheen tavoitteena oli ensinnäkin selvittää hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisten vaikutusten arvioinnissa käytettäviä kustannuskäsitteitä ja -mittareita. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää, kun tulkitaan vaiheessa kaksi tehtävien kustannuslaskelmien tuloksia.

Toisena tavoitteena oli tutkia talouden ja kasvihuonekaasupäästöjen perusskenaarioita sekä teoreettisesti että käytännön skenaarioiden laadinnan näkökulmista. Tämän tutkimuksen tuloksia hyödynnetään perusskenaarion laadinnassa.

Kolmantena tavoitteena oli luoda yhteiskäyttö eli linkitys Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen käyttämän energiajärjestelmämallin EFOM:in ja valtiovarainministeriön käyttämän dynaamisen kokonaistaloudellisen mallin KESSU:n välille. Linkityksen yhteydessä tehtiin myös raportti eri mallityyppien käytöstä ja ominaisuuksista hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten analysoinnissa sekä yhteenveto tutkimustuloksista Suomen hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisista vaikutuksista. KESSU-EFOM linkitystä käytetään tutkimuksen vaiheessa kaksi, jossa arvioidaan kasvihuonekaasupäästötavoitteen toteuttavien toimenpideohjelmien kokonaistaloudellisia vaikutuksia.

Neljäntenä tavoitteena oli ohjauskeinojen analysointikehikon laatiminen. Analysointikehikkoon kuuluu ohjauskeinojen ja toimenpiteiden kuvaus, valinta ja ohjauskeinoyhdistelmien arviointi.

## **Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisissa vaikutusarvioissa käytetyt kustannuskäsitteet ja -mittarit**

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 suorilla eli välittömillä kustannuksilla, 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, kuten tietyn yksittäisen 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 sähkön ja lämmön hinnoittelusääntö. Periaatteessa sähkön tuotannon ja kysynnän tasapainon määrittymisen muuttuminen yhä markkinaehtoisemmaksi merkitsee sähkön hinnoittelun siirtymistä rajakustannushinnoittelun suuntaan. Etenkin sähkömarkkinoiden muutos (kansainvälistymisen jatkuminen) vuoteen 2010 mennessä vaikuttaa merkittävästi sähkön hinnoitteluun ja tätä kautta väistämättä myös siihen, kuinka Suomea koskeva hiilidioksidipäästörajoite vaikuttaa sähkön hintaan. Sähkömarkkinoiden toiminnan selvittäminen onkin välttämätöntä hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellisten vaikutusten arvioimiseksi.

Toinen käytetty kustannuskäsite on toimialan tai sektorin kustannukset, mikä voitaisiin tulkita toimiala- tai sektoritason välittömiksi kustannuksiksi. Se voidaan kuitenkin tulkita myös ko. toimialan sopeutumiskustannukseksi kokonaistaloudellisen sopeutumisen yhteydessä. Esimerkiksi toimialan tuotannon muutos perusskenaarioon verrattuna kuvaa toimialan kustannusta. Näin esitettyä toimialakohtaiset kustannukset mittaavat epäsuorasti myös talouden rakennemuutosta, joten niistä on hyötyä päätöksentekijöille. Useimmiten toimialojen kustannuksia esitetään ikään kuin sivutuotteena kokonaistaloudellisten mallitulosten yhteydessä.

Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen yhteydessä toimialan tuotannon muutos riippuu pääasiassa kahdesta tekijästä. Ensinnäkin siitä, missä energian hinnan nousu (kuten sähkön hinnan nousu, joka siirtyy energiasektorilta) kohottaa tuotannon yksikkökustannuksia. Toiseksi siitä, kuinka tuotanto riippuu yksikkökus-

tannuksista. Joillakin toimialoilla tuotanto eli kilpailukyky voi olla suhteellisen herkkä yksikkökustannusten muutokselle.

Kolmas käytetty käsite ja mittari on kokonaistaloudelliset kustannukset. Näitä mitataan kahdella eri menetelmällä. Perinteisiä tai tyypillisiä kokonaistaloudellisia (makrotaloudelliset kustannukset) 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 rahamittallista eli arvioidaan hyvinvoinnin muutoksen kumoava (rahamittallinen) kompensatio. Toisin sanoen arvioidaan rahasumma, jonka saatuaan kuluttaja on yhtä hyvässä asemassa kuin hän oli ennen hintojen muutosta (ennen kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamista). Useimmiten kyseinen kompensatio sisältää myös reaali-palkan ja vapaa-ajan muutoksen kautta tapahtuvan hyvinvointikustannuksen.

Periaatteessa kuluttajien hyvinvoinnin muutos on oikea mittari, mutta käytännössä hyödyn muutoksen rahamittallista 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. Bruttokansantuoteeseen 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 polttoainesten hiilipitoisuuden mukaan. Mallilaskelmat perustuvat jälkimmäiseen menettelyyn. Ensiksi mainitussa optimihiilidioksidiverossa ko. 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 edellyttää käyttäytymismuutoksia. Talou-

den hiilidioksidipäästörajoite periaatteessa lisää verotuksesta aiheutuvaa hyvinvointitappiota ainakin hiilidioksidiveron tapauksessa, koska hiilidioksidipäästöta-voite rajoittaa verotuksen optimointia. Kuitenkin verotuksen rakenne voi olla lähtötilanteessa epäoptimaalinen, jolloin voidaan joissakin tapauksissa saavuttaa ns. tuplapotti eli alhaisemmat hiilidioksidipäästöt ja tehokkaampi verorakenne eli vähemmän hyvinvointia alentava verotus.

Hiilidioksidipäästöta-voite voidaan saavuttaa useilla erilaisilla ohjauskeinoilla ja niiden käytöstä aiheutuvilla toimenpiteillä. Ohjauskeinot voidaan jakaa kahteen ryhmään reaali-palkkavaikutuksen näkökulmasta. Ohjauskeinoihin, jotka välittömästi vaikuttavat julkisen talouden tuloihin ja menoihin. Tällaisia ohjauskeinoja ovat muun muassa verot, tuet ja kaupattavat hiilidioksidipäästökiintiöt. Toisen ryhmän ohjauskeinot vaikuttavat epäsuorasti julkisen sektorin tuloihin ja menoihin. Tällaisia ohjauskeinoja ovat muun muassa ilmaiseksi jaettavat hiilidioksidipäästökiintiöt, tekniset normit ja vapaaehtoiset energiansäästösopimukset.

Julkisen sektorin tuloihin ja menoihin vaikuttavilla ohjauskeinoilla voidaan tarvittaessa verotulojen takaisinkierätyksen avulla kumota ko. ohjauskeinon vaikutus reaali-palkkaan. Esimerkiksi, kun hiilidioksidiverotulot takaisinkierätetään talou-teen työn verotusta alentamalla, reaali-palkka alenee vain energiantuotannon välit-tömien kustannusten muutoksen verran. Koska hiilidioksidivero minimoi ener-giantuotannon välittömien kustannusten muutoksen, se on kokonaistaloudellisesti tehokas. Tällöin energian hinta kohoaa hiilidioksidiveron vuoksi, mutta reaali-palkka alenee mahdollisimman vähän. Kyseinen kokonaistaloudellinen tehokkuus useimmissa mallilaskelmissa johtuu siitä, että niissä työ on mallitettu kokonaista-louden kannalta tärkeämmäksi panokseksi kuin energia.

Kokonaistaloudellisten kustannusten minimointi esimerkiksi käyttämällä hiilidiok-sidiveroa ohjauskeinona aiheuttaa sen, että kustannusten suhteellinen jakautuminen on epätasainen. Esimerkiksi toimialojen tuotannot muuttuvat hiilidioksidiveron ta-pauksessa perusskenaarioon verrattuna. Tämä johtuu siitä, että eri toimialat käyttä-vät tuotettua yksikköä kohden hyvinkin erilaisia määriä työtä, energiaa ja pääomaa. Siksi energian hinnan nousu hiilidioksidiveron ja energiantuotannon välittömien kustannusten vuoksi (energian hinnan vaikutus) sekä energiantuotannon välittömien kustannusten vuoksi kohonneet työvoimakustannukset (mahdollinen reaali-palkka-vaikutus) vaikuttavat eri tavoin eri toimialojen tuotannon yksikkökustannuksiin.

Julkisuudessa esitetään kokonaistaloudellisen tehokkuuden ja kustannusten muu-toksesta täysin erilaisia näkemyksiä. Kokonaistaloudellisia kustannuksia ikään kuin mitataan toimialojen tilanteiden (kuten tuotantojen) suhteellisilla muutoksilla. Ko-konaistaloudelliset kustannukset minimoituvat, kun hiilidioksidipäästöjä rajoitetaan mahdollisimman pienin toimialakohtaisin muutoksin perusskenaarioon verrattuna. Hiilidioksidivero on tällöin tehottomin ohjauskeino, koska se johtaa suurehkoihin muutoksiin toimialojen tuotannoissa.

Kompromissi käytännön näkemysten ja teoreettisen kustannusanalysoinnin välillä voidaan muodostaa monella eri tavalla. Esimerkiksi kiihoke hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen voidaan säilyttää uusiutuvien energialähteiden tuen ja hiilidioksidiveron yhdistelmällä. Osa hiilidioksidiveron tuotosta voidaan myös korvamerkitä eli kierrättää takaisin energiantuotantoon ja teollisuuteen. Kokonaistaloudellisia vaikutuksia voidaan myös yrittää lieventää suuntaamalla tutkimus- ja tuotekehitystukea energiasektorille.

### **Talouden ja kasvihuonekaasupäästöjen perusskenaariot**

Talouden ja kasvihuonekaasujen kehitystä kuvaavia perusskenaarioita on laadittu Suomessa useita. Niitä voidaan laatia useilla eri periaatteilla. Periaatteessa mallilla luodaan perusskenaario seuraavasti. Mallissa ratkeavat talouden ja energiajärjestelmän tilaa kuvaavat endogeeniset muuttujat; kuten hinnat, tuotantomäärät sekä esimerkiksi päästöt ympäristöön. Mallin rakenne mukaan lukien kotitalouksien mieltymyksiä sekä tuotanto- ja kulutustekniikkaa määrittelevät parametrit ja eksogeeniset eli mallin ulkopuolella määräytyvät muuttujat määräävät yhdessä endogeenisten muuttujien arvot. Skenaarion laadinnassa tulee ennustaa tekniikka- ja preferenssiparametrien sekä eksogeenisten muuttujien arvot. Tyypillisiä arvattavia mallin ulkopuolelta tulevia tekijöitä (eksogeeniset muuttujat) ovat esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden maailmanmarkkinahintojen kehitys sekä energiantuotantotekniikan ja energiaa käyttävän tekniikan kehitys.

Skenaarion laadinnassa tehtävä ero mallin eksogeenisten ja oikeiden eksogeenisten muuttujien välille. Mallit ovat todellisuuden yksinkertaistuksia ja siksi niiden laadinnassa joudutaan olettamaan endogeenisiä tekijöitä eksogeenisiksi.

Taloutta kuvaavia skenaarioita voidaan laatia tasapainoisen kasvun periaatteella. Kun taloutta kuvaavan perusskenaarion laadinnassa käytetään taloutta kuvaavaa mallia, mallin rakenne usein määrää, mikä on tasapainoista kasvua. Esimerkiksi yleisen tasapainon mallissa kaikki markkinat, kuten työmarkkinat sekä kauppatase ja julkinen talous ovat automaattisesti tasapainossa mallin rakenteen vuoksi (suljetut mallit). Tällöin tasapainoinen kasvu merkitsee esimerkiksi kasvua, jossa talouden suhteelliset hinnat eivät muutu. Sen sijaan esimerkiksi dynaamisissa ekonometrisissä makromalleissa em. markkinat eivät välttämättä ole tasapainossa (avoimet mallit).

Taloutta kuvaavissa skenaarioissa voidaan pyrkiä myös tavoitekasvun skenaarioon. Esimerkiksi tietyn työllisyyden saavuttaminen edellyttää tiettyä talouskasvua. Avoimissa malleissa tavoitekasvu saavutetaan kasvattamalla tiettyjä eksogeenisiä muuttujia tietty määrä ja mallin avoimuuden vuoksi muilla markkinoilla ei esiinny tasapaino-ongelmia. Vastaavasti menetellään yleisen tasapainon mallissa, jossa, kuten jo todettiin, markkinat tasapainottuvat tavoiteskenaariossakin automaattisesti.

Realistisen kasvun skenaariossa yhdistetään kaksi seikkaa. Ensinnäkin realistisen kasvun skenaarion tulisi perustua suljettuun malliin, koska pitkällä aikavälillä talousteorian mukaan em. markkinat tasapainottuvat. Toiseksi eksogeenisten muuttujien arvojen tulisi perustua niiden odotettuihin arvoihin. Eksogeenisia oleellisia muuttujia tässä mielessä ovat sekä ulkomaiset kysyntä- ja hintamuuttujat sekä kotimaiset tarjontaolosuhteet määräävät muuttujat. Herkkyystarkastelussa vaihdellaan joidenkin oleellisten eksogeenisten muuttujien arvoja, jolloin perusskenaarion talouskasvu ja muut endogeeniset talousmuuttujat sekä myös kasvihuonekaasupäästöt muuttuvat.

Skenaarioiden, joita käytetään tutkimustarkoituksessa ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten analysoinnissa, tulisi perustua pääasiassa tasapainoisen ja realistisen kasvun periaatteille. Näillä periaatteilla laaditut skenaariot ovat toki hyödyllisiä myös tavoiteskenaarioiden taustalla olevien tavoitteiden kannalta, koska ko. skenaarioissa paljastuu tavoitteiden ja todellisuuden mahdollinen ero. Tämä mahdollistaa tavoitteisiin tähtäävien toimenpiteiden analyysin.

Useimmiten skenaarioita ei välttämättä laadita realistisiksi, vaan niiden kokoomisperiaatteena on tietty looginen kehityskokonaisuus. Perusskenaariota kuitenkin käytetään myös hiilidioksidipäästöjen vähentämistoimenpideohjelmien suunnitteluun, jolloin on mahdollista, että toimenpiteet kohdennetaan väärin, mikäli perusskenaarion hiilidioksidipäästöjen jakauma on epärealistinen. Sen sijaan hiilidioksidipäästöjen tason väärinarviointi ei vaikuttane yhtä paljon perusskenaarion perusteella laadittavien toimenpideohjelmien kustannustehokkuuteen.

Talouden kasvun sekä kulutus- ja tuotantorakenteen ohella energiantuotannon rakenne vaikuttaa merkittävästi talouden hiilidioksidipäästöjen kehitykseen. Julkinen sektori puuttuu monella tavalla sekä energiantuotantoon että energiankulutukseen. Perusskenaariossa määritellään, mikä on näiden julkisen vallan ohjausmuuttujien ura sekä mikä on niiden vaikutus energian tuotantoon ja kulutukseen.

Markkinaperusteinen energiamarkkinaskenaario voi tarkoittaa hyvin erilaisia skenaarioita. Äärimmäisessä tapauksessa markkinaperusteinen skenaario tarkoittaa sitä, että julkinen valta ei puutu lainkaan energiamarkkinoihin eli mitään normeja, tukia ja veroja ei ole käytössä. Yleensä markkinaperusteinen skenaario tarkoittaa skenaariota, jossa julkinen sektori ohjaa energiamarkkinoilla nykyisellä politiikalla eli voimassa ovat nykyiset normit, verot ja tuet. Muuten markkinat, kuten maailmanmarkkinat, määräävät esimerkiksi polttoaineiden hinnat. Nykyinen politiikka vaikuttaa energiantuotantoon ja -kulutukseen, joten esimerkiksi hiilidioksidipäästöissä perusskenaarion ja puhtaan markkinaperusteisen skenaarion välinen ero voi olla suuri. Markkinaperusteinen skenaario voi tarkoittaa myös sellaista skenaariota, jossa energiamarkkinoita ohjataan 'markkinahenkisillä' suhteissa vähän häiriöitä aiheuttavilla ohjauskeinoilla. Tällaisia ovat mm. verot, päästökiintiöiden kauppa sekä vapaaehtoiset sopimukset.

Ei-katumista skenaarion mukaiset toimenpiteet ovat sellaisia, jotka kannattaa tehdä tehokkuuden lisäämiseksi ja joilla on vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin. Ei-katumista skenaariolla voidaan tarkoittaa kahdenlaista politiikkaa. Sillä voidaan tarkoittaa vero- ja tukireformia, joka koskee vain energiasektoria. Kyseisellä reformilla pyritään tehokkuuden lisäämiseen energiasektorilla. Kyseinen reformi ei periaatteessa vaikuta julkisen sektorin nettotuloihin tai nettomenoihin, mutta tilanne energiasektorin sisällä muuttuu.

Ei-katumista skenaariolla voidaan tarkoittaa myös reformia ja siihen perustuvaa perusskenaariota, jossa kohennetaan kokonaistaloudellista tehokkuutta muuttamalla tuotantopanosten välistä tuki- ja veropolitiikkaa. Ns. vihreän veroreformin, jossa energian verotusta lisätään ja työn verotusta alennetaan, oletetaan useimmiten kuuluvan ei-katumista reformeihin (joissakin tapauksissa ei-katumista skenario voisi olla siis markkinaperusteinen skenario). Toisin sanoen kokonaistaloudellisen tehokkuuden oletetaan paranevan. Tutkimustulosten mukaan näin ei kuitenkaan välttämättä ole eli ympäristöpolitiikan toteuttaminen ei välttämättä tarjoa ilmaisia lounaita.

Hiilidioksidipäästöjen kehityksen määrää pitkälti erillisen sähköntuotannon polttoainerakenne. Perusskenaariossa oletetaan erillisen sähkön tuotannon perustuvan kivihiielen käyttöön (ns. ei-lisäydinvoimaskenario). Tällöin hiilidioksidipäästöt kasvavat nopeasti, koska kivihiiellä tavanomaisessa lauhdevoimalassa tuotetun sähkön hiilidioksidipäästökerroin on jopa yli nelinkertainen sähkön tuotannon keskimääräiseen hiilidioksidipäästökertoimeen verrattuna.

Koska Suomen kokonaistaloudellisesti kustannustehokas hiilidioksidipäästöta-voite tiedetään jo nyt kohtuullisella tarkkuudella, periaatteessa perusskenaario voisi sisältää tämän tavoitteen jo nyt. Tällöin perusskenaariossa erillisessä sähköntuotannossa käytettäisiin maakaasua kivihiielen asemesta ja erillisen sähkön- tuotannon hiilidioksidipäästöt vähenisivät merkittävästi (jopa noin 60 %). Järkeenkäyvä kompromissi täydellisen Kioto sopimuksen unohtamisen ja ultraratio- naalisen maakaasun käyttöön perustuvan perusskenaarion välillä on se, että kes- kipitkällä aikavälillä Suomessa ei investoida lainkaan uusiin erillisen sähköntuo- tannon voimalaitoksiin. Tällaista perusskenaariota voidaan muutenkin perustella useilla seikoilla. Ensinnäkin sähkön markkinahinta on alhainen ja sen pitää nousta noin 50 % ennen kuin suomalaiset kivihiielen käyttöön perustuvat lauhde- voimalat muuttuvat kilpailukykyisiksi eli ennen kuin niitä kannattaa rakentaa lisää. Toiseksi eräiden arvioiden mukaan (SENER) Euroopassa on sähköntuotan- nossa ylikapasiteettia, mikä voi pitää sähkön markkinahinnan alhaisena seuraavat 5-10 vuotta.

Perusskenaariosta seuraa joko kiinteiden päästökertoimen tai energiasektorin tar- kemman ja simultaanisen mallituksen kautta talouden kasvihuonekaasupäästöjen perusura. Viime vuosien aikana tehtyjen arvioiden mukaan fossiilisista polttoai- neista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt olisivat 61-91 miljoonaa tonnia vuonna

2010. Alin arvio on KTM:n vuoden 1997 energiaskenaarion arvo (EPO1 skenario, äärimmäisessä EPO2-skenaariossa päästöt olisivat vieläkin alhaisemmat) ja ylin arvio on toisen hiilidioksiditoimikunnan arvio vuodelta 1994. Vuoden 1999 alussa VTT arvioi päästöiksi vajaat 75 miljoonaa tonnia ja KTM:n energiastategian päivityksen mukaan hiilidioksidipäästöt olisivat noin 64 miljoonaa tonnia vuonna 2010. Vuoden 1999 hiilidioksidipäästöt arvioidaan noin 56 miljoonaksi tonniksi. Hiilidioksidipäästöskenaarioiden vaihteluväli on siis varsin suuri, osa erosta johtuu energiasektoria koskevista oletuksista, mutta myös oletukset talouden kasvusta ja sen rakenteesta vaikuttavat hiilidioksidipäästöihin.

Vuoden 2000 aikana arviot perusskenaarion kasvihuonekaasupäästöistä tarkentuiivat. Perusskenaariossa (BAU) kasvihuonekaasupäästöt ovat vuonna 2010 reilut 91 miljoonaa ekvivalenttonnia, josta hiilidioksidipäästöjä on reilut 75 miljoonaa tonnia. Vuonna 1990 kasvihuonekaasupäästöt olivat noin 77 miljoonaa tonnia, josta hiilidioksidipäästöjä oli vajaat 61 miljoonaa tonnia. Kaiken kaikkiaan kasvihuonekaasupäästöjä tulee vähentää noin 16 miljoonaa tonnia vuonna 2010. Varsinaiset *hiilidioksidipäästöt* vuonna 2010 voivat olla vajaat viisi prosenttia korkeammat kuin vuonna 1990, koska *muiden kasvihuonekaasupäästöjen* vähentäminen on suhteessa kustannus- tehokkaampaa ja päästörajoite koskee yhteenlaskettuja kasvihuonekaasupäästöjä.

## **Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisskenaariot, päästöjen rajoittamisen ohjauskeinot ja niiden taloudelliset vaikutukset**

### Rajoittamisskenaariot

Taloutta ohjataan lukuisilla tavoilla ja näitä muuttujia voidaan kutsua politiikkatai ohjausmuuttujiksi. Tyypillisiä ohjausmuuttujia ovat verot ja tuet, jotka muuttavat taloudenpitäjien käyttäytymistä haluttuun suuntaan. Normeilla saadaan myös aikaan haluttu vaikutus ja niillä on myös taloudellisia vaikutuksia. Perusskenaariossa täytyy arvioida, mikä on politiikkamuuttujien perusura. Ohjauskeino ja toimenpide ovat eri asioita eli käytännössä on aluksi mallitettava ohjauskeinojen ja toimenpiteiden väliset suhteet.

Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellisten kustannusten näkökulmasta kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat politiikkatoimenpiteet voidaan jakaa neljään ryhmään. (1) Nykyiset tuet, verot ja normit, jotka vähentävät tai lisäävät kasvihuonekaasupäästöjä tuettomaan, verottomaan ja normittomaan tilanteeseen verrattuna. Lisäksi nämä toimenpiteet vaikuttavat talouden tehokkuuteen. Näitä toimenpiteitä voitaisiin kutsua nykypolitiikaksi. Esimerkiksi polttoaineiden verotus ja happamoittavien päästöjen rajoittaminen voimallaitoksia koskevilla normeilla ovat tällaisia toimenpiteitä. (2) Jo päätetyt toimenpiteet sekä tiedossa olevat toimenpiteet, jotka vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöihin, mutta joita ei varsinaisesti tehdä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Tällaisia toimenpiteitä ovat muun muassa tietyt jätesektorin toimenpiteet ja maatalouden



ympäristönsuojelutoimet. Mahdollisia muita toimenpiteitä ovat muun muassa yhdyskuntarakenteeseen ja liikenteeseen vaikuttavat toimet. Näitä toimenpiteitä voitaisiin kutsua 'tehdään joka tapauksessa' politiikaksi. (3) 'Ei katumista' politiikan mukaiset toimet energiapolitiikassa, jotka kannattaa tehdä tehokkuuden lisäämiseksi ja joilla on vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin. (4) Varsinaiset kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseen tähtäävät toimenpiteet.

Ainoastaan viimeksi mainittujen toimenpiteiden kustannusvaikutus tulisi laskea perusskenaarioon verrattuna. Periaatteessa perusskenaariossa pitäisi olla kolmen ensimmäisen ryhmän toimenpiteet. Useimmiten perusskenaarioon kuitenkin sisältyy kahden ensimmäisen ryhmän toimenpiteet.

Talouden kannalta tärkeimmän kasvihuonekaasun hiilidioksidin päästöjen rajoittaminen voidaan osittaa tekijöihin. Näitä ovat (1) energiantuotannon rakenteen muutos, erityisesti energiantuotannon polttoaineiden käytön muutos, (2) energian käytön tehostaminen tuotannossa, palveluissa ja kotitalouksien energian käytössä, (3) tuotannon ja kulutuksen rakennemuutos sekä (4) tuotannon ja kulutuksen tason muutos. Energiajärjestelmää kuvaavat mallit, kuten EFOM, sisältävät usein tekijät (1) ja (2). Ohjauskeinot kohdistuvat useimmiten energiantuotantoon ja energiankulutukseen. Joissakin hyvin harvoissa tapauksissa toimenpiteet ja ohjauskeinot kohdistuvat suoraan myös kulutuksen ja tuotannon rakenteeseen. Kuitenkin useimmissa tapauksissa tekijöissä (3) ja (4) tapahtuvat muutokset ovat seurausta tekijöissä (1) ja (2) muutoksista aiheutuneista kustannuksista.

#### *Rajoittamisskenaarion ohjauskeinot ja päästöjen rajoittamistoimenpiteet*

Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisskenaarioissa voidaan eritellä toisaalta toimenpiteet, joilla esimerkiksi hiilidioksidipäästöjä alennetaan ja toisaalta ohjauskeinot, joilla kyseinen toimenpide saadaan aikaan. Toimenpiteitä on lukuisa joukko. Toimenpide voi olla esimerkiksi asuntojen lämmöneristyksen parantaminen tai turpeen korvaaminen hakkeella sähkön ja lämmön yhteistuotannossa tai teknisen rakennusasteen nosto (sähkön tuotannon lisäys annetulla lämpökuormalla) teollisuuden sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Ohjauskeino, jolla toimenpide toteutetaan on eri asia. Joskus ohjauskeino ja toimenpiteen välinen suhde on selkeä: esimerkiksi uusien asuntojen lämmöneristystä koskeva normi väistämättä johtaa tiettyyn uusien asuntojen lämmöneristykseen. Sen sijaan on epävarmempaa, kuinka energiavero tai -tuki vaikuttaa kotitalouksien koko asuntokannan lämmönkulutukseen. Turpeen verotus tai hakkeen tukeminen energiantuotannossa johtaa turpeen korvaamiseen hakkeella ja tätä kautta hiilidioksidipäästöjen alentumiseen. Mallilaskelmissa oletetaan, että ohjauskeino ja päästövähennyksen määrää taloudenpitäjän käytössä oleva tekniikka. Tällöin oletamalla taloudenpitäjän optimointikäyttäytyminen voidaan johtaa ohjauskeinosta seuraava päästöjen vähennys. Ohjauskeinoja ovat muun muassa tuet, verot ja normit. Tutkituin hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen ohjauskeino on hiilidioksidivero.

Ohjauskeinot ja etenkin toimenpiteet voidaan jakaa luokkiin niiden pääasiallisen kohdealueen mukaan. Toimenpiteet ovat aina kohdistettavissa tietylle kohdealueelle (kuten erilliseen sähköntuotantoon esimerkiksi), mutta ohjauskeinojen näin tarkka kohdistaminen on useimmiten hankalampaa. Esimerkiksi mikäli hiilidioksidipäästökiintiöllä pyritään edistämään maakaasun käyttöä erillisessä sähköntuotannossa seurauksena on hiilidioksidipäästöjen vähenemä, mutta osa ko. vähenemästä perustuu kohonneen sähkön hinnan kerrannaisvaikutuksiin, kuten tuotannon rakennemuutokseen ja tuotannon muutokseen, joiden vuoksi sähkön kysyntä alenee. Tällöin ko. ohjauskeinojen teho eli vaikuttavuus hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa koostuu useasta eri osa-alueesta.

Ohjauskeinojen analysoinnin yhteydessä onkin tehokkuuden lisäksi tarkasteltava myös muita vaikutuksia eli sivuvaikutuksia sekä kohde-alueella (esimerkiksi sektorilla) että muualla taloudessa (muilla sektoreilla). Myös hallinnollinen toteutettavuus on ohjauskeinojen yksi valintakriteeri.

Ohjauskeinojen analysoinnin tekee ongelmalliseksi se, että toimenpiteet voivat olla vuorovaikutuksessa keskenään. Toimenpiteet voivat olla toisensa poissulkevia tai riippua toisistaan positiivisesti (vahvistavat toistensa vaikutuksia). On myös mahdollista, että toimenpiteiden yhteydessä kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä lasketaan kahteen kertaan.

