

ELINKEINOELÄMÄN TUTKIMUSLAITOS

Lönnrotinkatu 4 B, SF-00120 HELSINKI

☎ (90) 609 900
Telefax (90) 601 753

Elinkeinoelämän Tutkimuslaitoksen edeltäjä Taloudellinen Tutkimuskeskus perustettiin vuonna 1946 suorittamaan taloudellista ja talouspoliittista päätöksentekoa palvelevaa kansantaloudellista, liiketaloudellista ja sosiaalipoliittista tutkimustyötä. Laitosta ylläpitävän kannatusyhdistyksen jäseniä ovat nykyisin Suomen Työnantajain Keskusliitto, Suomen Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto ja Teollisuuden Keskusliitto sekä Kansallis-Osake-Pankki, Osuuspankkien Keskuspankki, Postipankki, Suomen Yhdyspankki ja Säästöpankkien Keskus-Osake-Pankki. Laitoksessa suoritetaan tutkimuksia myös kannatusyhdistyksen ulkopuolisella rahoituksella. Tätä toimintaa varten ETLA on perustanut erillisen projektitutkimus- ja tietopalveluyksikön. Tutkimus- ja ennustetoiminnan tuloksia julkaistaan laitoksen eri julkaisusarjoissa.

KANNATUSYHDISTYKSEN HALLITUS

Jäsenet

Krister Ahlström, pj.
Kurt Stenvall, varapj.
Matti L. Aho
Pekka Herlin
Gustav von Hertzen
Tapani Kahri
Matti Korhonen
Johannes Koroma
Matti Liukkonen
Harri Malmberg
Tauno Matomäki
Rauno Niinimäki
Heikki Tavela
Eero Tuomainen

Varamiehet

Jaakko Rauramo
Björn Wahlroos
Harri Lonka
Jaakko Ihamuotila
Yrjö Pessi
Arto Ojala
Hannu Halttunen
Erkki Hellsten
Jorma Raike
Jarl Köhler
Aarno Mannonen
Ari Aaltonen
Heikki Bachmann
Jaakko Lilleberg

JOHTOKUNTA

Arto Ojala, pj.
Jussi Mustonen, varapj.
Ari Aaltonen
Erkki Hellsten
Peter Johansson
Heikki Pärnänen
Pentti Vartia

ETLA ELINKEINOELÄMÄN TUTKIMUSLAITOS
The Research Institute of the Finnish Economy
Lönnrotinkatu 4 B 00120 Helsinki Finland

Sarja B 77 Series

Jouko Kinnunen

ILMASTONMUUTOKSEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET

(The Economic Effects of the Climate Change)

Julkaisija: Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos ETLA
Kustantaja: Taloustieto Oy

KINNUNEN, Jouko, ILMASTONMUUTOKSEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET. Helsinki: ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 1992. 110 s. (B, ISSN 0356-7443; No 77). ISBN 951-9206-77-9

TIIVISTELMÄ: Tutkimuksessa luodaan katsaus ilmastonmuutoksen taloudellisten vaikutusten arvioihin. Ne eroavat toisistaan perusteiltaan ja tuloksiltaan huomattavasti. Tutkimuksessa rakennetaan kokonaiskuva ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista Suomessa ensi vuosisadan puoliväliin mennessä. Ilmastonmuutokseen liittyvän epävarmuuden vuoksi tulokset esitetään pessimistisenä, keskimmäisenä ja optimistisena arviona. Todennäköisimpänä pidetyn keskimmäisen arvion mukaan ilmastonmuutoksesta aiheutuisi hyötyä Suomessa vuosina 2030-2050, jonka suuruus on noin 0,9 % vuoden 1990 BKT:sta. Ilmastonmuutoksen välilliset vaikutukset voivat kuitenkin olla voimakkaan negatiiviset. Suomi saattaa joutua avustamaan muita maita esim. EY-jäsenyyden vuoksi tai kehitysavun muodossa.

Tutkimuksen pääpaino on noin 50 vuoden aikavälillä. Tämä aikaväli ei kuitenkaan ole riittävä tarkasteltaessa kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisesta saatavia hyötyjä, koska tulevasta ilmastonmuutoksesta vain noin neljännes on vältettävissä seuraavien 50 vuoden aikana. Pidemmällä aikavälillä ilmasto voidaan tasapainottaa tilaan, joka vastaa nykyisen kehityksen mukaista tilaa 50 vuoden kuluttua. Vertaamalla tätä tasapainotilaa tilanteeseen, joka syntyisi 200 vuoden kuluttua ilman rajoittavia toimenpiteitä, saadaan arvio päästöjen rajoittamisen hyödyistä pitkällä aikavälillä. Täksi arvioksi saadaan Suomen osalta 450-100 Mmk 0-1 % diskonttokorolla laskettuna. Suuremmilla diskonttokoroilla ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset jäävät mitättömän pieniksi.

ASIASANAT: ilmastonmuutos, kasvihuoneilmiö, kustannus-hyötyanalyysi

KINNUNEN, Jouko, ILMASTONMUUTOKSEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET. (The Economic Effects of the Climate Change). Helsinki: ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 1992. 110 p. (B, ISSN 0356-7443; No 77). ISBN 951-9206-77-9

ABSTRACT: This study surveys the cost-benefit analyses concerning of climate change. The analyses differ greatly in conceptual framework and in results. Based on these previous estimates, an estimate is made for the economic effects of the climate change in Finland. Due to the uncertainty inherent to the global warming, the results are presented in three different estimates: pessimistic, central and optimistic. According to the central estimate, which is thought to be the most probable one, Finland would benefit from the global warming during 2030-2050 as much as 0,9 % of the 1990 GDP. However, the indirect consequences of the climate change can be strongly negative. Furthermore, Finland may have to support other countries, eg. as a future member of the EC or by increasing its development aid.

The emphasis of this study is on the 50 years' perspective. This time span is not long enough, though, when the benefits of greenhouse warming abatement are considered. Only 25 % of the foreseen global warming will be avoidable during the next 50 years. However, the warming can be stabilized on a longer perspective at a level, which corresponds to the business-as-usual scenario in the coming 50 years. This equilibrium state is then compared to the prognosed development if no preventive steps are taken during the next 200 years. The benefits of the global warming abatement for Finland are thus estimated to be FIM 450-100 per reduction of a tonne of CO₂ emission, calculated by 0-1 % discount. With greater discounting the benefits are more or less negligible.

KEY WORDS: climate change, greenhouse effect, cost-benefit analysis

ESIPUHE

Maapallon ilmasto uhkaa lämmetä tulevina vuosikymmeninä. Hallitustenvälinen ilmastomuutospaneeli IPCC on tuottanut luonnontieteellistä tietoa kasvihuoneilmästä ja sen seurauksista. Suomen Ilmastomuutosten Tutkimusohjelma SILMU on myös tuottanut maamme koskevia arvioita.

Luonnontieteelliseen tutkimuksen tulosten perustalta on tärkeää arvioida myös mahdollisen ilmastomuutoksen taloudellisia seurauksia. Tämä on vaativa tehtävä, koska ilmiön vaikutukset heijastuvat usein epävarmalla tavalla lukuisille talouden ja yhteiskunnan osa-alueille ja välttämättä joudutaan tarkastelemaan hyvin pitkää aikajännettä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ensinnäkin antaa yleiskuva ilmastomuutoksesta sekä sen yhteyksistä talouteen. Toiseksi kasvihuoneilmästä taloudellisia vaikutuksia arvioidaan Suomen kannalta. Erityistä huomiota kiinnitetään maa- ja metsätalouteen, joihin ilmastomuutos Suomessa vaikuttaa. Eri osa-alueiden arvioista kootaan rahamääräinen kokonaisarvio. Tutkimus on ensimmäinen kattava taloudellinen arvio kasvihuoneilmästä Suomen oloissa. Tutkimusongelman monitahoisuuden ja sen seurausten taloudellisen arvon mittaamisen vaikeuden vuoksi tuloksia on pidettävä vielä alustavina.

Tutkimuksen on laatinut KTM Jouko Kinnunen. Tutkimuksen ohjaajana ETLAssa on toiminut tutkimusjohtaja Kari Alho, joka on myös osallistunut tutkimusraportin viimeistelyyn. Tutkimuksen tukiryhmässä ovat toimineet myös toimitusjohtaja Pentti Vartia ja professori Matti Pohjola. Kuviot ovat piirtäneet Arja Selvinen, Arja Virtanen sekä Eija Kauppi. Tekstinkäsittelystä on vastannut Tuula Ratapalo.

