

# Ilmastomuutoksen taloudelliset vaikutukset — hyötykö Suomi?\*

JOUKO KINNUNEN

Kasvihuoneilmiötä haasteellisempaa kohdetta kustannus-hyötyanalyyseille on vaikea kuvitella. Ympäristön ja talouden loputtomien yhteyksien ja vaikutusten vyyhdin selvittäminen edellyttää niin laajaa luonnontieteellistä perustietämystä, että kukaan ei voi sitä yksin hallita.

Ilmastomuutoksesta on kuitenkin alettu tehdä vaikutusarvioita. Maatalouden, metsätalouden, luonnonvaraisten ekosysteemien ja rakennetun ympäristön problematiikkaa on tarkasteltu sekä kansainvälisellä että kansallisella tasolla. Kansainvälinen ilmastomuutospaneeli IPCC julkaisi vuonna 1990 raporttinsa ilmastomuutoksesta. Äskettäin ilmestynyt Suomen Ilmastomuutosten Tutkimusohjelman, SILMUn väliraportti tarjoaa hyvän lähtökohdan Suomea koskeville pohdinnoille.

Aiheesta on tehty joitakin kustannus-hyöty-analyseja, joita tässä artikkelissa esitellään. Ilmastomuutosta tarkastellaan tässä lähinnä oman maamme kannalta. Laskelmat ovat kuitenkin vasta alustavia ja suuntaa näyttäviä.

Tässä artikkelissa esitetään hyvinkin kiistanalaisia arvioita ilmastomuutoksen taloudellisista vaikutuksista. Tietomäärän karttuessa keskustelun tulisi kuitenkin painottua periaatteellisiin kysymyksiin, kuten nykyisten sukupolvien oikeuteen lisätä hyvinvointiaan luonnon ja tulevien sukupolvien kustannuksella. Kysy-

mykset konkretisoituvat kustannus-hyötyanalyysin diskonttokoron valinnassa sekä tulevaisuusskenaarion valinnassa (optimistinen/pessimistinen/riskineutraali). Viimeistään tehdyt politiikkapäätökset paljastavat preferenssimme.

## *1 Katsaus tehtyihin kustannus-hyöty-analyysiin*

Varsinaista koko maailman ja useita toimialoja kattavaa kustannus-hyötyanalyysia ei vielä ole tehty. Ainoan kokonaisvaltaisen yrityksen lähestyä asiaa maailman tasolla on tehnyt Nordhaus (1990, 1991), joka tosin arvioi globaalit vaikutukset ekstrapoloimalla USA:n tulokset maailmanlaajuisiksi.

Nordhausin työt perustuvat Yhdysvaltain bruttokansantuotelaskelmiin, joissa on eroteltu ilmastosta voimakkaasti riippuvat, kohtuullisen riippuvat sekä ilmastomuutokseen reagoimattomat toimialat.

Nordhausin mukaan ilmastosta voimakkaasti riippuvien toimialojen, eli alkutuotannon bkt-osuus oli USA:ssa noin 3 %. Kohtuullisia vaikutuksia saattoi odottaa toimialoilla, jotka muodostivat noin 10 % kansantulosta. Ilmastomuutoksen suhteen muuttumattomat alat vastasivat 87 % bkt:sta. Nordhausin mukaan ilmastomuutoksen seurausvaikutukset seuraavien 50—75 vuoden aikana ovat todennäköisesti vain 0,25 % bkt:sta. Vuoden 1990 dollareissa Nordhausin arvio olisi 8,8 mrd USD.

\* Artikkelin perustuu ETLAssa julkaistavaan raporttiin.

Nordhaus painotti arvion olevan vain suuruusluokkaa kuvaava ja monella tavoin puutteellinen. Laskelmasta puuttuvat ihmisten terveyttä, eliölajien runsautta, arkielämän viihtyvyyssarvoja sekä ympäristön laatua kuvaavat tekijät. Näiden mukaanotto lisäisi vahinkoarviota Nordhausin (1991b) mukaan noin yhteen, korkeintaan kahteen prosenttiin kansantulosta.

Clinen (1991a) laskelmat perustuvat pääosiltaan kansainvälisen ilmastomuutospaneelin, IPCC:n raportteihin. Cline laskee vahinkoarviot sekä hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistumisesta aiheutuvalla lämpötilan nousulla (2,5 °C) että pitkän aikavälin lämpötilan nousulla (10 °C).

Lyhyellä aikavälillä Clinen vahinkoestimaatti on vähintään noin 1,5 % bkt:sta, mikä on samaa luokkaa kuin Nordhausin ad hoc-arvio. Pitkällä aikavälillä ilmastomuutoksen vuotuis-kustannukset nousevat Clinen mukaan vähintään 6 prosenttiin bkt:sta.

Pitkällä aikavälillä IPCC:n kiihdytettyjen toimenpiteiden skenaarion mukaan maapallon lämpeneminen voitaisiin pysäyttää n. 2,5 °C:een. Tämän mukaan laskettuna rajoittavien toimenpiteiden nettohyöty vastaisi suunnilleen pitkän ja lyhyen aikavälin kustannusten erotusta. Tämä olisi noin 277 mrd USD, eli noin 5 % USA:n bkt:sta vuonna 1990.