Ohjauskeinot voidaan jakaa neljään ryhmään: 1) regulaatio-ohjauskeinot, kuten hiilidioksidipäästökiintiöt, tekniikkaa koskevat määräykset, kuten erillisessä sähköntuotannossa on käytettävä maakaasukombivoimaloita, ja päästöluvat (esimerkiksi tietty määrä hiilidioksidia tuotettua terawattituntia kohden), (2) regulaation poistamiseen tähtäävät ohjauskeinot, kuten päästöoikeuksien kauppa ja vapaaehtoiset sopimukset, (3) taloudelliset ohjauskeinot, kuten verot ja tuet sekä (4) tukevat ohjauskeinot, kuten tiedon levitykseen vaikuttavat ohjauskeinot.

Taloudellinen ohjauskeino, kuten esimerkiksi hiilidioksidivero, johtaa siihen, että hiilidioksidipäästöt vähenevät kaikilla osa-alueilla (1)-(4). Koska vero kohdistuu suoraan hiilidioksidipäästöihin, sen kerrannaisvaikutukset ovat mahdollisimman pienet. Esimerkiksi energian hinta suhteessa muihin panoksiin (kuten työhön) nousee mahdollisimman vähän. Joissakin tapauksissa veroa kuitenkin pitää täydentää muilla ohjauskeinoilla muun muassa markkinaepätäydellisyyksien vuoksi. Hiilidioksidiveron vaikutusten arvioinnissa tulee pyrkiä ottamaan huomioon mm. se, että eri teollisuuden aloilla ja palveluissa energian hinnan nousun vaikutukset voivat olla erilaisia ja esimerkiksi joissakin tapauksissa energian hinnan nousun ja energian kysynnän muutoksen välillä voi olla merkittävä viive.

Hiilidioksidiveroa voidaan täydentää väliaikaisilla tuilla ja kierrättämällä osa verotuloista takaisin teollisuuteen. Sektorin sisäinen verotulojen/tukien kierrätys voidaan järjestää useilla eri tavoilla.

Energiankäytön tehokkuutta koskevat standardit ovat yksi ohjauskeino. Standardit voivat olla vapaaehtoisia, kuten kodinkoneiden sähkönkulutusluokitukset ja valmistajien sopimat uusien koneiden sähkönkulutusta koskevat tavoitteet, tai pakollisia, kuten uusien asuntojen lämmöneristysnormit (viranomaisen määrää kuinka energiakulutustavoite eli normi saavutetaan) tai lämmönkulutusnormit (rakentaja saa itse päättää kuinka normin mukainen kulutus saavutetaan). Tehokkuusstandardit ovat todennäköisesti varsin tehokkaita energian kulutuksen näkökulmasta, mutta niiden taloudellinen tehokkuus ei ole yhtä itsestään selvää. Niiden taloudellisen tehokkuuden analysointi voi käytännössä olla hankalaa.

Periaatteessa hyvin pitkälle menevä normittaminen voi aiheuttaa nimenomaan taloudellista tehottomuutta, koska ensinnäkin yksityiskohtaiset normit johtavat joustamattomuuteen ja toiseksi normien asettamisesta aiheutuvia (raja)kustannuksia ei välttämättä tiedetä. Todennäköisesti yleisemmän tason normit, kuten sektorikohtaiset kiintiöt, voivat olla tehokkuuden näkökulmasta parhaita. Toimiala- ja sektorikohtaiset kiintiöt voidaan asettaa esimerkiksi (laskennallisen) tehokkaan veroratkaisun mukaisiksi.

Ohjauskeinoja ja toimenpiteitä arvioidaan useilla kriteereillä. Tärkeämmät kriteerit ovat: yksityistaloudelliset välittömät kustannukset vähennettyä kasvihuonekaasupäästöyksikköä (ns. hiilidioksidiekvivalenttiyksikköä) kohden, kokonaistaloudelliset kustannukset vähennettyä kasvihuonekaasupäästöyksikköä kohden. Lisäksi ohjauskeinoja ja toimenpiteitä arvioidaan myös kasvihuonekaasupäästöjen vähentämispotentiaalin suuruudella ja toteuttamisaikataululla. Myöhäisemmässä vaiheessa arvioinnissa käytetään myös seuraavia kriteereitä: muut ympäristövaikutukset, muut sosio-ekonomiset vaikutukset, toimenpiteiden edellyttämät hallinnolliset aloittamiskustannukset, toimenpiteiden edellyttämät hallinnolliset jatkuvat kustannukset, toimenpiteiden riippuvuus ulkoisista tekijöistä (instituutiot, käyttäytyminen jne.), toimenpiteisiin osallistujien lukumäärä, kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen peruutettavuus ja päästöjen vähentymisen pysyvyys.

### **KESSU-EFOM-linkitys kokonaistaloudellisten vaikutusten ja kokonaistaloudellisen tehokkuuden arvioinnissa**

Aikaisemmin jo todettiin, että tietty ohjauskeino ja toimenpide kohdistuvat tietyille osa-alueelle, kuten energiantuotantoon. Mallitarkasteluissa voitaneen väittää, että osiot (1) ja (2) ovat insinöörimallien (bottom-up) vahvoja alueita, kun taas alueet (3) ja (4) ovat taloudellisten mallien (top-down) vahvoja puolia.

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus yhdistää ko. tarkastelutavat käyttämällä VTT:n energiajärjestelmämallia EFOM:ia ja VM:n kokonaistaloudellista mallia KESSU:a yhdessä. Energiajärjestelmämalli kuvaa energiantuotannon olosuhteiden muutoksen kustannusvaikutukset (kuten sähkön ja lämmön rajakustannukset) ja näistä seuraavat energiansäästökustannukset. Energiajärjestelmämalli siis

tuottaa sekä sektorikohtaiset energiansäästökustannukset että kustannukset energian (ml. sähkön ja lämmön tuotannon rajakustannukset). Näiden tietojen avulla voidaan EFOM kustannukset viedä kokonaistaloudelliseen malliin sektori sektorilta. Kun oletetaan erilaisia sähkömarkkinoita (avoin, suljettu ja tältä väliltä), voidaan ainakin periaatteessa arvioida sähkön kuluttajahinnan muutos EFOM:in rajakustannustulosten perusteella.

EFOM:n kustannustiedot viedään KESSU:un markka markalta periaatteella. EFOM:n sektorikohtaiset kustannukset, joista siis sekä sähkön kuluttajahinta että sähkön hinnan muutoksesta aiheutuva kustannusten toimialoittainen jakauma on laskennallinen, viedään kunkin teollisuuden toimialan arvonlisän hintayhtälöön niin, että kustannusten muutos, tässä tapauksessa kohoaminen, alentaa toimialan arvonlisän hintaa. Arvonlisän hinta toimii KESSU:ssa muuttujana, johon toimialakohtaiset tuotannon muutokset perustuvat. Palveluihin kustannukset viedään kohottamalla eksogeenisesti palveluiden hintaa. Kotitalouksien energian hintaa muutetaan niin, että saadaan aikaan sama reaktio kuin mitä EFOM tuottaa kotitalouksien energiankysynnässä. Kyseessä on hintapuolelle tehty shokki, joka pääasiassa aiheuttaa kokonaistaloudelliset muutokset.

Energiantuotannon muutoksen välilliset vaikutukset kansantalouteen arvioidaan energiajärjestelmämallin energiantuotannon tulosten ja vuoden 1995 panos-tuotostietojen avulla. Energiantuotannon muutoksen kokonaistaloudellisten vaikutusten ei voida olettaa olevan suuria, koska toimiala on hyvin pääomavaltainen ja työllistää suhteessa vähän. Kokonaistaloudelliset vaikutukset tuotannon kautta seuraavat siis pääasiassa muiden toimialojen kannattavuuden ja tuotannon muutoksen kautta.

EFOM tuottaa myös arvion kotitalouksien ja palveluiden energiansäästökustannuksista. Sähkön ja lämmön kohonneen hinnan tuotannon vaikutus voidaan suoraan viedä kotitalouksien menoihin, mutta energiansäästökustannusten huomioonottaminen on hieman hankalampaa. Äärimmäisessä tapauksessa näitä kustannuksia voidaan pitää vain kuluttajien kulutusmenojen uudelleen kohdentamisena, joiden kokonaistaloudelliset vaikutukset pelkällä kulutuksen vaikutuksella mitattuna ovat olemattomat. Samalla tavoin voitaisiin käsitellä myös esimerkiksi energiansäästönormit.

Edellä esitetty kustannusmuutokset KESSU:ssa muuttavat toimialojen tuotantoja ja kotitalouksien kysyntää. Nämä muuttuneet tuotannot ja kysynät palautetaan tarvittaessa (mikäli muutokset kokonaistaloudellisessa mallissa ovat riittävän suuria) takaisin EFOM:iin, jossa siis ko. EFOM:ille eksogeenisiä muuttujia muutetaan. Tällöin muuttuu myös EFOM:in arvio kustannuksista. Takaisinkytkentä alentaa EFOM:in suoria kustannuksia ja rajakustannuksia. Nämä uudet kustannustiedot viedään jälleen KESSU:un ja iterointia jatketaan kunnes tuotannot ja kulutus eivät enää muutu.

## **Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen taloudelliset vaikutukset Suomessa**

### Sektorikohtaiset kustannukset

Sektorikohtaisissa kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisskenaarioissa tarkastelun painopiste on kustannustehokkaissa toimenpiteissä ja ohjauskeinojen vaikutusanalyysia ei useinkaan ole. Tämä johtuu tietysti siitä, ettei sektorikohtaisessa tarkastelussa ole luontevaa ottaa huomioon ohjauskeinojen kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Sen sijaan tavoitteena on löytää tietyn sektorin päästöjen rajoittamisen kustannustehokkaat toimenpiteet ja toimenpiteiden kustannustehokkuusjärjestys.

Suomessa sektorikohtaisia kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisskenaarioita on laadittu muun muassa kauppa- ja teollisuusministeriössä sekä Valtion teknillisessä tutkimuslaitoksessa. VTT:n käyttämä EFOM sisältää kolme tärkeintä kasvihuonekaasua eikä siis pelkää hiilidioksidia. EFOM:lla lasketaan energiajärjestelmän minimikustannukset Kioto tavoitteen mukaisilla kasvihuonekaasupäästöillä. KTM:n analyysissä painopiste on hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa. VTT on laatinut myös energiasektoria koskevan uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman. Myös energiansäästöohjelmia on laadittu.

EFOM laskelmat, kuten myös uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmät, sisältävät arvion sektorikohtaisista kokonaiskustannuksista. Sektorianalyysin vuoksi EFOM laskelmat sisältävät energiajärjestelmän sopeutumis- tai muuntamiskustannukset, eivät siis kokonaistaloudellisia kustannuksia. Energiajärjestelmän sopeutumiskustannukset eli ns. välittömät kustannukset arvioidaan 1-2 miljardiksi markaksi, joista noin kolmannes kohdistuu teollisuuteen. Merkittävää on se, että kustannustehokkaassa ratkaisussa hiilidioksidipäästöt ovat noin neljä prosenttia korkeammat kuin vuoden 1990 hiilidioksidipäästöt, koska muiden kasvihuonekaasupäästöjen alentaminen on suhteellisen edullista.

Kasvihuonekaasurajoitteen saavuttamisen kustannuksiin vaikuttavat merkittävästi muut taloudessa, etenkin energiasektorilla, voimassa olevat rajoitteet. Osa rajoitteista on poliittisia, kuten ydinvoimanlisärakentamisrajoite, ja osa koskee energiasektoria, kuten maakaasuverkon laajuus. EFOM tulosten mukaan ydinvoiman lisärakentamisrajoite kaksinkertaistaa energiajärjestelmän välittömät kustannukset miljardista kahteen miljardiin. Toinen energihuollon rajoite eli turpeen käyttöminimi vaikuttaa myös merkittävästi kustannuksiin. Mikäli turpeen käyttö pidetään vuoden 1998 tasolla tästä aiheutuu noin 100 miljoonan markan vuosittaiset lisäkustannukset. Kolmas tekijä, joka vaikuttaa kustannuksiin on tuontisähkön määrä ja hinta. Mikäli tuontisähköä on saatavissa enemmän kilpailukykyiseen hintaan tällä on kustannuksia alentava vaikutus, erityisesti silloin, kun lisäydinvoimaa ei rakenneta.

Joustavuusmekanismien hyväksikäytön vaikutus energiajärjestelmän kustannuksiin voidaan arvioida epäsuorasti löysäämällä hiilidioksidipäästörajoitetta esimerkiksi viisi miljoonaa tonnia. Tällöin energiajärjestelmän kustannukset alenevat ja kustannusten alenema ilmaisee, kuinka paljon ko. määrästä hiilidioksidipäästöjä kannattaa maksaa. Neljän viiden miljoonan hiilidioksidilisätonnin vaikutus energiajärjestelmän välittömiin kustannuksiin on merkittävä; se on skenaariorista riippuen melkein miljardi markkaa.

### *Kokonaistaloudelliset kustannukset*

Arviot hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellista kustannuksista Suomen taloudessa ovat vaihdelleet suuresti mallien oletuksista riippuen. Bruttokansantuotteen alenemiseksi on arvioitu 1-7 prosenttia ja hyvinvointi jopa lisääntyisi joillakin oletuksilla. Korkeimmat arviot toteutuvat, kun Suomen oletetaan toimivan yksipuolisesti ja työmarkkinoilla oletetaan reaali-palkkajäykkyys. Tarvittavaksi hiilidioksidiveroksi on arvioitu 250-550 mk/t CO<sub>2</sub>.

Keskeisimpiä kokonaistaloudellisiin kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ko. mallilaskelmissa on useita. Ensinnäkin hiilidioksidipäästövähennyksen määrä vaikuttaa merkittävästi, koska hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannukset kasvavat hyvin nopeasti jossakin kohtaa hiilidioksidipäästöjen rajakustannusrelaatiota. Toiseksi työmarkkinoiden toimintaperiaatteen muutos voi helposti jopa kaksinkertaistaa kokonaistaloudellisen tappion (joustava vs. joustamaton reaali-palkka). Kolmanneksi pääoman liikkuvuus sektoreiden välillä ja kansainvälisesti vaikuttaa merkittävästi kustannuksiin. Mikäli pääoman tuotto joustaa kokonaistaloudelliset kustannukset ovat alhaisemmat kuin kiinteän tuoton tapauksessa. Neljänneksi vientisektorien asema maailmanmarkkinoilla vaikuttaa kokonaistaloudelliseen kustannuksiin. Kun vientitoimialoilla oletetaan olevan enemmän markkinavoimaa, hiilidioksidiveroa siirtyy ulkomaiden maksettavaksi, jolloin hyvinvointitappio alenee. Viidenneksi energiantuotannon joustavuus ml. sähkön tuontimahdollisuudet vaikuttavat merkittävästi tuloksiin. Yleisen tasapainon numeeriset mallit ja energiajärjestelmämallit olettavat hyvin erilaisen joustavuuden energiantuotannossa, mikä ilmenee mm. kokonaistaloudellisten mallien huomattavan korkeana hiilidioksidiverona ja suurina kokonaistaloudellisina kustannuksina. Kuudenneksi vero- tai päästömaksutulojen käyttötapa vaikuttaa merkittävästi kokonaistaloudelliseen kustannukseen ja etenkin kokonaistaloudelliseen rajakustannukseen. Joissakin mallitarkasteluissa ei ole eroa alennetaanko hiilidioksidiverolla työnantajan sosiaaliturvamaksuja vai työntekijöiden tuloverotusta. Seitsemänneksi useimmiten Suomen yksipuolinen toiminta tuottaa huonoimman lopputuloksen verrattuna tilanteeseen, jossa muutkin maat alentavat päästöjään. Poikkeuksena on Honkatukijan tulos, jonka mukaan ilmaiseksi jaettavien hiilidioksidipäästökiintiöiden tapauksessa hyvinvointitappio on selvästi suurempi mikäli muutkin maat alentavat päästöjään verrattuna tilanteeseen, jossa Suomi toimii yksipuolisesti.

# Sisältö

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Johdanto</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2 Kustannuslaskelmissa käytetyt kustannuskäsitteet</b>   | <b>3</b>  |
| 2.1 Yhteenlasketut välittömät kustannukset  | 5         |
| 2.2 Kokonaistaloudelliset kustannusmittarit   | 7         |
| 2.3 Kotitalouksien hyödyn muutokseen perustuva kustannusmittari   | 10        |
| 2.4 Hiilidioksidivero kustannusmittarina  | 11        |
| <b>3 Ohjauskeinot</b>   | <b>15</b> |
| 3.1 Ohjauskeinojen suunnittelu  | 15        |
| 3.2 Ohjauskeinot ja niiden vaikuttavuus   | 18        |
| 3.3 Ohjauskeinoja – puolesta ja vastaan   | 21        |
| 3.4 Toimenpiteiden valinta ja niiden liittäminen ohjauskeinoihin  | 26        |
| <b>4 Skenaariot ja perusura – talous ja päästöt</b>   | <b>31</b> |
| 4.1 Perusskenaario  | 31        |
| 4.2 Markkinavetoinen (perus)skenaario   | 36        |
| 4.3 Ei-katumista (perus)skenaario   | 38        |
| <b>5 KESSU-EFOM -mallijärjestelmä</b>   | <b>41</b> |
| 5.1 Energiajärjestelmämallit ja kokonaistaloudelliset mallit  | 41        |
| 5.2 Ilmastopoliittisten ohjelmien taloudellisten vaikutusten arvioinnissa käytettävien mallien välinen linkitys | 43        |
| <b>6 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariot ja niiden taloudelliset kustannukset</b>                      | <b>49</b> |
| 6.1 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariot  | 49        |
| 6.2 Sektorikohtaiset päästöjen rajoittamisskenaariot  | 50        |
| 6.3 Kokonaistaloudelliset kustannukset hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaarioissa                          | 54        |
| 6.4 Kansainväliset tulokset kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen taloudellisista vaikutuksista                | 58        |
| <b>7 Johtopäätökset</b>   | <b>61</b> |
| <b>Lähteet</b>  | <b>67</b> |





## 1 Johdanto

Tämän raportin rakenne vastaa tutkimussuunnitelman tavoitteita. Tutkimuksen ensimmäisen vaiheen tavoitteena oli ensinnäkin selvittää hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisten vaikutusten arvioinnissa käytettäviä kustannuskäsitteitä ja -mittareita. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää, kun tulkitaan vaiheessa kaksi tehtävien kustannuslaskelmien tuloksia. Raportin luvussa kaksi esitellään tärkeimmät kustannuskäsitteet ja -mittarit.

Tutkimuksen tavoitteena oli myös tutkia talouden ja kasvihuonekaasupäästöjen perusskenaarioita sekä teoreettisesti että käytännön skenaarioiden laadinnan näkökulmista. Tämän tutkimuksen tuloksia hyödynnetään perusskenaarion laadinnassa. Perusskenaarion muodostamisen periaatteita ja tehtyjen perusskenaarioiden tuloksia käsitellään lyhyesti luvussa neljä.

Menetelmien kehittämistavoitteena oli myös ohjauskeinojen analysointikehikon laatiminen ja ohjauskeinojen soveltaminen. Kyseistä analyysikehikkoa kuvataan luvussa kolme.

Toisena menetelmien kehittämistavoitteena oli luoda yhteiskäyttö eli linkitys Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen käyttämän energiajärjestelmämallin EFOM ja valtiovarainministeriön käyttämän dynaamisen kokonaistaloudellisen mallin KESSU:n välille. Linkityksen yhteydessä tehtiin myös raportti eri mallityyppien käytöstä ja ominaisuuksista hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten analysoinnissa. KESSU-EFOM linkitystä käytetään vaiheessa kaksi, jossa arvioidaan kasvihuonekaasupäästötavoitteen toteuttavien toimenpideohjelmien kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Linkitystä kuvataan luvussa viisi.

Lisäksi kustannusanalyysin yhteydessä tuli laatia yhteenveto hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusarvioista. Käsiteltävät kustannusarviot koskevat vain Suomea ja lisäksi pyritään analysoimaan eri tutkimusten välisiä eroja kustannuksissa. Kustannuksia käsitellään luvussa kuusi.



## 2 Kustannuslaskelmissa käytetyt kustannuskäsitteet

Seuraavia kustannuskäsitteitä/mittareita on käytetty hiilidioksidipäästörajoitteen taloudellisten vaikutusten arvioinnissa.

(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 1993).

(2) Tietyn sektorin taloudelliset kustannukset (Ilmastopaneeli 1993), mikä voi tarkoittaa samaa kuin edellä mainitut suora kustannukset, mutta toimialatasolla. Useimmiten toimialakohtaisia kustannuksia mitataan tuotannon muutoksella vertailu- eli perusskenaarioon verrattuna.

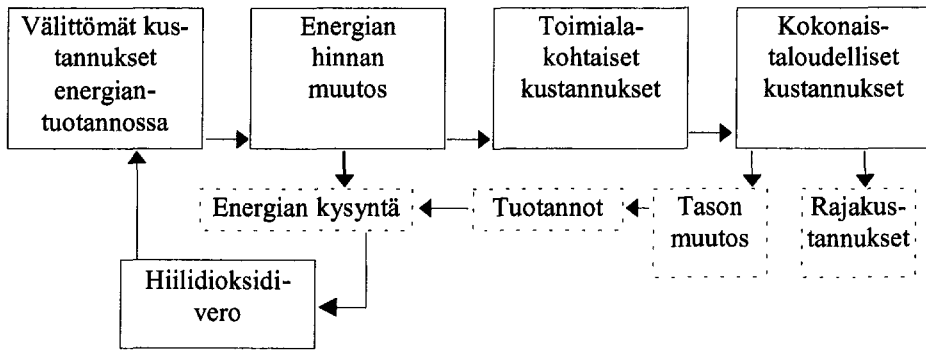
(3) Kokonaistaloudelliset eli makrotaloudelliset kustannukset. Näihin viitataan kirjallisuudessa käsitteillä hintojen ja määrien muutokseen perustuva kustannusanalyysi (Weyant 1993) sekä Ilmastopaneelin makrotaloudelliset kustannukset (Ilmastopaneeli 1993). Näitä mittareita käytetään etenkin empiirisessä työssä eli ne ovat mallilaskelmien tyypillisiä tuloksia. Yleisemmin käytetty mittari on nimenomaan reaalisen bruttokansantuotteen tason muutos.

(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 rahamitallisen hyödyn muutoksiksi.

(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.

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



Kuvio 2.1. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannukset taloudessa.

Hiilidioksidivero asetetaan mallilaskelmissa energiasektorilla fossiilisille polttoaineille niiden hiilisisällön perusteella. Tarvittavaan hiilidioksidiveroon eli verotaseen, jolla hiilidioksiditavoite toteutuu vaikuttavat; (1) energiasektorin joustavuus eli esimerkiksi mahdollisuudet vähentää hiilidioksidipäästöjä polttoaineita vaihtamalla, (2) mahdollisuudet korvata energiaa muilla panoksilla tuotannossa, (3) tuotannon joustavuus tuotantokustannusten suhteen. 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 saavutettava energian käytön vähentyminen. Tällöin myös energiankäytön tehostamisen kustannukset sisältyvät välittomiin kustannuksiin. Kuviossa 2.1 voidaan hiilidioksidiveron tilalle sijoittaa jokin muu ohjauskeino, kuten uusiutuvien energialähteiden käytön tukeminen.

Mallilaskelmissa kuviossa esitetyt 2.1 sopeutumiset; energiantuotannon muutos, energiankäytön sekä tuotannon ja kulutuksen tason muutos tapahtuvat samanaikaisesti, mutta joissakin tapauksissa on hyödyllistä yrittää selvittää, kuinka paljon hiilidioksidipäästöjen alentumisesta tapahtuu energiantuotannossa, kuinka paljon energiansäästöillä eli energian korvaamisella muilla panoksilla sekä kuinka paljon tuotannon ja kulutuksen muutoksella.

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 tarvittavan hiilidioksidiveron suuruus, johtuukin juuri energiantuotannon mallituseroista.

## 2.1 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 päästöjen tasolta päästötavoitteeseen. Ilmastopaneelin esittämät suorat tekniset ja rahataloudelliset tietyn tekniikan käyttöönotosta aiheutuvat kustannukset voidaan tulkita suoriksi kustannuksiksi (Ilmastopaneeli 1993).

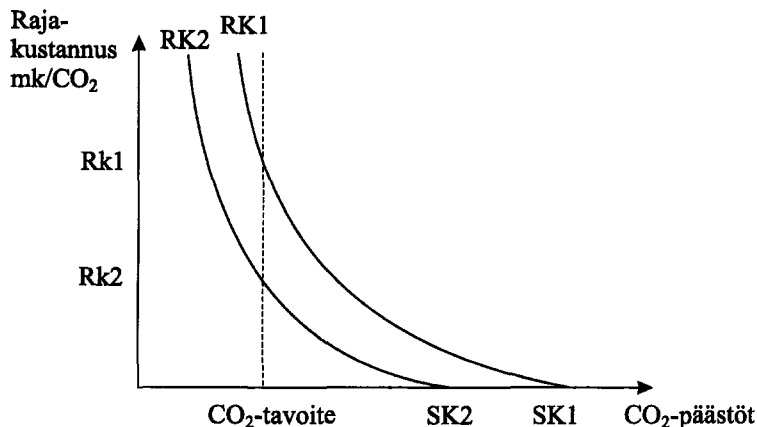
Ensiksi esitetty rajakustannuksiin perustuva kustannuskäsite on taloustieteen oppikirjojen mukainen tapa esittää kustannuksia. Se seikka, että kokonaiskustannukset saadaan integroimalla rajakustannukset seuraa matematiikan aksioomista. Käytännön ongelmana on se, ettei millään toimialalla tai koko taloudessa 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' kustannukset energiantuotannossa ovat energiantuotannon välittömät kustannukset. Tällöin energiantuotannon välittömien kustannusten laskeminen edellyttää jo mallin käyttöä.<sup>1</sup>

Rajakustannuksiin perustuvalla välittömien kustannusten kustannuskäsitteellä voidaan toki selventää tiettyjä seikkoja, kuten perusskenaarion merkitystä välittömien kustannusten kannalta (kuvio 2.2).

Kuviossa 2.2 esitetään energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannukset energiantuotannossa. Energiantuotannon kannalta talouden tonni- ja markkamääräiset tuotannot ovat eksogeenisiä eli vaikuttavat pääosin siihen, mistä rajakustannus kuvaaja 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).

<sup>1</sup> Yhteenlasku ei ole yksinkertaista, koska energiantuotannossa on toisensa poissulkevia vaihtoehtoja. Energiantuotantoa tai energijärjestelmää kuvaavalla mallilla ko. seikat voidaan ottaa huomioon.



Kuvio 2.2. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannukset energiantuotannossa.<sup>2</sup>

Koska välittömät kustannukset ovat kuviossa 2.2 rajakustannusten kuvaajan pinta-ala siitä kohdasta, josta rajakustannusten kuvaaja vaaka-akselilla alkaa (SK1, SK2) kohtaan, jossa päästötavoite toteutuu (CO<sub>2</sub>-tavoite), perusskenaario vaikuttaa myös välittömien kustannusten määrään. Kuten kuviosta 2.2 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 2.2 ilmenee myös mallilaskelmissa usein saatu tulos eli aluksi hiilidioksidipäästöjen rajoittamiskustannukset muuttuvat maltillisesti, mutta kun pyritään yhä alempiin hiilidioksidipäästöihin, jossakin vaiheessa kustannukset kasvavat eksponentiaalisesti. Tällöin hyvin pienikin päästöjen vähennys kohottaa kustannuksia huomattavasti. Rajakustannuksetkin voivat olla herkkiä perusskenaarion muutokselle eli rajakustannukset riippuvat merkittävästi perusskenaariosta (Rk1 vs. Rk2 kuviossa 2.2).

Vaikka kuvion 2.2 mukainen tilanne on teoreettinen, ovat se kuvaajat kuitenkin malleilla laskettavissa ja analyysissä käyttökelpoisia.<sup>3</sup> Esimerkiksi Suomen energiajärjestelmää kuvaavassa EFOM-mallissa lasketaan energiajärjestelmän mini-

<sup>2</sup> 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).

<sup>3</sup> Se, että mallilla voidaan laskea kuvion 2.2 mukaiset rajakustannusrelaatiot, ei välttämättä merkitse sitä, että mallin sisältämät välittömät rajoittamiskustannukset saadaan kuvion 2.2 kuvaajien integraaleina. Kustannuksiin ja rajakustannuksiin vaikuttaa energiajärjestelmässä se, että tietyt tekniikat ovat toisensa poissulkevia.

mikustannusten muutos.<sup>4</sup> Tällöin kuviossa 2.2 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 2.2 mukainen tarkastelu ei riitä taloudellisten vaikutusten arviointiin, ellei kuviossa esitetä jo koko talouden kustannuksia. Esimerkiksi energiantuotannossa kuvion 2.2 kuvaajien mukaiset kustannukset vaikuttavat sähkön ja lämmön hintaan perustilanteeseen verrattuna. Talouden toiminnan kannalta on oleellista se, kuinka paljon välittömät kustannukset (tuotantokustannusten muutos) muuttavat sähkön ja lämmön hintaa prosenteissa. Samoin on kaikilla muillakin toimialoilla panosten prosenttimääräiset hinnan muutokset ovat oleellisia. Välittömät kustannukset ovat kuitenkin taloudellisen analyysin lähtökohta.