Helsingissä, elokuussa 1992

Pentti Vartia

Sisällysluettelo

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimuksen lähtökohta ja tavoitteet	1
1.2.	Tutkimuksen rakenne	1
2.	MAAILMA KASVIHUONEESSA	3
2.1.	Ilmiön luonnontieteellinen perusta	3
2.2.	Ilmastomuutoksen ennakoitujen globaalien vaikutukset	4
2.3.	Ilmastomuutos Suomessa	9
3.	ILMASTONMUUTOS PÄÄTÖKSENTEKO- ONGELMANA	11
3.1.	Päätöksentekoanalyysi	11
3.2.	Kustannus-hyötyanalyysi	13
3.3.	Kustannus-vaikuttavuusanalyysi	14
3.4.	"Kasvihuonevakuutuksen ostaminen"	14
3.5.	Ympäristövaikutusten arviointiprosessi	15
4	KATSAUS ILMASTONMUUTOKSEN TALOUDEL- LISTEN VAIKUTUSTEN KANSAINVÄLISIIN AR- VIOIHIN	17
4.1.	Kustannus-hyötyanalyysin ongelmia	17
4.1.1.	Taloudellisten vaikutusten rajaaminen	17
4.1.2.	Paikallisten ilmastoennusteiden luotettavuus	18
4.1.3.	Mille aikavälille laskelmia tulisi tehdä?	18
4.1.4.	Mitä diskonttokorkoa laskelmissa tulisi käyttää?	19
4.1.5.	Millainen on tulevaisuuden talouden rakenne ja vahinkoarvioiden perusta?	20
4.1.6.	Mitä tulisi olettaa tekniikan kehityksestä ja yhdyskuntien sopeutumisesta ja reagoinnista ilmastomuutokseen?	21

4.1.7.	Mihin toimintavaihtoehtoon ilmastonmuutoksen kustannuksia verrataan?	22	5.8.1.	Lämpötilan muutoksen terveysvaikutukset	66
4.1.8.	Miten arvotetaan maapinta-alaa ja ihmishenkiä?	23	5.8.2.	Ultravioletisäteilyn terveysvaikutukset	67
4.2.	Katsaus ilmastonmuutoksen taloudellisiin analyysiin	24	5.9.	Vaikutukset rakentamiseen	69
4.2.1.	Nordhausin laskelmat	25	5.10.	Vapaa-aika ja turismi	70
4.2.2.	Nordhausin laskelmien kritiikkiä	26	5.11.	Viihtyvyyden muutokset	73
4.2.3.	Clinen laskelmat	27	5.12.	Jää- ja lumipeitteen vähenemisen vaikutukset	74
5.	ILMASTONMUUTOKSEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET SUOMESSA	30	5.13.	Ilmansaasteiden haitat	75
5.1.	Vaikutukset maatalouteen	31	5.14.	Kansainvälisten vaikutusten arviointi	79
5.1.1.	Maailman ja Suomen viljantuotannon tila ja kehitys	32	5.15.	Yhteenveto kustannuksista ja hyödyistä	80
5.1.2.	Ilmastonmuutoksen vaikutukset maatalouden tuottavuuteen	34	6.	CO₂-VERON VAIKUTUKSET JA PÄÄSTÖJEN RAJOITTAMISEN MAHDOLLISUUDET	88
5.1.3.	Maatalouden vaikutusten ennusteet	36	6.1.	CO ₂ -veron vaikutukset polttoaineiden hintoihin	88
5.1.4.	Maatalouden sopeutumisen kustannukset	43	6.2.	CO ₂ -veron kansantaloudelliset vaikutukset	90
5.2.	Vaikutukset metsätalouteen	44	6.3.	Päästöjen vähentämisen vaihtoehdot	92
5.2.1.	Arviot metsien kasvumahdollisuuksista	45	6.3.1.	CFC-päästöjen vähentäminen	94
5.2.2.	Taloudelliset vaikutusarviot	46	6.3.2.	Puiden käyttö CO ₂ -nieluna	94
5.2.3.	Suomen metsätalouden kilpailuasema	49	6.3.3.	Energian säästö	95
5.3.	Vaikutukset metsätuhoihin	49	6.3.4.	Voimalaratkaisujen vaikutukset päästöihin	97
5.3.1.	Abioottiset tuhot	50	6.3.5.	Uusi energiantuotantotekniikka	98
5.3.2.	Bioottiset tuhot	51	7.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	100
5.3.3.	Metsätuhojen taloudellisia arvioita	52	Kirjallisuus	103	
5.4.	Kalastus ja kalanviljely	53			
5.5.	Luonnon monimuotoisuuden merkitys	54			
5.5.1.	Ilmastonmuutoksen uhka luonnon monimuotoisuudelle	55			
5.5.2.	Luonnon moninaisuuden arvottaminen	55			
5.6.	Ilmastonmuutoksen vesitaloudelliset vaikutukset	59			
5.6.1.	Merenpinnan nousu	59			
5.6.2.	Vaikutukset kaupunkisuunnitteluun	61			
5.6.3.	Sadannan muutokset ja viemäröinti	62			
5.6.4.	Vesitalouden muutosten kustannusarvio	63			
5.7.	Vaikutukset energian kysyntään ja tuotantoon	64			
5.8.	Ihmisten sairastuvuuden muutokset	66			

1. JOHDANTO

1.1. Tutkimuksen lähtökohta ja tavoitteet

Ilmastonmuutoksen luonnontieteellinen arviointi on edennyt varsin pitkälle. Ilmastonmuutoksesta tarvitaan kokoavaa ja vaikka karkeitakin taloudellisia arvioita, jotta ilmastonmuutoksen merkitys pystytään käsittämään laajemmin. Ilmastonmuutos tapahtuu niin pitkällä aikavälillä, että sen käsittely taloudellisessa päätöksenteossa on erittäin hankalaa. Myös pitkän aikavälin tarkasteluun kuuluva epävarmuus on ilmastonmuutoksen ja sen taloudellisten vaikutusten suhteen suuri. Tämä tutkimus pyrkii osaltaan valaisemaan tätä kenttää.

Tutkimus sisältää katsauksen ilmastonmuutoksen taloudellisen analysoinnin nykytilanteesta. Tutkimuksessa sovelletaan amerikkalaisten taloustieteilijöiden lähestymistapoja. Kansainvälisiä, yhtenäisiä arviointiperusteita ei ole vielä muodostettu, mutta kansainvälinen ilmastopaneeli IPCC on ilmoittanut pyrkivänsä julkaisemaan taloudellisten arvioiden teko-ohjeen mahdollisesti vielä vuoden 1992 aikana (IPCC, 1992).

Tämän raportin tavoitteena on antaa karkea kuva vaikutusten suuruudesta ja suunnasta koko maailman tasolla ja erityisesti Suomessa. Ilmastonmuutoksesta pyritään laatimaan varsin yksityiskohtainen arvio eri osa-alueille. Tulosten perusteella voidaan pohtia esim. hiilidioksidiverotuksen tehokkuutta ja optimaalista tasoa. Tutkimus toivottavasti myös kannustaa aiheen taloudellisen tarkastelun lisäämiseen maassamme.

1.2. Tutkimuksen rakenne

Tutkimus jakautuu johdantoluvun jälkeen seitsemään lukuun. Luvussa 2 annetaan ilmastonmuutoksesta tiivis yleisesitys. Luvussa 3 pohditaan eri päätöksentekomenetelmiä ilmastonmuutoksen kannalta. Neljännessä luvussa käydään läpi kustannus-hyötyanalyysin peruskysymyksiä sekä vertaillaan ilmastonmuutoksen taloudellisista vaikutuksista tehtyjä kansainvälisiä arvioita.

Viidennessä luvussa esitetään Suomea koskevia arvioita vaikutusalueittain ja pyritään arvottamaan ne, so. arvioimaan vaikutuksia kansalaisten hyvinvoinnin muutoksina. Tässä luvussa pohditaan myös ilmastonmuutoksen taloudellisten vaikutusten merkitystä päätöksenteossa hiilidioksidipäästön rajahaitan sekä päästöjen rajoittamisesta koituvan rajahyödyn käsitteiden avulla.

Kuudennessa luvussa esitetään lyhyt katsaus hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen kansantaloudellisista vaikutuksista mm. verotuksen keinoin. Lisäksi pohditaan kasvihuonekaasujen päästöjen muita rajoitusmahdollisuuksia.

Seitsemäs luku sisältää yhteenvedon ja johtopäätökset.