Tulokset tukevat hyvin Clinen väitettä pitkän aikavälin tarkastelun tarpeellisuudesta. Jos vaikutuksia arvioidaan vain seuraavien 50 vuoden tähtäimellä, ennakoivien toimenpiteiden kannattavuus on väistämättä heikko. Pitkän aikavälin tarkastelu antaa perustelut rajoittaville toimenpiteille.

## 2 Ilmastomuutoksen vaikutukset Suomessa

Suomelle tehtävien laskelmien lähtökohtana on Nordhausin esimerkin mukaisesti talouden jakaminen ilmastosta riippuviin ja siitä riippumattomiin toimialoihin.

Alkutuotannon osuus bruttokansantuotteesta on Suomessa kaksinkertainen verrattuna Yhdysvaltoihin. Syykin on selvä: Suomen protektionistinen maatalouspolitiikka on mahdol-

listanut pienet tilakoot ja korkeat tavoitehinnat ja toisaalta metsäsektorin osuus Suomen kansantaloudessa on poikkeuksellisen suuri.

Muutokset maataloudessa tuntuvat maamme hyvinvoinnissa epäilemättä voimakkaammin kuin Yhdysvalloissa. Toisaalta maamme ruoantuotanto on hyvin taattu, olemmehan kalliisti luoneet maahamme mittavan maatalouden epäedullisista sääoloista huolimatta. Suomen vuosikymmeniä kestänyt maatalouden protektionismi voitaisiin tulkita myös varautumiseksi esimerkiksi ilmastomuutoksesta aiheutuviin kansainvälisen ruoantuotannon ja jakelun häiriöihin.

Suomen talouden alttius ilmastomuutokselle aiheutuu kuitenkin pääasiassa vientimme metsäsektoripainotteisuudesta. Metsäteollisuushan tuo 40 % Suomen nettovientituloista. Noin 90 % metsäteollisuuden raaka-aineista hankitaan kotimaisista lähteistä (Kuisma, 1990). Jos maamme metsät eivät selviä ilmastomuutoksen aiheuttamasta stressistä, pitkällä aikavälillä metsäteollisuus siirtyisi lähemmäs uusia raaka-ainelähteitään tai markkinoitaan. Suomen talouden ilmastoriippuvuus käy ilmi taulukosta 1.

Seuraavissa alaluvuissa esitellään esimerkinomaisesti maatalouden tuottavuuden muutosarvioita sekä ympäristöpakolaisuutta.

Cline (1991a) arvioi hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistumisesta aiheutuvan ilmastomuutoksen vaikutuksia muidenkin kuin USA:n maatalouteen. Hänen arvionsa perustuivat nykyiseen maatalouden arvonlisäykseen sekä tuottavuuden muutoksiin. Lopullinen vaikutus riippui siitä, mitä oletettiin maatalouden sopeutumiskyvystä.

Cline kuvasi maatalouden sopeutumiskykyä kerroinparilla  $\alpha\beta$ .  $\alpha$  on sopeutumisen jälkeisen tuotannon vähentymisen suhde välittömään tuotannon vähentymiseen. Tämän suhdeluvun on arvioitu olevan melko pieni, eli maatalous kykenisi sopeutumaan hyvin.  $\beta$  kuvaa kuluttajan ja tuottajan ylijäämän muutosta suhteessa tuotannon vähenemisen arvoon perusvuoden hinnoilla. Sen arvo on todennäköisesti merkittävästi yli 1, koska maataloustuotteiden kysyntä on luonteeltaan joustamatonta. Cline käytti kerroinpari  $\alpha\beta$ :lle kahta arvoa analyysissään,

Taulukko 1. Suomen talouden ilmastoriippuvuus, vuoden 1990 tiedoin.

Ilmastosta riippuvat toimialat	mrd mk	Osuus bkt:sta
Maatalous	14,3	3,1
Metsätalous	13,1	2,9
Kalatalous ja metsästys	0,8	0,2
Yhteensä	28,2	6,2
Ilmastosta riippuvien toimialojen tuotteiden jatkojalostus		
Elintarviketeollisuus	11,7	2,6
Puutavaran ja ei-metallikalusteiden valm.	8,2	1,8
Massan, paperin ja paperituott. valmistus	12,5	2,7
Yhteensä	32,4	7,1
Lievästi ilmastoon kytköksissä olevat		
Sähkö-, kaas- ja vesihuolto	10,8	2,4
Rakennustoiminta	44,6	9,8
Ravitsemis- ja majoitustoiminta	9,6	2,1
Virkistys- ja kultt. palvelutoiminta	9,3	2,0
Asuntojen omistus	28,6	6,3
Puhtaanapito	3,7	0,8
Yhteensä	106,6	23,4
Muut toimialat	290,8	63,3
Bruttokansantuote tuottajahintaan yhteensä, mrd mk	458,0	100,0

Lähde: Tilastokeskus, kansantalouden tilinpito.

0,75:ä ja 1,25:ä. Suomelle Cline ennusti keskimäärin 15 % tuottavuuden kasvua. Tuottavuuden kasvun arvoksi Cline sai 11—19 % maatalouden arvonlisäyksestä, joka on vuoden 1990 tuotannosta 1,7—2,7 mrd mk.