## 2.2 Kokonaistaloudelliset kustannusmittarit

### Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannustehokkuus

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

Reaalipalkkavaikutuksen näkökulmasta 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. Ensiksi mainitussa ryhmässä julkisen sektorin tulojen lisäys mahdollistaa verotulojen takaisinkierrätyksen, mikä useimmiten pienentää merkittävästi hiilidioksidiverotuksesta aiheutuvaa kokonaistaloudellista tappiota.

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

Hiilidioksidipäästörajoituksen toteuttamisessa on kaksi äärimmäistä vaihtoehtoa

---

<sup>4</sup> Mallilaskelmien tulosten avulla voidaan päätellä, että esimerkiksi kuutta prosenttia suuremmat kasvihuonekaasupäästöt perusskenaariossa kohottavat energiajärjestelmän välittömiä kustannuksia noin 60 %.

- Kustannustehokkaat menettelyt minimoivat rajoitteen saavuttamisen kokonaistaloudelliset kustannukset, mutta yritys- ja toimialakohtaisten kustannusten (suhteellinen) jakauma voi olla hyvinkin epätasainen, jolloin myös toimialojen tuotannot eli talouden tuotantorakenne muuttuu paljon vertailutilanteeseen verrattuna. Myös hyödykkeiden hinnan muutosten vuoksi kuluttajien ostovoima muuttuu eri tavoilla esimerkiksi rikkaimpien ja köyhimpien kotitalouksien kohdalla.
- Kustannusten jakauman epätasaisuuden lieventäminen lisää rajoitteen saavuttamisen kokonaistaloudellisia kustannuksia. Tällöin toimialojen tuotannot muuttuvat vähemmän eli talouden tuotantorakenteen muutos vertailutilanteeseen verrattuna on pienempi. Hiilidioksidiverosta luopuminen periaatteessa vähentää kotitalouksien tulonjaon muutosta, mutta hiilidioksidiverosta luopuminen merkitsee käytännössä hiilidioksidipäästövähennysten ja siis myös kustannusten kohdistamista kotitalouksille eli kotitalouksien kustannukset eivät hiilidioksidiverosta luopumisen vuoksi vähene.<sup>5</sup>

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

- vapautetaan jotkin talouden sektorit/toimialat 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. Tällöinkään hiilidioksidipäästöjen vähentämisen kustannustehokkuus ei toteudu. Lisäksi talouteen syntyy niukkuustuloja, jotka alentavat korkeamman energian hinnan vuoksi reaali-palkkaa.
- toteutetaan hiilidioksidipäästörajoite verottamalla energiankäyttöä (kuten sähköä) eikä hiilidioksidipäästöjä. Tällöin energiankäyttöä verotetaan käytännössä turhaan, mistä aiheutuu hyvinvointitappioita.

On tietyllä tavalla intuitiivista, että kokonaistaloudelliset kustannukset kasvavat, kun sopeutumiskustannusten kohdistumista tasa-arvoistetaan. Taloudenpitäjien erilaiset sopeutumiskustannukset johtuvat sekä tekniikoiden sisältämistä korvaamismahdollisuuksista että kuluttajien valintaan sisältyvistä korvaamismahdollisuuksista. Näiden mahdollisuuksien hyödyntäminen hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisessa aiheuttaa toimialojen tuotannon muutokset. Mikäli kaikilla toimialoilla olisi täysin sama tekniikka ja kuluttajien arvostukset olisivat täysin jäykät

<sup>5</sup> Lisäksi hiilidioksidiveroa korvaavat ohjaukset kohottavat sähkön ja lämmön hintaa eli hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen tulojakoa epätasaistava vaikutus ei häviä mihinkään. Tulonjakovaikutus riippuu merkittävästi siitä, koskeeko hiilidioksidivero myös liikennepolttoaineita. Liikennepolttoaineita verotetaan jo nyt hiilidioksidipäästötonnia kohden moninkertaisesti muihin polttoaineisiin verrattuna, joten hiilidioksidipäästöjä rajoitettaessa ei todennäköisesti ole kustannustehokasta lisätä liikennepolttoaineiden verotusta.



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 kokonaistaloudellisen kustannustehokkuuden ja kustannusten jakautumisen välisestä suhteesta; mitä suurempiin muutoksiin toimialojen kustannuksissa ja tuotannossa pyritään sitä suuremmat ovat rajoitteen saavuttamisen kokonaistaloudelliset kustannukset. Tämä näkemys perustuu siihen, että suurilla ja nopeilla toimialojen tuotannon muutoksilla tuotantokapasiteettia häviää, jolloin kustannukset ovat suuremmat. Toinen tämän näkemyksen piirre on se, että hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamisen kustannukset kaiken kaikkiaan ovat suuremmat kuin edellisessä näkemyksessä.

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

Tärkeä ero kustannuksissa syntyy talouden sopeutumiskustannuksissa. Sopeutumiskustannukset riippuvat suurella määrällä siitä, kuinka tuotantotekijät työ ja pääoma voivat liikkua talouden sektoreilta toisille. Esimerkiksi mikäli pääoma ei voi kitkattomasti siirtyä toimialalta toiselle ja investoinnit joudutaan kuoletamaan ennen aikojaan tämä nostaa pääomakustannuksia sekä vähentää käytetyn pääoman määrää. On vaikeaa kuvitella, kuinka tämän vaikutuksen huomioonottaminen vaikuttaisi merkittävästi toimialojen suhteellisiin kustannustehokkuuksiin hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa. Tällainen sopeutumiskustannusvaikutus lisää hiilidioksidipäästörajoitteen saavuttamisen kustannuksia, mutta laadullisesti tilanne säilyy samanlaisena eli kokonaistaloudellisten kustannusten minimointi edellyttää epätasaista kustannustaakkaa.

### **Makrotaloudelliset eli kokonaistaloudelliset kustannukset**

Kyseessä lienevät käytetyimmät kustannusmittarit. Näihin viitataan kirjallisuudessa käsitteillä hintojen ja määrien muutokseen perustuva kustannusanalyysi (Weyant 1993) sekä Ilmastopaneelin makrotaloudelliset kustannukset (Ilmastopaneeli 1993). Näitä mittareita käytetään etenkin empiirisessä työssä eli ne ovat mallilaskelmien tyypillisiä tuloksia. Laskelmien tuloksena on työllisyyden, investointien, kulutuksen, bruttokansantuotteen, kauppataseen, inflaation yms. muutoksia. Yleisemmin käytetty mittari on nimenomaan reaalisen bruttokansantuotteen tason muutos. Muutos ilmoitetaan siis tasomuutoksena perusuraan verrattuna. Mikäli tilannetta analysoidaan 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 avulla (Bernstein, Montgomery, Rutherford & Yang 1999).

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

### **2.3 Kotitalouksien hyödyn muutokseen perustuva kustannusmittari**

Kotalouksien hyödyn muutokseen perustuva kustannusanalyysi (Weyant 1993) ja Ilmastopaneelin hyvinvointikustannukset tarkoittavat käytännössä samaa. Taloudessa tapahtuvat määrien ja hintojen muutokset muutetaan rahamittaisiksi kotitalouksien hyödyn muutokseksi. Usein lasketaan niin sanottu kompensoiva tulovariaatio, joka on määritelmän mukaan se rahasumma, jolla kuluttaja on tapahtuneen hintojen muutoksen jälkeen yhtä hyvässä asemassa kuin hän oli ennen hintojen 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 päästörajoitetta ja laskemalla kuhunkin päästörajoitteen tasoon liittyvä kuluttajan kompensatiomitan 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 kun rajakustannus lasketaan ko. tavoitefunktion avulla (Bernstein, Montgomery, Rutherford & Yang 1999).

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

Se, kuinka ko. muutos vaikuttaa kokonaistaloudelliseen rajakustannukseen ja kokonaistaloudelliseen tappioon on siis epäselvää. Toisaalta rahamittaisesti ta-

voitefunktion on arvo 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.

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 sama ongelmaa. 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.

## 2.4 Hiilidioksidivero kustannusmittarina

Hiilidioksidivero sekoitetaan varsin usein kokonaistaloudelliseen rajakustannukseen eli hiilidioksidiveroa pidetään hiilidioksidipäästörajoitteen kokonaistaloudellisena rajakustannuksena. Hiilidioksidivero mittaa viimeisen hiilidioksidipäästöyksikön rajakustannusta (Weyant 1993), mutta ko. rajakustannus on vain erikoistapauksessa kokonaistaloudellinen rajakustannus.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Teoreettisessa mallissa, jossa on tietty tavoitefunktio ja hiilidioksidipäästörajoite, hiilidioksidivero ja hiilidioksidirajoitteen marginaalinen vaikutus tavoitefunktioon (ns. Lagrangen kerroin) ovat samoja.

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 verot 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 ristiriitaiseen tavoitteeseen; verotulojen keräyksen eli julkisten menojen kattamisen 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 myös verotuksen optimointia.

Kun hiilidioksidipäästörajoite toteutetaan hiilidioksidiverolla tästä aiheutuu kolmenlaisia kustannuksia. Ensinnäkin kustannuksia, jotka johtuvat siitä energiantuotannossa joudutaan käyttämään primäärinenergiapanoksia 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 kustannuksia. Tästä aiheutuu tyyppillinen hyvinvointitappio energiasektorilla.

Toiseksi energian hinnan nousu muuttaa energian ja muiden panosten välistä suhdetta. Energian hinta muuttuu siis sekä suorien kustannusten ja hiilidioksidiveron vuoksi. Tämä on tyyppillinen verotuksesta johtuva hyvinvointitappio. Hiilidioksidiveron tehokkuus perustuu osittain juuri siihen, että sen avulla energian hinta nousee niin vähän kuin mahdollista. Mikäli hiilidioksidipäästöjä vähennetään esimerkiksi 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. Toiseksi malleissa käytetty hiilidioksidivero on puhdas hiilidioksidipäästöihin perustuva hiilidioksidivero eli mallilaskelmissa ei pyritä ratkaisemaan optimimaalista verorakennetta.

Puhtaan hiilidioksidiveron avulla voidaan laskea saavutettava hiilidioksidipäästöjen vähenemä ja tavoitefunktion muutoksen avulla kokonaistaloudellinen rajakustannus. Tyypillisinä 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 mallilaskelmissa 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.

Hiilidioksidiveroa ei pidä käyttää hyvinvoinnin muutoksen mittarina, mutta sen taso ilmaisee esimerkiksi sen, millä hinnalla ko. talouden toimijat lähtevät ostamaan päästöoikeuksia kansainväliseltä 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.

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

Taulukko 2.1 *Hiilidioksidiveron ja hyvinvointitappion riippuminen eri tekijöistä suomalaisissa mallilaskelmissa.*

|   | Hiilidioksidivero mk /CO <sub>2</sub> -tonni | Hyvinvointitappio mrd. mk |
|---|--|---------------------------|
| <b>Perustapaus</b>                                  | 275  | 5,9                       |
| <b>Alhaisempi energian korvattavuusjousto</b>       | 354  | 7,5                       |
| <b>Massalla ja paperilla suurempi markkinavoima</b> | 290  | 3,2                       |
| <b>Joustamaton reaalipalkka</b>                     | 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 alene 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 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.

Honkatukian (1998) tuloksien mukaan pääoman tuoton kiinnittäminen perusvuoden 1990 tasolle lisää bruttokansantuotteen muutosta eli kasvattaa hyvinvointitappiota ja alentaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa verrattuna tilanteeseen, jossa pääoman tuotto joustaa. Joustavuuden lisääminen tässä tapauksessa vähentää hyvinvointitappiota ja kohottaa tarvittavaa hiilidioksidiveroa.

## 3 Ohjauskeinot

### 3.1 Ohjauskeinojen suunnittelu

Perusskenaarion laadinta edeltää kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen ohjauskeinojen valintaa. Perusskenaariossa hahmotellaan, miten maailma ja Suomi kehittyvät Suomen poliittisista linjauksista riippumatta. Seuraavaksi perusskenaarion yhteydessä voitaisiin määritellä erilaisia poliittisluonteisia periaatteita, joilla voidaan luonnehtia, mihin suuntaan taloutta ja taloudenpitäjien valintoja on tarkoitus ohjata ja millaisia reunaehtoja politiikan harjoittamiseen liittyy. Tällaisia lisäyksiä perusskenaarioon ei kuitenkaan eritellä tässä Kioton projektin ensimmäisessä vaiheessa eikä aihetta käsitellä vaiheessa 2. Vaiheessa 2 kasvihuonekaasupäästöjen rajoitusskenaarioiden taloudellisten vaikutusten arvioinnin yhteydessä suoritetaan jossakin määrin niin sanottua herkkyystarkastelua. Nämä varaukset huomioon ottaen voidaan ryhtyä valitsemaan kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen ohjauskeinoja ja toimenpiteitä.

Ohjauskeinojen<sup>7</sup> valinta ja testaus tapahtuvat useassa vaiheessa.

1. Ensinnäkin määritellään päätoiminta-alueiden edellyttämät ohjauskeinot ja toimenpiteet. Määrittely ei ole täysin yksityiskohtaista.
2. Toiseksi arvioidaan kunkin toiminta-alueen tehokkuus, toteuttamiskelpoisuus, sivuvaikutukset jne. Ohjauskeinot ja toimenpiteet asetetaan paremmuusjärjestykseen sektoreittain tai toiminta-alueittain. Samalla arvioidaan vähennettyjen hiilidioksidiekvivalenttien määrä.
3. Tämän jälkeen eri toimialojen parhaista ohjauskeinoista muodostetaan uusi lista, joka käsittää kokonaisuuden kannalta parhaat ohjauskeinot.

Ongelmallista on se, että eri toimenpiteet saattavat vaikuttaa toisiinsa. Tästä syystä toimenpiteiden tehokkuus saattaa olla parempi tai huonompi kuin alun perin arvioidaan. Tyypillisimpiä vuorovaikutusilmiöitä ovat

- tukitoimenpiteet lisäävät muiden toimenpiteiden tehoa;
- toisensa poissulkevat vaihtoehdot aiheuttavat päästövähennysten alentumista;
- saman vaikutus voidaan laskea kahteen kertaan;
- toimenpiteet vaikuttavat markkinoiden kokoon, mikä puolestaan vaikuttaa hintoihin;

---

<sup>7</sup> Tässä tutkimuksessa *ohjauskeino* tarkoittaa valtion tarkoituksellista toimintaa, kuten hiilidioksidiveroa. Toimenpide tarkoittaa ohjauskeinosta tai ohjauskeinoista johtuvaa toimintaa useilla sektoreilla.

- ajoitusvaikutukset: esimerkiksi toimenpide C on järkevää suorittaa vasta toimenpiteen B loppuunsaattamisen jälkeen;
- reagointiherkkyyсарviot (esimerkiksi toimintaympäristön äkillinen muutos, korkotaso)

Poliittisten linjausten suunnittelussa ja toteutuksessa voidaan eritellä viisi vaihetta (Perrels, 1999):

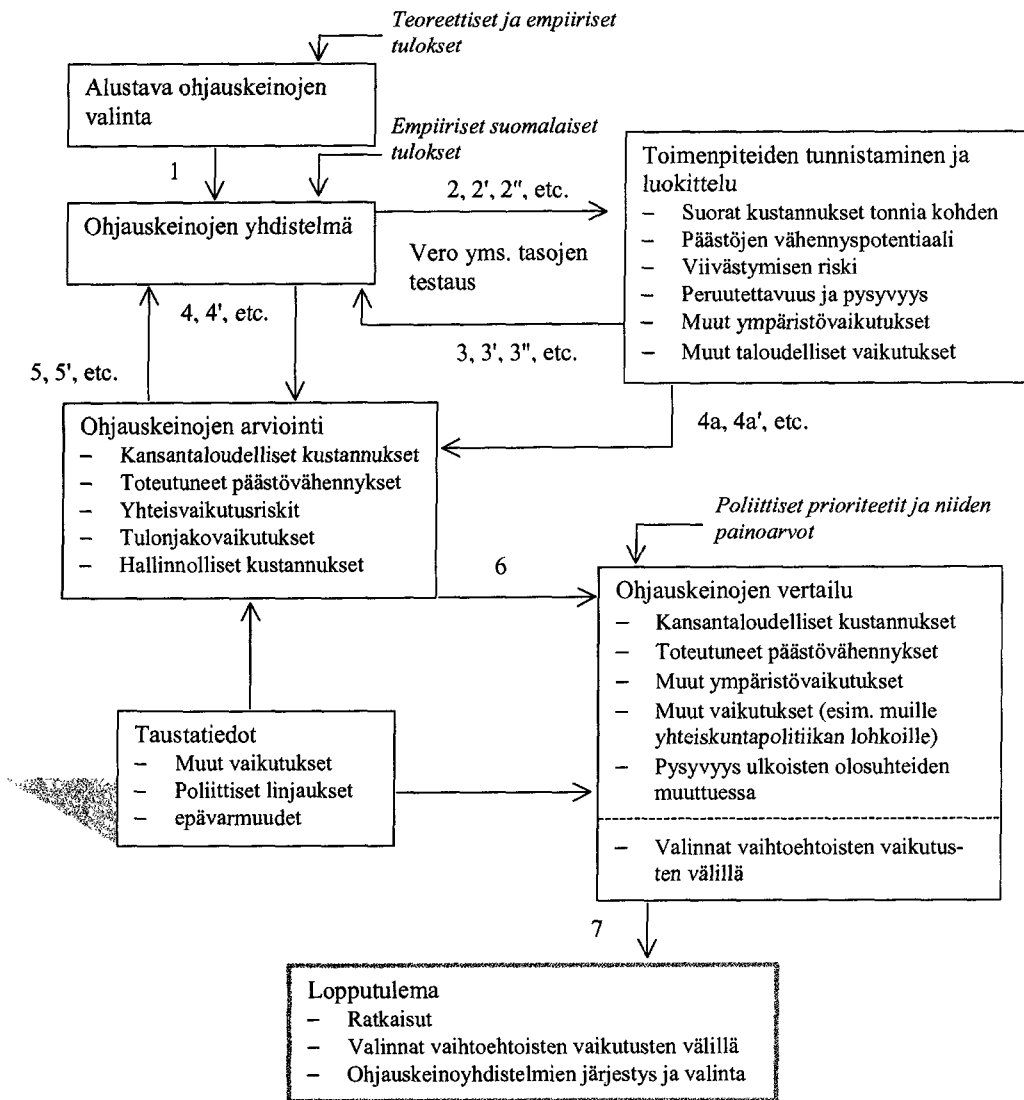
1. Ongelma-analyysi, tavoitteiden ja rajoitteiden muotoilu;
2. Toimintaympäristöjen, ohjauskeinojen ja toimenpideyhdistelmien luominen ja määrittäminen;
3. Yksittäisten ohjauskeinojen ja ohjauskeinoyhdistelmien vaikutusten arviointi määräytyissä toimintaympäristöissä;
4. Vaihtoehtoisten ohjauskeinoyhdistelmien (toimenpideyhdistelmien) arviointi;
5. Lopullinen päätöksenteko, toteuttaminen ja seuranta.

Yllä mainittujen vaiheiden huolellinen läpikäynti on tärkeää sekä lopputuloksena saatavan ohjauskeino- ja toimenpideyhdistelmän johdonmukaisuuden että yhteiskunnallisen tuen kannalta. Mitä enemmän seurantatietoja ja jälkikäteen tehtyjä arviointeja on saatavilla, sitä helpompi on suorittaa vaiheet 1 ja 2. Lisäksi prosessin johto, laajuus ja konsultointimuodot ovat keskeisessä asemassa (ks. vaiheen 1 raportti *'Selecting instruments for a greenhouse gas reduction policy in Finland'* (Perrels, 2000).

Kasvihuonekaasurajoitteen toteuttamisen arviointiprosessi käsittää seitsemän päävaihetta, joihin eivät lukeudu varsinainen toteutus ja seuranta. Eräät vaiheet täsmentävät yleisempää luetteloa, joka mainittiin edellisessä osassa. Kuvio 1 (alla) esittää vaiheiden järjestystä. Vaiheet ovat seuraavat:

1. Alustava ohjauskeinojen valinta
2. Ohjauskeinojen yhdistelmät ja niiden käytön tason määrittäminen
3. Käytännön toimenpiteiden tunnistaminen
4. Alkuperäisen ohjauskeinoyhdistelmän uudelleenarviointi (toimenpiteitä edellyttävien ohjauskeinojen tason tarkistaminen)
5. Ohjauskeinoyhdistelmien arviointi (taloudellis-tekniisten mallien tulosten perusteella)
6. Ohjauskeinoyhdistelmien vertailu (MCA:n soveltaminen taloudellisiin tuloksiin sekä muut kriteerit ja riskit)
7. Lopullisen (kannatetuimman) ohjauskeinoyhdistelmän muotoilu





Kuvio 3.1. Ohjaukeinojen ja toimenpiteiden arviointiprosessi pääpiirteissään.

Prosessi voidaan aloittaa, kun on todettu, että toimenpiteisiin on ryhdyttävä ja että konkreettinen ilmastopoliittinen toimintaohjelma on laadittava. Tavoitteena on, että Suomen ilmastopoliittinen sitoumus saavutetaan pienimmin kokonaistaloudellisin kustannuksin (tai yleisemmin yhteiskuntataloudellisin kustannuksin) (esimerkiksi vaikutus BKT:een, työllisyyteen, inflaatioon ja julkiseen talouteen) sekä välttämällä kohtuuttomia muutoksia kotitalouksien käytettävissä olevien tulojen ja kulutuksen jakautumisessa. Ohjaukeinojen alustava valinta voi perus-

tua vain aikaisempaan tietoon (kirjallisuuteen). Ohjauskeinojen yhdistelmiä ja niiden käytön laajuutta ei voida määrittää välittömästi, koska on ensiksi on tiedettävä, mihin toimenpiteisiin on ryhdyttävä ja kuinka voimakkaita niiden on oltava. Siksi näiden kahden kohdan välinen prosessi on toistuva. Kun saavutetaan tilanne, jossa yksinkertaiset lisäykset ja muutokset eivät enää tuota parannuksia, ohjauskeinoyhdistelmiä voidaan testata mallijärjestelmässä (EFOM-KESSU ja CGE). Myös tähän saatetaan tarvita jonkin verran toistoa (vaiheet 4 ja 5). Useita pitkälle kehitettyjä ohjauskeinoyhdistelmiä, joista jokainen edustaa erilaista ilmastopoliittista linjausta, voidaan lopulta testata ja vertailla laajemmassa viitekehityksessä, jolloin voidaan myös suorittaa valintoja vaikutusten välillä (vaihe 6). Tämä loppuarviointi voi vielä johtaa pieniin muutoksiin suunnitelmissa. Lopulta valitaan jokin näistä ohjauskeinoyhdistelmistä parhaimmaksi, joka voidaan toteuttaa toimenpiteinä ja sitoumuksina (vaihe 7). On otettava huomioon, että toteuttaminen vaatii uuden kierroksen. Erityisesti riittävän, säännöllisen ja kattavan seurannan kehittäminen on keskeinen osa kansallisissa ja kansainvälisissä ilmastomuutosta koskevissa suunnitelmissa ensi vuosikymmenellä ja sen jälkeen.

### 3.2 Ohjauskeinot ja niiden vaikuttavuus

Ohjauskeinoissa voidaan eritellä seuraavat neljä tyyppiä<sup>8</sup>:

1. *Säätelyohjauskeinot*, joilla vaikutetaan käytetyn energian tai päästöjen määrään suoraan tai välillisen intervention avulla. Tyyppiluokka voidaan jakaa kahteen alaluokkaan:
  - a. Säätely ja määräykset (esimerkiksi päästökiintiöt, pakolliset tekniikanormit ja menettelytavat)
  - b. Suoritusstandardit ja tuotevertailut (esimerkiksi 'Total Material Requirement, TMR, eli kokonaismateriaalikäyttöä määräävä normi)
2. Ohjauskeinot, jotka johtavat *säätelyn poistamiseen*, joko (kvasi)markkinoiden perustamisen kautta tai antamalla kohderyhmään kuuluville yrityksille tai yhteisöille huomattavasti toimintavapautta. Esimerkkejä tästä ovat:
  - c. Lupakauppa (markkinoiden luominen), vihreiden sertifikaattien kauppa;
  - d. Vapaaehtoiset sopimukset (toimintavapautta lisätään vastuuta siirtämällä). Vapaaehtoinen sopimus on hyvin laveasti määritelty ohjauskeino.
3. *Verotukselliset ja taloudelliset ohjauskeinot*, kuten verot, veronomaiset maksut omarahoitusjärjestelmissä sekä avustukset ja apurahat. Taloudelliset ohjauskeinot joko lisäävät saastuttamisen kustannuksia saastuttajille tai alentavat vä-

<sup>8</sup> Raportti 'Mallien käytöstä hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisten vaikutusten tutkimisessa'/16.9.1999

hempipäästöisten tuotantomenetelmien ja panosten hintaa. Päästöjen hinnoittelu kannustaa investoimaan energiatehokkuuden kohottamiseen, polttoaineen vaihtoon tai uusiutuvien energialähteiden käyttöön.

4. *Tukitoimet*, joilla tavoitellaan tietotason ja markkinoiden toimivuuden parantamista, joko tietoa lisäämällä (T&K-toiminta) tai edistämällä tiedon saavuutta (tiedon levitys, koulutus jne.). Tällaiset toimet alentavat ympäristöstävällisten teknisten ja organisatoristen innovaatioiden kustannuksia, eritoten myyntikustannuksia. Viimeisenä, muttei toki vähäisimpänä tässä kategoriassa on toimintasuunnitelman toteuttaminen ja seuranta. Tukitoimet (kategoria 4) voidaan käytännössä aina yhdistää muihin välinetyyppeihin.

Ohjauskeinoyhdistelmien laadinnassa ja analysoinnissa voidaan valita joko *top-down* –tai *bottom-up* –lähestymistapa. Ensin mainitussa työ aloitetaan etsimällä lupaavimmat ohjauskeinot. Kyseisten ohjauskeinojen tehokkuus testataan kokonaistaloudellisella mallilla, markkinapotentialianalyysillä ja energiajärjestelmätutkimuksilla. Tyypillisesti tuloksia verrataan perusskenaarion vastaaviin tulemiin. On hieman epävarmaa saadaanko tulokset tuotettua ajoissa.

Jälkimmäisessä lähestymistavassa pyritään arvioimaan todellisia mahdollisuuksia (toimenpiteitä) sektoreittain ja/tai sovelluskohtaisesti käyttämällä teknillistaloudellisia malleja. Tässä menettelyssä onnistutaan useimmiten minimoimaan toimenpidekohtaiset suorat kustannukset, mutta toimenpiteen edellyttämiä ohjauskeinoja ei välttämättä sisälly tuloksiin. Tästä syystä KESSU-EFOM:ia käytetään yhdessä muiden välineiden kanssa, täydennettynä sopivalla ohjauskeinojen ja toimenpiteiden valintavälineellä. Näin arvioinnissa pyritään yhdistämään sekä *top-down* että *bottom-up* –lähestymistavat. Seuraavassa käsitellään ohjauskeinoihin (*top-down*) perustuvaa lähestymistapaa.

*Top-down* –lähestymistavassa voidaan erottaa seuraavat ohjauskeinojen ja niillä aikaansaattujen toimenpiteiden taloudelliset ja päästövaikutukset:

1. *Energiapanosten korvaaminen toisillaan*, mikä tarkoittaa panoksen korvaamista toisella vähemmän saastuttavalla (vähemmän hiilipitoisella) polttoaineella;
2. *Tuotannon korvaamisvaikutus*, mikä tarkoittaa vähemmän saastuttavien ja vähemmän esimerkiksi energiaa tuotteen valmistuksessa edellyttävien tuotteiden valmistusta ja myyntiä. Energiantuotannossa tämä tarkoittaa samaa kuin edellinen kohta;
3. *Pääoman korvaamisvaikutus*, joka merkitsee päästöjen ja tai energiankulutuksen vähentymistä vakiolla tuotannolla ja vakiolla (muilla) panoksilla. Korvaamisvaikutus saavutetaan joko tehokkaammalla laitteistolla tai vähennys-tekniikalla (ns. piipunpäätekniikka);

4. *Aiheutuvat ylemmän tason vaikutukset*, mikä tarkoittaa sitä, että em. muutokset aiheuttavat muutoksia myös muualla taloudessa, joko panosmarkkinoilla tai lopputuotemarkkinoilla;
5. *Verojen yhdistetty vaikutus* on se vaikutus, joka maksulla tai säännöksellä on talouden kustannustasoon, kun muidenkin verojen säännösten vaikutus otetaan huomioon;
6. *Verojen takaisinkierrätysvaikutus* on erä, joka vähentää esimerkiksi hiilidioksidiveron kokonaistaloudellista kustannusta (ko. vaikutus osaltaan lisää hiilidioksidipäästöjä) tai löysennettyjen säännösten vaikutusta;
7. *Takaisinkytkentävaikutus* (rebound effect), mikä tarkoittaa energiasäästöstä aiheutuvan (lisääntyneen) reaalitulon vaikutusta energiankulutukseen ja päästöihin. Takaisinkytkentävaikutus on positiivinen siis energiankulutusta ja päästöjä lisäävä.