2. MAAILMA KASVIHUONEESSA

2.1. Ilmiön luonnontieteellinen perusta

Kasvihuoneilmiön voimistumisesta aiheutuva ilmastonmuutos on tullut maailmanlaajuisen huomion kohteeksi viime vuosina. Kasvihuoneilmiön voimistumisella on suuria vaikutuksia maapallon ekosysteemeihin ja siten myös ihmisiin. Voimistuminen johtuu ihmisten aiheuttamien ns. kasvihuonekaasupäästöjen kertymisestä ilmakehään.¹⁾

Ilmakehän koostumuksen muuttuessa sen säteilynheijastusominaisuudet muuttuvat. Auringosta tuleva lyhytaaltainen säteily pääsee entiseen tapaan maapallon pintaa lämmittämään, mutta maapallosta avaruuteen säteilevä pitkäaaltoinen säteily heijastuu aiempaa suuremmissa määrin takaisin. Maapallon säteilyn takaisin heijastavia kaasuja ovat hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4), kloorifluorihilivedyt (CFC-kaasut), typpioksiduuli (N_2O) ja muut typen oksidit (NO_x) sekä vesihöyry (H_2O), joka yleensä jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Hiilidioksidi on tärkein kasvihuonekaasu. Sen on laskettu aiheuttavan noin 55 % ilmakehän lämpenemisestä 1980-luvun päästöjärjen mukaan laskettuna (Hiilidioksiditoimikunta 1991, s. 51). Kasvihuonekaasujen merkittävyttä mitataan ns. lämpövaikutuksella, joka ottaa huomioon kaasujen lämmönsitomiskyvyn ja eliniän ilmakehässä. Vaikka hiilidioksidin lämpövaikutus onkin heikko verrattuna muihin kaasuihin, sen merkitys nousee suurimmaksi, koska CO_2 :n pitoisuus ilmakehässä on ylivoimaisesti suurin. Eri kaasujen lämpövaikutukset ilmenevät oheisesta taulukosta 1.

Ilmakehän lämpenemisellä on monenlaisia vaikutuksia. Itse lämpeneminen vaikuttaa vuodenaikojen pituuteen ja lämpötilaeroihin. Lämpötilan muutokset tuntuvat sademäärissä, tuulissa, pilvien muodostumisessa ja merivirtojen kulussa. Myös merenpinnan on ennustettu nousevan sekä merien lämpölaajenemisen että napajäätiköiden sulamisen vuoksi. Ilmaston ja merien tutkijat ovat erittäin suuren haasteen edessä pyrkiessään mallintamaan ja ennustamaan tarkasti näitä muutoksia. Toistaiseksi arvioihin liittyy melko suuri epävarmuus.

1) Kasvihuoneilmiö sinänsä on maapallolle erittäin hyödyllinen, koska ilman sitä maapallon keskilämpötila olisi noin -18°C nykyisen $+15^\circ\text{C}$:n asemasta.

Taulukko 1. Eri kaasujen samansuuruisien päästöjen suhteellinen lämpövaikutus hiilidioksidiin verrattuna eri aikaväleillä.

Kaasu	Päästön suhteellinen kasvihuonevaikutus		
	20 vuoden	100 vuoden	500 vuoden
	kuluttua päästöistä		
CO ₂	1	1	1
CH ₄	63	21	9
N ₂ O	270	290	190
CFC 11	4 500	3 500	1 500
CFC 12	7 100	7 300	4 500
HCFC 22	4 100	1 500	510
CFC 113	4 500	4 200	2 100
CFC 114	6 000	6 900	5 500
CFC 115	5 500	6 900	7 400
NO _x	150	40	14
CO	5	1	0
Hiilivedyt	28	8	3

Lähde: Hiilidioksiditoimikunnan mietintö, 1991.

YK:n ympäristöohjelma UNEP ja Maailman ilmatieteen järjestö WMO asettivat vuonna 1988 tutkimustietoa kokoavan ja arvioivan hallitustenvälisen ilmastopaneelin, IPCC:n. Ilmastopaneelin työhön on osallistunut satoja tiedemiehiä ympäri maailman. Sen julkaisemat arviot ovat toimineet lähtökohdana useissa kasvihuoneilmiötä käsittelevissä tutkimuksissa ja kansainvälisissä toimintaelimissä. Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi ilmastomuutoksen tärkeimmät seuraukset IPCC:n arvioiden perusteella.

2.2. Ilmastomuutoksen ennakoitujen globaalit vaikutukset

Seuraavassa esitetään lyhyesti keskeiset arviot ilmastomuutoksen vaikutuksista luontoon ja ihmisiin. Tarkoituksena on antaa lukijalle tiivis peruskäsitelmä asiasta.

Vuonna 1990 tehty IPCC:n toisen työryhmän (1990b) tekemä vaiku-

tusanalyysi perustui seuraaviin taustaoletuksiin.

- Luonnon omat prosessit, kuten auringon, merten ja tuulien toiminnan luonnollinen vaihtelu jatkuvat entisenlaisina.
- Maailman väestö kasvaa vuoden 1990 5.3 miljardista 8 miljardiin vuoteen 2025 mennessä ja tasaantuu runsaaseen 11 miljardiin ensi vuosisadan puolivälissä.
- Metsien hävittäminen uusien peltojen tieltä ja olemassaolevien peltojen intensiivinen hyödyntäminen kiihdyttävät maaperän köyhtymistä ja lisäävät vesivarojen kysyntää.

IPCC:n tarkastelemat skenaariot johtivat erilaisilla oletuksilla kasvihuonekaasujen päästöjen kehityksestä melko yhteneväisiin tuloksiin. Mitään ilmastomuutoksen estämistoimenpiteitä ei oletettu tehtävän. Tulosten yhteiset piirteet olivat seuraavanlaiset:

- Kasvihuonekaasujen säteilyvoimakkuus kaksinkertaistuu ilmakehässä (2*CO₂) nykyhetkestä vuosiin 2025 - 2050 mennessä, kun jatketaan nykyisellä politiikalla.
- Maapallon keskilämpötila nousee 1,5 - 4,5°C tämän seurauksena nykytilasta ensi vuosisadan loppuun mennessä. Todennäköisimmin lämpötila nousee 2,5°C.
- Lämpötilan nousu jakaantuu epätasaisesti: päiväntasaajalla lämpötila nousee puolet keskilämpötilan noususta ja napa-alueilla noin kaksinkertaisesti keskilämpötilan nousuun nähden.
- Merenpinta nousee 0,3 - 0,5 m vuoteen 2050 ja noin 1 m vuoteen 2100 mennessä.

Vuoden 1992 alussa IPCC (1992) piti lämpötila-arviotaan yhä paikkaansapitävänä eikä nähnyt tarpeelliseksi sen muuttamista. Merenpinnan ei kuitenkaan uskota nousevan aivan yhtä voimakkaasti kuin vuonna 1990 arvioitiin. Merenpinnan uskotaan nousevan 30-50 cm vuoteen 2050 ja 60 ± 30 cm vuoteen 2100 mennessä.

IPCC:n mukaan yllä mainitut muutokset vaikuttavat monella tavoin luontoon ja ihmiselämään. Seuraavassa esitetään yhteenveto näistä vaikutuksista.

Maa- ja metsätalous

Ilmastonmuutoksella on voimakkaita alueellisia vaikutuksia maa- ja karjatalouteen. Tutkimukset eivät vielä ole selvittäneet, ovatko maailmanlaajuiset vaikutukset negatiivisia vai positiivisia. Negatiivisia vaikutuksia aiheuttavat mm. muutokset säässä, kuivuus ja tuholaisien lisääntyminen sekä alailmakehän otsonin lisääntyminen. Positiivisesti vaikuttavat ilmakehän hiilidioksidin pitoisuuden nousu (yhteyttäminen paranee eräillä kasveilla) ja kasvukauden piteneminen viileillä ilmastovyöhykkeillä.

Erityisen herkiksi alueiksi määritellään Brasilia, Peru, Kaakkois-Aasia, IVY:n kaakkoisalueet sekä Kiina. Fennoskandian alueen uskotaan olevan suurimpia voittajia maatalouden alalla pidentyneen kasvukauden, lisääntyneiden sademäärien sekä lisääntyvän hiilidioksidin lannoittavan vaikutuksen vuoksi. Muun muassa viljasatojen uskotaan kasvavan täällä 10-20 % hehtaaria kohden ja enemmänkin alueen ja viljalajin mukaan (IPCC 1990b). Kokonaisuudessaan IPCC piti maatalouden sopeutumismahdollisuuksia melko hyvinä, vaikka lisääntyvä väestö aiheuttaakin paineita ruoantuotannolle. Vuoden 1992 alussa valmistuneet tulokset ovat kuitenkin vähentäneet optimismia. Muun muassa Yhdysvaltojen viljasatojen uskotaan vähenevän lisääntyvän kuivuuden vuoksi, mikä heijastuisi viljatuotteiden maailmanmarkkinahintoihin (Pearce, 1992).