Euroopan integraatio vaikuttaa seuraavina vuosina kuitenkin maataloutemme kehitykseen paljon voimallisemmin kuin ilmaston muutos. Maatalouden tuottavuusero säilyy Keski-Euroopan ja Suomen välillä edelleen melko suurena, jos ilmaston muutosennusteet pitävät paikkansa. Niinpä todelliset vaikutukset maatalouden tulotasoon, tuotantoon ja hintoihin riippuvat ensisijaisesti institutionaalisten seikkojen, kuten maataloustukiaisten ja tuontisuojan kehityksestä.

Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen julkaisemien tuotanto- ja kannattavuustilastojen sekä SILMUn tuloksien avulla voidaan tehdä arvioita viljanviljelyn tuottavuuden muutok-

Taulukko 2. Viljanviljelyn hehtaarisadon muutoksen hyöty.

Hehtaarisadon muutos kg/ha	+15 %	+30 %	+44 %
Tulojen kasvu, mk/ha	621	1 242	1 822
Tulojen kasvu koko maassa, mrd mk	0,62	1,24	1,94

sista. Oletetaan SILMUn simulaatiotulosten kuvaavan koko viljanviljelyn tuottavuuden kehitystä. Tuottavuuden kasvun arvo on laskettu puolittamalla nykyiset tuottajahinnat, koska EY-hinnat kuvaavat tulevaisuuden maatalouden todellista arvoa Suomelle. Periaatteessa oikea vertailukohde on yleinen maailmanmarkkinahinta, mutta jatkossa Suomelle relevantti arvostuskohde on EY:n tuottajahinnat, joita Yhteisö ylläpitää. Laskuyksiköksi valittiin yli 50 ha:n tila, koska EY:öön liittymisen myötä tilakoon on arveltu kasvavan Suomessa. Tällä hetkellä Suomen 10—50 ha:n tilojen osuus peltopinta-alasta on noin 83 % (Kola — Marttila — Niemi, 1991). Tulokset ilmenevät taulukosta 2.

Suomen viljanviljelyn ja sitä palvelevien toimintojen tulisi tehostua voimakkaasti, sillä laskelman mukaisilla tuotantopanosten hinnoilla edes 44 % tuottavuuden lisäys ei tekisi viljanviljelyä voitolliseksi tuottajahinnan puolittuessa. Devalvaatio ja maan hinnan lasku ovat tosin jo parantaneet Suomen kansainvälistä vertailuasemaa.

Luonnostaan kasvavan heinän tuottavuuden kasvun ja laidunajan pituuden voidaan ajatella alentavan mm. nautakarjan pitokustannuksia. Oletetaan, että nautakarjan laidunaika pitenee yhdellä kuukaudella. Tästä seuraisi arviolta 10 %:n aleneminen rehukustannuksissa. Vuonna 1990 maatalouden rehukustannukset olivat noin 3,1 mrd mk, josta maataloustulokajakauman perusteella kului maidon- ja naudanlihantuotantoon noin 1,4 mrd mk (Tilastokeskus, 1991). Ilmaston lämpenemisestä aiheutuisi noin 140 milj. mk kustannussäästö nykyisillä hinnoilla. Rehujen hintojen odotetaan toisaalta myös laskevan voimakkaasti integraation myötä. Puolitetaan kustannussäästö. Keskim-

mäiseksi arvioksi saadaan siten 70 milj. mk. Optimistiseksi arvioksi valitaan 90 milj. mk ja pessimistiseksi 50 milj. mk.

Kuluttajille viljan tuottajahintojen ja rehu-kustannusten alentuminen välittyisi vilja-, liha- ja maitotuotteiden hinnoissa. Tilastokeskuksen kulutus- ja hintatietojen mukaan pelkästään liha- ja maitotuotteisiin käytettiin noin 20 mrd mk vuonna 1990. Oletetaan, että optimistisessa tapauksessa elintarvikkeiden hinnat laskevat 5 %, keskimmaisessa tapauksessa 3 % ja pessimistisessä tapauksessa 2 %. Oletetaan myös, että elintarvikkeiden kysynnän hintajousto on —0,2, toisin sanoen 5 %:n hintojen alennus lisää kysyntää 1 %:n.

Tämä kasvattaisi kuluttajien ylijäämää optimistisessä tapauksessa 1 005 milj. mk, 603 milj. mk keskimmaisessa ja 402 milj. mk pessimistisessä tapauksessa.

Laskemalla yhteen yllä mainitut summat saadaan maatalouden tuottavuuden muutoksen hyötyarvioksi pessimistisessä tapauksessa noin 1 070 milj. mk, keskimmaisessa arviossa 1 915 milj. mk ja optimistisessä tapauksessa 3 035 milj. mk. Clinen laskelma (1,7—2,7 mrd mk) osoittautuu melko yhteneväiseksi esitetyn arvion kanssa.