Vaikutukset 1-3 aiheuttavat kustannuksia niille sektoreille, joilla niitä esiintyy, mutta *top-down* -lähestymistavassa kokonaistaloudellisten kustannusten oletetaan olevan alhaisimmat kaikkein alhaisimmat, kun kyseiset reaktiot tapahtuvat.<sup>9</sup> Toimialan kilpailutilanne ratkaisee missä määrin aiheutuneita kustannuksia siirretään kuluttajille (kohonneiden hintojen muodossa), missä määrin panosmarkkinoilla panosten tarjoajille (kuten turpeen tuottajille) ja missä määrin työmarkkinoilla työntekijöille alentuneiden reaalipalkkojen ja alentuneen työllisyyden muodossa. Näiden vaikutusten (4) arviointiin tarvitaan kokonaistaloudellista mallia.

Verojen yhdistetty vaikutus (5) vahvistaa joitakin äsken mainittuja hintavaikutuksista. Mikäli ympäristöveropolitiikasta aiheutuvaa kustannustaakkaa kompensoidaan, esimerkiksi alentamalla työnantajien sosiaaliturvamaksuja ja kotitalouksien tuloveroa, verojen takaisinkierrätys kompensoi osan haitallisista kokonaistaloudellisista vaikutuksista. Toimialakohtaiset erot voivat kuitenkin olla suuria (tuotanto ja työllisyyden muutokset). Joissakin tapauksissa kotitalouksien ostovoiman lisääntyminen mahdollistaa jopa perusskenaarion mukaisen hyvinvoinnin tason saavuttamisen. Hintojen muutoksen vuoksi kuitenkin ostettu tuotevalikoima on kuitenkin jossain määrin erilainen kuin aiemmin.<sup>10</sup> Mikäli työmarkkinoilla esiintyy työaikajoustoa myös työajat todennäköisesti muuttuvat. Tämä tarkoittaa, että hyvinvoinnin muutosten mittaus ei koskaan ole aivan tarkkaa.<sup>1</sup> Tämä pätee erityisesti pitkällä aikavälillä.

Energiasäästöstä mahdollisesti seuraava ostovoiman kasvu aiheuttaa myös lisääntyneen energiankulutuksen eli osa säästöinvestoinneilla saavutetusta ener-

<sup>9</sup> Kemppi & Pohjola: Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten arvioinnissa käytetyt käsitteet ja mittarit.

<sup>10</sup> Empiirinen osoitus ongelman olemassaolosta on parametrien epäsymmetrinen käyttäytyminen kustannusjärjestelmissä. Tämä tarkoittaa sitä, että kotitalouksien kulustottumukset eivät palaudu samoiksi hintojen vaihtelun jälkeen (ks. esimerkiksi Deaton ja Muellbauer, 1983).

gian käytön vähentymisestä kumoutuu tätä kautta. Ostettujen tuotteiden lisäksi edellyttää lisääntynyttä energiankäyttöä tuotannossa, mikä itse asiassa pitäisi vähentää alunperin päästöveron avulla saavutetusta energiankulutuksen vähennyksestä. Kokonaistaloudellisessa mallissa tämä vaikutus otetaan huomioon ja arvioitaessa hiilidioksidiveron tehokkuutta (erityisesti kotitalouksien kohdalla) epäsuoran energiankäytön takaisinkytkentävaikutus otetaan myös huomioon.

Periaatteessa hinnoitteluohjauskeinoja voidaan pitää ilmastopolitiikan pääasiallisina ohjauskeinona, koska niiden avulla tavoiteltu päästöjen vähennys saadaan aikaan kokonaistaloudellisin minimikustannuksin. Hinnoitteluohjauskeinojen yksinomainen käyttö ei todennäköisesti tuota kokonaistaloudellisesti parasta ratkaisua muun muassa sektoreilla vallitsevien markkinoiden epätäydellisyyden vuoksi. Siksi hinnoitteluohjauskeinoja täytyy täydentää muilla ohjauskeinoilla ja sektorikohtaisilla erityistoimenpiteillä, jotka kohentavat markkinoiden toimintaa (informaatiokustannusten alentaminen), vähentävät vaihdantakustannuksia sekä edistävät T&K-toimintaa. Tietyissä erityistapauksissa, joissa osapuolia on vähän ja jotka koskevat muita kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidipäästöjä, erillinen ohjelma voisi osoittautua tehokkaammaksi.

Keskustelu ohjauskeinoista alkoi siitä olettamuksesta, että vuodelle 2010 asetettua tavoitetta voidaan arvioida kiinnittämättä juurikaan huomiota vuoden 2010 jälkeiseen aikaan. Tämä oletamus on väärä, mutta tässä vaiheessa on tarkoituksenmukaista ensiksi tunnistaa parhaat mahdolliset ohjauskeinot ja toimenpiteet vuoteen 2010 tehdyn sitoumuksen saavuttamiseksi, unohtamatta kuitenkin pidemmän aikavälin vaatimuksia. Vuoteen 2020 ulottuva vastaava analyysi tutkimuksen toisessa vaiheessa voi auttaa tunnistamaan ne ohjauskeinot ja toimenpiteet, joita tarvitaan varhaisessa vaiheessa ja jotka soveltuvat ”ei-katumista”-lähestymistapaan. Yhtä aikaa vuodelle 2010 tehtävän linjauksen kanssa pyritään muotoilemaan myös pitkän aikavälin strategia, jolla selvitetäisiin ainakin mitkä toimet ja muutokset ovat vähiten tarpeellisia, ja millaisia toimia ja kehitystä tulisi välttää.

### 3.3 Ohjauskeinoja – puolesta ja vastaan

*Päästölupia* eli päästöoikeuksia voidaan pitää sekä ohjauskeinoja että toimenpiteenä. Päästöoikeuksien kaupan mahdollistava instituutio voidaan katsoa *ohjauskeinoksi*, koska se vaatii julkisen vallan aloitetta ja osallistumista. Toisaalta varsinainen päästöoikeuksien osto ja myynti edustaa päästöjen aiheuttajien *toimenpiteitä*. Yhdysvalloissa rikkidioksidipäästöjen lupakauppa on ollut menestyksekkästä, mutta vaihdantakustannusten merkitystä ei tulisi aliarvioida, kuten voidaan todeta kauppaehtokäytäntöjen eroavaisuuksista (Hahn, 1995). Kasvihuonekaasupäästöihin liittyvät markkinat ovat laajemmat ja monimutkaisemmat (enemmän

päästöjen aiheuttajia, enemmän päästöjen lähteitä, kansainvälinen mittakaava). Päästöoikeuksienkaupankäynnistä saatuja kokemuksia ei siis voida välttämättä yleistää hiilidioksidipäästökiintiöiden kansainvälistä kauppaa koskeviksi. On ilmeistä, että kynnys osallistua kasvihuonekaasupäästöalupamarkkinoille tulee olemaan korkea (esimerkiksi FIELD, 2000). Koska tämän välineen tehokkuus kasvaa varsin nopeasti markkinoiden laajentuessa, on suositeltavaa, että instituutio-naalinen kehys valmistellaan perusteellisesti. Päästöoikeuksienkaupan menestyksekäs aloittaminen on tärkeää, sillä alkuvaiheessa tehdyt virheet voivat johtaa siihen, että kaupan potentiaaliset osapuolet eivät myöhemmin siihen osallistu.

*Veroilla* on periaatteessa vaikutus kaikkiin toimenpiteisiin. Edellisissä kohdissa tarkasteltiin verotuksen tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Tässä tarkastellaan verotuksen yhteensopivuutta erillisten toimenpiteiden kanssa. Päästöverojen tuoton takaisinkierrätys on lähtöoletta. Joitakin toimenpiteitä voidaan myös tehokkaasti ohjata muilla keinoin. Ensinnäkin muiden kasvihuonekaasujen kuin hiilidioksidikaasujen vähentäminen onnistuu paremmin muilla menetelmillä kuin verolla. Tällöin kyseessä on rajattu määrä osapuolia ja vain muutamia prosesseja: esimerkiksi kunnallinen ja teollinen jätehuolto sekä maatalous. Jätehuoltoon liittyy muitakin ympäristön kannalta hyödyllisiä vaikutuksia, jolloin jätevero (veron korotus) ei liene tehokas ratkaisu ja se saattaisi jopa johtaa ei-toivottuihin vasta-reaktioihin (kuten nykyinen jätevero). Suomessa on jo käynnissä ohjelma, jolla pyritään hyödyntämään kaatopaikoilta saatavaa metaania. Lisäksi jätettä voidaan käyttää polttoaineena lämmöntuotannossa. Maatalouden päästöjä voidaan vähentää muuttamalla rehujen koostumusta; viljelijöillä saattaa kuitenkin olla liian vähän vaikutusvaltaa rehumarkkinoilla eikä pelkkä päästövero välttämättä johda pienimmät kustannukset aiheuttavan ratkaisun valintaan. Taloudellinen avustus investoitaessa paikallisiin toimenpiteisiin saattaa olla tarpeen, kuten myös helposti saatavilla oleva tieto oikeiden valintojen tekemiseksi.

Verotus on tehokkaampi keino hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa. Verotus voi johtaa esimerkiksi polttoaineen vaihtoon, uusiutuvien energialähteiden käyttöön ja energiatehokkuuden parantamiseen. Tyypillisesti mitä enemmän päätöksentekijöitä on energiankäytön ja niiden valintaan vaikuttavien näkökohtien välillä, sitä todennäköisemmin veron tehokkuus vähenee (pienempi reaktio tietyllä verotasolla tietyn soveltamisajan jälkeen). Hyvä esimerkki on energiankäyttö palvelusektorin rakennuksissa. Usein toimistorakennusten tai ostoskeskusten energihuolto on ulkoistettu kiinteistöhuoltoyritykselle, joka huoltaa myös muun (hissit, siivouksen jne.). Rakennuksen käyttäjät arvioivat kiinteistöhuollon kustannuksia sen toiminnan kokonaisuutena, ei vain energiakustannusten osalta. Samanaikaisesti rakennuksen varsinaiset käyttäjät (työntekijät, vierailijat, asiakkaat jne.) eivät välttämättä tiedosta toimiensa vaikutusta rakennuksen energiankulutukseen. Toisaalta kiinteistön huoltaja ei välttämättä lainkaan osallistu rakennuksen suunnitteluun ja energia-asennuksiin, vaikka nämä vaikuttavat merkittävästi esimerkiksi energiankäytön muunneltavuuteen (esimerkiksi energianhinnan noustessa). Lisäksi osapuoli, joka on tehnyt huoltotoimeksiannon (sano-

taan vaikkapa omistaja) ei välttämättä ole rakennuksen käyttäjä, jolloin lukuisat muut tekijät kuin kestävä kehitys ovat vaikuttaneet rakennuksen suunnitteluun ja budjetointiin. Tämä ei vaikuta yksinkertaiselta saralta energian loppukäytön tehostamiseksi (e.g. Janda, 1999; Weber, 1999). Energiasäästömarkkinoiden ominaisuudet voivat muuttua merkittävästi, kun aikaperspektiivi muuttuu. Oleellista analyysissä on otetaanko em. epätäydellisyydet itsestäänselvyyksinä. Mikäli energiasäästömarkkinoiden ominaisuuksiin (yllä esitetyssä monimutkaisessa laajuudessa) voidaan vaikuttaa, verotus voi olla huomattavasti tehokkaampaa, kunhan muita täydentäviä ja epätäydellisyyksiä korjaavia toimenpiteitä käytetään ennen verotusta tai samanaikaisesti verotuksen kanssa.

Teollisuudessa vallitsee yleensä huomattavasti korkeampi kustannustietoisuus kuin palvelusektorilla tai kotitalouksissa. Näin ollen teollisuudenalat ovat usein herkempiä hinnannousuille. Reaktiiviuheen vaihtelu ja pitkäkin kesto johtuu energiankäytön tehostamisinvestointien ja muiden investointikohteiden välisestä kilpailusta. Myös pääoman ikäjakauma ja säästöpotentiaali vaikuttavat ym. seikkoihin. Laajenevilla markkinoilla energiasäästöinvestoinnit voivat hävitä kilpailussa vielä kannattavimmille tuotekehittelyinvestoinneille, vaikka energiasäästöinvestoinnin tuotto sinänsä olisi varsin korkea. Supistuvilla markkinoilla toimiville yrityksille tuotantokustannusten leikkaaminen on tärkeää, mikä saattaa osittain edistää energiansäästöä, mutta suurempiin investointeihin ei välttämättä ole resursseja. Epävarmuuden lisääntyessä yritykset ovat taipuvaisia pidättäytymään laajemmista investoinneista, jotka sitoisivat ne pidemmäksi aikaa. Osake-markkinoiden vaikutuksen lisääntyminen yrityksen päätöksenteossa voi johtaa myös lyhytjänteisempään toimintaan, jolloin pidemmällä aikavälillä suhteessa paremmin tuottavat energiansäästöinvestoinnit voivat jäädä päätöksenteossa taka-alalle. Kaiken kaikkiaan tämä merkitsee sitä, että – markkinatilanteesta riippuen – verotuksen vaikutuksissa voi esiintyä viiveitä.

*Investointituelle* on perusteet silloin, jos tuetuilla toimenpiteillä on laajempia vaikutuksia. Tällöin investoija luo etuja myös muille osapuolille samojen markkinoiden sisä- tai ulkopuolella. Esimerkiksi toimijoita, jotka ryhtyvät uusiin toimenpiteisiin aiemmin kuin muut, voidaan tukea, koska he voivat vaikuttaa markkinoihin joko näyttämällä esimerkkiä ja tuottamalla empiirisiä todisteita muille mahdollisille investoijille (joiden tiedonhankintakustannukset vastaavasti alenisivat) taikka kannustamalla energiaa säästävän tekniikan toimittajia alentamaan hintojaan ensimmäisten myyntitoimitusten jälkeen.<sup>11</sup>

Tavanomaisen energiaverotuksen ja energiaverojen takaisinkierrätyksen ohella voidaan käyttää myös sektorirahoituksen mallia, esimerkiksi *sektorikohtaista rahastoa*, joka muodostuu sektorin kaikkien sidosryhmien keskenään sopimista päästömaksuista. Aluksi valtio voisi rahoittaa toimintaa (tilapäisesti), jotta se

<sup>11</sup> Päinvastainen tilanne on yhtä todennäköinen, mikäli toimittaja otaksuu, että maksuhalukkuus on arvioitua suurempi.

saataisiin nopeasti käyntiin. Sektorilla toimivat sijoittajat voivat saada lainaa rahastosta alhaisella korolla. Lisäksi on mahdollista eriyttää rahoituskustannuksia suorituskyvyn perusteella. On myös välttämätöntä, että sektorilla on jossakin määrin sitova tavoite ja luotettava seurantamenetelmä. Tällaiset järjestelyt ovat tyypillisesti vapaaehtoisen sopimuksen osa. Julkishallinto hyötyy näistä järjestelyistä, koska hallintokustannukset alentuvat ja sektorilla varmistetaan kohtuullisen tehokkaan varojen kohdentamismekanismiin toteutuminen. Osassa Alankomaiden ja Tanskan vapaaehtoisia sopimuksia on ollut tai on edellä mainittuja piirteitä (ks. Ingerslev, 1999).

*Suoritusstandardit* viittaavat joko päästö- tai tehokkuustavoitteisiin (sektorikohtaisesti, katso myös sektorikohtaiset rahastot edellä), taikka tarkemmin laitteiston ja rakennusten minimistandardeihin. Tyypillisesti mitä tiukemmin tavoitteet muotoillaan ja mitä vähemmän joustoa säännöstö sallii, sitä korkeammat ovat kustannukset. Siksi varsinkin yksityiskohtaisemmat suoritusstandardit, jotka määrittävät ala- ja ylärajat laitteiston ja rakennusten tasolle, aiheuttavat lisäkustannuksia. Toisaalta monikerroksisissa päätöksentekorakenteissa ja jaetun vastuun tapauksessa (kuten palvelusektoria koskevassa esimerkissä edellä), suoritusstandardit voivat auttaa selkeyttämään markkinoita. Suoritusstandardit ilmeisesti sopivat parhaiten sellaisiin tapauksiin, joissa vallitsee päätöksenteon monikerroksisuus ja kyseessä oleva tuote- tai prosessityyppi on helposti määriteltävissä sekä edustaa merkittäviä energiankulutus- tai päästömääriä.

Konkreettisia esimerkkejä tehokkuusstandardeista ovat EU:n asettamat jääkaappien ja pakastimien minimitehokkuusstandardit sekä tulevat pesukoneiden EU-standardit. Koska verotuskäytäntö eri EU-maissa edelleen vaihtelee huomattavasti, unionin laajuiset standardit ovat tällä hetkellä paras mahdollinen vaihtoehto. Yhdysvalloissa tehokkuusstandardeja on sovellettu merkkikohtaisesti autojen myyntimääriin (CAFE). Myyntimäärillä painotettu polttoainetehokkuus ei saa ylittää normia. Greenen (1990) mukaan malli oli tehokas myös vertailtaessa sitä (hypoteettisiin) hinnoittelutoimenpiteisiin. 90-luvulla kuitenkin ilmeni, että ”urheilullisten” autojen (”sportsutilities”) lisääntynyt myynti, joka jäi säännöksen ulkopuolelle, heikensi merkittävästi muissa henkilöautoissa saavutettua kehitystä. Samantyyppinen porsaanreikä näyttää olevan tähän verrattavissa olevassa EU:n ja Euroopan autonvalmistajien liiton (Association of European Car makers) välisessä vapaaehtoisessa sopimuksessa.

Kolmas esimerkki on Alankomaiden uusien rakennusten energiatehokkuusnormi (’Energieprestatienorm’ EPN). Energiatehokkuusnormi suunniteltiin kattavaksi ja yleispäteväksi sekä näin ollen joustavammaksi. Sen soveltaminen on kuitenkin varsin hankalaa ja vaatii perusteellista opetusta sekä käsitteen että simulaatio-ohjelmiston käytössä. Koska energiatehokkuusnormia päivitetään teknisen kehityksen myötä, valvojalta vaaditaan jatkuvaa asian seuraamista ja taustatyötä. Normin soveltaminen siis aiheuttaa melkoisia kustannuksia sekä valvojalle että rakennusalalle.



Yleisen taloudellisen arvioinnin mukaan (Jeeninga et al, 1999) rakennusten energiatehokkuusnormi ei vaikuta kovin kustannustehokkaalta ratkaisulta verrattuna muihin toimenpiteisiin, kuten energiatehokkuuden lisäämiseen teollisuudessa. Energiatehokkuuden parantamisessa ohjelma on osoittautunut tehokkaaksi. Lisäksi yleisessä taloudellisessa arvioinnissa on oikeastaan ongelma, sillä vaikuttaa siltä, että ajan kuluessa talonmistajat ovat oppineet arvostamaan laadun paranevista ja vaikuttavat siis halukkailta maksamaan siitä. Tämä saa aikaan ongelmia vertailtaessa puolueettomasti tilannetta ennen EPN-normin käyttöönottoa ja sen jälkeen, sillä kuluttajien mieltymykset näyttävät muuttuneen. Tämä viittaa siihen, että tällaisten linjausten taloudellisia vaikutuksia on yleisesti vaikea arvioida. Mikäli energiatehokkuuden kohentaminen on yleishyödyllinen hyödyke (*'merit good'*), se merkitsee sitä, että kuluttajat (ja osa yrityksistä) alun pitäen aliarvioivat energiatehokkuuden lisäyksestä hyvinvoinnille koituvan hyödyn. Jälkikäteen tarkasteltuna toimenpiteen hyöty osoittautuikin oletettua suuremmaksi.

Useissa EU-maissa (Tanskassa, Italiassa, Alankomaissa) *"vihreän sähkön"* markkinat on luotu tai luodaan määrittelemällä uusiutuvilla luonnonvaroilla tuotetulle energialle minimiosuus kokonaistoimituksista (Meyer, 2000). Järjestelmä toteutetaan *kauppa-sertifikaattien markkinoilla*. Niin kauan kuin määrätty minimiosuus on alempi kuin se osuus, mikä on kuluttajien maksuhalukkuuden mukainen osuus, se on tehokas ohjauskeino kehitettäessä uusiutuviin energianlähteisiin perustuvia energiavaihtoehtoja hyväksyttävien hinnoin<sup>12</sup>. On kuitenkin olemassa riski, että muut samaan tavoitteeseen tähtäävät vaihtoehdot, kuten energiatehokkuuden parantaminen, kilpailevat samoista resursseista kuin uusiutuvien energialähteiden edistäminen. Lisäksi, jos minimiosuus kasvaa liian suureksi, se saa aikaan vääristymiä myös kuluttajien valinnoissa. Yleishyödyllisen hyödykkeen tukemisen motiivia, kuten aikaisemmin suoritusstandardien luomisen yhteydessä mainittiin, ei voida tässä yhteydessä käyttää.

*Markkinoiden muuntaminen* on uusi muotiana ohjauskeinoille, joilla pyritään aktiivisesti parantamaan niitä keinoja, joilla poliittisten valintojen aikaansaamat tai asiakkaiden antamat signaalit muunnetaan tuotteiden ja palveluiden halutuksi laatutasoksi. Toisin sanoen kyse on tiettyyn ympäristöön sovelletuista suoritusstandardeista, joilla pyritään korjaamaan markkinoiden epätäydellisyyttä. Merkittävin esimerkki tästä lähestymistavasta on kilpailunedistämisen käsite, jonka Ruotsin energiahallitus NUTEK (nykyään STEM) on kehittänyt. Se tähtää energiatehokkaampien tuoteversioiden (esimerkiksi jääkaappien) markkinoille tulon nopeuttamiseen. Suomessa MOTIVA on tehnyt kokeiluja tämän ratkaisumallin toteuttamisessa edistääkseen esimerkiksi energiatehokkaiden ikkunoiden ja läm-

<sup>12</sup> Hollannin kauppa- ja teollisuusministeriö tilasi vihreän energian markkinapotentiaalista tutkimuksen ([http://www.minez.nl/energie/fs\\_energie.htm](http://www.minez.nl/energie/fs_energie.htm), 'De Vraag naar Groene Energie' (Vihreän energian kysyntä, 2000). Tutkimuksen mukaan 45 % kotitalouksista ja 40 % yrityksistä olisivat halukkaita maksamaan noin 7 % enemmän (kotitaloudet) tai noin 20 % enemmän uusiutuviin energialähteisiin perustuvasta energiasta. Maksuhalukkaat tahot edustavat noin 15~20 % sähkön kysynnästä.

mön-toimitusmittauslaitteiden markkinoille tuloa (Kasanen et al., 1997). Ikkuna-ohjelma oli vain kohtalaisen menestyksekäs, mikä osittain johtuu hyvin vaatimattomasta rahoituspohjasta. Yhdysvalloissa tähän verrattavaa toimenpidettä, *yhteistoiminnallista interventiota*, on kokeiltu paineilmajärjestelmissä, joissa suurinkin parannukset ovat mahdollisia (McKane, 1999). Haasteena on tuoda yhteen koko tuotantoketju, suunnittelu, tuotanto, toimitus ja käyttö.

*Tukiohjauskeinot*, kuten tiedotuskampanjat, tutkimus ja kehitys sekä esittely ja tiedon levitys (T&K&E) on tarkoitettu parantamaan tehokkuutta ja sopivat myös pitkän tähtäimen suunnitelmiin poliittisten linjausten mukaisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Energiakampanjoiden ensimmäisten aaltojen yhteydessä, 70-luvulla ja 80-luvun alussa, tiedon jakamisella sinällään uskottiin olevan merkittävä vaikutus. Ajan myötä kokemuksen karttuessa on omaksuttu vaatimattomammat odotukset tuloksista ja on tiedostettu tiedon jakamisen vaikutusten lyhytkestoisuus. Hyvin johdettu tutkimus- ja tuotekehitys, joka johtaa muutamaan esittelyprojektiin, saavat usein aikaan kestäviä ja laajalle levinneitä vaikutuksia uuden teknologian ja organisatoristen käytäntöjen käyttöönotossa. Ongelmana ovat oikeiden tuotteiden ja prosessien valinta, kohtuullisen kunnianhimoiset tavoitteet ja realistinen aikakehys. Tähän taas vaaditaan TK&E-politiikan huolellista toteuttamista, johon kuuluu teknologian tulevaisuudentutkimusta ja seuranta. Muihin EU-maihin verrattuna Suomen kehitys ja politiikka ovat olleet varsin hyviä (ks. Euroopan Komission teettämä SENSER-raportti vuodelta 1998), vaikka ko. politiikka voidaan joutua mukauttamaan ilmastopimuksen tarpeisiin. Vapaaehtoisten sopimusten lisäksi, jotka toimivat selventävinä institutionaalisina kehyksinä ohjauskeinojen hyödyllisemmässä kohdentamisessa, juuri TK&E-toimet voivat vaikuttaa eri toimenpidetyyppien toimintakustannuksia vähentävästi. Tehostettu TK&E-toiminta vaikuttaa erityisen relevantilta laitteistojen ja rakennusten energiatehokkuuden kehittämässä, uusiutuvien luonnonvarojen käytön edistämässä pitkällä aikavälillä ja tietäntyyppisissä välittömissä vähentämistoimissa. Lisäksi ko. toimet edesauttavat uskottavien käsitteiden luomista, kun kuvataan taloudellisten, teknisten ja yhteiskunnallisten voimien vuorovaikutuksen kokonaisuutta. Tällaiset käsitteet ovat korvaamattomia, jotta lopulta päästäisiin sellaisiin poliittisiin linjauksiin, jotka ovat aidosti yhdenmukaisia kestävä kehityksen päämäärien kanssa.

### 3.4 Toimenpiteiden valinta ja niiden liittäminen ohjauskeinoihin

Esivalinnassa ja valinnassa käytetyt kriteerit:

1. Välittömät yksityiset kustannukset vähennettyä hiilidioksidiekvivalenttiyksikköä kohti

2. Yhteiskunnalliset (kansalliset) kustannukset vähennettyä hiilidioksidiekvivalenttiyksikköä kohti<sup>13</sup>
3. Vähennettävien hiilidioksidiekvivalenttiyksikköjen (tekninen) kokonaispotentiaali
4. Todellisten päästövähennysten arvioitu osuus päästövähennyspotentiaalista (ottaen huomioon oletettu kustannustaso)
5. Toteutuksen aikakehys (liittyy läheisesti kriteeriin 4)
6. Muut ympäristövaikutukset
7. Muut vaikutukset (yhteiskunnalliset, taloudelliset tai tekniset sivuvaikutukset, kulttuuriset vaikutukset)
8. Toimenpiteen alkuvaiheen toteuttamiskustannukset (järjestelykustannukset)
9. Toimenpiteestä aiheutuvat jatkuvat (toistuvat) toteuttamiskustannukset
10. Riippuvuus muutoksista instituutioissa, säännöksissä, käyttäytymisessä, johtamiskäytännöissä yms.
11. Mukanaolevien toimijoiden määrä (tarjouskilpailu vs. anonyymit markkinat)
12. Toteuttamisen todennäköisyys (voi vaikuttaa järjestelykustannuksiin, ks. kohdat 8 ja 9)
13. Vähennettyjen kasvihuonepäästöjen palautettavuus ja pysyvyys

Kursivoituja kriteerejä on käytetty alustavissa arvioissa, jotka yhdessä muiden raporttien tulosten kanssa ja välineistä aiemmin saadun tiedon kautta johtavat ohjauskeinojen ja toimenpiteiden ensimmäiseen järjestysluokitukseen.

Kun otetaan huomioon aiemmin esitetyiltä sektoreilta saadut tulokset, kysymykseksi jää, mitkä ohjauskeinot tehokkaimmin edistävät lupaavimpia ilmastopoliittisia vaihtoehtoja ja samalla mahdollistavat sellaisten rakenteiden muuttamisen, joiden avulla saadaan aikaan huomattavia vähennyksiä kohtuullisin kustannuksin vuoden 2010 jälkeenkin. Alla oleva lista perustuu aiemmissa kohdissa käytyyn keskusteluun ja muihin kustannuksia koskeviin taustaraportteihin. Sen ensisijainen tarkoitus on auttaa löytämään vaihtoehtoja, joista aiheutuu vähemmän kustannuksia. Toiseksi siinä kiinnitetään huomiota menettelyihin, joilla kustannuksia voidaan alentaa. Tästä seuraa, että useimmiten verotus riittää toimenpiteiden toteuttamiseen.

---

<sup>13</sup> Ensimmäisillä valintakierroksilla tämä viittaa vain ensimmäisten tilausten kustannuksiin, joita yksityiset sijoittajat eivät maksa, kuten TK-tuki- ja ohjelmakustannukset; vuorovaikutus muiden toimenpiteiden kanssa ja vaikutukset muualle talouteen voidaan lisätä mallisimulaatioiden jälkeen.

Voimaperäinen vuoteen 2010  
Muut kuin hiilidioksidikaasut

Tarvittavat ohjauskeinot

Eriytyinen erillinen ohjelma, ehkä myös lisämaksut, liittyy perusskenaariossa jo määriteltyihin ja päätettyihin toimiin.