Metsien kiertoaika on pitkä, minkä vuoksi niiden on vaikea sopeutua nopeasti muuttuvaan ilmastoon. Lopulliset vaikutukset riippuvat puiden sopeutuvuudesta ja tuholaiskestävyydestä.

Maailmanlaajuisia vaikutuksia metsiin ovat arvioineet muun muassa Sedjo ja Salomon (Cline, 1991a). Heidän arvionsa mukaan 2*CO₂:sta aiheutuva lämpötilan muutos saisi metsävyöhykkeet siirtymään kohti napa-alueita, mikä vähentäisi tasapainotilaan siirryttyä havumetsiä 40 %, lauhkean vyöhykkeen metsiä 1,3 % ja lisäisi trooppisia metsiä 12 %. Yhteensä puubiomassan määrä vähenisi 3,7 % ja metsäpinta-ala vähenisi 5,8 %. Muutokset kuvaavat tasapainotilannetta, jonka saavuttamiseen luonnolla kuluisi useita vuosisatoja.

Maanpäälliset ekosysteemit

Ennustetut muutokset lämpötiloissa ja sademäärissä aiheuttaisivat ilmasto-

vyöhykkeiden siirtymistä satoja kilometrejä kohti napoja seuraavien viidenkymmenen vuoden aikana. Kasvit ja eläimet seuraisivat tätä muutosta viipeellä. Ilmastonmuutoksen vaikutukset niihin riippuvat ennen kaikkea muutoksen nopeudesta. Kasvien ja eläinten reagoinnista ilmaston muutoksiin ei tiedetä paljoa, mutta on todennäköistä, että ennustettu muutosvauhti ylittää joidenkin lajien sopeutumiskyvyn. Seurauksena on joidenkin lajien kannan romahdus ja sukupuuttoon kuoleminen. Muutoksen sosioekonomiset seuraukset voivat olla merkittävät erityisesti alueilla, missä väestö on riippuvainen luonnonvaraisten ekosysteemien toiminnasta.

Vesivarojen, sademäärien ja valumien muutokset

Suhteellisen pienet alenemiset sademäärissä saattavat aiheuttaa puutetta vedestä. Erityisesti kuivat ja puolikuivat alueet kärsisivät vesivarojen vähentymisestä. Sademäärien ja vesivarojen ennakoitakin vähenevän erityisesti kuivilla ja kuumilla alueilla, missä lisääntyvä haihtuminen ja ilmakehän lisääntyvä vesihöyryn kantokyky "imevät" kosteutta maaperästä ilmakehään.

Sademäärien uskotaan toisaalta lisääntyvän lauhkealla ja viileällä vyöhykkeellä, kuten Suomessa, jonne ilmakehään kertyneen kosteuden uskotaan satavan. Lisääntyvä haihtuminen voi kuitenkin lisätä kuivuutta etenkin kesäkuukausina. Lisääntyvästä sadannasta huolimatta maanpinnan kosteus saattaa vähentyä Skandinavian mantereeseen sisäosissa jopa 20 - 30 % (Karjalainen ym., 1991).

Ihmisyhdyskuntien haavoittuvuus

Haavoittuvimmat yhdyskunnat elävät matalilla rannikkoalueilla, saarilla, puolikuivilla aroalueilla ja suurkaupunkien slummeissa. Merenpinnan nousu ja myrskyt voisivat saada niissä paljon tuhoa aikaan. Merenpinnan nousu 30-50 cm nykyisestä uhkasi rannikko- ja saariyhdyskuntia. Yhden metrin nousu tekisi eräistä saarivaltioista asumiskelvottomia. Kymmenien miljoonien ihmisten olisi muutettava uusille asuinalueille jo ahtaaksi käyvässä maailmassa.

Ilmastonmuutoksen terveystriskit ovat myös kehitysmaissa suurimmat puhtaan veden puutteen ja tuholaisien lisääntymisen vuoksi. Köyhillä kansoilla ei ole myöskään varaa eikä riittävää kykyä sopeutua muutoksiin ennakolta.

Merenpinnan nousu saattaa käynnistää suuren muuttoliikkeen, jonka seurauksina lähialueiden yhteiskuntarakenteet joutuisivat koetukselle.

Puubiomassa ja vesi ovat molemmat tärkeitä energian lähteitä kehitysmassassa. Ilmastonmuutos vaikuttaa näiden molempien saatavuuteen. Myös vesi-, tuuli- ja aurinkovoiman mahdollisuudet muuttuvat ilmaston lämmetessä. Esimerkiksi Fennoskandian alueella lisääntyvät sademäärät saattavat parantaa vesivoiman käyttömahdollisuuksia. Samoin tuuliolot ja pilvisuus voivat muuttua paikallisesti ja globaalistikin, millä on merkitystä tuuli- ja aurinkovoiman tuotannolle.

Otsonikato ja lisääntynyt ultraviolettisäteily

Kasvihuonekaasuista halogenoidut hiilivedyt eli CFC-kaasut on todettu yläilmakehän otsonia tuhoaviksi. Otsonin väheneminen helpottaa ultraviolettisäteilyn, erityisesti ns. B-värisen säteilyn (UV-B) pääsyä maan pinnalle. Lisääntynyt UV-B-säteily heikentää maanpäällisten kasvien ja merilevien sekä planktonin yhteyttämiskykyä ja aiheuttaa ihmisille ihosyöpää ja harmaakaihia (IPCC, 1990b). Lisääntyneen CO₂:n ja UV-B:n sekä lämpötilan nousun yhteisvaikutusta kasvien tuottavuuteen ei ole vielä tutkittu riittävästi.

Ultraviolettisäteily heikentää myös ihmisten ja eläinten immuniteettia, mikä vuoksi erilaiset virusperäiset sairaudet saattavat yleistyä lisääntyneen UV-B:n vuoksi.

Lumipeite, jää ja routa

Ilmaston lämpeneminen johtaisi ikeroutaisen maan osuuden pienenemiseen (nykyisin 25 % pohjoisen pallonpuoliskon maapinta-alasta). Samoin maa peittyisi lumeen entistä lyhyemmäksi aikaa talvisin. Näillä muutoksilla olisi pienentävä vaikutus paikallisiin vesivarantoihin, maaperän köyhtymiseen ja liikenteeseen (vesireitit, sillat, maantiet ym.). Joillakin vuoristoalueilla ikeroudan sulaminen saattaa aiheuttaa maanvyöryjä ja siten uhata paikallisia yhdyskuntia. Routamaa sisältää hyvin paljon hiiltä esimerkiksi turpeen muodossa. Hiilidioksidipäästöt voivat kasvaa näillä alueilla huomattavasti maaperän lämpenemisen seurauksena, mikä entisestään nopeuttaisi ilmastonmuutosta.

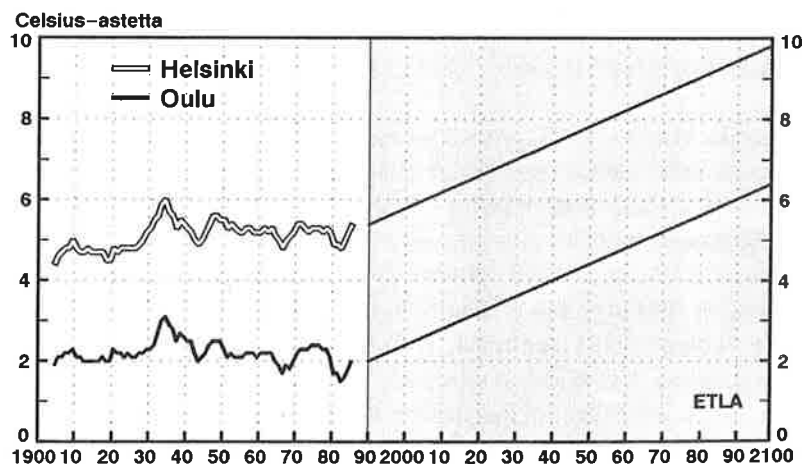
2.3. Ilmastonmuutos Suomessa

Golf-virran ansiosta keskilämpötila Etelä-Suomessa on 6°C ja Pohjois-Suomessa 11°C korkeampi kuin muualla vastaavalla leveyspiirillä (Otavan iso tietosanakirja, 1962).