2000-luvulla Suomi lienee kiinteässä yhteydessä EY:n muihin jäsenmaihiin. Esimerkiksi Välimeren alueella kuivuuden on ennustettu lisääntyvän, niin että siitä on haittaa maataloudelle sekä vesihuollolle (*Falkenmark, 1989; IPCC, 1990b*). Ei liene mahdoton ajatus, että Suomi joutuisi maksamaan muodossa tai toisessa »kasvihuoneavustuksia» muille jäsenmaille puhumattakaan kehitysmaista, jotka joutuvat ilmaston muutoksen vuoksi vaikeuksiin. Eteläisen Euroopan maat joutunevat myös ottamaan tulevaisuudessa pohjoisesta Afrikasta vyöryvät siirtolaismassat vastaan (*Pearce, 1992*). Miten Suomi osallistuu näihin talkoiisiin? Lisääntykö Suomeen suuntautuva siirtolaisuus vai avustammeko muita maita rahallisesti ja tarvekeapuna?

Ympäristöpakolaisten tulva saattaa synnyttää kansainvälisiä konflikteja. Konfliktit aiheuttavat lisäystä varustelu- katastrofiapumenoissa, nälänhätiiä, pakolaisuuden kasvua jne.

Suomen vientimenestys kärsisi, jos vientim-

me kohdemaat sijoittaisivat aiempaa suuremman osan varusteluun ja merivallien rakentamiseen. Myös maahantuontitoiminta häiriintyisi kansainvälisten konfliktien myllerryksessä. Kauppaan kohdistuville vaikutuksille ei ryhdytä muodostamaan rahallista arviota tehtävän mahdottomuuden vuoksi.

*Cline (1991a)* arvioi, että siirtolaisuus lisääntyisi 100 000:lla nykyisestä 800 000:sta vuodessa Latinalaisen Amerikan ympäristöongelmien vuoksi tulevaisuudessa. Se lisäksi USA:n osavaltioiden ja kuntien infrastruktuurikustannuksia 4 500 USD:lla siirtolaista kohden. Näin Clinen arvioksi muodostui 450 milj. USD, eli noin 2 mrd markkaa.

*Ayres ja Walter (1991)* arvioivat, että pakolaisten vastaanottaminen ja hoitaminen maksaa kehitysmaissa noin 1 000 USD pakolaista kohden. Heidän mukaansa tulevaisuudessa pahimmassa tapauksessa 100 miljoonaa kehitysmaiden asukasta joutuu ympäristöpakolaiseksi. Merenpinnan tulisi tosin nousta huomattavasti enemmän kuin tällä hetkellä ennustetaan, jotta heidän arvionsa toteutuisi.

Vuonna 1991 pakolaisten ja turvapaikan hakijoiden vastaanotokustannukset (majoitus + toimeentulotuki + hallinto) olivat Suomessa 7 600—8 000 mk/kk vastaanotettua henkeä kohden. Koko vuoden kustannukset olivat noin 290 milj. mk noin 3 000 henkilöstä. Suuri osa kustannuksista on majoituskustannuksia.

Pakolaisuuden kustannusarvioiden on perustuttava karkeisiin oletuksiin. Oletetaan, että ympäristösyistä pakolais- ja turvapaikan hakijamäärät kasvavat 20 000:een vuodessa ensi vuosisadan puoliväliin mennessä. Oletetaan lisäksi, että vuotuiset kulut yhtä maahanmuuttajaa kohden ovat 80 000 mk, ja että maahanmuuttaja vastaanottaa sosiaaliapua 18 kuukauden ajan. Vuotuisiksi kustannuksiksi saadaan 2 400 milj. mk. Optimistisena arviona voinee pitää puolta tästä ja pessimistisenä kaksinker- taista lukua.

Taulukossa 3 on koottu tehtyjen laskelmien alustavat tulokset vaikutusaloittain.

Pakolaisuuden vaikutus etenkin pessimistiseen arvioon on merkittävä. Ilman sitä pessimistinen arvio olisi positiivinen. Pakolaisuus on kuitenkin vain yksi kansainvälisten vaiku-

Taulukko 3.  $2^*CO_2$ -ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset vuoden 1990 rahassa, milj. mk.

Vaikutusalue tai toimiala	Pessimistinen arvio	Keskimmäinen arvio	Optimistinen arvio
Maatalous			
- tuotanto	+1 070	+1 915	+3 035
- tuholaisien torjunta	-400	-250	-100
Metsätalous			
- tuotanto	+2 500	+4 000	+5 500
- myrsky- ja tuholaisvauriot	-300	-120	0
Kalastus	-	+ -	+
Luonnon monimuotoisuus	-165	-65	-35
Merenpinnan nousu	-70	-55	0
Energian tuotanto	+510	+655	+800
Terveys	-160	-100	-40
Rakentaminen	+300	+400	+500
Vapaa-aika	-770	-320	+130
Viihtyvyyys	-	+ -	+
Liikenne	+230	+265	+300
Pakolaisuus	-4 800	-2 400	-1 200
Yhteensä	-2 055	+3 945	+8 890
Osuus vuoden 1990 bkt:sta	-0,45	+0,86	+1,94

tusten seurausvaikutus. Jos Suomi olisi erillinen ja omavarainen saareke maailmassa, kasvihuoneilmiö olisi lähinnä hyödyksi seuraavien 50 vuoden aikana.