Polttoaineen vaihto

Polttoaineen hiilipitoisuuteen perustuva verotus, tutkimus kustannuselementtejä määrittelevästä joustosta eri asiakastyypeillä vapaille energiamarkkinoilla ja lämpövoimaloiden ristikkäistukimahdollisuudesta kaukolämpöjärjestelmissä, T&K&E mikäli biomassalogistiikka toimii kustannuskynnyksenä, mahdollisesti käynnistämistukea biomassan tuotannolle ja käytölle, taustatutkimus tehokkaasta ja oikeudenmukaisesta energiaverojen kierrätyksestä.

Energiakantajien kauppa

Sellaisten verotusjärjestelmien estäminen, jotka haittaavat uskottavaa (puhtaan) energian myyntiä, energianjakelukapasiteetin laajentamista rajoittavan lainsäädännön ja tilasuunnittelun arviointi (joko kustannusten tai ajoituksen perusteella), ja tarvittaessa ristiriitaisten sääntöjen uudelleen tarkinta.

Päästöoikeuksien kauppa

Kokeilu päästöoikeuksien kaupalla, mieluiten pohjoismaisella tai Baltian maiden tasolla, sekä kansainvälinen päästökauppa (IET) että yhteistoteutus (JI), lupakaupan luomisen edistäminen Annex B –maiden keskuudessa ja vähintään Euroopan Annex B –maihin kuuluvissa maissa (vaikkakin ylärajat on hyväksyttävä), tutkimus siitä, millaisia T&K&E-linjauksia vaaditaan teknologian kehityksen ja siirtämisen vauhdittamiseksi – esimerkiksi osana sektorien vapaaehtoisia sopimuksia.

Tarvittavat pitkän tähtäimen strategian ohjauskeinot

Teollisuuden energiankäytön tehokkuuden kohottaminen

Tutkitaan, missä määrin ja kuinka nopeasti havaittuja teollisuuden energiasäästön rajakustannuksia voidaan alentaa, jonka jälkeen aloitetaan tai tehostetaan T&K&E-toimia lupaavissa sovellutuksissa sekä markkinoiden muutostoimia merkittävässä epätäydellisyyksissä – molemmat tehtävät suoritetaan vapaaehtoisten sopimusten (VS) yhteydessä, tietyllä viiveellä polttoaineen hiilipitoisuuteen perustuva energiaverotus voidaan ottaa käyttöön (tämä edellyttää tasapainotettua ajoitusta polttoaineen vaihtamisen ja lupakaupasta saatujen kokeilujen perusteella).

- Rakennusten energiankäytön tehokkuuden kohottaminen** Tutkitaan, missä määrin ja kuinka nopeasti havaittuja rakennusten energiansäästön rajakustannuksia voidaan alentaa, jonka jälkeen aloitetaan tai tehostetaan T&K&E-toimia lupaavissa sovelluksissa sekä markkinoiden muutostoimia merkittävässä epätäydellisyyksissä – molemmat tehtävät suoritetaan VS-kehyksissä, polttoaineen hiilipitoisuuteen perustuva verotus otetaan käyttöön energiantuotannossa ja koordinoidaan tilasuunnittelusektorin toimien kanssa, esimerkiksi sateenvarjo-VS:n avulla<sup>14</sup>,
- Energiantuotannon hyötysuhde** Toisaalta polttoaineen hiilipitoisuuteen perustuva verotus tehostaa tätä, kun taas T&K&E-tukea tarvitaan erittäin riskialttiiden kehitysprojektien osien eliminoimiseksi, yhteistyö teollisuuden ja eri instituutioiden kanssa EU-tasolla on suositeltavaa.
- Uusiutuvat energianlähteet** Asetetaan aurinko- ja tuulienergian kapasiteettitavoite, jonka ansiosta aurinkoenergian ja tuulivoiman kilpailua muiden vaihtoehtojen kanssa ei esiinny, tämä voidaan toteuttaa mahdollisesti yhdessä vihreiden sertifikaattien markkinoiden luomisen kanssa, tutkitaan useiden asiakastyypin ”vihreän energian” maksuhalukkuutta, selvennetään tuulivoiman tilasuunnittelusäännöstöjä ja maise-mallisia seikkoja, pyritään aurinkoenergiavaihtoehtojen integrointiin rakentamisessa, erityisesti uudisrakentamisessa, varmistetaan asiaankuuluvin säädöksin, että pienen mittakaavan energiantoimittajien liittyminen verkkoon on mahdollista
- Kuljetusvälineistö** Ajoneuvoteollisuuden kanssa solmittujen polttoainetehokkuutta koskevien kansainvälisten sopimusten lisäksi tarvitaan kansallisia toimenpiteitä sen varmistamiseksi, että autokannan todellinen kehitys on vähintään sen tasoista kuin kansainvälisessä sopimuksessa on määritelty (esimerkiksi henkilöauton hankintaveron differentiointi polttoainetehokkuuden perusteella), jatketaan kokeilua matalan hiilipitoisuuden vaihtoehtoilta julkisessa liikenteessä tavoitteena kustannustehokkuus.

<sup>14</sup> . Esimerkiksi Alankomaissa aluesuoritusstandardit (uudisrakennusalueilla) otetaan käyttöön yhtäaikaan rakennustehokkuusstandardien kanssa. Tämä liittyy myös EU:n järjestelmällisten kestävien korjauskäytäntöjen projektiin, johon Suomi (VTT) myös osallistuu.

**Kuljetus- ja tilalogistiikka**

Edistetään ja tuetaan T&K&E-toimia kestävän kehityksen mukaisessa logistiikassa, estetään kaupunkien hallitsematon kehitys, sovitetaan kaupunkien laajentuminen helpokäyttöiseen joukkoliikenteeseen, edistetään polkupyöräilyä ja kehitetään turvallinen infrastruktuuri pyöräilijöille kaupungeissa.

## 4 Skenaariot ja perusura – talous ja päästöt

### 4.1 Perusskenaario

Kasvihuonekaasujen rajoittamisen taloudellisia vaikutuksia tarkastelevissa tutkimuksissa luodaan useimmiten ns. talouden perustila (yleisen tasapainon staattiset mallit) tai talouden perusskenaario eli perusura (dynaamiset makromallit, yleisen tasapainon numeeriset dynaamiset mallit). Perustilassa tai perusurassa määräytyvät talouden endogeeniset muuttujat, kuten bruttokansantuotteen määrä, työllisyys, investoinnit, kulutus sekä tietysti kasvihuonekaasupäästöjen määrä. Useimmissa laskelmissa pyritään kuvaamaan talouden tilaa vuonna 2010, koska kasvihuonekaasujen rajoittaminen koskee periodia 2008-2012. Perusskenaariossa pyritään arvaamaan ja ennustamaan talouden tila ko. vuonna.

Periaatteessa mallilla luodaan perusskenaario seuraavasti. Mallissa ratkeavat talouden tilaa kuvaavat endogeeniset muuttujat; hinnat, tuotantomäärät sekä esimerkiksi ympäristöpäästöt. Mallin rakenne mukaan lukien kuluttajien mieltymyksiä (preferenssejä) ja tekniikkaa määrittelevät parametrit ja eksogeeniset eli mallin ulkopuolella määräytyvät muuttujat määräävät yhdessä endogeenisten muuttujien arvot. Skenaarion laadinnassa tulee ennustaa tekniikka- ja preferenssiparametrien sekä eksogeenisten muuttujien arvot. Tyypillisiä arvattavia eksogeenisiä tekijöitä ovat esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden maailmanmarkkinahintojen kehitys sekä energiantuotantotekniikan ja energiaa käyttävän tekniikan kehitys.

Onkin tehtävä selvä eri mallin eksogeenisten ja oikeiden eksogeenisten muuttujien välille. Mallit ovat todellisuuden yksinkertaistuksia ja siksi niiden laadinnassa joudutaan oletamaan endogeenisiä tekijöitä eksogeenisiksi.

Talouden tulevaa tilaa kuvaavia skenaarioita on laadittu seuraavien periaatteiden mukaisesti:

1. Tasapainoisen kasvun skenaario. Useimmiten tasapainoinen kasvu määräytyy pitkälti sen perusteella minkälaisella mallilla talouden kehitys arvioidaan eli mallin rakenne määrää talouden tasapainon. Mallin yhteydessä pitää ratkaista esimerkiksi se, mikä on EMU oloissa tasapainoista kasvua; onko taloudella inflaatio- vai vaihtotaserajoite? Yleisen tasapainon mallissa tasapainoisen kasvun skenaario voi tarkoittaa esimerkiksi muuttumattomien suhteellisten hintojen mukaista skenaariota. Dynaamisissa malleissa tasapainoinen kasvu voi merkitä sitä, että talouden vaihtotase on pitkällä aikavälillä tasapainossa eli talous ei velkaannu.
2. Tavoitekasvun skenaario, jossa tavoitteena voi olla esimerkiksi täystyöllisyys tai mahdollisimman alhainen energian hinta tai yksinkertaisesti tietty talous-

kasvu. Esimerkiksi mikäli talous on kovin riippuvainen energiasta energian hintaa laskemalla voidaan kiihdyttää talouden kasvua.

3. Realistinen ‘ennuste’ skenaario, joka voi perustua esimerkiksi vientitoimialojen kysyntäennusteisiin ja kotimaisiin tarjontaolosuhteisiin (esimerkiksi muuttumaton verorakenne ja puun tarjontaolosuhteiden määrittely).

Useimmat taloudellisilla malleilla lasketut skenaariot sisältävät aineksia kaikista kolmesta periaatteesta. Hiilidioksidipäästöjen ja talouden suhteen näkökulmasta ensimmäisen kohdan tekijät ovat usein luonteeltaan teknisiä. Ne kuitenkin määräävät useimmiten minkälainen talouskasvu on mahdollista (talouskasvun rakenne). Tekniset rajoitteet vaikuttavat talouden ja hiilidioksidipäästöjen suhteeseen etenkin skenaarioissa, joissa hiilidioksidipäästöjä rajoitetaan. Ovathan useimmat tekniset tekijät talouden rajoitteita eli talouden sopeutumiskykyä rajoittavia tekijöitä.

Sen sijaan kaksi jälkimmäistä periaatetta vaikuttavat useimmiten merkittävästi kasvihuonepäästöjen kehitykseen. Tavoitekasvun skenaariossa hiilidioksidipäästöt voivat kasvaa epärealistisen nopeasti, etenkin mikäli malli, jolla skenaarioita laaditaan sallii ko. kehityksen. Joissakin malleissa esimerkiksi vientikysyntää ja tätä kautta työllisyyttä voidaan kasvattaa ilman talouden tasapaino-ongelmia. Talouden tarjontaolosuhteiden tarkempi mallittaminen ‘hillitsee’ usein myös hiilidioksidipäästöjen kasvua.

Skenaarioita, joita käytetään tutkimustarkoituksessa ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten analysoinnissa, tulisi perustua pääasiassa tasapainoisen ja realistisen kasvun periaatteille. Näillä periaatteilla laaditut skenaariot ovat toki hyödyllisiä myös tavoiteskenaarioiden taustalla olevien tavoitteiden kannalta, koska ko. skenaarioissa paljastuu tavoitteiden ja todellisuuden mahdollinen ero. Tämä mahdollistaa tavoitteisiin tähtäävien toimenpiteiden analyysin. Sen sijaan tutkimustarkoituksissa ei pidä käyttää skenaarioita, joissa esimerkiksi täystyöllisyys on saavutettu mallia ja muuttujia manipuloiden.

Talouden tilaa ennustettaessa täytyy ottaa jollakin tavalla kantaa hankalaan kysymykseen tuotannon määräytymisestä pitkällä aikavälillä. Onko Suomen talouden kasvu tarjonta- vai kysyntävetoista? Kysyntävetoisen näkemyksen mukaan Suomen viennin ja talouden tilan määrää pitkällä aikavälillä maailmantalouden kehitys siis tulojen kehitys ja mahdollisesti suhteellisten hintojen kehitys. Viennin edellytyksiä on nykyisin tarkasteltava aluetalouksittain (Pohjois-Amerikka, Aasia, jne.). Tämän näkemyksen mukaan sekä puunjalostusteollisuuden kansainvälistyminen että sähköiseen viestintään siirtyminen merkitsevät periaatteessa Suomen kansantalouden kehityksen huononemista menneeseen verrattuna, koska perinteisesti vahvan toimialan eli puunjalostusteollisuuden kysyntätekijät ovat heikentyneet.



Tarjontavetoisessa näkemyksessä Suomen talouden kehitystä määräävät myös Suomen omat tekijät. Suomella on mahdollisuus vaikuttaa tuotannon edellytyksiin sillä tavoin, että useiden toimialojen tuotanto poikkeaa yleisestä maailmanmarkkinoiden keskimäärän sanelemasta kehityksestä. Esimerkkinä pidetään sähköteknistä teollisuutta, jonka hinnat laskevat, mutta joka on Suomessa nopeimmin kasvava vientiteollisuuden toimiala. Toisena esimerkkinä ovat perinteiset raskaat toimialat, kuten paperiteollisuus, joilla bulkkituotteitakin voidaan eriyttää esimerkiksi niiden tuottamisen ympäristövaikutuksilla. Toimialan kasvu voi toki myös heikentyä kotimaisten tarjontatekijöiden vuoksi. Esimerkiksi puun tarjontaan vaikuttaa yksityismetsien omistajien preferenssit, jotka voivat muuttua. Koulutetun ja osaavan työvoiman saatavuus puolestaan vaikuttaa tietointensivisten toimialojen kehitykseen.

Perusskenaario siis laaditaan yleensä periaatteella 'talouden kehitys ilman kasvihuonekaasupäästörajoitetta'. Vastaavasti päästöjen rajoittamisskenaario laaditaan periaatteella 'talouden kehitys, kun kasvihuonekaasupäästörajoite toteutetaan'. Tällöin on ratkaistava mitä oletetaan muiden maiden reaktioista ja kehityksestä, koskeehan kasvihuonekaasupäästötavoite kaikkia OECD-maita. Miten Kioto sopimuksen tavoitteiden toteuttaminen vaikuttaa maailmantalouden kehitykseen? Nämä tekijät ovat Suomen talouden kannalta eksogeenisiä, mutta kasvihuonekaasupäästörajoitteen kannalta endogeenisiä. Tärkeimmät kasvihuonekaasupäästörajoitteen toteuttamisen kansainväliset vaikutuskanavat ovat seuraavat:

- Maailmantalouden kasvuvauhti (Kioto sopimuksen toteuttaminen vaikuttaa lähinnä teollisuusmaiden kasvuvauhtiin)
- Energiavaltaitten toimialojen tuotteiden kansainvälisten markkinoiden hintareaktiot. Näitä toimialoja ovat massa- ja paperi, metallin perusteollisuus sekä kemianteollisuus
- Globaalien energiemarkkinoiden reaktiot, lähinnä hiilen ja öljyn hinnan muutokset.
- Euroopan kaasumarkkinoiden muutos; verkoston koko ja maakaasun hinta
- Pohjoismaiden ja myöhemmin myös Euroopan sähkömarkkinoiden muutokset (ml. Venäjän ja Baltian maiden tilanne)
- Energiatekniikoiden kysyntä (Suomen energiateknologian vienti)

Yleensä hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaarioissa oletetaan Suomen toteuttavan toimenpiteet yksipuolisesti. Tällöin esimerkiksi puunjalostusteollisuuden kilpailukyky heikkenee ja vienti vähenee perusskenaarioon verrattuna. Todellisuudessa myös muissa tuottajamaissa kustannukset muuttuvat. Kilpailijamaiden kustannusten muutos riippuu muun muassa ko. maan kasvihuonekaasupäästörajoitteesta, energiasektorin ja ko. toimialan ominaisuuksista sekä niistä toimenpiteistä, joilla hiilidioksidipäästöjä kilpailijamaissa rajoitetaan. Nämä seikat ver-

rattuna Suomen vastaaviin tekijöihin vaikuttavat suhteelliseen kilpailukykyyn. Suhteellisen kilpailukyvyyn muutos vaikuttaa Suomen vientiin. Toinen seikka, joka vaikuttaa on tiettyjen toimialojen kysynnän heikentyminen niiden suhteellisen hinnan noustessa. Toimialan maailmanmarkkinahinnan muutos riippuu siitä, kuinka hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen keskimäärin vaikuttaa toimialan tuotteen hintaan. Tämä taas riippuu muun muassa siitä, kuinka toimialan energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt voivat 'irtaantua toisistaan'. Tässä mielessä eri toimialat ovat erilaisella asemassa, esimerkiksi puunjalostusteollisuuden mahdollisuudet tähän lienevät paremmat kuin metallin perusteollisuuden ja kemianteollisuuden. Toisin sanoen vaikutus Suomen vientiin tulee sekä Suomen suhteellisen toimialakohtaisen kilpailukyvyyn että koko toimialan kysyntävaikutuksen välityksellä.

Luonnollisesti maailmantalouden ja maailmanmarkkinoiden kautta välittyvien vaikutusten arviointi on hankalaa. Esimerkiksi sähkömarkkinoiden laajentumisen vaikutusta sähkön hintaan on alettu vasta alustavasti arvioida. Vastaavasti hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen vaikuttaa myös maakaasumarkkinoihin. Euroopan maakaasumarkkinoilla toisaalta maakaasun kysyntä kasvaa hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vuoksi, mikä nostaa maakaasun hintaa. Toisaalta lisääntynyt kysyntä lisää tarjontaa ja tällöin hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen nopeuttaa maakaasuputkiverkoston laajentamista, jolloin esimerkiksi ns. länsiputken rakentaminen tulee todennäköisemmäksi.

Perusskenaario sisältää väistämättä Kioto sopimuksen vaikutuksia. Esimerkiksi energiamarkkinoilla tiedetään, että Suomen energiatuotantoa koskee hiilidioksidipäästörajoite vuodesta 2008 eteenpäin. Suomalaisten on jollakin keinolla toteutettava ko. rajoite ja tällä on väistämättä vaikutuksia energiamarkkinoihin. Hyvänä esimerkkinä toimii erillinen sähköntuotanto eli tavanomainen lauhdevoima. Perusskenaariossa ilman hiilidioksidirajoitetta eli maailmassa, jossa Kioto sopimusta ei ole, vanhentuvat kivihiihivoimalat korvataan uusilla kivihiihivoimaloilla ja tarvittava lisäkapasiteetti perustuu kivihiihivoimaloihin.

Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaarioissa, joissa pyritään minimoimaan hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen kustannukset energijärjestelmässä (kuten EFOM-mallin mukaiset tulokset), vanhentuvat kivihiihivoimalat korvataan pääasiassa maakaasuvoimaloilla ja tarvittava lisäkapasiteetti perustuu pääasiassa maakaasuun. Erillisen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt tuotettua terawattituntia kohden alenevat melkein 60 %. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariossa myös erillisen sähkön tuotannon määrä alenee, koska sähkön hinnan nousu (maakaasulla tuotetun sähkön tuotantokustannukset ovat korkeammat kuin kivihiihillä tuotetun sähkön) lisää tehostamistoimenpiteitä ja vähentää sähkön kysyntää.

Kun energiamarkkinoilla tiedetään mitkä ovat kustannustehokkaat hiilidioksidipäästöjen rajoittamiskeinot, on todennäköistä, että tämä otetaan huomioon esi-

merkiksi investointipäätöksissä jo nyt. Periaatteessa jo perusskenaariossa vanhentuvat kivihiiivoimalat korvataan maakaasuvoimaloilla ja lisäkapasiteetti perustuu myös maakaasuvoimaloihin. Nämä valinnat perustuvat tietysti laskelmointiin, joka on tehtävä epävarmuuden vallitessa. Maakaasuvoimaloihin siirtyminen voi esimerkiksi perustua oletukseen siitä, että ellei erillisen sähköntuotannon polttoainekäyttöä muuteta, tästä aiheutuvat kokonaistaloudelliset kustannukset ovat niin suuret, ettei poliittinen järjestelmä kykene tällaista päästöstä tekemään. Mikäli perusskenaariossa energiamarkkinoiden toiminnassa otetaan Kioto-tavoite edellä mainitulla tavalla huomioon perusskenaarion hiilidioksidipäästöjen kasvu (siis sellaiseen perusskenaarioon verrattuna, jossa Kioto sopimusta ei ole) vuoteen 2010 alenee merkittävästi eli yli puolella.<sup>15</sup>

Yleensä energiantuotannon perusskenaario kuitenkin perustuu oletukseen 'energiantuotanto ilman Kiotoa' eli perusskenaariossa erillisen sähköntuotannon polttoaine on kivihiihi. Järkeenkäypä kompromissi täysin maakaasuun perustuvan perusskenaarion ja entisenlaisen kivihiiilen käytön välillä on se, että energiamarkkinoilla hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen aiheuttamaan epävarmuuteen reagoidaan lykkäämällä investointeja eli erillisessä sähköntuotannossa ei investoida uusiin kivihiiivoimaloihin eikä maakaasuvoimaloihin. Lisäksi tällä hetkellä sähkön markkinahinta on niin alhainen, ettei ko. hinnalla kannata investoida uusiin erillisen sähköntuotannon voimaloihin. Sähkön markkinahinta nousee investointien edellyttämälle tasolle sähkön kysynnän kasvaessa ja kun kapasiteetin laajentamisinvestoinneista pidättäydytään (kapasiteettia poistuu käytöstä).

Perusskenaariosta seuraa joko kiinteiden hiilidioksidipäästökertoimien tai energiasektorin tarkemman ja simultaanisen mallituksen kautta talouden päästöjen perusura. Viime vuosien aikana tehtyjen arvioiden mukaan fossiilisista polttoaineista aiheutuvat hiilidioksidipäästöt olisivat vuonna 2010 välillä 61-91 miljoonaa tonnia. Alin arvio on KTM:n vuoden 1997 energiaskenaarion arvo (EPO1 skenaario, äärimmäisessä EPO2-skenaariossa päästöt olisivat vieläkin alhaisemmat) ja ylin arvio on toisen hiilidioksiditoimikunnan arvio vuodelta 1994. Vuoden 1999 alussa VTT arvioi päästöiksi vajaat 75 miljoonaa tonnia ja KTM:n energiasstrategian päivityksen mukaan hiilidioksidipäästöt olisivat noin 64 miljoonaa tonnia vuonna 2010. Hiilidioksidipäästöskenaarioiden vaihteluväli on siis varsin suuri, osa erosta johtuu energiasektoria koskevista oletuksista, mutta myös oletukset talouden kasvusta ja sen rakenteesta vaikuttavat hiilidioksidipäästöihin.

Tässä tutkimuksessa vaiheessa 1 vuoden 2000 aikana perusskenaarion kasvihuonekaasupäästöt ovat tarkennettu. Perusskenaariossa (BaU) kasvihuonekaasupäästöt ovat vuonna 2010 reilut 91 miljoonaa ekvivalenttitonnia, josta hiilidiok-

<sup>15</sup> Siis mikäli erillinen tavanomaisen lauhdevoima säilyisi kivihiiilikäyttöisenä muun energijärjestelmän hiilidioksidipäästöjen vähentämistavoite yli kaksinkertaistuisi. Tästä aiheutuvat kokonaistaloudelliset kustannukset olisivat kertaluokkaa suuremmat kuin hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen minimikustannusten mukaiset kokonaistaloudelliset kustannukset.

sidipäästöjä on reilut 75 miljoonaa tonnia. Vuonna 1990 kasvihuonekaasupäästöt olivat noin 77 miljoonaa tonnia, josta hiilidioksidipäästöjä oli vajaat 61 miljoonaa tonnia. Kaiken kaikkiaan kasvihuonekaasupäästöjä tulee vähentää noin 16 miljoonaa tonnia vuonna 2010. *Hiilidioksidipäästöt* vuonna 2010 voivat olla vajaat viisi prosenttia korkeammat kuin vuonna 1990, koska *muiden kasvihuonekaasupäästöjen* vähentäminen on suhteessa kustannustehokkaampaa ja päästörajoite koskee yhteenlaskettuja kasvihuonekaasupäästöjä.

Perusskenaarioon tulisi ottaa mukaan kaikki jo nyt nähtävissä olevat tekniikat ja käyttäytymismuutokset. Tämä vaatimus johtuu siitä, että perusskenaariota ei useinkaan käytetä vain kasvihuonekaasujen rajoittamiskustannusten laskemiseen, vaan myös rajoittamistoimenpiteiden kohdentamiseen. Tällöin väärin tehty perusskenaario voi johtaa väärin rajoittamistoimenpiteiden kohdentamiseen ja tätä kautta hyvinvointi- ja tuotantotappioihin. VTT:n perusskenaariossa onkin otettu huomioon uudet tekniikat ja energiatuotannossa olevan pääomakannan uusiutuminen. Samoin on tehty KTM:n energiaskenaarioissa.

## 4.2 Markkinavetoinen (perus)skenaario

Useimmat perusskenaariot eivät ole 'markkinavetoisia' skenaarioita, vaan niissä on mukana ainakin joitakin energiantuotantoon ja energiakulutukseen kohdistuvia toimenpiteitä (esimerkiksi KTM:n EPO skenaariot). Kuitenkin esimerkiksi KTM:n EMS on markkinavetoinen skenaario, joka on laadittu vertailuskenaarioksi. Vastaavanlainen skenaario esiintyy myös VTT:n julkaisemassa Energia Suomessa kirjassa.

Skenaarioiden laatijoiden on ratkaistava minkälaiset toimenpiteet (esimerkiksi tuet, verot ja normit) perusskenaarioon sisällytetään. Lisäksi on tietysti arvioitava mitä toimenpiteitä sisältyy 'markkinavetoiseen' skenaarioon. Markkinavetoisella skenaariolla tarkoitetaan esimerkiksi seuraavilla periaatteilla laadittuja skenaarioita:

- Julkinen sektori ei puutu lainkaan energiantuotantoon ja kulutukseen eli käytössä ei ole energiaveroja, energiatuotannon tukia eikä kulutusnormeja. VTT:n EFOM mallilla voidaan laskea energiantuotannon verottoman ja tuetottoman tilanteen mukaiset minimikustannukset, jolloin energiantuotannon kustannuksiin vaikuttavat energiantuotantoa koskevat ympäristönormit, kuten kivihiilivoimalaitoksia koskevat rikkidioksidipäästönormit.<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Periaatteessa kaikki päästöjenrajoittamisskenaariot voitaisiin arvioida tästä markkinavetoisesta tilanteesta lähtien. Käytännössä riittää, että kaikki päästöjen rajoittamisskenaariot arvioidaan samasta perusskenaariosta lähtien. Luonteva valinta lähtötilanteeksi eli vertailutilanteeksi on nykyinen energian tukeminen ja verotus.

- Julkisen sektori ei muuta käyttäytymistään (käytössä ovat nykyiset tuet, verot ja normit) tai ohjauspolitiikka perustuu jo päätettyihin tukiin, veroihin ja normeihin. EFOM:illa laskettava perusskenaario sisältää nämä.<sup>17</sup>
- Energian markkinahinta pysyy ennallaan (tai laskee ilman julkisen vallan toimenpiteitä).
- Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen toteutetaan ‘markkinahenkisillä’ ohjauskeinoilla, kuten hiilidioksidiverolla tai päästöoikeuksien kaupalla.<sup>18</sup>

Periaatteessa ‘markkinavetoisessa’ skenaariossakin talouden energiankulutus voi vähetä ja energiankäytön tehokkuus voi parantua merkittävästi mikäli skenaariossa oletetaan voimakkaasti kohoava energian maailmanmarkkinahinta ja/tai energiaa käyttävän tekniikan nopea kehitys.

Kaikissa perusskenaarioissa osa energiamarkkinoista on mallitettu markkinavetoisiksi. Maailmanmarkkinat määräävät esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden maailmanmarkkinahinnat. Tärkeitä uusia kansainvälisiä markkinoita ovat kaasu- ja sähkömarkkinat.

Sähkön hinnan ja kotimaisen tuotannon ennustaminen on tällä hetkellä hankalaa, koska hintaan ei vaikuta pelkästään ennustettu kysyntä ja ennustetut tuotantotekniikat. Sähkömarkkinoiden vapautuminen Euroopassa vaikuttaa tuotannon alueelliseen jakaantumiseen ja eri tekniikoiden käyttöön. Pohjoismaiden tasolla on arvioitu, kuinka ennustettu kysyntä, tuotantokapasiteetti, rajakustannukset ja sähkön hinnoittelusäännöt vaikuttavat sähkön hintaan ja tuotantoon. Eräänä tuloksena on, että joissakin tapauksissa pääomavaltaisen peruskuormaa tuottavan tuotantokapasiteetin rakentaminen on lyhyellä aikavälillä liiketaloudellisin perustein kannattamatonta. Sähkön tuotannon Pohjoismaisten rajakustannusten mukaan määräytyvällä sähkön hinnalla pääomavaltaiset sähkön tuotantomuodot kattaisivat sähkön markkinahinnalla keskimäärin muuttuvat kustannuksensa, mutta pääomakustannusten kuolettaminen ei olisi mahdollista (Kara ym. 1999). Yllä esitetty sähkön hinnoittelusääntö johtaa kapasiteetin vähentymiseen lyhyellä aikavälillä, mistä aiheutuu sähkön hinnan nousu. Markkinat korjaavat ‘kapasiteettivajeen’ vähentämällä sähkön kysyntää kohonneen hinnan vuoksi ja lisäämällä kapasiteettia sitten, kun sähkön markkinahinta on kohonnut riittävästi. Suomessa sähkön hinta kohoaa jonkin verran, mutta laajemmat sähkömarkkinat merkitsevät sähkön markkinahinnan hintapiikkien leikkautumista pois (Kara ym. 1999). Epäselvää on se, kuinka sähkömarkkinoiden todennäköinen laajentuminen Euroopassa vuoteen 2010 mennessä vaikuttaa sähkön tuotannon ja kysynnän tasapainoon

<sup>17</sup> Mikäli nykyiset verot ja tuet pidetään nimellisesti nykytasolla, ko. politiikka ei tietenkään ole neutraalia pitkällä aikavälillä.