Golf-virta aiheutuu trooppisen Karibianmenren ja suurten leveysasteiden välisestä lämpötilaerosta. Lämpötilaeron on ennustettu pienenevän, mikä saattaa johtaa lämpimän virtauksen heikkenemiseen (Wahlström ym., 1992). Golf-virran heikkeneminen saattaisi kumota ilmaston lämpenemisaikutuksen pohjoisella Atlantilla ja Skandinaviassa. Tästä syystä Pohjois-Euroopan ilmastoennusteet ovat muita epävarmempia (Jantunen - Nevanlinna, 1990).

Golf-virtaan liittyvästä epävarmuudesta huolimatta todennäköisimpänä pidetään, että Suomen keskilämpötila kohoaa noin 0,4°C vuosikymmenessä. Suomen Ilmakehänmuutosten Tutkimusohjelman SILMUn muodostama

Kuvio 1. Keskimääräinen vuosilämpötila sekä ennustettu lämpötilan muutos Helsingissä ja Oulussa



Lämpötilatiedot ovat 10 vuoden liukuvia keskiarvoja. Keskiarvot on merkitty havaintojakson 5. vuodelle. Lämpötilan muutosennuste on SILMUn skenaarion mukainen.

"paras arvaus" on, että lämpötila nousee vuoteen 2020 mennessä 1,2°C, vuoteen 2050 mennessä 2,4°C ja 4,4°C vuoteen 2100 mennessä. Aiemmistä arvioista poiketen lämpötilan ennakoidaan muuttuvan tasaisesti koko Suomessa ja kaikkina vuodenaikoina (Kanninen, 1992). Kuviosta 1 käy ilmi ennustetun ilmastonmuutoksen voimakkuus. Historiatietoihin verrattuna ennakoitu lämpötilan muutos on ennennäkemättömän suuri.

Sademäärien ennustamiseen liittyy useita epävarmuustekijöitä, mutta suurin yksimielisyys vallitsee talvikauden sademäärien noususta (Aittoniemi, 1990). Kesällä haihtuminen voi lisääntyä enemmän kuin sademäärä, minkä johdosta maaperän kuivuudesta saattaa aiheutua nykyistä suurempia ongelmia (Holopainen, 1991).

Lämpötilan nousu pienentää vuotuista lumipeitteen aikaa ja lumipeitteen paksuutta. Tämä vaikuttaa muun muassa kasvituholaisten menestymismahdollisuuksiin, kevättulvien ajoitukseen ja liikenneoloihin.

SILMUn skenaario ilmastonmuutoksesta

Hiilidioksidipitoisuus oli vuonna 1990 noin 350 ppm. Vuonna 2020 sen arvioidaan olevan 430 ppm, vuonna 2050 noin 540 ppm ja vuonna 2100 noin 820 ppm. Nämä oletukset vastaavat IPCC:n "business as usual"-skenaariota.

Lämpötila kohoaa 0,4°C vuosikymmenessä ja nousee siten vuoteen 2020 mennessä 1,2°C, vuoteen 2050 mennessä 2,4°C ja vuoteen 2100 mennessä 4,4°C. Kohoaminen on samanlaista koko Suomessa ja kaikkina vuodenaikoina.

Sademäärä lisääntyy talvikaudella nykyisestä 3 % vuosikymmenessä eli 9 % vuoteen 2020 mennessä, 18 % vuoteen 2050 ja 33 % vuoteen 2100 mennessä. Kesäkauden sademäärä ei muutu. Sademäärän muutos johtuu sateen intensiteetin, ei sateitten lukumäärän tai keston kasvusta.

Lähde: Kanninen, 1992.

SILMUn skenaariota käytetään seuraavassa Suomen ilmastonmuutosten vaikutusarvioiden lähtökohtana.

3. ILMASTONMUUTOS PÄÄTÖKSENTEKO-ONGELMANA

Päätöksenteossa tarvitaan tietoa ilmastonmuutoksen haitoista ja hyödyistä sekä niiden ajoittumisesta. Päätöksenteossa on kolme perusvaihtoehtoa suhtautumisessa kasvihuoneilmaston voimistumiseen (OECD, 1991a):

- 1) Jäädään odottelemaan varmempia tuloksia ja sopeudutaan muutoksiin myöhemmin.
- 2) Vähennetään kasvihuonekaasujen nettopäästöjä mm. fossiilisten polttoaineiden käyttöä vähentämällä sekä lisäämällä CO₂-nieluja (metsitys).
- 3) Investoidaan kasvihuoneilmistöön sopeutumiseen esim. lisäämällä tutkimusmenoja.

Ihmiskunta joutuu nykytietojen mukaan joka tapauksessa sopeutumaan ilmastonmuutokseen, koska aiemmat päästöt lämmittävät ilmakehää useiden vuosisatojen ajan. Pitkän ajan kannalta on kuitenkin olennaista myös, miten päästöjen määrä kehittyy. Päästöjen rajoittamista onkin suositeltu usealla taholla oikeana lähestymistapana ilmastonmuutoksen hidastamiseksi ja lieventämiseksi. Myös tutkimusmenojen lisääminen ja muu ennakolta valmistautuminen, kuten ilmastonmuutoksen huomioonotto kaupunkisuunnittelussa, ovat helposti puolustettavissa. Näin voidaan lisätä ennusteiden luotettavuutta sekä pystytään vähentämään sopeutumiskustannuksia tulevaisuudessa.

Epävarmuus on olennainen osa sekä luonnontieteellisiä että taloudellisia ilmastonmuutosta koskevia arvioita. Nyt tehtävien toimien seuraukset tiedetään tarkalleen vasta vuosikymmenien päästä. Siksi myös erilaisten päätöksentekotapojen tulisi ottaa epävarmuus huomioon. Seuraavassa esitellään eräitä päätöksentekotapoja.

3.1. Päätöksentekoanalyysi

Päätöksenteon tapahtuessa epävarmuuden vallitessa voidaan tutkia mahdollisia tulevia tilanteita. Nämä tulokset kerätään yhteen tulosmatriisiksi. Matriisiin luvut kuvaavat yhteiskunnan hyvinvointia eri tilojen toteutuessa. Esimerkiksi päätöksentekijä tietää seuraavien tilojen olevan mahdollisia ja

niihin liittyvien hyvinvointiseurausten olevan:

Ilmastonmuutos	Toiminta	
	Jatka entiseen tyyliin	Investoi päästöjen vähentämiseen
Harmiton	100	50
Harmillinen	0	40

Lähde: OECD, 1989.

Päätöksentekijä ei välttämättä ole selvillä eri vaihtoehtojen todennäköisyyksistä tai edes haittojen tai hyötyjen suuruudesta. Tarkastellaan aluksi yksinkertaista tilannetta, jossa nämä ovat selvillä.

Oletetaan, että molempien ilmastonmuutosvaihtoehtojen todennäköisyys on 50 %. Tällöin huolettoman strategian hyvinvoinnin odotusarvo on 50 ja varovaisen strategian 45. Strategian valinta riippuu nyt päätöksentekijän suhtautumisesta riskiin. Jos päätöksentekijä olisi riskin suhteen neutraali, hän valitsisi "jatka entiseen tyyliin" -strategian.

Yhteiskunnallisen päätöksenteon oletetaan yleensä antavan suhteellisesti enemmän painoa katastrofien välttämiseksi kuin hyödyn maksimoinnille. Äärimmillään riskiä kartetaan, kun noudatetaan ns. maxmin-strategiaa. Tällöin päätöksentekijä valitsee vaihtoehdon, jonka huonoin vaihtoehto on paras. Esimerkin tapauksessa päätöksentekijä päätyisi tällöin investoimaan päästöjen rajoittamiseen.

Kasvihuoneilmion osalta tilannetta kuvaa paremmin seuraava matriisi, jossa tulevaisuuden politiikkavaihtoehdot riippuvat ympäristötekniikan kehittämisen oletuksista.

	Hyvinvointi eri tiloissa	
	Optimistit oikeassa	Pessimistit oikeassa
Tekninen optimismi	korkea	katastrofi
Tekninen pessimismi	kohtuullinen	siedettävä

Lähde: Kempfi, 1991.