### 3 Vahinkoarviosta hiilidioksiditonin rajahaittaan

Nordhaus (1991b) on esittänyt dynaamisen optimoinnin mallin, missä hän käsitteli optimaalista päästöjen vähennystasoa. Kasvihuonekaasu-päästöjen vaikutusta lämpötilan nousuun hän kuvasi kahdella liikeyhtälöllä:

$$T'(t) = \alpha \{ \mu M(t) - T(t) \}$$

$$M'(t) = \beta E(t) - \delta M(t),$$

jossa

$T(t)$  = kasvihuonekaasuista johtuva lämpötilan nousu 1800-luvun puolivälistä

$M(t)$  = kasvihuonekaasujen pitoisuus  $CO_2$ -ekvivalenttina

$E(t)$  = kasvihuonekaasujen päästöt hiilidioksidiekvivalenteina

$\mu$  = lämpötilan nousuherkkyys (lämpötilan nousun 1. derivaatta  $CO_2$ -pitoisuuden

nousun suhteen)

$\alpha$  = lämpötilan nousun viivästysparametri, arvo  $\approx 0,02$

$\beta$  = ilmakehään joutuva osuus päästöistä, arvo  $\approx 0,5$

$\delta$  = hiilidioksidiekvivalenttien poistumisnopeus ilmakehästä, arvo  $\approx 0,005$ .

Mallin perusoletuksena on, että talous on vakaassa tilassa (steady state), jossa resurssien kulutus on vakioitunut. Esimerkiksi väestöongelma on tässä mallissa oletettu ratkaistuksi. Vakaassa tilassa per capita -kulutus  $c(t)$  määräytyy seuraavan yhtälön perusteella:

$$c(t) = y^* e^{ht} \{ g[E^*] - \emptyset[T^*] \}.$$

\*:llä merkityt suureet ovat vakioita.

$y$  =  $y^* e^{ht}$ , eli tuotanto kasvaa tuottavuuden nousun  $h$  verran, mutta fyysinen panos  $y^*$  pysyy samana.  $h$  on myös per capita -tulotason nousunopeus.

$g[E^*]$  = päästöjen rajoittamisen kustannusfunktio

$\emptyset[T^*]$  = lämpötilan nousun haittafunktio

Mallissa oletetaan yhteiskunnan maksimovan kulutuksesta saatavan hyödyn nykyarvoa. Niinpä mallin peruskysymys onkin, kuinka pal-

jon nykyistä kulutusta tulisi vähentää tulevien haittojen ehkäisemiseksi.

Oletetaan, että päästöt lisääntyvät  $\Delta E$ :n veran. Nordhaus (1991b) osoittaa artikkelissaan, että optimitilanteessa päästöjen rajoittamisen rajakustannus on yhtä suuri kuin lisäpäästöistä aiheutuvien haittojen nykyarvo, toisin sanoen

$$g'(E^*) = \mu\beta\phi'(T^*)\Gamma.$$

Diskonttaustekijä  $\Gamma$  on muotoa:

$$\alpha / [(r-h+\delta)(r-h+\alpha)].$$

Laskelman varsinainen diskonttokorko muodostuu reaalisen korkokannan  $r$  ja tulotason kasvunopeuden  $h$  erotuksesta  $r-h$ . Vaikka erotus olisi nolla, diskonttaustekijä ei kasva äärettömän suureksi, koska kasvihuonekaasut häviävät ilmakehästä vähitellen.  $\Gamma$  voidaan tulkita niiden vuosien diskontatuksi lukumääräksi, joiden taloudelliset vaikutukset otetaan huomioon laskelmissa. Diskonttaustekijöiksi muodostuu siten eri koroilla seuraavat luvut:

Diskonttokorko $r-h$	Diskonttaustekijä $\Gamma$
0 %	200,0
1 %	44,4
2 %	20,0
4 %	7,41

Lähde: Nordhaus, 1991b.

CO<sub>2</sub>-ekvivalentitonin haitta hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistuessa lasketaan yksinkertaistaen seuraavasta kaavasta:

$$CO_2\text{-tonnin haitta} = 2 * CO_2\text{:n haitta-arvio} * \Gamma / 2 * CO_2\text{:n aiheuttavat päästöt}.$$

Ilmastonmuutoksen aiheuttavien päästöjen kokonaismäärän voi korvata laskemalla, kuinka paljon yhden vuoden päästöt kasvattavat ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuutta suh-

teessa esiteollisen ajan pitoisuuteen. Viime vuosina hiilidioksidipitoisuus on noussut 1,8 ppm vuodessa. Muiden kaasujen säteilypakotteen kasvu vastaa noin 0,59 ppm/vuosi hiilidioksidia. Täten voidaan arvioida, että ekvivalenttipäästöt ovat kasvaneet 2,39 ppm vuodessa. Esiteollisena aikana pitoisuus oli noin 280 ppm, joten pitoisuuden prosentuaalinen kasvu on noin 0,85 %. Sijoitetaan tämä suhdeluku osoittajaan ja yhden vuoden päästöt nimittäjään. Kaikkien kasvihuonekaasujen päästöt olivat Suomessa vuonna 1988 sadan vuoden ajanjaksolle laskettuna noin 81 milj. tonnia hiilidioksidiksi muunnettuna (Kanninen, 1992). Käytetään tätä päästölukua seuraavissa laskelmissa. Taulukoista 4 ja 5 nähdään, että tulokset ovat erittäin riippuvia tehdyistä oletuksista ja valitusta diskonttokorosta.