<sup>18</sup> VTT:n julkaisemassa kirjassa *Energia Suomessa markkinavetoisen skenaarion oleellisen piirre* on se, että Suomeen rakennetaan lisää ydinvoimaa.

siis mikä on eurooppalaisilla sähkömarkkinoilla sähkön hinta ja saatavuus Suomen kannalta.

### 4.3 Ei-katumista (perus)skenaario

‘Markkinavetoisen’ lisäksi käytetään myös ‘ei katumista’ (no regret) skenaarioita. OECD tarkoittaa näillä sellaisia skenaarioita, joissa on tehty kaikki taloudellisesti järkevät toimenpiteet, joiden sivutuotteena hiilidioksidipäästöt muuttuvat. Ei-katumista skenaariot voivat pääasiassa perustua

- energiamarkkinoiden epätäydellisyys korjaamiseen, kuten valtion tukien poistamiseen ja verokohtelujen yhdenmukaistamiseen, osa toimenpiteistä voi olla markkinoiden avaamiseen ja synnyttämiseen tähtäviä (deregulaatio)
- veroreformiin, jossa verotusta siirretään työn ja pääoman verottamisesta resurssien käytön ml. energiankäytön verottamiseen

Ei-katumista skenaarion ideana on, että ensin korjataan taloudessa esiintyvät julkisen sektorin aiheuttamat tehottomuudet ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannukset arvioidaan tästä tehokkaaksi oletetusta tilanteesta lähtien. Useissa tapauksissa reformi johtaa hiilidioksidipäästöjen alentumiseen. Julkisen sektorin aiheuttama tehottomuus voi olla myös epäsuoraa, esimerkiksi julkinen sektori voi sallia markkinoilla monopoleja.<sup>19</sup> Mikäli ei-katumista-skenaarion toimenpiteitä ei tehdä osa kustannuksista voi esimerkiksi hiilidioksidiveron tapauksessa johtua tehottomuuden korjaantumisesta. Periaatteessa ei-katumista skenaarion mukaisen toimenpiteiden olemassaolo voi alentaa päästörajoitteen saavuttamisen kustannuksia, koska referenssitilanne ei ole optimaalinen.<sup>20</sup>

Tällä hetkellä tärkein ei-katumista politiikan mukainen toimenpide on EU:n tasolla energiamarkkinoiden ja erityisesti sähkömarkkinoiden vapauttaminen kansainväliseksi.

Ei-katumista politiikan tarkastelu voidaan siis periaatteessa jakaa kahteen ryhmään. Ensinnäkin voidaan tarkastella ainoastaan energiasektoriin kohdistuvien verojen, tukien ja normien tehokkuutta. Voidaanko halutut energiapoliittiset tavoitteet saavuttaa pienemmillä yhteiskuntataloudellisilla kustannuksilla? Tarkastelun ongelmana on tietysti se, että energiahuoltoon kohdistuu useita, usein ristiriitaisia tavoitteita. Tällainen tarkastelu voi esimerkiksi perustua periaatteelle, etteivät julkisen sektorin tulot ja menot saa reformissa muuttua, mutta veroja ja tukia pyritään kohdentamaan nykypolitiikkaa tehokkaammin.

<sup>19</sup> Tällöin kilpailun vapauttaminen voi itse asiassa lisätä energiankäyttöä ja tätä kautta hiilidioksidipäästöjä.

<sup>20</sup> Oletus siitä, että mallitettu (ja oikea) talous toimivat optimaalisesti eli minkäänlaisia tehottomuuksia ei ole on aika vahva. Ei-katumista ja markkinavetoisen skenaarioiden taustalla olevat oletukset ovatkin hyödyllisiä myös siinä mielessä, että niiden avulla voidaan testata käytetyn mallin (taustalla olevien oletusten) järkevyyttä.

Toiseksi voidaan tarkastella energian ja muiden panosten verotuksen sekä tukemisen suhdetta yhteiskuntataloudellisen tehokkuuden näkökulmasta. Johtaako erilainen toimialakohtainen energiaverotus panosten väärin kohdentumiseen tehokkuuden näkökulmasta?

Suomessa energiantuotantoon ja käyttöön kohdistuu lukuisa määrä veroja, tukia ja normeja. Perusskenaarion laadinnan kannalta lienee perustelua määritellä nykyinen politiikka perusskenaarioksi, jossa energiantuotantoa ja kulutusta ohjata varsin voimakkaasti. Päästöjen rajoittamisen kustannuksia arvioitaessa tulisi tietää missä määrin nykyinen politiikka on optimaalista. Onko nykyinen politiikka esimerkiksi lähellä ei-katumista politiikkaa?

Suomessa verotetaan lämmöntuotannon sekä sähkön ja lämmöntuotannon polttoaineita ja sähköä. Sähköveron tuotto on noin kaksi miljardia ja lämmöntuotannon polttoaineiden lisäveron tuotto on sekin noin kaksi miljardia. Teollisuuden osuus energiaveroista on vajaat puolitoista miljardia markkaa.





## 5 KESU-EFOM -mallijärjestelmä

### 5.1 Energiajärjestelmämallit ja kokonaistaloudelliset mallit

Hiilidioksidipäästörajoitteen taloudellisia vaikutuksia on Suomessa arvioitu sekä energiajärjestelmämallilla että kokonaistaloudellisilla malleilla. Kokonaistaloudellisina malleina on käytetty sekä numeerisia yleisen tasapainon malleja että FMS-mallia. Molemmat mallit ovat luonteeltaan pitkän aikavälin malleja. Näiden tarkastelujen lisäksi ilmastopolitiikan päätöksenteon tueksi haluttiin arvioida hiilidioksidipäästörajoitteen keskipitkän aikavälin vaikutuksista. Keskipitkän aikavälin vaikutuksia arvioidaan VM:n KESU-mallilla. Koska KESU-mallin energiasektori on erittäin yksinkertainen, mallia ikään kuin täydennettiin yksityiskohtaisella energiajärjestelmämallilla EFOM:illa. Vaiheen 1 aikana luotiin linkit KESU- ja EFOM-mallien välille, jotta mallia voitaisiin käyttää projektin seuraavassa vaiheessa päästövähennystoimenpiteiden vaikutusten arviointiin.

#### Mallityyppien yleisiä ominaisuuksia

Kokonaistaloudelliset mallit kuvaavat talouden kaikki sektorit ja niiden välisen vuorovaikutuksen. Numeeriset yleisen tasapainon mallit on tarkoitettu lähinnä pitkän aikavälin rakenteellisten muutosten ja hyvinvointivaikutusten tarkasteluun. Perusmallissa oletetaan, että hinnat ovat täysin joustavat ja että ne tasapainottavat kysynnän ja tarjonnan kaikilla markkinoilla. Makroekonometriset mallit soveltuvat puolestaan parhaiten lyhyen ja keskipitkän aikavälin tarkasteluihin. Niissä talouden tasapainottuminen tapahtuu enimmäkseen määrien kautta. Talouden sopeutumisenopeus perustuu mallin rakenteeseen ja aikasarjojen avulla estimoituihin reagointiyhtälöihin. Mallityypit ovat jossain määrin lähestyneet toisiaan, sillä joihinkin makroekonometrisiin malleihin on lisätty pitkän aikavälin tasapainon toteutumisen mukaisia ominaisuuksia, kun taas numeerisiin yleisen tasapainon malleihin on lisätty sopeutumiskustannuksia ja palkkajäykkyyttä. KESU-mallissa ei kuitenkaan ole sisäänrakennettuja tasapainottamismekanismeja. Tästä syystä sen avulla ei pystytä luotettavasti arvioimaan talouden sopeutumista, vaan sillä voidaan tuottaa suuntaa-antava arvio kustannuksista noin 3-8 vuoden kuluttua shokin alkamisesta.

Energiasektoria kuvaavilla insinööriperusteisilla malleilla (bottom-up mallit) pyritään kuvaamaan energian tuotanto- ja säästöolosuhteet mahdollisimman tarkasti. Useimmiten mallit perustuvat energiantuotannon tai energiajärjestelmän kustannusten minimointiin. EFOM-mallissa on otettu huomioon energian tuotannon erityispiirteet, kuten Suomessa yhdyskuntien sähkön ja lämmön yhteistuotanto sekä teollisuuden yhteistuotanto ja sivutuotteiden hyödyntäminen energiantuotannossa. EFOM sisältää myös teollisuuden, palveluiden ja kotitalouksien energiansäästömahdollisuudet. Malleilla voidaan laskea tiettyjen rajoitteiden, kuten

hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vaikutus energiantuotannon tai energiajärjestelmän minimikustannuksiin. Samoin voidaan laskea fossiilille polttoaineille määrättyjen verojen vaikutus tuotantotekniikoiden käyttöön ja energian hintaan. Energian hinta EFOM:issa perustuu tuotannon rajakustannuksiin, jolloin hiilidioksidipäästörajoitteen tapauksessa rajakustannuksiin sisältyy myös hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus (sähkön käyttäjätyypin mukainen laskettu laskennallinen hiilidioksidipäästökerroin kertaa hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannus).

### **KESSU- ja EFOM-mallit hiilidioksidipäästörajoitteen kustannusten arvioinnissa**

Taulukossa 5.1 esitetään energiajärjestelmämallissa ja kokonaistaloudellisessa mallissa kuvatut päästövähennyskeinot. Kokonaistaloudellisten mallien tuottamia arvioita energiasektorin polttoainerakenteen ja tuotantotekniikan muutosten aiheuttamista kustannuksista ja vaikutuksista sähkön hintaan ei voida pitää kovin luotettavina, sillä energiasektori on kuvattu melko karkeasti. Ne eivät esimerkiksi sisällä eksplisiittisiä kuvauksia tuotantotekniikoista. KESSU-mallin energiajärjestelmän kuvaus on erityisen yksinkertainen, sillä se ei sisällä polttoaineiden välisiä korvaamismahdollisuuksia, kuten numeeriset yleisen tasapainon mallit. Kokonaistaloudellisissa malleissa päästörajoite ei lisää energian säästöä, joten ne yliarvioivat päästövähennyksen kustannuksia. Tosin energian korvaaminen muilla panoksilla tuottaa samansuuntaisia tuloksia. Energiajärjestelmämalliin verrattuna niiden etuna on, että ne pystyvät ottamaan huomioon energian hinnan nousun aiheuttamat kokonaistaloudelliset vaikutukset.

EFOM-mallissa ei ole kuvattu muita sektoreiden välisiä kytkentöjä kuin energiaan, jätehuoltoon tai ympäristövaikutuksiin liittyvät. Eri sektoreiden primaarisilla aktiviteeteilla ei siis ole risti- eikä tulojoustoja ja EFOM:issa myös näiden aktiviteettien omat hintajouset on oletettu pääsääntöisesti nollassa. Energiasektorimallien ongelmana siis on, että energian hinnan nousun vaikutus energian kysyntään lukuun ottamatta vaikutusta energiansäästöön on kuvattu joko hyvin yksinkertaisesti tai vaikutus puuttuu kokonaan. Jos osa hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinoista, kuten tuotanto- ja kulusrakenteen muuttuminen sekä kokonaistuotannon- ja -kulutuksen alentuminen, jäävät kuvaamatta, hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannukset yliarvioidaan tältä osin. Toisaalta energiasektorimallit eivät ota huomioon esimerkiksi työttömyydestä aiheutuvaa kustannusta.

Taulukko 5.1. Mallityyppien ominaisuudet hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten kuvaamisessa.

| Mahdolliset muutokset                        | Energiajärjestelmä-malli | Kokonaistaloudellinen malli |
|--|--------------------------|-----------------------------|
| Polttoainerakenteen muutos                   | X                        | (x)                         |
| Uusiutuviin energiamuotoihin siirtyminen     | X                        |                             |
| Energian tuotannon ja siirron tehostaminen   | X                        |                             |
| Energian loppukulutuksen tehostaminen        | X                        |                             |
| Energiapanosten ja -hyödykkeiden korvaaminen |                          | (x)                         |
| Kansantalouden tuotantorakenteen muuttaminen |                          | X                           |
| Kokonaistuotannon alentaminen                |                          | X                           |

Koska kumpikaan mallityyppi ei kuvaa kaikkia hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinoja, ne tuottavat harhaisen arvion energiasektorilla ja muussa taloudessa tapahtuvasta sopeutumisesta ja kustannuksista. Esimerkiksi hiilidioksidipäästötaavoitteen vaatiman hiilidioksidipäästöveron suuruus tulee kummassakin mallissa yliarvioituksi, koska ne jättävät osan keinoista huomioimatta. Tarkastelussa tulisi siis joko yhdistää eri mallityypit tai käyttää niitä iteratiivisesti, jotta saataisiin luotettavampi arvio vaikutuksista ja kustannuksista.

## 5.2 Ilmastopoliittisten ohjelmien taloudellisten vaikutusten arvioinnissa käytettävien mallien välinen linkitys

Mallit voidaan linkittää toisiinsa joko kiinteästi liittämällä ne samaan ratkaisujärjestelmään tai löysemmin ratkaisemalla ne erikseen siirtäen toisen mallin tuloksia toisen mallin syöttötiedoiksi. Kiinteästä linkityksestä esimerkkinä on MARKAL-MACRO-malli. MARKAL on EFOMia vastaava energiajärjestelmää yksityiskohtaisesti kuvaava malli. MACRO-osassa puolestaan kuvataan energian korvattavuus eli korvaaminen muiden tuotantopanosten kanssa sekä energiajärjestelmän kustannusten kansantalouden investointeja ja kulutusta syrjäyttävä vaikutus. Talous on kuitenkin MACRO-osassa aggregoitu yhdeksi sektoriksi, joten se antaa hyvin yksinkertaisen kuvan kansantalouden ja energiajärjestelmän kytkennöistä. Jos linkitettävät mallit pohjautuvat erilaiseen filosofiaan, niiden kiinteä kytkeminen toisiinsa voi aiheuttaa huomattavasti mm. matemaattisia ongelmia. Yleisemmin käytetty tapa onkin linkittää mallit löysemmin. Tämä lähestymistapa on valittu EFOM-KESSU-linkityksessä.

Energiajärjestelmämallista viedään kokonaistaloudelliseen malliin (1) **välittömät kustannukset** ja (2) **nettoverot** (energiaverot – energiatuet). Tämän jälkeen

kustannuksiin lisätään laskennallinen ALV sekä tehdään veronpalautuksiin korjauksia. Esimerkiksi verojen takaisinkierrätystä alennetaan niiden toimialojen kustannuksilla, joita ei voida järkevästi viedä kokonaistaloudelliseen malliin, siis tietyille toimialoille. Kyseinen korjaus on vain muutama prosentti kokonaiskustannuksista.

EFOMin tuottamia energiajärjestelmän kustannustietoja voidaan muokata kokonaistaloudellisiin mallilaskelmiin sopiviksi useilla eri tavoilla. Erityisesti sähkön tuotannon kustannusten jakaminen sähkön käyttäjille eli itse asiassa sähkön hinnoittelu on oleellista, mutta samalla myös ongelmallista. Eräillä laskentamenetelyillä voidaan yrittää jäljitellä sellaista sähkömarkkinoiden toimintaa, jossa kustannuksia jaetaan sähkön tuottajien ja kysyjien välillä riippumatta sähkön tuotantomuodosta ja tuottajasta. Tällöin kustannukset riippuvat suuremmassa määrin käytetyn sähkön määrästä, jolloin kustannusten jako muistuttaa suhteessa hiilidioksidiveron mukaista kustannusten jakoa. Eräät laskentamenettelyt taas tuottavat tuloksia, jotka jäljittelevät tilanteita, joissa kohonneita tuotantokustannuksia ml. verot siirretään sähkömarkkinoilla suhteessa vähemmän teollisuuteen ja enemmän kotitalouksille ja palveluille. Käytetyt laskentamenettelyt eivät kuitenkaan tuota kertaluokkaa suurempia eroja keskenään esimerkiksi metsäteollisuuden lisäkustannuksissa. Arvioinnissa käytetään usean eri kustannusten jakomenettelyn tuottamaa keskiarvoa energiajärjestelmämallin laskemien lisäkustannusten jakamisessa talouden eri sektoreille eli keskiarvon mukaiset sektorikohtaiset kustannukset siirretään kokonaistaloudelliseen malliin. Toisin sanoen menettelyt eroavat vain kustannusten jakautumisessa eivät lisäkustannusten kokonaistasossa.

Käytettävä energiajärjestelmämallin tuloksista käytetään laskennassa hyväksi kustannuseroja eikä kustannustasoja. Mallin tuloksien avulla voidaan tietyin oletuksin arvioida sähkön ja lämmön keskimääräisten tuotantokustannusten nousua taloudessa. Tätä tietoa tarvitaan ALV:n määrän laskennassa. Hinnan muutokset siis perustuvat esimerkiksi sähkön tuotantokustannusten keskimääräiseen muutokseen eikä sähköntuotannon rajakustannusten muutokseen. Rajakustannushinnoittelun mallittaminen on kaiken kaikkiaan hankalaa ja se edellyttää mm. sähkön tuontimahdollisuuksien huomioonottamista analyysissa, koska rajakustannushinnoittelu on kiinteästi yhteydessä sähkömarkkinoihin ja hinnanmuutokseen ko. olosuhteissa. Arvioitua sähkön tuotannon yksikkökustannusten muutosta, sähkön tuotannon rajakustannusten muutosta sekä näistä mahdollisesti aiheutuvaa sähkön markkinahinnan muutosta voitaneen tarvittaessa arvioida tarkemmin tarkastelemalla energiajärjestelmämallin tuottamaa tulosta yksityiskohdaisemmin.

Energiajärjestelmämallista saadaan tietoja vuosilta 2005, 2008, 2010, 2015 ja 2020. Käytettävällä kokonaistaloudellisella mallilla voidaan laskea järkevästi vuoteen 2015 saakka (teknisesti vuoteen 2020 saakka). Arvioinnissa päädyttiin ratkaisuun, jossa energiajärjestelmämallin arvioimista lisäkustannuksista (ml.

verot) lasketaan kolmen vuoden (2005, 2008 ja 2010) tulosten keskiarvo ja ko. lisäkustannus viedään vuodesta 2005 alkaen tasomuutoksena kokonaistaloudelliseen malliin. Vuosien 2010-2015 välillä veronpalautuksia/veronkorotuksia muutetaan energiajärjestelmämallin tulosten mukaan, mutta muuten arviointi perustuu vuosien 2005, 2008 ja 2010 tuloksiin. Arvioinnissa siis selviää, kuinka talouden ura poikkeaa perusurasta vuosina 2005-2015. Koska malli on suhteellisen hidas reagoimaan kustannustason muutoksiin, vuoden 2015 tietojen mukaan ottaminen (keskiarvoisesti) ei muuttaisi kovinkaan paljon tuloksia.

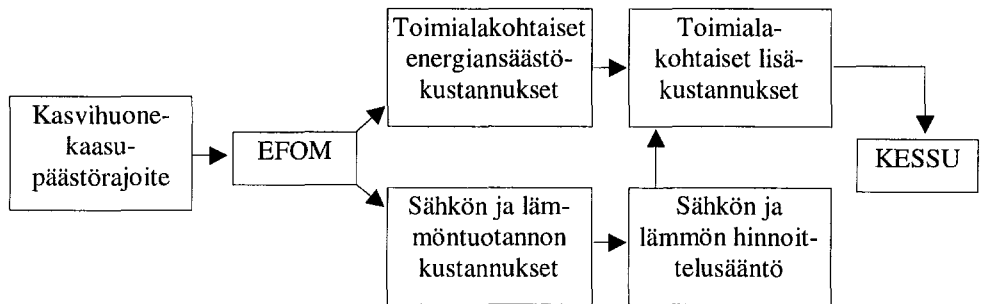
Kustannukset jaetaan kokonaistaloudellisessa mallissa talouden toimialoille niiden energiankäytön suhteessa. Ostosähkön alkuperä vaikuttaa jossakin määrin sähkön ja lämmön tuotannon kustannusten osalta kustannusten jakaantumiseen toimialoille.

Kustannusten siirto kokonaistaloudelliseen malliin perustuu yksikkökustannusajatteluun. Energiajärjestelmämallin lisäkustannuksilla kohotetaan teollisuuden ja palveluiden yksikkökustannuksia. Teollisuudessa ko. kustannukset muuttavat ko. toimiala arvonlisän hintaa ja tätä kautta kannattavuutta. Kannattavuuden alentumisesta seuraa tuotannon, investointien ja työllisyyden heikentyminen ko. toimialalla ja välillisten vaikutusten vuoksi muuallakin taloudessa. Palveluissa kustannusten perusteella kohotetaan ko. toimialan hintaa ja hinnan muutoksen positiivinen vaikutus kotitalouksien tuloihin kumotaan, jolloin jäljelle jää hinnan muutoksen kysyntää alentava vaikutus. Kokonaistaloudellisessa mallissa kotitalouksien energian hintaa nostetaan niin että, tuloksena on sama energiankulutuksen muutos kuin mitä energiajärjestelmämalli tuottaa tulokseksi.

Mallin tuottamalla aikauralla ei ole juurikaan järkevää tulkintaa, koska kustannuksia on keskiarvoistettu. Lisäksi osa vaikutuksista suhteellisesti heikkenee ajassa ja osa taas kumuloituu. Tällöin kokonaistaloudellisissa tuloksissa on oleellista relevanttien kokonaistaloudellisten muuttujien tasoerot vuosina 2010 ja 2015, tai pikemminkin ko. vuosien tuloksien keskiarvo.

Seuraavassa kuvataan hiilidioksidipäästörajoitteen vaikutuskanavia EFOM-KESU-mallijärjestelmässä. Mallijärjestelmän käyttö alkaa EFOM-mallista, jonne asetetaan joko hiilidioksidipäästörajoite (tai yleisemmin kasvihuonekaasupäästötavoite) tai ohjauskeinoja päästöjen vähentämiseksi. Esimerkissä koko energiajärjestelmään kohdistetaan kasvihuonekaasupäästörajoite, jolloin EFOM-malli valitsee energiajärjestelmän kokonais-kustannukset minimoivat toimenpiteet vähentää hiilidioksidipäästöjä. Päästörajoitteen seurauksena sähkön ja lämmön tuotannossa siirrytään hiilidioksidipäästö-intensiivisistä polttoaineista vähemmän hiilidioksidipäästöjä aiheuttaviin tai päästöttömiin polttoaineisiin. Kivihiilen käyttö aleneekin huomattavasti, kun taas hakkeen ja maakaasun lisääntyminen selvästi. Turpeen käytölle on useimmissa laskelmissa asetettu poliittisista syistä minimikäyttömäärä, mutta turpeen määrä voidaan tarvittaessa myös optimoida. Polttoainerakenteen muutos aiheuttaa investointikustannuksia. Lisäksi kustan-

nuksia aiheutuu kalliimpiin polttoaineisiin siirtymisestä. Energiankantajien tuotantokustannusten nousu aiheuttaa myös sähkön ja lämmön tuotannon rajakustannusten nousun, jolloin energiansäästöinvestointien kannattavuus paranee. Energiantuotannon rakennemuutoksen lisäksi päästöt vähenevätkin energiantuotannon alentuessa, koska energiasäästöinvestoinnit alentavat energian kysyntää. Energiainsäästöinvestoinnit lisäävät energiajärjestelmän kustannuksia.



Kuvio 5.2. Toimialakohtaisten lisäkustannusten siirtäminen EFOM:ista KESU:un.

Päästörajoitteesta aiheutuneet energiajärjestelmän lisäkustannukset kohdistetaan KESU-mallin toimialoille ja kotitalouksille. Sähkö- ja lämpökustannuksia nostavat niiden hintojen nousut, kun taas sähkön ja lämmön käytön tehostuminen alentaa kustannuksia (kuviokuva 5.2). Erityisesti sähkön tapauksessa täytyy ratkaista missä määrin EFOM:n rajakustannusten muutos vaikuttaa sähkön markkinahintaan sekä tätä kautta kuluttajahintaan. Tällöin joissakin rajoitusskenaarioissa täytyy ottaa huomioon myös sähkön tuonti, joka perustuu sähkön tuotannon rajakustannuksiin Suomessa.

Energian käytön tehostamisinvestoinneista aiheutuu myös kustannuksia. Kokonaisuutena toimialojen kustannukset nousevatkin ja kotitalouksien reaalitulot alenevat. Kustannusten nousu johtaa kannattavuuden heikkenemiseen, jolloin investoinnit alenevat. Kotimarkkinoille tuottavien sektorien tuotanto alenee välittömästi kotitalouksien ostovoiman alenemisen takia. Vientisektorit, erityisesti metsäteollisuus, reagoivat hitaammin kilpailukyvyn heikkenemiseen. Tuotannon aleneminen lisää työttömyyttä, jolloin kotitalouksien tulot alenevat entisestään. Energiainsäästöinvestointien oletetaan syrjäyttävän sektorin muita investointeja. Tällöin investointihyödykkeiden kysyntä ei lisäännä eikä talouteen aiheudu tätä kautta positiivista vaikutusta.

Seuraavalla iteraatiokierroksella (käytännössä lisäiteraatioita ei välttämättä kuitenkaan tarvita) päästörajoitteen saavuttaminen on helpompaa, sillä päästöt jäävät alemmalle tasolle loppuenergian kysyntöjen pienennyttyä EFOM:iissa edellisen

KESU kierroksen tulosten perusteella. Tällöin kokonaiskustannukset ja päästövähennyksen rajakustannus (tarvittava hiilidioksidivero) jää alemmaksi. Vastavasti kaikki muutkin vaikutukset ovat vähäisempiä.

KESU-mallin käyttäminen EFOMin rinnalla alentaa energiajärjestelmälle aiheutuvia kokonaiskustannuksia sekä päästövähennyksen rajakustannuksia (esimerkiksi EFOM:issa kasvihuonekaasurajoitteen toteuttava hiilidioksidivero).





## **6 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariot ja niiden taloudelliset kustannukset**

### **6.1 Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaariot**

Talouden ja kasvihuonekaasupäästöjen kehitystä kuvaava perusskenaario voidaan laatia useilla eri periaatteilla. Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisskenaariot voidaan nekin laatia useilla eri periaatteilla. Päästöjenrajoittamisskenaario ei välttämättä esimerkiksi ole sellainen, joka toteuttaa päästörajoitteen minimikustannuksilla. Mallilaskelmissa on toistaiseksi arvioitu hyvin pelkistettyjen hiilidioksidipäästöjenrajoittamisskenaarioiden kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Käytännössä on tarkasteltu joko päästökiintiöiden kaupan tai hiilidioksidiveron vaikutuksia. Honkatukia on tarkastellut ilmaiseksi jaettavien hiilidioksidipäästökiintiöiden kokonaistaloudellisia vaikutuksia.

Taloutta ohjataan lukuisilla tavoilla ja näitä muuttujia voidaan kutsua politiikkatai ohjausmuuttujiksi. Tyypillisiä ohjausmuuttujia ovat verot ja tuet, jotka muuttavat taloudenpitäjien käyttäytymistä haluttuun suuntaan. Normeilla saadaan myös aikaan haluttu vaikutus ja niillä on myös taloudellisia vaikutuksia. Perusskenaariossa täytyy arvioida, mikä on politiikkamuuttujien perusura.

Kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat politiikkatoimenpiteet voidaan taloudellisten kustannusten syntymisen näkökulmasta jakaa neljään ryhmään:

- Nykyiset tuet, verot ja normit, jotka vähentävät tai lisäävät kasvihuonekaasupäästöjä tuettomaan, verottomaan ja normittomaan tilanteeseen verrattuna. Lisäksi nämä toimenpiteet vaikuttavat talouden tehokkuuteen. Näitä toimenpiteitä voitaisiin kutsua nykypolitiikaksi. Esimerkiksi liikennepolttoaineiden verotus ja voimalaitoksien happamoittavien päästöjen rajoittaminen normeilla ovat tällaisia toimenpiteitä.
- Jo päätetyt toimenpiteet sekä tiedossa olevat toimenpiteet, jotka vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöihin, mutta joita ei varsinaisesti tehdä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Tällaisia toimenpiteitä ovat muun muassa jätehuoltoon kohdistettavat toimenpiteet ja maatalouden ympäristönsuojelutoimet. Mahdollisia muita toimenpiteitä ovat muun muassa yhdyskuntarakentamiseen ja liikenteeseen vaikuttavat toimet. Näitä toimenpiteitä voitaisiin kutsua 'tehdään joka tapauksessa' politiikaksi.
- 'Ei katumista' politiikan mukaiset toimet energiapolitiikassa, jotka kannattaa tehdä kokonaistaloudellisen tehokkuuden lisäämiseksi ja joilla on vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin.
- Varsinaiset kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseen tähtäävät toimenpiteet.