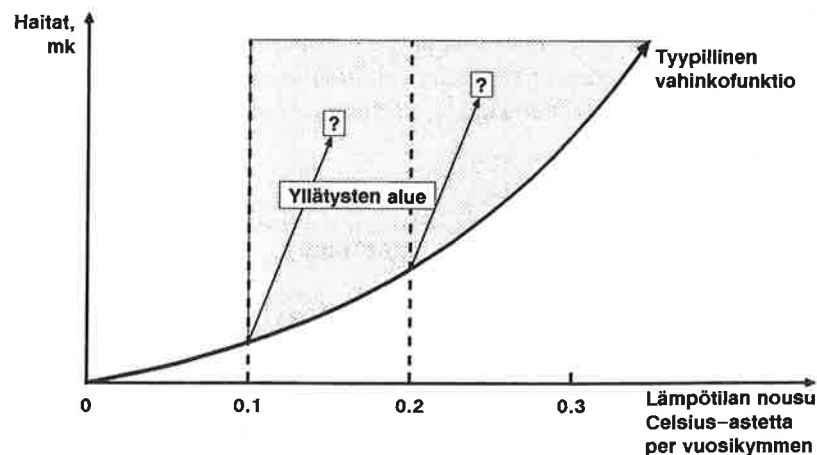
Maxmin-strategian mukaan toimiva päätöksentekijä valitsisi teknisen pessimismin vaihtoehdon.

Menetelmänä päätöksentekokoanalyysi ei kuitenkaan juuri eroa kustannus-hyötyanalyysistä. Päätöksentekokoanalyysin keskeiset elementit ovat sisään-rakennettuina mukana siinä.

3.2. Kustannus-hyötyanalyysi

Kustannus-hyötyanalyysin (KHA) käyttö edellyttää kattavaa tiedonkeruuta ilmiöstä ja sen kehityksestä sekä arviota eri skenaarioiden todennäköisyyksistä. Sitä voidaan käyttää apuna sekä "jatketaan entiseen tyyliin" -skenaarion seurausten että ilmiön torjuntakeinojen arvioinnissa. KHA:n puutteena on taipumus redusoida epävarmuus päätöksentekotilanteesta pienemmäksi kuin se todellisuudessa on. Laskelmista pois jääneet vaikutukset eivät tule mukaan päätöksentekoon. Epävarmuus voidaan kuitenkin tuoda mukaan laskelmiin vaikutusarvioiden vaihteluväleinä.

Kuvio 2. Vahinkofunktio ja lämpötilan nousunopeus



Lähde: OECD, 1991a.

Nykytilanteessa uutta tietoa kasvihuoneilmiön vaikutuksista opitaan jatkuvasti lisää, jolloin kustannus-hyötylaskelmia pitäisi periaatteessa muokata aina uuden tiedon mukaisiksi.

Mitä nopeammin ilmasto muuttuu, sitä epävarmemmiksi taloudelliset vaikutusanalyysit käyvät. Kuviossa 2 ilmenee vahinkofunktion suhde ilmastomuutoksen nopeuteen. Vahingot kasvavat geometrisesti nopeuden suhteen. Toisaalta vahingot saattavat kehittyä yllättävästi lämpötilan nousunopeuden ylittäessä 0,1°C vuosikymmenessä. Kuvion "yllätysten alue" ilmentää tätä.

3.3. Kustannus-vaikuttavuusanalyysi

Kustannus-vaikuttavuusanalyysissa sivuutetaan itse ilmastomuutosten vaikutusten arviointi. Sen sijaan kasvihuonepäästöille määritellään vähentämistavoite, johon pyritään mahdollisimman kustannustehokkailla keinoilla. Tämän toimintatavan taustalla vaikuttaa huoli luontoa ja ihmiskuntaa uhkaavasta katastrofista, jonka estäminen katsotaan ehdottoman tärkeäksi. Kustannus-vaikuttavuusanalyysillä etsitään keinot, joiden avulla päästään asetettuun tavoitteeseen, esimerkiksi päästöjen vähentämiseen 20 %:lla, mahdollisimman edullisesti.

Kustannusvaikuttavuusanalyysissa toimenpiteistä saadut (ympäristö)hyödyt jäävät jo määritelmällisesti laskelmien ulkopuolelle, minkä vuoksi esimerkiksi kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen näyttää laskelmissa yhteiskunnalle "kalliimmalta" kuin se itse asiassa onkaan.

3.4. "Kasvihuonevakuutuksen ostaminen"

Kasvihuoneilmiön torjumista voidaan lähestyä myös yhteiskunnan budjet-tirajoitteen näkökulmasta. Tällöin yhteiskunnan maksuhalukkuus, negatiivisten seurausten todennäköisyys ja uhkaavan katastrofin vakavuus määräävät kasvihuoneilmiön torjuntaan käytettävän kokonaissumman, joka pyritään käyttämään mahdollisimman kustannustehokkaalla tavoin. Yhteiskunnan maksuhalukkuuden voi olettaa riippuvan myös vallitsevista odotuk-

sista vähäpäästöisen energian saatavuuden suhteen. Jos vähäpäästöisen teknologian uskotaan kehittyvän voimakkaasti lähiaikoina, yhteiskunnalla ei ole voimakasta kannustinta ryhtyä rajoittamaan päästöjä välittömästi (Manne - Richels, 1991).

3.5. Ympäristövaikutusten arviointiprosessi

Ympäristövaikutusten arviointiprosessissa (YVA) on luovuttu vaikutusten yhteismitallistamisesta. YVA on lähtöisin KHA:iin kohdistuneesta kritiikistä. Eri toimintavaihtoehtojen ympäristövaikutukset kerätään esim. matriiseiksi, joiden perusteella päätöksenteko tehdään (Leskinen, Salminen, Turtiainen, 1991). Lopullisessa päätöksenteossa eri vaikutuksille määräytyy suhteellinen hinta virkamiesten, talouselämän, asiantuntijoiden ja kansalaisten välisen neuvotteluprosessin myötä. YVA:n heikkouksina on pidetty seuraavia asioita:

- YVA-selvitysten heikko tieteellinen laatu
- YVA:n erillisyys muusta suunnittelusta ja päätöksenteosta
- puutteellinen rajaus
- puutteellinen kansalaisten osallistuminen
- suunnitteluorganisaation jähmeys
- kokemusten huono välittyminen sekä
- erityisesti teoriaperustan heikkous (Leskinen, Salminen, Turtiainen, 1991).

Ympäristövaikutusten arviointi on Suomessa vasta alussa. Sitä on sovellettu lähinnä eräissä tihankkeissa sekä parissa kehitysyeistyöprojektissa. Kasvihuoneilmiön voimistumisen analysoinnissa YVA:n periaatteiden toteuttaminen saattaisi olla käytännössä hankalaa ilmiön globaalin luonteen vuoksi. Lisäksi ilmastomuutoksia tutkiva kansainvälinen ilmastopaneeli IPCC on satojen eri kansallisuuksia edustavien tiedemiesten yhteisö, jonka antamat kannanotot ja johtopäätökset ovat eräänlaisen demokraattisen prosessin tuloksia. Lisäksi neuvottelut päästöjen vähentämiseksi tapahtuvat kansainvälisen diplomatian menettelyjen mukaisesti. YVA sopinee paremmin mai-

den sisäisten tai alueellisten ympäristövaikutusten analysointiin. YVA:n kannattajien esille tuomat arvostuskysymykset on kuitenkin hyvää pitää mielessä KHA:a tehtäessä.

4. KATSAUS ILMASTONMUUTOKSEN TALOUDELLISTEN VAIKUTUSTEN KANSAINVÄLISIIN ARVIOIHIN

Tässä luvussa selvitetään kustannus-hyötyanalyysin perusongelmia sekä esitellään aiheesta tehtyjä kansainvälisiä analyyseja.

4.1. Kustannus-hyötyanalyysin ongelmia

4.1.1. Taloudellisten vaikutusten rajaaminen

Taloudellisen analyysin suorittamiseksi on rajattava, mitkä vaikutukset otetaan huomioon laskelmissa. Ilmastonmuutoksen tapaisen ongelman yh-

Taulukko 2. Tehtyjen arvioiden vertailua.

Vaikutukset	Nordhaus (1991b)	Cline (1991a)	Ayres&Walter (1991)
Maanviljely, tuotanto	+ -	-	
Maanviljely, kulutus		-	
Metsätalous	+ -	-	
Kalastus ym. alkutuot.	+ -		
Rakentaminen	+	+ -	
Vesikuljetus	+ -		
Sähkön kysyntä	-	-	
Muu kuin sähkölämmityksen kysyntä	+	+	
Vesivarat	-	-	
Infrastruktuuri	-	-	
Merenpinnan nousun aiheut. vauriot			-
- maa-alan menetys	-	-	-
- maa-alan suojele	-	-	-
Majoitus ja vapaa-aika	+ -	-	
Luonnon moninaisuus		-	
Myrskyvahingot		-	-
Viihtyvyyssarvot	+	-	-
Ilmansaasteiden haitat		-	-
Terveys ja kuolleisuus		-	-
Muuttoliike		-	-

teydessä markkinoiden ulkopuolelle jäävien vaikutusten mukaanotto on keskeistä. Taulukossa 2 verrataan tehtyjen kustannus-hyötyanalyysien laajuutta. Taulukkoon on merkitty, minkä suuntaisia vaikutuksia kasvihuoneilmiöllä on arvioitu olevan (+ tarkoittaa hyötyä (esim. resurssien säästöä), -haittaa, + - tarkoittaa sitä, että rahamääräistä arviota vaikutuksista eikä kantaa vaikutussuunnasta ole).