Yllä olevien laskelmien perusteella mittavat häittavero-ohjelmat eivät ole Suomen kannalta tarpeellisia. Mutta onko valittu näkökulma liian kapea? Pitäisikö muun maailman kustannusten olettaa heijastuvan Suomeen esim. EY:n kautta?

Ulkomaisten laskelmien perusteella ilmastomuutoksen haittoiksi voi olettaa 0,25—6,0 % maailman kokonaistuotannosta (*gross world product, GWP*). Sovelletaan näitä vahinkoarvoja Nordhausin kehittöön. Maailman kokonaistuotanto oli vuonna 1990 noin 20 000 mrd USD. Vaihtokurssina käytetään 4,5 FIM/USD. Maailman kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ovat noin 29 mrd t CO<sub>2</sub> (Nordhaus, 1990b). Oletetaan, että maailman valtiot suostuvat jakamaan kasvihuonekaasujen häittäkustannukset tasan valtioiden kesken päästömäärien mukaan. Silloin kasvihuoneilmiön haittoille tarvitsisi laskea vain yksi, globaali häittäkustannus.

Tutkitaan, kuinka suureksi ekvivalenttisen CO<sub>2</sub>-tonnin haitat muodostuisivat 1/4, 1, 2 ja

Taulukko 4. 2\*CO<sub>2</sub>-ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset CO<sub>2</sub>-tonnia kohden.

Diskonttokorko $r-h$	Vaikutus mk/t CO <sub>2</sub> , kun arvio on		
	Pessimistinen	Keskimmäinen	Optimistinen
0 %	-43,10	+82,80	+186,60
1 %	-9,60	+18,40	+41,40
2 %	-4,30	+8,30	+18,70
4 %	-1,60	+3,10	+6,90

6 % GWP tapauksissa. 6 % maailman kokonaistuotannosta on Clinen pitkän aikavälin arvio mukainen USA:n kustannusarvio maailman tasolle sovellettuna. Tulokset ilmenevät taulukosta 5.

Taulukkoon 5 on laskettu myös Suomen osuus globaaleista kustannuksista. Esimerkiksi jos globaalit vahingot ovat 0,25 % vuoden 1990 kokonaistuotannosta, Suomen nykyisten päästömäärien mukainen osuus — noin 0,32 % — kustannuksista olisi 720 milj. mk.

Pitkän aikavälin kustannuksiksi saadaan 0 % diskonttokorolla noin 360 mk/t CO<sub>2</sub>, mikä on selvästi muita arvioita enemmän.

Mekaanisesti laskien kansallisessa laskelmassa saatu pessimistinen arvio vastaa noin 0,7 %:n (= [2 055/2 880]\*1 %) globaaleja haittoja. Tässä kohdin on muistutettava, että kansallisessa laskelmassa ei otettu kokonaisuudessaan huomioon Suomeen heijastuvia kansainvälisen tason kustannuksia.

Edellä laskettu haitta-arvio ei sellaisenaan kelpaa päätöksenteossa päästöjen rajoittamisen hyödyiksi eli vältettävissä olevien haittojen arvioksi. Clinen mukaan pitkällä aikavälillä 2\*CO<sub>2</sub>-skenaario voi edustaa pitkän aikavälin tasapainoa, jos rajoitaviin toimenpiteisiin ryhdytään välittömästi. Lyhyellä aikavälillä hänen mukaansa vain noin 25 % ilmastonmuutoksen aiheuttavan säteilyvoimakkuuden kasvusta on vältettävissä (Cline, 1991a). Lyhyellä, 50 vuoden aikavälillä Suomella ei siten näytä olevan voimakasta insenttiiviä ryhtyä rajoittamaan päästöjä.

Clinen (1991a) mukaan arvio rajoitusten hyödyistä pitkällä aikavälillä saadaan vähentämällä pitkän aikavälin haitoista lyhyen aikavä-

lin haitat. Suomen pitkän aikavälin hyödyt ilmenevät taulukosta 6.

Tästä näkökulmasta katsottuna jopa noin 450 markan haittaverot hiilidioksiditonnilta ovat puolusteltavissa. On tosin muistettava, että kansainvälisistä haitoista ei ole mitään luotettavaa tietoa toistaiseksi tarjolla. 450 mk/t CO<sub>2</sub> voikin pitää nykytietojen mukaan rajoitusten hyödyn maksimiarviona. 1 %:n diskonttokorolla arvio on noin 100 mk/t CO<sub>2</sub>.

#### 4 Johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

Ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset eivät ole alustavien arvioiden mukaan Suomessa yksiselitteisen kielteisiä. Ihmisen kannalta Suomen luontoon ja rakennettuun ympäristöön kohdistuvat vaikutukset voivat olla kokonaisuudessaan lievästi positiivisia 50 vuoden aikavälillä. Varsinkin maa- ja metsätaloudessa voidaan mallilaskelmien mukaan päästä aiem-

Taulukko 6. Arvio päästöjen rajoittamisen hyödyistä pitkällä aikavälillä.