Ainoastaan viimeksi mainittujen toimenpiteiden kustannusvaikutus tulisi laskea perusskenaarioon verrattuna. Periaatteessa perusskenaariossa pitäisi olla kolmen ensimmäisen ryhmän toimenpiteet. Useimmiten kuitenkin perusskenaarioon sisältyy kahden ensimmäisen ryhmän toimenpiteet. VATT:n tutkimuksessa perusskenaario perustuu kahteen ensimmäisen ryhmän mukaisiin toimenpiteisiin (toimenpiteet vaikuttavat pääasiassa energijärjestelmämallissa) ja mahdollisuuksien mukaan yritetään laatia ei-katumista mukaisen politiikan mukainen skenaario.

Päästöjen rajoittamisskenaarioissa voidaan eritellä toisaalta toimenpiteet, joilla esimerkiksi hiilidioksidipäästöjä alennetaan ja toisaalta ohjauskeinot, joilla kyseinen toimenpiteet saadaan aikaan. Toimenpiteitä on lukuisa joukko. Toimenpide voi olla esimerkiksi asuntojen lämpöeristyksen parantaminen tai turpeen korvaaminen hakkeella sähkön ja lämmön yhteistuotannossa tai teknisen rakennusasteen nosto (sähkön tuotannon lisäys annetulla lämpökuormalla) teollisuuden sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Ohjauskeino, jolla toimenpide toteutetaan on eri asia. Joskus ohjauskeinon ja toimenpiteen välinen suhde on selkeä: esimerkiksi asuntojen lämmöneristystä koskeva normi väistämättä johtaa tiettyyn asuntojen lämmöneristykseen. Sen sijaan on epävarmaa, kuinka energiavero tai -tuki vaikuttaa kotitalouksien ostamien asuntojen lämmöneristykseen. Turpeen verotus tai hakkeen tukeminen energiantuotannossa johtaa turpeen korvaamiseen hakkeella ja tätä kautta hiilidioksidipäästöjen alentumiseen. Mallilaskelmissa ohjauskeinon ja toimenpiteen (sekä siitä aiheutuvan päästövähennyksen) välinen suhde saadaan olettamalla taloudenpitäjällä olevan tietynlaisen tekniikan ja taloudenpitäjän käyttäytymisen perustuvan optimointiin. Ohjauskeinoja ovat muun muassa tuet, verot ja normit. Tutkituin hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen ohjauskeino on hiilidioksidivero.

Hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen voidaan osittaa muutamaan tekijään. Näitä ovat (1) energiantuotannon rakenteen muutos erityisesti energiantuotannon polttoaineiden käytön muutos, (2) energian käytön tehostaminen tuotannossa ja kotitalouksien energian käytössä, (3) tuotannon ja kulutuksen rakennemuutos sekä (4) tuotannon ja kulutuksen tason muutos. Energijärjestelmää kuvaavat mallit kuten EFOM sisältävät usein tekijät (1) ja (2). Ohjauskeinot kohdistuvat useimmiten energiantuotantoon ja energiankulutukseen. Joissakin hyvin harvoissa tapauksissa toimenpiteet ja ohjauskeinot kohdistuvat suoraan myös kulutuksen ja tuotannon rakenteeseen. Kuitenkin useimmissa tapauksissa tekijöissä (3) ja (4) tapahtuvat muutokset ovat seurausta tekijöissä (1) ja (2) muutoksista aiheutu-neista kustannuksista.

## **6.2 Sektorikohtaiset päästöjen rajoittamisskenaariot**

Sektorikohtaisissa kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisskenaarioissa tarkastelun painopiste on kustannustehokkaissa toimenpiteissä ja ohjauskeinojen vaikutus-analyysia ei useinkaan ole. Tämä johtuu tietysti siitä, ettei sektorikohtaisessa tar-

kastelussa ole luontevaa ottaa huomioon ohjauskeinojen kokonaistaloudellisia vaikutuksia. Sen sijaan tavoitteena on löytää tietyn sektorin päästöjen rajoittamisen kustannustehokkaat toimenpiteet ja toimenpiteiden kustannustehokkuusjärjestys.

Suomessa sektorikohtaisia kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisskenaarioita on laadittu muun muassa kauppa- ja teollisuusministeriössä sekä Valtion teknillisessä tutkimuslaitoksessa. VTT:n käyttämä EFOM sisältää kolme tärkeintä kasvihuonekaasua eikä siis pelkää hiilidioksidia. EFOM:lla lasketaan energiajärjestelmän minimikustannusten muutos Kioto tavoitteen mukaisilla kasvihuonekaasupäästöillä perusskenaarioon verrattuna. KTM:n analyysissä painopiste on hiilidioksidipäästöjen rajoittamisessa. VTT on laatinut myös energiasektoria koskevan uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman. Vuoden 2000 alkupuoliskolla eri ministeriöt, kuten metsä- maatalousministeriö, liikenneministeriö ja ympäristöministeriö ovat laatineet omat sektorikohtaiset ohjelmat tai skenaariot sektorikohtaisten kasvihuonekaasupäästöjen alentamiseksi. Ohjelmissa esitetään todennäköisesti joiltakin osin myös sektorikohtaisia kustannusarvioita.

Sektorikohtaisissa kustannusarvioissa (kuten KTM:n uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa) lasketaan usein sekä nykyisen tukipolitiikan että lisätukipolitiikan valtiontaloudelliset kustannukset ja hiilidioksidipäästövaikutukset yhteen. EFOM-KESSU-mallijärjestelmällä taloudelliset vaikutukset arvioidaan kuitenkin ainoastaan lisäpolitiikan kustannusten perusteella. Samoin menetellään hiilidioksidipäästöjen vähenemässä.

EFOM laskelmat, kuten myös uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmät, sisältävät arvion sektorikohtaisista kokonaiskustannuksista. Sektorianalyysin vuoksi EFOM laskelmat sisältävät energiajärjestelmän sopeutumis- tai muuntamiskustannukset, eivät siis kokonaistaloudellisia kustannuksia. Energiajärjestelmän sopeutumiskustannukset arvioidaan 1-2 miljardiksi markaksi, joista noin kolmannes kohdistuu teollisuuteen. Merkittävää on se, että kustannustehokkaassa ratkaisussa hiilidioksidipäästöt ovat noin neljä prosenttia korkeammat kuin vuoden 1990 hiilidioksidipäästöt, koska muiden kasvihuonekaasupäästöjen alentaminen on suhteellisen edullista.

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa kustannukset ovat tukipolitiikan kustannuksia, siis kustannuksia valtion talouden kannalta. Nämäkin kustannukset eivät ole kokonaistaloudellisia kustannuksia. Niitä voidaan toki käyttää tehokkuusanalysoinnissa, koska ilmeisesti tuet on pyritty mitoittamaan siten, että uusiutuvat energialähteet muuttuvat kilpailukykyisemmäksi. Tuen tulisi siis kuvata uusiutuvien energialähteiden kilpailukykyeroa, jolloin sitä voidaan käyttää hyväksi taloudellisia vaikutuksia arvioitaessa.

Kasvihuonekaasurajoituksen saavuttamisen kustannuksiin vaikuttavat merkittävästi muut taloudessa etenkin energiasektorilla voimassa olevat rajoitteet. Osa

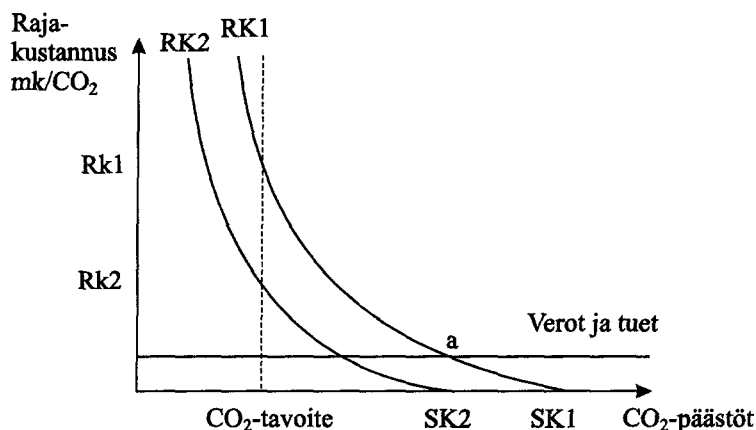
rajoitteista on poliittisia, kuten ydinvoimanlisärakentamisrajoite ja osa koskee energiasektoria, kuten maakaasuverkon laajuus. EFOM:illa saatujen tulosten mukaan ydinvoiman lisärakentamisrajoite kaksinkertaistaa kustannukset miljardista kahteen miljardiin. Toinen energiahuollon rajoite eli turpeen käyttöminimi vaikuttaa myös merkittävästi kustannuksiin. Mikäli turpeen käyttö pidetään vuoden 1998 tasolla tästä aiheutuu noin 100 miljoonan markan vuosittaiset lisäkustannukset. Kolmas tekijä, joka vaikuttaa kustannuksiin on tuontisähkön määrä ja hinta, mikäli tuontisähköä on saatavissa enemmän kilpailukykyiseen hintaan tällä on kustannuksia alentava vaikutus, erityisesti silloin, kun lisäydinvoimaa ei rakenneta.

Joustavuusmekanismien hyväksikäytön vaikutus energijärjestelmän kustannuksiin voidaan arvioida epäsuorasti löystämällä hiilidioksidipäästörajoitetta esimerkiksi viisi miljoonaa tonnia. Tällöin energijärjestelmän kustannukset alenevat ja kustannusten alenema ilmaisee, kuinka paljon ko. määrästä hiilidioksidipäästöjä kannattaa maksaa. Neljän viiden miljoonan hiilidioksidilisätonnin vaikutus energijärjestelmän välittömiin kustannuksiin on merkittävä; se on skenaariorista riippuen melkein miljardi markkaa.

Edellä esitetyt energijärjestelmää koskevat kustannukset perustuvat sellaiseen vertailutilanteeseen, jossa energiantuotantoon ei kohdistu lainkaan veroja ja tukia. Mikäli nykyiset energiantuotantoon kohdistuvat verot ja tuet vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöjen määrään perusskenaarion tulee perustua nykyisiin veroihin ja tukiin. Tällöin todennäköisesti hiilidioksidipäästöt alenevat ja energiantuotannon kustannukset kasvavat nykyiseen EFOM-perusskenaarioon verrattuna. Kyseisiä kustannuksia ei kuitenkaan pidä laskea hiilidioksidipäästöjen rajoittamiskustannuksiksi. Nykyinen politiikka ei kuitenkaan väistämättä vaikuta hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannuksiin (kuvio 6.1).

Kuten kuviossa 6.1 havaitaan energiantuotantoon kohdistuvat tuet ja verot alentavat hiilidioksidipäästöjä määrän tasolta SK1 tasolle SK2. Kyseessä ei kuitenkaan ole energianjärjestelmälle eksogeeninen tekijä, joten rajakustannuskuvaaja ei siirry alkavaksi kohdasta SK2. Tämä johtuu siitä, että todennäköisesti nykyiset verot ja tuet johtavat käyttämään sellaisia hiilidioksidipäästöjen vähentämistoi-  
menpiteitä, joita käytettäisiin myös verottomasta ja tuettomasta tilanteesta lähtien. Toisin sanoen nykypolitiikan mukaiset tuet ja verot hyödyntävät osan hiilidioksidipäästöjen vähentämistekniikoista tai vähentämispotentialista. Kuviossa 6.1 tämä ilmenee siten, että verotuksella ja tukipolitiikalla on siirrytty rajakustannuskuvaajalla SK1 kohdasta SK1 kohtaan a.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Vero-ohjaus kohdistuu tällä hetkellä voimakkaasti sähkön ja lämmön yhteistuotantoon sekä lämmön tuotantoon. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa nykyinen verotus kohentaa maakaasun kilpailukykyä kivihiileen verrattuna. Riittävän korkealla sähkön hinnalla maakaasu on kilpailukykyinen polttoaine ilman verojakin. Toisin sanoen on epäselvää missä määrin nykyinen vero-ohjaus vaikuttaa polttoainevalintoihin. Toisaalta lämmöntuotannon polttoaineiden verottaminen vaikeuttaa yhteistuotannossa tuotetun sähkön kilpailukykyä, mikä lisää erillisen sähköntuotan-



Kuvio 6.1. Nykyisten energiaverojen ja tukien vaikutus hiilidioksidipäästöihin ja hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen rajakustannuksiin.

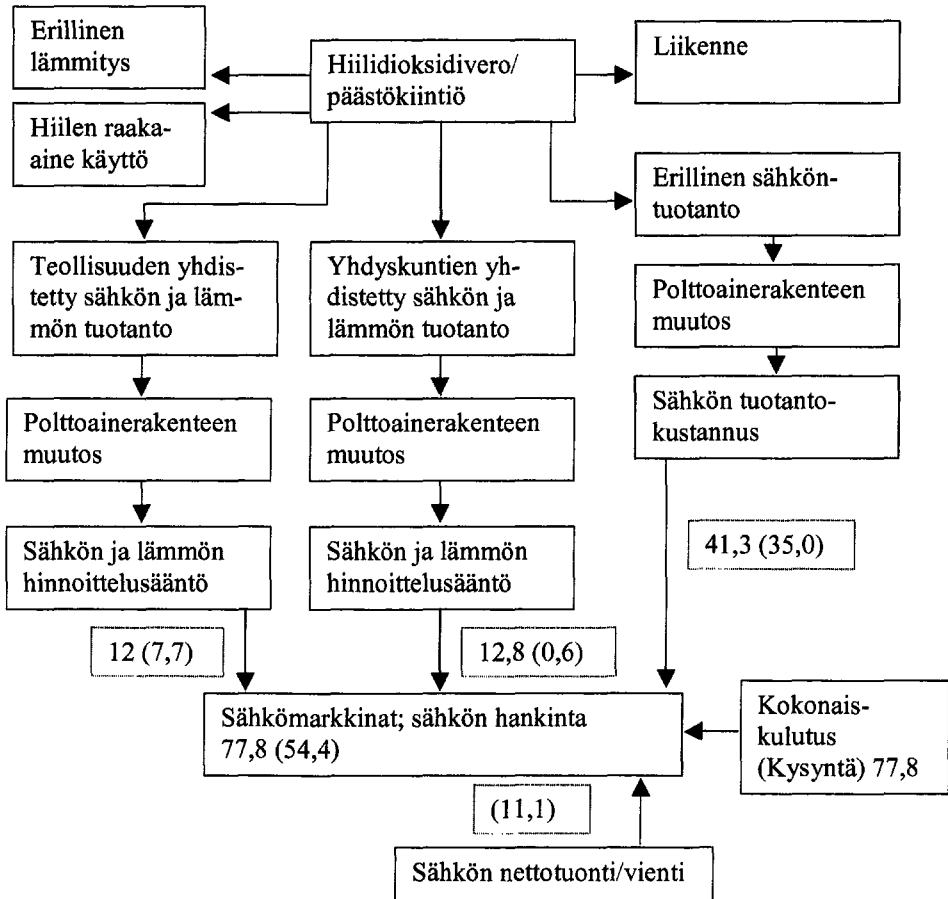
On toki mahdollista ja myös todennäköistä, että nykyisten energiantuotantoon kohdistuvien tukien ja verojen nettokertymällä voidaan saavuttaa alhaisemmat hiilidioksidipäästöt kuin mitä saavutetaan nykyisellä vero – ja tukirakenteella. Tällöin kuviossa 6.1 voidaan olettaa, ettei kokonaistaloudellinen optimi muutu (energian ja muiden panosten suhteellinen hinta ei keskimäärin muutu), jolloin samalla kokonaistuotannolla hiilidioksidipäästöt alenevat. Tällöin itse asiassa rajakustannuskuvaaja SK siirtyy vasemmalle eli hiilidioksidipäästöt alenevat siten, että hiilidioksidipäästörajoitteen toteuttamisen rajakustannukset ja kokonaiskustannukset alenevat.

Mikä tahansa hiilidioksidipäästöjä rajoittava ohjauskeino tai toimenpide vaikuttaa nykyisessä tilanteessa suoraan sähkömarkkinoiden välityksellä sähkön markkinahintaan ja tätä kautta kuluttajahintaan (kuvio 6.2). Luonnollisesti esimerkiksi erillisen lämmityksen hiilidioksidipäästöjen muutos vaikuttaa epäsuorasti (hiilidioksidipäästörajoitteen kautta) myös sähköntuotannon kustannuksiin. Energiajärjestelmämallilla on pyritty kuvaamaan tällaiset epäsuoratkin yhteydet.

Kuvion 6.2 perusteella sähkömarkkinoilla kilpailevat erillisen sähkön tuotannon sähkö, yhdyskuntien yhteistuotantosähkö, teollisuuden yhteistuotantosähkö ja tuontisähkö. Yhteistuotantosähkö, erillisen sähköntuotannon vesivoimalla tuotettu sähkö ovat kohtuullisen kilpailukykyisiä nykyisellä alhaisella sähkön markkinahinnalla noin 10 penniä kilowattituntia kohden. Sen sijaan ydinsähkön ja muun erillisen sähköntuotannon pitkän aikavälin kannattavuus edellyttää sähkön markkinahinnan nousua useilla kymmenillä prosenteilla.

---

non sähkön tuotantoa ja tätä kautta myös päästöjä. Tällöin hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen edellyttää erilliseen sähköntuotantoon kohdistuvia toimenpiteitä. Kyseisiä vuorovaikutuksia voidaan tutkia VTT:n EFOM mallilla.



Kuvio 6.2. Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen vaikutukset sähkömarkkinoihin. Sähkön tuotantomäärät TWh ja suluissa hiilidioksidipäästövapaan sähkön määrä vuonna 1999.

### 6.3 Kokonaistaloudelliset kustannukset hiilidioksidipäästöjen rajoittamisskenaarioissa

Seuraavassa tarkastellaan kokonaistaloudellisten mallien (lähinnä numeeristen yleisen tasapainon mallien) tuottamia kustannusarvioita päästörajoitteen vaikutuksista. Arviot kustannuksista ovat vaihdelleet suuresti mallien oletuksista riippuen. Bruttokansantuotteen alentumiseksi on arvioitu 1-7 prosenttia ja hyvinvointi jopa lisääntyisi joillakin oletuksilla. Tarvittavan hiilidioksidiveron tasoksi

on arvioitu 250-550 mk/t CO<sub>2</sub>. Seuraavassa tarkastellaankin kustannusvaikutusten kannalta keskeisimpiä mallien oletuksia.

Keskeisimpiä taloudellisiin kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Päästövähennyksen määrä
- Työmarkkinoiden toiminta
- Pääoman liikkuvuus sektoreiden välillä ja kansainvälisesti
- Vientisektorien asema maailmanmarkkinoilla
- Energiantuotannon joustavuus ml. sähkön tuontimahdollisuudet
- Vero- tai päästömaksutulojen käyttötapa
- Yksipuolinen vai kansainvälinen rajoite

#### Päästövähennyksen määrä

Koska päästövähennyksen rajakustannuskäyrä on nouseva eli yhden päästöyksikön vähentämiskustannukset ovat sitä suuremmat mitä enemmän päästöjä on jo vähennetty, päästövähennyksen määrä vaikuttaa merkittävästi kokonaistaloudellisiin kustannuksiin ja esimerkiksi tarvittavan hiilidioksidiveron suuruuteen.

Rajakustannuksia on arvioinut mm. Pohjola (1997). Laskelman mukaan rajakustannus hyvinvoinnilla mitattuna on 110 mk/t CO<sub>2</sub>, jos hiilidioksidipäästöjä vähennetään 5 %, 234 mk/t CO<sub>2</sub> vähennyksen ollessa 20 % ja jo 600 mk päästövähennyksen ollessa 40 %.

Honkatukia on arvioinut hiilidioksidipäästöjen rajoittamiseksi tarvittavaa hiilidioksidiveroa useilla oletuksilla. Keskimääräinen hiilidioksidipäästöjen vähennämä on noin 30 % ja ko. rajoitteen toteuttava hiilidioksidivero on luokkaa 400-600 mk tonnia kohden oletuksista riippuen. Honkatukian laskelmiin ei sisälly hiilidioksidipäästörajoitteen rajakustannusta.

Päästövähennyksen määrä riippuu päästöistä perusskenaariossa, joten oletukset talouden kokonaiskasvusta, tuotantorakenteesta, polttoaineiden hinnoista sekä energiansäästöstä ovat keskeisiä kustannuksia arvioitaessa.

#### Joustomekanismit

Kioton pöytäkirjassa ja EU:n sisäisessä taakanjaossa teollisuusmaiden kasvihuonepäästöjen vähentämisvelvollisuudet eivät perustuneet päästötavoitteen saavuttamiskustannusten minimointiin. Koska annetuilla tavoitteilla päästöjen rajoittamisen rajakustannukset teollisuusmaidenkin välillä eroavat tällöin merkittävästi toisistaan, joustomekanismien käyttö alentaisi kokonaiskustannuksia. Joustome-

kanismeja ovat Annex I-maiden välinen päästöoikeuksien kauppa, yhteistoteutus (Joint Implementation, JI), jossa tietyssä maassa saavutettu päästöjen vähennys jaetaan toimijoiden välille sekä päästöjä alentavan tekniikan siirto kehitysmaihin (Clean Development Mechanism, CDM).

Mallilaskelmien mukaan Annex I-maiden välinen päästökauppa alentaisi USAn kustannukset jopa puoleen ja EU-maiden jopa kolmannekseen, kun ns. kuuman ilman ostaminen Venäjältä ja siirtymätalousmaista sallitaan. Päästöluvan hinta-arviot vaihtelevat 10 ja 270 \$/t CO<sub>2</sub> välillä.

Joustavuusmekanismien hyödyntämisen periaatteet ja laajuus ovat vielä epäselviä. Tällä hetkellä vaikuttaisi siltä, että EU sallisi joustavuusmekanismien käytön 50 % asti päästöjen vähentämismäärästä. Arvioiden mukaan Suomen kannattaisi hyödyntää koko 50 % mahdollisuus, koska päästöjen rajoittamisen rajakustannukset ovat Suomessa suhteellisen kalliit todennäköiseen päästöoikeuksien hintaan verrattuna. Honkatukian (2000) tulosten mukaan Suomi hyötyisi selvästi kansainvälisestä päästökaupasta.

#### Työmarkkinoiden toiminta

Kokonaistaloudellisissa ilmastopimuksen taloudellisia vaikutuksia koskevissa laskelmissa on työmarkkinoiden toiminnassa usein oletettu ääripään oletukset eli joko täysin joustava tai täysin joustamaton (reaali)palkka. Täysin joustavan palkan tapauksessa työttömyyttä ei voi esiintyä. Työntarjonta määrä riippuu siitä miten kotitaloudet kohdentavat aikaansa työn ja vapaa-ajan kesken. Joustamattoman palkan tapauksessa työvoiman määrä toimii tasapainottavana tekijänä. Työmarkkinoiden toiminta vaikuttaa merkittävästi kokonaistaloudellisiin kustannuksiin. Pohjolan (1997) laskelmissa CO<sub>2</sub>-päästöjen rajoittaminen alentaisi täysin joustavien työmarkkinoiden tapauksessa vajaan prosentin vuonna 2010, kun taas jäykkien reaali-palkkojen tapauksessa BKT alenisi yli kolme prosenttia verrattuna tilanteeseen, jossa hiilidioksidipäästöjä ei rajoiteta. Sen sijaan hiilidioksidiveron suuruuteen työmarkkinoiden toiminta ei juuri vaikuta.

#### Pääoman liikkuvuus kansainvälisesti

Honkatukian (1998) laskelmissa pääoman tuoton kiinnittäminen vuoden 1990 tasolle aiheuttaisi 6 prosentin bruttokansantuotetappion referenssiskenaarioon verrattuna investointien suuntautuessa ulkomaille. Tarvittava hiilidioksidivero on kiinteällä pääoman tuotolla noin 300 markkaa tonnia kohden. Kun pääoman tuotto joustaa, bruttokansantuotteen muutos puolittuu vajaan kolmeen prosenttiin ja tarvittava hiilidioksidivero kohoaa yli 500 markan tonnia kohden.



### Vientisektorien asema maailmanmarkkinoilla

Vientisektoreita koskeviin tuloksiin vaikuttaa merkittävästi niiden markkinavoima maailmanmarkkinoilla eli se, kuinka paljon ne pystyvät siirtämään kustannusten nousua vientihintaan. Esimerkiksi Pohjolan (1997) mukaan metsäteollisuuden tuotanto alenisi jopa 20 prosenttia vuonna 2010 perusuran vastaavaan ajankohtaan verrattuna<sup>22</sup> jos se ei juurikaan pystyisi vaikuttamaan maailmanmarkkinahintaan. Laskelmissa, jossa sillä oletetaan olevan markkinavoimaa, tuotannon aleneminen jäisi 10 prosenttiin.

### Yksipuolinen vs. kansainvälinen päästörajoite

Tähän asti päästörajoitteen kustannuksia Suomelle on arvioitu yhden maan malleilla. Tällöin on pääosin oletettu, että Suomi toimii yksin eli kilpailijamaissa ei tapahdu muutoksia (Pohjola, 1997; Honkatukia, 1998,1999a). Joissakin laskelmissa (Honkatukia, 1999b, 2000) on oletettu, että maailmanmarkkinahinnat muuttuvat samoin kuin Suomessa eli kilpailukyky ei muutu. Todellisuudessa Suomen kilpailukyky tulee todennäköisesti heikkenemään suhteessa kilpailijamaihin keskimäärin. Suhteellisen kilpailukyvyyn muutokset riippuvat eri maiden päästövähennysmääristä sekä niiden päästövähennyskustannuksista eli mm. investointikustannuksista uuteen teknologiaan.

Honkatukia (2000) on arvioinut kustannuksia käyttäen kahta oletusta, joista toisessa maailmanmarkkinahinnat eivät muutu eli Suomi vähentäisi yksipuolisesti päästöjään ja toisessa on oletettu, että päästörajoite nostaa hintoja muissa maissa yhtä paljon kuin Suomessa eli vaihtosuhte ei muutu. Oletuksella ei ole tulosten mukaan juurikaan vaikutusta kokonaistaloudellisiin kustannuksiin mikäli energiatehokkuuden ei oleteta parantuvan ja ohjauskeinona käytetään veroa. Jos sen sijaan käytetään ilmaiseksi jaettavia ja jälkimarkkinoilla vaihdettavia päästöluovia, hyvinvointitappio on selvästi suurempi tapauksessa, jossa Suomen kilpailukyky ei heikkene. Laskelmissa, joissa energiatehokkuus parantuu ja ohjauskeinona käytetään veroa, hyvinvointitappio on suurempi, kun Suomi vähentää yksipuolisesti päästöjään.

### Energiantuotannon joustavuus

Kokonaistaloudellisissa malleissa ei tähän mennessä ole kuvattu eksplisiittisesti energiantuotantotekniikoita, vaan esimerkiksi polttoaineiden korvaamismahdollisuudet on kuvattu tuotantofunktioiden avulla. Substituutiojoustojen estimoiminen on osoittautunut vaikeaksi tehtäväksi. Usein malleissa käytettävien substituutiojoustojen arvot otetaankin kansainvälisestä kirjallisuudesta, jolloin oletetaan, että korvaamismahdollisuudet olisivat samat eri maissa. Joustot kuvaavatkin vain

<sup>22</sup> Laskelmissa maailmanmarkkinahintojen ei oleteta muuttuvan päästörajoitteen seurauksena. Lisäksi rauta- ja terästeollisuus on vapautettu verosta, jolloin paperiteollisuus on energiantensiivisin tuotantosektori.

karkealla tasolla korvaamismahdollisuuksia. Tyypillisesti energiasektorimalleilla saatavat joustot ovat suurempia.

Tuotantopanosten korvaamismahdollisuudet vaikuttavat sekä kansantaloudellisiin kustannuksiin että päästöveron suuruuteen. Pohjolan (1997) laskelmien mukaan päästövero nousi 275 markasta 354 markkaan CO<sub>2</sub> tonnia kohden kun energiakomponenttien substituutiojoustoja pienennettiin.<sup>23</sup> BKT puolestaan aleni 0.15 prosenttiyksikköä enemmän.

#### **6.4 Kansainväliset tulokset kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen taloudellisista vaikutuksista**

Toistaiseksi kovinkaan moni maa ei ole vielä esittänyt kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellisia kustannusarvioita. Suomen kokonaistaloudellisia kustannuksia ei siis voida verrata kovinkaan monen maan vastaaviin tuloksiin. Suomen kannalta tärkeitä vertailumaita ovat Ruotsi (metsäteollisuuden kilpailijamaa), Ranska (sama vähennystavoite ja suuri ydinvoiman osuus), Belgia (pieni maa ja suuri ydinvoiman osuus) and Saksa (suurin vientimaa). Saatavilla ovat Itävallan ja Hollannin tulokset. Lisäksi joistakin tutkimuksista voidaan eritellä maakohtaisia tuloksia.