Taulukosta nähdään, että tehdyt analyysit osoittavat toisistaan poikkeavia vaikutuksia ja että mukaanotettujen vaikutusalueiden määrä vaihtelee. Vaikutusten luokittelu on laajin Clinen analyysissa. Hänen vaikutusluokitteluun käytetäänkin seuraavassa perustana.

4.1.2. Paikallisten ilmastoennusteiden luotettavuus

IPCC on korostanut, että nykyiset ilmastomallit eivät anna kovin luotettavia arvioita paikallisista ilmastomuutoksista. Cline on kuitenkin arvioissaan lähtenyt siitä, että ilmastomallien tulokset ovat parasta tietoa, mitä on saatavilla. Epävarmuutta voi korostaa suurilla vaihteluväleillä. Prof. Eero Holopainen (1991) meteorologian laitokselta on ehdottanut, että laskelmia tehtäisiin erilaisten ilmastoskenaarioiden perusteella lähtökohtana lämpötilan nousun todennäköisin arvio, puolet todennäköisimmästä arviosta sekä kaksinkertainen lämmön nousu.

4.1.3. Mille aikavälille laskelmia tulisi tehdä?

Tämän päivän toimenpiteet vaikuttavat ilmastoon vielä 200 vuoden päästä. Ilmastomuutoksen estämistoimenpiteiden vaikutus tuntuu 30-70 vuoden kuluttua mm. valtamerien lämpenemisen aikaviipeen sekä kasvihuonekaasujen pitkäikäisyyden vuoksi. Tässä tilanteessa on houkuttelevaa jättää estämistoimenpiteet vähälle ja keskittyä sopeutumiseen.

Luonnontieteellisille vaikutusanalyysille on ollut tyypillistä analysoida (ekvivalenttisen) hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistumisen vaikutuksia. Koska tämä pitoisuus saavutetaan mahdollisesti jo vuonna 2025, myös taloudelliset laskelmat ovat painottuneet noin 30 - 70 vuoden aikavälille.

Koska suurin osa seuraavan 50 vuoden aikana koituvista vahingoista on jo väistämättömiä, tälle aikavälille keskittyvä päätöksenteon analyysi suosii automaattisesti sopeutumista aktiivisen ilmastomuutosstrategian asemesta. Tällainen suhtautuminen voisi periaatteessa johtaa siihen, että maailmanloppuun verrattavissa olevan katastrofin estämiseen ei ryhdyttäisi, koska omat toimet vaikuttaisivat sen toteutumistodennäköisyyteen vasta seuraavien sukupolvien aikana. Cline (1991b) korostaakin erittäin pitkän, noin 200 - 250 vuoden aikavälin analyysin tarpeellisuutta.

4.1.4. Mitä diskonttokorkoa laskelmissa tulisi käyttää?

Diskonttokoron suuruudella on suuri merkitys useiden vuosikymmenten ja vuosisatojen yli ulottuvalle investointilaskelmassa. Diskonttokoron tulisi Nordhausin (1990a) mukaan heijastaa yhteiskunnan aikapreferenssiä eli miten se arvostaa nykypäivän kulutusta verrattuna tulevaisuudessa tapahtuvaan kulutukseen. Nordhaus käyttää dynaamisessa optimointimallissaan diskonttokoron estimaattina pääoman reaalisin tuottovaatimuksen ja henkeä kohden lasketun hyvinvoinnin kasvuprosentin erotusta. Nordhaus päätyy ehdottamaan 0 - 4 %:n diskonttokorkoa.

Clinen (1991a) mukaan diskonttokoron tulisi vastata lähinnä pitkän aikavälin kulutustason nousua, joka on ollut alle 1 %. Toisaalta Cline myöntää yhteiskunnan olevan todistetusti haluton siirtämään varoja kulutuksesta investointeihin, minkä vuoksi hän päätyy suosittelemaan painotettua keskiarvoa yhteiskunnallisten investointien diskonttokorosta ja kulutustason pitkän aikavälin noususta. Clinen mukaan 1 - 2 % olisi näillä perusteilla käytökelppoisin diskonttausprosentti ilmastomuutosta koskevissa laskelmissa.

Diskonttokoron merkittävyyttä laskelmissa voidaan havainnollistaa seuraavalla laskelmalla. Vuonna 1990 maailman yhteenlaskettu bkt oli noin 20 000 mrd. dollaria. Jos oletetaan, että bkt säilyisi ennallaan tarkasteluajana, voidaan tulevaisuudessa tapahtuvaa ihmiskunnan kannalta "äkillistä ja varmaa katastrofia" estimoida nykyisellä bkt:n arvolla. Voidaan kysyä, mikä olisi se vuotuinen summa, jonka ihmiset olisivat valmiit siirtämään kulutuksesta katastrofin estäviin investointeihin. Lasketaan tämä summa useilla eri diskonttokoroilla kolmelle eri aikavälille: 50, 100 ja 200 vuotta.

Taulukko 3. Katastrofin kanssa yhtä suuri vuosikustannus mrd USD, jos yht'äkkisen katastrofin arvo on 20 000 mrd. USD.

Korko	Aikaväli katastrofiin		
	50	100	200
1 %	310	117	31.7
1,5 %	271	87.4	16.1
2 %	236	64.1	7.8
2,5 %	205	46.3	3.6
5 %	0.955	7.6	0.0578
10 %	0.172	0.145	0.0106

Kaikkein korkein vuosikustannus on 1,6 % nykyisestä bkt:sta (50 v ja 1 %) ja pienin 0,000053 % (200 v ja 10 %). Ero on 30 000-kertainen. Ottamalla huomioon väestönkasvu ja olettamalla bkt/asukas vakioksi vahinkoarviot ja hyväksyttävät vuotuiset kustannukset kaksinkertaistuvat (oletuksena IPCC:n mukainen maapallon väestön kaksinkertaistuminen ja vakiintuminen noin 11 mrd:iin).

Tällainen arvio ei tietenkään sovi realistiseksi ilmastonmuutoksen vahinkoarvioksi, koska siinä on tarkasteltu vain yhtenä vuotena tapahtuvaa äkillistä kustannusta. Taulukko on kuitenkin hyvä pitää mielessä, kun tarkastellaan tehtyjen kustannus-hyötyanalyysien tuloksia eri diskonttokoroilla laskettuina.

4.1.5. Millainen on tulevaisuuden talouden rakenne ja vahinkoarvioiden perusta?

Nordhaus oletti laskelmissaan USA:n talouden rakenteen pysyvän tulevaisuudessa nykyisenkaltaisena. Tällöin jokainen talouden sektori kasvaisi samalla nopeudella tarkasteluajana. Clinen mukaan tämä arvio on puutteellinen, koska tulotason noustessa korkean (alhaisen) tulojoukon tuotteiden kysyntä kasvaa tuloja voimakkaammin (hitaammin).

Taloudellisen kasvun myötä ylellisyshyödykkeiden arvo, kuten terveys ja

elämän laatu, nousee voimakkaammin kuin tulot kasvavat. Cline arvelee julkishyödykkeiden kysynnän kasvavan samassa suhteessa kuin tulot.

Nordhausin mukaan kasvihuoneilmiön taloudelliset vaikutukset ovat rajalliset ilmastosta riippuvien toimialojen pienen osuuden vuoksi. Nordhausin ajattelutavasta seuraa, että kotimaisen maatalouden täydellinen loppuminen vähentäisi USA:n hyvinvointia vain pari prosenttia. Nordhausin ajattelutava on ekologiopiireissä verrattu ajatukseen, että sydämen voi poistaa ruumista ihmisen terveyden siitä enemmän kärsimättä, koska sydämen osuus koko ruumiin painosta on vain pari prosenttia (Orr, 1992).