Haitat, mk/tCO <sub>2</sub>	Aikaväli		
	A: 2*CO <sub>2</sub> , 50 v	B: Pitkä, 200 v	Yhteensä B—A
0 %	—82,80	362,70	445,50
1 %	—18,40	80,50	98,90

Huom. Suomen 2\*CO<sub>2</sub>-haitoille on käytetty keskimmäistä arviota. Koska Suomen lyhyen aikavälin haitta onkin hyötyä, pitkällä aikavälillä on sitä suurempi syy rajoittaa päästöjä.

Taulukko 5. Ilmastonmuutoksen globaalit taloudelliset haitat CO<sub>2</sub>-tonnia kohden nykyisten päästöjen mukaan jaettuna.

(Suomen osuus, milj. mk) Diskonttokorko r—h	HAITTA mk/tCO <sub>2</sub> , kun vahinkoarvio			
	0,25 % GWP (720 milj. mk)	1 % GWP (2 880 milj. mk)	2 % GWP (5 760 milj. mk)	6 % GWP (17 280 milj. mk)
0 %	15,10	60,40	120,90	362,70
1 %	3,40	13,40	26,80	80,50
2 %	1,50	6,00	12,10	36,30
4 %	0,60	2,20	4,50	13,40

paa parempiin tuloksiin ottamalla muuttuva ilmasto huomioon, joskin negatiivisten vaikutusten riski on ilmeinen.

Kasvihuoneilmiön taloudellisten vaikutusten analysointi on vielä alkuvaiheessa. Tarvitaan parempia malleja ja yhtenäisiä sovellusohjeita, jotta voidaan tuottaa kansainvälisellä tasolla vertailukelpoisia tuloksia.

Suomi joutunee kansainvälisessä yhteisössä ilmastonmuutoksen maksumieheksi tavalla tai toisella. Suomen vahvin motiivi kerätä hiilidioksidiveroa on laskelmien mukaan lisääntyviin avustusmenoihin varautuminen. Kansainvälisellä tasolla ympäristö- ja kehitysongelmat nivoutunevat entistä selkeämmin yhteen. Eikö huomisen kehitysyhteistyömäärärahat olisi mielekästä kerätä ja rahastoida verottamalla nykypäivän energian kulutusta tempoilevan ja suhdannealttiin kehitysyhteistyöpolitiikan välttämiseksi?

## Kirjallisuus

- Aittoniemi, P. (1990): »Ilmastonmuutoksen vaikutukset energian tuotantoon ja käyttöön Suomessa.» *Imatran Voima Oy, Tutkimusraportteja A 4/90*, Helsinki.
- Ayres, R. ja Walter, J. (1991): »The Greenhouse Effect: Damages, Costs and Abatement.» *Environmental and Resource Economics*, no. 1.
- Bolin, B. et al. (1987): »The Greenhouse Effect, Climate Change and Ecosystems.» *Scope* 29.
- Boström, S., Backman, R. ja Hupa, M. (1990): »Energiantuotannon ja kulutuksen kasvihuonekaasujen päästöt Suomessa.» kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto, sarja D:186, Helsinki.
- Brown, L. R. et al. (1991): *Maailman tila 1991*, Gaudeamus, Helsinki.
- Brown, L. R. et al. (1992): *Maailman tila 1992*, Gaudeamus, Helsinki.
- Cline, W. R. (1991a): »Estimating the Benefits of Greenhouse Warming Abatement.» *OECD Environment Committee*, Paris.
- Cline, W. R. (1991b): »Scientific Basis for The Greenhouse Effect.» *The Economic Journal*, July 1991.
- Commission of the European Communities (1991): *The Economic Impact of a Package of EC Measures to Control CO<sub>2</sub> Emissions*, Final Report, Brussels.
- Economist* (1992): »Two droughts — And maybe more to come.» May 23rd 1992.
- Finnida (1991): »Suomen kehitysyhteistyö 1990.» *Hallituksen kehitysyhteistyökertomus eduskunnalle vuodelta 1990*, Helsinki.
- Glomsrød, S., Vennemo, H. ja Johnsen, T. (1990): »Stabilization of emissions of CO<sub>2</sub>: A computable general equilibrium assessment.» Central Bureau of Statistics, Discussion Paper No. 48, Oslo.
- Hiilidioksiditoimikunta (1991): »Hiilidioksiditoimikunnan mietintö.» *komiteamietintö 1991:21*, Helsinki.
- Hoeller, P., Dean, A. ja Nicolaisen, J. (1990): »A Survey of Studies of The Costs of Reducing Greenhouse Gas Emissions.» *OECD Working Papers No. 89*, Paris.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1990a): *The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1990b): *The IPCC Impacts Assessment, Report Prepared by Working Group II*, Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (1992): *1992 IPCC Supplement*, Chairman Drafting Committee, Geneva.
- Jantunen, M. ja Nevanlinna, L. (1990): »Kasvihuoneilmiö, ilmastonmuutos ja Suomi.» *Teknistieteelliset akatemit, 1990:1*, Jyväskylä.
- Kanninen, M., toim. (1992): *Muuttuva ilmakaehä — ilmasto, luonto ja ihminen*, SILMU, VAPK-kustannus, Helsinki.
- Kanninen, M. ja Anttila, P. (1992): *Suomalainen Ilmakehänmuutosten Tutkimusohjelma — Tutkimusten väliraportit*, SILMU, VAPK-kustannus, Helsinki.
- Karjalainen, T., Kellomäki, S., Lauhanen, R. ja Tuovinen, J. (1991): »Ilmaston muutoksen vaikutus metsäekosysteemiin ja metsänkäyttöön: mekanismit ja kehityssuuntia.» *Silva Carelica 19*, Joensuun yliopisto, Jyväskylä.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto (1990): *Energialouden kehityslinjoja vuoteen 2025*, B:70, Helsinki.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto (1991a): *Energiastrategian taustat*, B:102, Helsinki.
- Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto (1991b): *Energiakatsaus, 4-1991*, Helsinki.
- Kola, J., Marttila, J. ja Niemi, J. (1991): *EY:n ja Suomen maatalouden ja maatalouspolitiikan vertailu*, Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos, tiedonantoja 174, Helsinki.
- Komiteamietintö (1992): *Metsä 2000 -ohjelman tarkastustoimikunnan mietintö*, maa- ja metsätalousministeriö, 1992:5, Valtion painatuskeskus.
- Kuisma, M. (1990): *Suomalaisten suuryritysten kas-*