Tuloksista voidaan päätellä:

- Päästöoikeuksien kauppa vähentää kokonaistaloudellisia kustannuksia olettaen, että muutkin Annex B maat osallistuvat siihen. Päästöoikeuksien kaupan rajoittaminen lisää kustannuksia,
- Päästöoikeuksien kaupan ja verotuksen tehokkuus lisääntyy, kun ne yhdistetään muihin toimiin,
- Laajat ja yksityiskohtaiset rajoittamisohjelmat vaikuttavat tuottavan suhteellisen lievän kokonaistaloudellisen tappion (ml. työllisyyden muutos),
- Energian käytön tehokkuuden lisääminen vaikuttaa olevan kustannustehokas keino EU:n tasolla ja todennäköisesti myös Suomessa,
- Tehtyjen mallilaskelmien ja tehtyjen oletusten perusteella Suomen kustannukset ovat jonkin suuremmat kuin muissa maissa, mikä voidaan päätellä osittain jo mikrotason kustannuksista.

<sup>23</sup> Polttoaineiden välisen substituutiojouston arvoksi annettiin 0.7 ja energiakomponenttien välisen 0.5. Peruslaskelma vastaavat arvot olivat 1.2 ja 0.8.

Taulukko 6.1 Arvioita kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellisista kustannuksista<sup>24</sup>.

| Maa                          | Ero perusskenaarioon vuonna 2010: |            | Päästöjen vähenemä % | Mallityyppi                          | Pääasialliset ohjauskeinot  |
|------------------------------|-----------------------------------|------------|----------------------|--------------------------------------|---|
|                              | BKT                               | Työllisyys |                      |                                      |   |
| <b>Itävalta</b>              |                                   | ~ 0,3      | -22                  | Ekonometrinen                        | Uudistuvien tukemista ja rakennusten eritysnormitus                         |
| <b>Belgia 1</b>              | -0,34                             | -0,34      | -10*                 | Numeerinen yleisen tasap.malli       | Päästöoikeuksien kauppa sekä päästöoikeuksien kauppa ja muita toimenpiteitä |
| <b>2</b>                     | -0,25                             | -0,21      |                      |                                      |   |
| <b>Hollanti</b>              | -0,3                              | 0 ~ -0,1   | -19                  | Ekonometrinen ja yleisen tasap.malli | Veroja ja vapaaehtoisia energiansäästösovimuksia, rakennusnormeja yms.      |
| <b>EU maat Josta - Suomi</b> | +0,14                             | 0 ~ 0,1    | -2                   | GEM-E3 (YTM)                         | Huomiota erityisesti energiankäytön tehokkuuteen                            |
| <b>EU maat Josta - Suomi</b> | +0,1                              | 0          | -2,1                 |                                      |   |
| <b>EU maat Josta - Suomi</b> | -0,07                             |            | -11,5                | PRIMES <sup>□</sup>                  | Kokonaispaketti EU:n laajuinen (S6)   |
| <b>Suomi</b>                 | -0,1<br>~<br>-0,15                | ?          | -24                  | MARKAL <sup>□</sup>                  | Korkeintaan 50 % päästöoikeuksien kaupalla                                  |
| <b>Suomi</b>                 | -0,3<br>~ -<br>1,0                |            | -20                  | YTM                                  | Verot tai kaupattavat päästöoikeudet  |

\*) vain CO<sub>2</sub>, muut KHK-päästöt kasvavat tai vähenevät vähemmän kuin CO<sub>2</sub>;

#) Suomen kasvuluvut ovat alhaisemmat kuin kansallisissa arvioissa, jolloin päästöjen vähenemä on myös pienempi.

□) Ei sisällä kaikkia kokonaistaloudellisia vaikutuksia.

<sup>24</sup> Lähteet: Suomi: YTM Pohjola, 1997 ja Honkatukia, 1999, 2000; MARKAL Ybema et al 1999; EU: PRIMES European Commission, 1999; GEM-E3 Capros et al, 1999; Hollanti: Centraal Planbureau, 1997, 1998, 1999a, 1999b; Belgia: Federal Planning Bureau, 1999; Itävalta: Kratena and Schleicher, 1999.



## 7 Johtopäätökset

### Ilmastopoliitikan arvioinnin edellytykset

Jotta voitaisiin arvioida luotettavasti vaihtoehtoisten ilmastopoliittisten ohjelmien kustannuksia, on selvitettävä seuraavat seikat: (1) kustannusten esitystapa, (2) perusskenaarion määrittely sekä (3) menettely, jolla vaihtoehtoisia ilmastopoliittisten ohjelmia verrataan ja jonka tulosten perusteella valitaan paras ilmastopoliittinen ohjelma.

#### *(1) Kustannukset*

Kuten tämän raportin toisessa luvussa selvitetään, ilmastopoliitikan kokonaistaloudelliset kustannukset voidaan esittää useilla tavoilla. Erityisesti tuotannon muutos, jota useimmiten mitataan bruttokansantuotteen muutoksella, ei ole sama kuin kotitalouksien hyvinvoinnin muutos, jota useimmiten mitataan kotitalouksien kulutuksen muutoksella. Kun otetaan huomioon, että mallit ovat väistämättä todellisuuden yksinkertaistuksia ja että ilmastopoliitikka saa aikaan varsin monimuotoisia vaikutuksia taloudessa, laskelmien tuloksia tulee tulkita suuntaantavina ja niitä tulisi verrata vain suuruusluokittain. Sellaisten tulosten, kuten tarkat arviot kuluttajien hyvinvoinnin muutoksesta ja alle 0,2 % ero bruttokansantuotteen määrässä tulisi suhtautua kriittisesti.

Kokonaistaloudellisten kustannusten lisäksi voidaan arvioida sekä toimiala- ja sektorikohtaisia kustannuksia että kotitaloustyyppikohtaisia kustannuksia. Tulokset edesauttavat ilmastopoliitikan suunnittelua. Esimerkiksi tietty poliittinen ratkaisu saattaa aiheuttaa alhaisemmat kokonaistaloudelliset kustannukset kuin joku toinen, mutta tällöin tietyillä sektoreilla tai kotitaloustyypeillä kustannukset saattavat olla korkeammat. Jääkin viime kädessä poliittisten päättäjien ratkaistavaksi, missä määrin oikeudenmukaisuusnäkökohdat (esimerkiksi kustannusten jakaminen) oikeuttavat poikkeamaan alhaisemmista kokonaistaloudellisista kustannuksista. Samaa ajattelumallia voidaan käyttää muihinkin ilmiöihin, vaikka ne eivät (kokonaan) kuuluisikaan kokonaistaloudellisen mallin laskelmiin. Tällaisia seikkoja ovat esimerkiksi muut ympäristövaikutukset, liikennepoliitikka tai yhdyskuntarakenteen kehitykseen vaikuttaminen.

#### *(2) Perusskenaarion määrittely*

Perusskenaarion määrittely on käynyt läpi useita muutoksia ja se arvioidaan uudelleen tämän projektin aikana. Uusi perusskenaario määritellään Kioton tutkimuksen toisessa vaiheessa. Analyysiä varten määritellään vain yksi perusskenaario. Ihanneolosuhteissa olisi ollut mahdollista käyttää arvioissa, ei vain ikään kuin neutraalia perusskenaariota, vaan myös vaihtoehtoisia perusskenaarioita, jotka kuvaavat erilaisia kehityskulkuja. Voidaan esimerkiksi kuvitella erilainen

talouden rakenteen kehitys (nopeampi keveiden toimialojen ja palveluiden kehitys). Myöskin Suomen aluerakenteen muutos voisi olla erilainen kuin perusskenaarion laadinnassa on oletettu. Koska kustannusten arviointi perustuu yhteen perusskenaarioon, herkkyyksanalyysin merkitys korostuu.

*(3) Ilmastopoliittisen ohjelman arvioinnin ja lopullisen ohjelman valinnan periaatteet*

Toiminnan päälinjat on kuvattu edellä selvittämällä ministeriöiden tehtäviä ja kotimaisen ohjelman koordinoitua. Tässä tutkimuksessa selvitetään ilmastopoliittisen ohjelman arviointia yleisellä tasolla ja vaiheessa kaksi arvioidaan ilmastopoliittisten ohjelmien taloudelliset vaikutukset. Lisäksi tarkastellaan:

- Ilmastopoliittisen ohjelman ohjauskeinojen ja toimenpiteiden yhdistelmän kokonaistaloudellista tehokkuutta;
- Ohjauskeino- ja toimenpideyhdistelmän (tai sen sovellutusten) kestävyyttä toimintaympäristön muuttuessa (missä määrin rajoittamiskustannukset muuttuvat, kun oleellisissa taustamuuttujissa tapahtuu muutoksia);
- Ohjauskeino- ja toimenpideyhdistelmien taloudellisen tehokkuuden sekä sosioekonomisten ja ympäristövaikutusten vertailtavuutta.

Poliittisen päätöksenteon kannalta vain yhden ohjauskeino- ja toimenpideyhdistelmän kokoaminen ja sen vaikutusten arviointi olisi tehontonta. Siksi on tärkeää arvioida useiden ilmastopoliittisten ohjelmien vaikutukset ja vertailla niitä edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

Koska useat muutkin laitokset osallistuvat ilmastopoliittisten vaihtoehtojen arviointiin, tietoja vaihdetaan yhteistyössä ko. laitosten kesken (ETLA, SYKE, VATT ja VTT).

### **Kustannusten arviointi**

Kustannuksia arvioidaan linkitetyn mallijärjestelmän avulla, johon kuuluvat energiajärjestelmämalli EFOM ja kokonaistaloudellinen malli KESSU. EFOM on malli, jolla ratkaistaan energiajärjestelmän (energiantuotanto ja loppukulutus) minimikustannukset. EFOM kattaa tyypillisimmillään 25~30 vuoden jakson. KESSU on Suomen taloutta kuvaava ekonometrinen malli ja se on alun perin tarkoitettu kuvaamaan talouden kehitystä keskipitkällä aikavälillä (10 vuoteen asti). Tässä tapauksessa se on kuitenkin mukautettu 20 vuoden ajanjaksoa varten. Tämä järjestelmä on käyttökelpoinen, vaikkakaan ei ihanteellinen ilmastopoliittisen ohjelman kokonaistaloudellisten vaikutusten arviointiin. Erityisesti ongelmat koskevat käytettävää kokonaistaloudellista mallia. Kuitenkin mallijärjestelmällä saadaan kohtuullisen luotettava arvio lyhyen ja keskipitkän välin kokonaistaloudellista sopeutumiskustannuksista.

Vuoteen 2025 mennessä tapahtuvaa taloudellista, demografista ja teknologista (teknologian hintaan ja tehokkuuteen liittyvää) kehitystä kuvaava perusskenaario, joka sisältää useiden muuttujien vuosittaiset muutosindikaattorit vuoteen 2010 saakka, tehdään Kauppa- ja teollisuusministeriössä muiden ministeriöiden ja laitosten avustamana.

Perusskenaario lasketaan ensin EFOM- ja KESSU-malleilla. Ilmastopoliittinen ohjelma (ohjauskeinot ja toimenpiteet) syötetään ensiksi EFOM-iin. EFOM-mallin tulokset syötetään KESSU-malliin, jotta nähdään missä määrin taloudellinen kehitys poikkeaa perusskenaariosta energian hinnan muutoksen vuoksi (miten energian hinnan muutos vaikuttaa mm. investointeihin ja kotitalouksien kulutukseen). KESSU-mallin tulokset syötetään tarvittaessa takaisin EFOM-mallin, jotta voidaan tarkentaa EFOM-laskelmia siten, että mahdolliset tuotannon ja kotitalouksien kulutuksen muutoksen vaikutukset otetaan huomioon.

Tällä järjestelmällä energijärjestelmän ja kokonaistaloudelliset muutokset (ml. toimialakohtaiset muutokset) voidaan esittää suhteellisen järkevästi. Kuitenkin kuluttajien hyvinvoinnin muutoksen kuvaaminen on erityisen vaikeaa. Sen mittaamiseen käytetään kotitalouksien kokonaiskulutuksen muutosta. Tulonjakovaiikutuksia voidaan arvioida erillisillä laskelmilla. Hyvinvoinnin muutoksessa on otettava huomioon, että vertailupohja<sup>25</sup> sinänsä on (jossain määrin) erilainen, kun ilmastopoliittinen ohjelma on toteutettu. Kuluttajien mieltymykset voivat muuttua uusista tuotteista saadun kokemuksen pohjalta. Tästä seuraa, että on hyvin hankalaa arvioida, onko kuluttajien tilanne parantunut vai huonontunut.

### **Vaikuttavimmat ja tehokkaimmat ohjauskeinot**

Ei ole epäilystäkään siitä, että *verotus eli hintaohjaus* (päästölupakaupan puuttuessa) on periaatteessa tehokkain väline. Jos markkinahinnat eivät heijasta todellisia tuotantokustannuksia, kuten tässä nimenomaisessa tapauksessa ne eivät sisällä kestäväen kehityksen toteutumista, on varmaa, ettei mikään muu väline, olkoon se sitten tiedotuskampanja tai tutkimus-, kehitys- ja esittelytoimien tukeminen, ei ole yhtä tehokas. Toisin sanoen ilman julkisen vallan interventiota energiemarkkinat ja niillä toteutuvat energian hinnat eivät riittävästi hillitse ilmastomuutosta.

Koska suomalaisten verorasitus on kansainvälisesti vertaillen varsin suuri, energiaverotuksen korottaminen toisi kustannuksia, tehokkuustappioita jo itsessään ja mahdollisesti lisäkustannuksia (tehokkuustappioita) yhdessä muiden verojen (esimerkiksi työvoiman verotus) sekä muiden säännösten kanssa. Siksi on oleellista ensinnäkin pitää julkiset menot ennallaan eli energiaverojen nosto ei johda julkisen talouden kasvuun. Toiseksi energiaverokertymän takaisinkierätyksellä tulisi

<sup>25</sup> Tämä koskee kulutushyödykkeiden laatua ja määrää.

suorittaa mahdollisimman tehokkaasti eli alentaa sillä haitallisen korkeita muita veroja.

Yllä esitetyt arviot verotuksen vaikutuksesta perustuvat ensisijaisesti oletukseen tuotantotehokkuuden vääristymisestä (erityisesti työvoima, pääoma ja maa). Standardeja voidaan joissakin tilanteissa pitää parempana vaihtoehtona kuin veroa muun muassa lopputuotemarkkinoiden epätäydellisyyden vuoksi. Esimerkiksi energiatehokkuudessa on kyse muustakin kuin laitteista. Energiatehokkuuden kehitys riippuu jaetuista vastuista ja muista häiritsevistä tekijöistä. Siksi tietyn veron alkuperäinen tavoite ei aina välttämättä toteudu. Normit ja kiintiöt toteuttavat kiistatta halutun päästötavoitteen varsin varmasti, mutta tuloksena voi olla se, että normi tai kiintiö on joko liian tiukka tai liian löysä. Näin ollen normien vaikuttavuus päästöjenrajoittamisessa on parempi (ainakin lyhyellä aikavälillä), mutta ne ovat usein taloudellisesti vähemmän tehokkaita. Tämä haitta voidaan poistaa soveltamalla normeja laajempiin kokonaisuuksiin (sektoreihin, kokonaisuuden uudisrakennusryhmiin jne.) siten, että kokonaisuuden sisällä on tilaa parannuksiin ja vaihtokauppaan. Myöskin aiempi tieto vähennysten tyyppillisestä tehokkuudesta ja kyseisen tason rajakustannuksista auttavat luomaan käyttökelpoisen normin.

Sekä verot että normit edellyttävät säännöllistä seurantaa ja päivitystä säilyttääkseen parhaan suorituskykynsä.

Kolmas lähestymistapa on näiden kahden yhdistelmä. Ensin yritetään normeilla vähentää markkinoiden epätäydellisyyksiä, sitten sovelletaan veroa, joka mahdollisesti on alhaisempi kuin muussa tapauksessa.

### **Konkreettiset kustannusarviot**

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa ei vielä arvioitu kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamisen (todellisia) kustannuksia. Kolmansien osapuolien suorittamien laskelmien tulosten vertailu sekä jotkut osittaisarviot antavat kuitenkin alustavan käsityksen kustannusten suuruusluokasta.

Arviot hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kokonaistaloudellista kustannuksista Suomen taloudessa ovat vaihdelleet suuresti. Erot johtuvat sekä mallien välisistä eroista että mallissa käytettävien parametrien eroista. Bruttokansantuotteen alentuminen arvioidaan 1–7 prosentiksi, kun taas hyvinvointi voisi jopa lisääntyä joillakin oletuksilla. Korkea kustannustaso toteutuu silloin, kun Suomi käyttää ohjaukskeinoja (veroja) yksipuolisesti ja työmarkkinat ovat täysin joustamattomat. Tarvittavaksi hiilidioksidiveroksi on arvioitu 250–550 mk/t CO<sub>2</sub>.

Niin sanottuja joustavuusmekanismeja koskevat kustannusarviot (kansainvälinen päästökauppa (IET), yhteistoteutus (JI) ja puhtaan kehityksen mekanismi (CDM)) osoittavat, että nämä mekanismit ovat Suomelle kustannustehokas



vaihtoehto myös silloin, kun EU:n ehdottamat rajoitukset otetaan huomioon (enintään 50 % maakohtaisesta päästöjen vähennyksestä voidaan toteuttaa joustavuusmekanismeilla). Vaikka arviot joustavuusmekanismien hyödyntämisen kustannuksista vaihtelevat suhteellisen paljon, tuntuu järkevältä olettaa, että niiden hinta on välillä FIM 50-FIM 200 hiilidioksiditonnia kohti.<sup>26</sup> Vaiheessa 2 näitä vaihtoehtoja ei enää kuitenkaan lueta mukaan ministeriöiden ohjelmien laskelmiin, sillä tarkempia selvityksiä näiden mekanismien käytännön toteuttamisesta ei tultane saamaan ennen vuoden 2000 marraskuuta, kun UNFCCC:n kuudes COP-kokous (Conference of Parties COP6) on pidetty Haagissa.

---

<sup>26</sup> Katso myös kohta 3.5.2 ja H. Kemppi, J. Pohjola, 'Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten arvioinnissa käytetyt käsitteet ja mittarit', VATT, 2000



## Lähteet

- Alatalo, J. (1998). Hiilidioksidiveron kaksoishyötyvaikutus. ETLA sarja B.141. Helsinki.
- Bernstein, W., Montgomery, Rutherford ja G. Yang, Effects of Restrictions on International Permit Trading: The MS-MRT model, *The Energy Journal – Special Issue - The Costs of the Kyoto Protocol: a multi-model evaluation*, 1999.
- Bovenberg, A. and L. Goulder, *Optimal environmental taxation in presence of other taxes: general equilibrium analyses*, NBER Working Paper Series 4897. Cambridge, United States.
- Capros, P., L. Paroussos, and N. Stroublos, *Energy saving investment and employment – analysis through the GEM-E3 model*, Appendix D to Final report on SAVE project National and local employment impacts of energy efficiency investment programmes, London/Athens, 1999.
- Centraal Planbureau, *Vergroening en energie – effecten van verhoogde energiehellingen en gerichte vrijstellingen*, Werkdocument 96, The Hague, 1997.
- , *Macro-economische effecten van twee beleidsvarianten om emissies van broeikasgassen te beperken*, Werkdocument 106, The Hague, 1998.
- , *Effecten van de Uitvoeringsnota Klimaatbeleid*, Werkdocument 113, The Hague, 1999a.
- , *Economische gevolgen van de Belastingherziening 2001*, Werkdocument 115, The Hague, 199b.
- Deaton, A. and J. Muellbauer, *Economics and Consumer Behaviour*, Cambridge University Press, 1983.
- European Commission, *European Union Energy Outlook to 2020, Special issue of Energy in Europe*, EC DG Energy, November 1999.
- Federal Planning Bureau, *Permis d'émission de CO<sub>2</sub> et lutte contre changement climatique*, Working Paper 10-98, Brussels, 1998.
- FIELD (Foundation for International Environmental Law and Development), *Designing Options for Implementing an Emissions Trading Regime for Greenhouse Gases in the EC*, report to the European Commission DG Environment, London, 2000.
- Fullerton, D. and G. Metcalf, *Environmental controls, scarcity rents, and pre-existing distortions*, NBER Working Paper Series, Working Paper 6091. Cambridge, United States, 1997.

- Goulder, L., *Environmental taxation and the "double dividend"; a reader's guide*, NBER Working Paper Series 4896, Cambridge, United States, 1994.
- Greene, D.L., CAFE or Price ? An Analysis of the Effects of Federal Fuel Economy Regulations and Gasoline Price on New Car MPG, 1978-1989, *The Energy Journal*, Vol.11. No.3, pp.37-57, 1990.
- Hahn, R.W., Economic Prescriptions for Environmental Problems: Lessons from the United States and Continental Europe, in R. Eckersley (ed.), *Markets, the State and the Environment – towards integration*, MacMillan, 1995.
- Honkatukia, J., *Arvioita ilmastotavoitteen kokonaistaloudellisista vaikutuksista Suomessa*, ETLA, Keskusteluaiheita 641, Helsinki, 1998.
- Honkatukia, J., *Kioton mekanismien käytön rajoittamisen vaikutukset Suomeen*, ETLA, Keskusteluaiheita 677, Helsinki, 1999.
- Honkatukia J., The effects of abatement policies on the Finnish economy. Teoksessa *Climate change - socioeconomic dimensions and consequences of mitigation measures*, toimittanut Pekka Piri, Edita, Helsinki, 2000.
- IPCC (1994) *Climate Change*. Cambridge University Press.
- Ingerslev, C., Incentives in energy policy – a comparison between the Danish policy mix and a voluntary approach to CO<sub>2</sub> abatement, in Proceedings of 1999 ECEEE Summer Study, *Sustainable Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> reduction: the dimensions of the social challenge*, Vol.2 – Panel 1 ID 1.26.
- Janda, K., Re-inscribing design work : architects, engineers, and efficiency advocates, in Proceedings of 1999 ECEEE Summer Study, *Sustainable Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> reduction: the dimensions of the social challenge*, Vol.2 – Panel 3 ID 3.11.
- Jeeninga, H., C. Weber, I. Mäenpää, F. Rivero Garcia, V. Wiltshire, J.Wade, *Employment impacts of energy conservation schemes in the residential sector*, ECN-CC99-082.
- Kara, M., et al., *Energia Suomessa*, Edita, Helsinki, 1999.
- Kasanen, P., J. Heljo, P. Lund, I. Mäenpää and E. Nippala, *Energiansäästöpolitiikan tuloksellisuuden arviointi (the evaluation of the effectiveness of energy saving policy)*, Kauppa- ja teollisuusministeriö, 1997.
- Kemppi, H. ja J. Pohjola, *'Hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kustannusten arvioinnissa käytetyt käsitteet ja mittarit'*, VATT-Keskustelualoitteita 238, 2000.
- Kratena, K. ja S.P. Schleicher, *Emissions reduction policies and induced technological change – Micro-economic evidence and macro-economic*

- impacts of the Austrian Kyoto policy package*, IEA/EAD Conference on Energy Modelling, Paris, June 1999.
- Lehtilä, A. and S. Tuhkanen, *Integrated cost-effectiveness analysis of greenhouse gas emission abatement - The case of Finland*. VTT Publications 374. Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1999.
- McKane, A., Collaborative intervention – working with market forces to effect lasting change, Proceedings of 1999 ECEEE Summer Study, *Sustainable Energy Efficiency and CO2 reduction: the dimensions of the social challenge*, Vol.1 – Panel 1 ID 1.04.
- Meyer, N., Promotion of renewables in liberalised markets, paper presented at *Nordic Energy Research Programme Workshop – Multi-regional modelling of environment and energy markets*, Helsinki, 9-10 March, 2000.
- Perrels, A.H., F. van der Schoot, J. Oosterhaven, L. Langerak, M. Martens and O. Raspe, *Het genereren en prioriteren van infrastructuurprojecten en -pakketten*, TNO Inro/Econ 1998-030.
- Perrels, A., 'Selecting instruments for a greenhouse gas reduction policy in Finland', VATT Research Reports 69, 2000.
- Pohjola, J., *CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämisen kansantaloudelliset vaikutukset*, ETLA, Keskusteluaiheita 624, Helsinki, 1997.
- Weyant, P., Cost of reducing global carbon emissions, *Journal of Economic Perspectives* 7: 27-46, 1993.
- Ybema, J.R., T. Kram and S.N.M. van Rooijen, *Consequences of ceilings on the use of Kyoto mechanisms – tentative analysis of cost effects for EU member states*, ECN-C-99-003, Petten, 1999.



**VATT-TUTKIMUKSIA -SARJASSA ILMESTYNEITÄ**  
**PUBLISHED VATT-RESEARCH REPORTS**

43. Lehtinen Teemu: The Distribution and Redistribution of Income in Finland 1990-1993. Helsinki 1998.
44. Rantala Juha: Työvoimapolitiikan rooli ja työttömien työllistyminen. Helsinki 1998.
45. Laurila Hannu: Suomalaisen kaupunkipolitiikan taloudelliset lähtökohdat. Helsinki 1998.
46. Tuomala Juha: Pitkäaikaistyöttömyys ja työttömien riski syrjäytyä avoimilta työmarkkinoilta. Helsinki 1998.
47. Tossavainen Pekka: Panosverot ja toimialoittainen työllisyys. Helsinki 1998.
48. Holm Pasi – Kiander Jaakko – Tuomala Juha – Valppu Pirkko: Työttömyysvakuutusmaksujen työttömyysriskin mukainen porrastus ja omavastuu. Helsinki 1998.
49. Kari Seppo – Kröger Outi – Rauhanen Timo: Henkilöyhtiöiden verotuksen investointi- ja työllistämiskannustimet. Helsinki 1998.
50. Kajanoja Jouko: Lasten päivähoito investointina. Helsinki 1999.
51. Kari Seppo: Dynamic Behaviour of the Firm Under Dual Income Taxation. Helsinki 1999.
52. Holm Pasi – Sinko Pekka – Tossavainen Pekka: Työpaikkojen syntyminen ja päättyminen ja rakenteellinen työttömyys. Helsinki 1999.
53. Mäkelä Pekka (toim.): EU:n kauppapolitiikkaa itälaajenemisen kynnyksellä. Helsinki 1999.
54. Sinko Pekka: Taxation, Employment and the Environment – General Equilibrium Analysis with Unionised Labour Markets. Helsinki 1999.
55. Rantala Anssi: Finanssikriisit, yritysten nettovarallisuus ja makrotaloudellinen vakaus. Helsinki 1999.
56. Kyyrä Tomi: Post-Unemployment Wages and Economic Incentives to Exit from Unemployment. Helsinki 1999.
57. Korkeamäki Ossi: Yksityisen ja julkisen sektorin palkkoihin vaikuttavat tekijät. Ekonometrinen tutkimus 1987 - 1994. Helsinki 1999.
58. Venetoklis Takis: Process Evaluation of Business Subsidies in Finland. A Quantitative Approach. Helsinki 1999.
59. Kuusi Osmo: Expertise in the Future Use of Generic Technologies – Epistemic and Methodological Considerations Concerning Delphi Studies. Helsinki 1999.
60. Hakola Tuulia: Race for Retirement. Helsinki 1999.
61. Korkeamäki Ossi: Valtion palkat yleisiin työmarkkinoihin verrattuna: vuodet 1989 - 1997. Helsinki 2000.

62. Uusitalo Roope: Paikallinen sopiminen ja yritysten työvoiman kysyntä. Helsinki 2000.
63. Milne David – Niskanen Esko – Verhoef Erik: Operationalisation of Marginal Cost Pricing within Urban Transport. Helsinki 2000.
64. Vaitinen Risto: Eastern Enlargement of the European Union. Transition in applicant countries and evaluation of the economic prospects with a dynamic CGE-model. Helsinki 2000.
65. Häkkinen Iida: Muuttopäätös ja aluevalinta Suomen sisäisessä muuttooliikkeessä. Helsinki 2000.
66. Pyy-Martikainen Marjo: Työhön vai eläkkeelle? Ikääntyvien työttömien valinnat työmarkkinoilla. Helsinki 2000.
67. Kyllönen Lauri - Rätty Tarmo: Asuntojen hinta-laatusuhde Joensuussa, semiparametrinen estimointi. Helsinki 2000.
68. Kyyrä Tomi: Welfare Differentials and Inequality in the Finnish Labour Market Over the 1990s Recession. Helsinki 2000.
69. Perrels Adriaan: Selecting Instruments for a Greenhouse Gas Reduction Policy in Finland. Helsinki 2000.
70. Kröger Outi: Osakeyhtiöiden verotuksen investointikannustimet. Helsinki 2000.
71. Fridstrøm Lasse – Minken Harald – Moilanen Paavo – Shepherd Simon – Vold Arild: Economic and Equity Effects of Marginal Cost Pricing in Transport. Helsinki 2000.
72. Schade Jens – Schlag Bernhard: Acceptability of Urban Transport Pricing. Helsinki 2000.