- vu ja kytkennät metsäsektoriin, Helsingin Kaup-  
pakorkeakoulu, Ltt: hallinnon pro gradu -tutkiel-  
ma, Helsinki.
- Luonnonvarainneuvosto (1990): *Ilmastonmuutoksen  
vastatoimista pohjoisen havumetsävyöhykkeen  
metsissä*, Maa- ja metsätalousministeriö, Luonnon-  
varajulkaisuja 13, Helsinki.
- Manne, A. ja Richels, R. (1991): »Buying greenhou-  
se insurance,» *Energy Policy*, July/August 1991,  
Butterworth-Heinemann.
- Massa, I. ja Sairinen, R., toim. (1991): *Ympäristö-  
kysymys — ympäristöuhkien haaste yhteiskunnal-  
le*, Gaudeamus, Helsinki.
- Mattila, V.-M. (1991): *Hiihdioksidipäästöt, talous  
ja taloudellinen ohjaus*, VATT keskustelunaloit-  
teita no. 9, Helsinki.
- Metsä 2000 -ohjelman tarkistustoimikunta (1991):  
*Kansantalouden jaoston muistio*, Helsinki.
- Morgenstern, R. D. (1991): »Towards a Comprehen-  
sive Approach to Global Climate Change Miti-  
gation,» *American Economic Review*, May 1991.
- Mors, M. (1991): »The Economics of Policies to Sta-  
bilize or Reduce Greenhouse Gas Emissions: the  
Case of CO<sub>2</sub>, Commission of the European Com-  
munities,» *Economics papers no. 87*, Brussels.
- Mäenpää, I. (1991): *Economic effects of alternati-  
ve means to reduce energy related emissions in  
Finland*, European Economic Association Mee-  
ting, Cambridge 30.8.—2.9.1991.
- Nordhaus, W. (1982): »How Fast Should We Gra-  
ze the Global Commons?,» *American Economic  
Review*, May 1982.
- Nordhaus, W. (1990a): *To Slow or Not To Slow: The  
Economics of The Greenhouse Effect*, Yale Uni-  
versity.
- Nordhaus, W. (1990b): »Greenhouse Economics —  
Count before you leap,» *The Economist*, July 7  
1990.
- Nordhaus, W. (1991a): »A Sketch of the Economics  
of the Greenhouse Effect,» *American Economic  
Review*, May 1991.
- Nordhaus, W. (1991b): »To Slow or Not to Slow:  
The Economics of the Greenhouse Effect,» *The  
Economic Journal*, July 1991.
- OECD (1989): *Environmental Policy Benefits: Mo-  
netary Evaluation*, Paris.
- OECD (1990): *Climate Change — Economic Instru-  
ments for Climate Change Policy*, Annex 1, Pa-  
ris.
- OECD (1991a): *Climate Change — Evaluating the  
Socio-Economic Impacts*, Paris.
- OECD, Working party No. 1 of the economic poli-  
cy committee (1991b): *The Costs of Policies to  
Reduce Global Emissions of CO<sub>2</sub>: Initial Simu-  
lation Results with GREEN*, Paris.
- Orr, D. (1992): »Pascal's Wager and Economics in  
a Hotter Time,» *The Ecologist*, Vol 22, No. 2,  
March/April 1992.
- Parry, M. (1990): *Climate Change and World Ag-  
riculture*, Earthscan Publications, London.
- Pearce, F. (1992): »Grain yields tumble in green-  
house World,» *New Scientist*, 18 April 1992.
- Schelling, T. (1992): »Some Economics of Global  
Warming,» *The American Economic Review*, vol.  
82 no. 1, March 1992.
- Tahvonen, O., toim. (1991): *Ympäristö, talous, hy-  
vinvointi*, Teknillistieteelliset akatemit 1991:1,  
Jyväskylä.
- Tilastokeskus (1991): *Suomen tilastollinen vuosikir-  
ja*, Helsinki.