Clinen vaikutusten analyysikehikossa vain noin kolmasosa vaikutuksista on kiinteästi sidoksissa talouteen. Näin ollen suuri osa vaikutuksista ei näy suoraan kansantuotelaskelmissa. Kummankin tutkijan mielestä vahinkoarvioiden arvottaminen onnistuisi paremmin, jos voitaisiin käyttää "vihreätä bruttokansantuotetta" analyysin perustana. Tällaisen puuttuessa on tyydyttävä erillisiin arvioihin ympäristön laadun ja ihmisen hyvinvoinnin välisestä vuorovaikutuksesta.

4.1.6. Mitä tulisi olettaa tekniikan kehityksestä ja yhdyskuntien sopeutumisesta ja reagoinnista ilmastonmuutokseen?

Tekninen kehitys lisää yhteiskunnan mahdollisuuksia sopeutua muutoksiin tekemättä uhrauksia hyvinvoinnin suhteen. Uusien tekniikoiden markkinoille tulon ennustaminen on kuitenkin vaikeaa. Uuden tekniikan ennustamisen mielekkyyden voi kuitenkin kyseenalaistaa kasvihuoneilmiön voimistumisen yhteydessä. Tällöin vaikutusanalyysi voidaan sopivien oletuksien saadaksi millaiseksi tahansa. Onkin perusteltua tehdä analyysit nyky- ja prototyyppitekniikkaan ja niiden rajoituksiin perustuen, jotta nähtäisiin, kuinka suuri uuden tekniikan tai päästöjen rajoittamisen tarve on. Niinpä ns. perus- tai referenssiskenaariot yleensä perustuvat oletuksiin lisääntyvästä konventionaalisen energian kulutuksesta ja kasvavista päästöistä.

Sopeutuminen muutoksiin vaikuttaa vahinkoarvioihin ratkaisevasti. Esimerkiksi merenpinnan nousun seurauksena kokonaiset saariryhmät saataan hylätä asuinkelvottomina merivallien rakentamisen asemesta. Tällöin kustannukset muuttuvat esim. merivallien rakentamisesta ja ylläpidosta

muuttoliikkeen ja siirtolaisuuden kustannuksiksi. Yksi kriteeri ennakoida tulevaa ratkaisua on nykyinen väestöliheys meriveden alle jäävällä alueella. Jos väestöliheys on esimerkiksi alle 10 as/km^2 , alue oletetaan hylättävän (OECD, 1990).

Pitkällä aikavälillä hyvin ennustettavaan muutokseen sopeuduttaneen melko varmasti. Merenpinnan nousu lienee tällainen ongelma. Merenpinnan nousun kustannuksia arvioitaessa onkin syytä keskittyä selvittämään sopeutumisen kustannuksia potentiaalisten vahinkojen asemesta.

4.1.7. Mihin toimintavaihtoehtoon ilmastonmuutoksen kustannuksia verrataan?

Jotta ilmastonmuutoksen vahinkoarvioita voitaisiin käyttää vältetyn haitan estimaattina, tarvitaan skenaarioita mm. energiankäytön kehityksestä erilaisilla perusvoimaratkaisuilla. Erilaisten rajoittamistoimenpiteiden hyödyt ja kustannukset riippuvat rajoitusten radikaaliudesta. Perusskenaarion mukaisia haitta-arvioita tarvitaan laskelmien lähtökohdaksi, jotta ilmastonmuutoksen aiheuttamia muutoksia voidaan verrata johonkin tasoon.

Suomen osalta laskelmat voivat perustua kauppateollisuusministeriön energiaskenaarioihin. Niistä nähdään, että Suomella on vaikeuksia rajoittaa päästöjä. Tällaiset skenaariot eivät kuitenkaan yllä 30-50 vuotta pidemmälle tulevaisuuteen. Yksin Suomen päästöjen kehitys ei toisaalta juuri vaikuta maailman tilanteeseen. Jotta olisi mielekästä verrata päästöjen rajoittamisen hyötyjä, päästöjen rajoittamisen on tapahduttava kansainvälisellä tasolla. Suomen kannalta on tärkeää EY:n ympäristöyhteistyön kehittymisen, koska Suomen toimet noudattanevat tulevaisuudessa EY:n päätöksiä.

Vahinkoarvion muuttaminen päästöjen rajoittamisen hyödyn estimaattiksi: esimerkki

Cline esitteli työssään (Cline, 1991a) vahinkomatriisiyhtälön, jonka perusteella eri toimintavaihtoehtoja voidaan verrata. Matriiseissa on m riviiä eri taloudellisia vaikutuksia varten ja n saraketta maailman eri maantieteellisiä alueita varten. Yhtälö on seuraavanlainen:

$$B_{p,t} = D_{b,t} - D_{p,t} + C_{a,t} - (-\Delta D_{a,t}),$$

jossa

$B_{p,t}$ = toimintavaihtoehdosta p saatava hyötymatriisi perusskenaarioon verrattuna vuonna t ($b(i,j)_{p,t}$ on matriisin $B_{p,t}$ alkio)

$D_{b,t}$ = perusskenaarion mukainen vahinkoennustematriisi vuonna t

$D_{p,t}$ = p -toimintavaihtoehdon mukainen haittamatriisi

$C_{a,t}$ = sopeutumiskustannusmatriisi vuonna t

$\Delta D_{a,t} > 0$, sopeutumisen vuoksi pienentyneet vahingot vuonna t.

Gloobaalissa kustannus-hyötylaskelmassa hyötymatriisin alkiot summaataan keskenään yli ajan ja diskontataan korolla δ , jolloin saadaan toimintapolitiikka p:n globaalin hyödyn nykyarvo $PVGB_p$.

$$PVGB_p = \sum_i \sum_j \sum_t b(i,j)_{p,t} / (1 + \delta)^t$$

Cline sovelsi löyhästi tätä yhtälöä USA:n tiedoilla. Tuloksiin palataan jatkossa.

4.1.8. Miten arvoitetaan maapinta-alaa ja ihmishenkiä?

Maa-alan markkinahinta riippuu useasta kansallisesta tekijästä, joilla ei ole suoranaisesti tekemistä maan reaalisen tuottavuuden kanssa. Esimerkiksi hehtaari peltomaata maksaa Bangladeshissa erään arvion mukaan kymmenen kertaa vähemmän kuin Alankomaissa. Bangladeshin maaperä on vieläpä hedelmällisempää kuin Alankomaiden (Ayres ja Walter, 1991). Bangladeshissa noin 70 % väestöstä saa elantonsa maataloudesta. Peltoalan menetyksellä olisi siellä luultavasti paljon suuremmat haittavaikutukset kuin kehittyneissä teollisuusmaissa. Ehkäpä paras tapa on arvioida maatalousmaan tapauksessa menetetty tuotos ja verrata sitä aiempaan tuotoksen arvoon.

Samanlainen arvostusongelma nousee esiin ihmishenkiä arvostettaessa. Kansakunnan varallisuus, syntyvyys, kulttuurierot ja yleinen koulutustaso lienevät taustamuuttujia, jotka vaikuttavat maksuhalukkuus- ja muilla tutkimuksilla saatuihin elämän arvoihin eri maissa. Eräiden tutkijoiden mielestä tasavertaisuuden vuoksi ihmishengen arvon tulisi kuitenkin olla suunnilleen yhtä suuri kaikissa maissa. Mm. Cline on ehdottanut yhdenvertaisuuspainojen käyttöä ilmastonmuutoksen vaikutuslaskelmissa. Tällä lähestymistavalla on kuitenkin ongelmansa. Mitä kansainvälisillä yhdenvertaisuuspainoilla arvoitettu laskelma kertoo? Se ei ainakaan ole oikea laskelma toimenpiteiden perustaksi, koska yksittäisten maiden maksuhalukkuus naapuriin ongelmiensa välttämiseksi on valitettavan varmasti pienempi kuin oman maan kohdalla.

Jos laskelmien lähtökohtana on varallisuus-, kulttuuristen ym. erojen sekä valtioiden suvenerisuuden huomioonotto, laskelmissa tulisi epäilemättä säilyttää jonkinasteiset mailliset erot. Niin kauan kuin ei ole olemassa yhtä kansainvälistä päätöksenteko- ja toimeenpanoelintä, ei ole yhtä oikeaa arvostusperiaatetta.

Kustannus-hyötyanalyysissä vaikutusten arvottamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Ihannetilanteessa käytetyt arvottamisperusteet on selvitetty perusteellisesti analyysin yhteydessä. Kiistanalaisten arvojen suhteen saatua olla hyödyllistä tehdä herkkyyshanalyysi.

4.2. Katsaus ilmastonmuutoksen taloudellisiin analyysiin

Tässä katsauksessa käsitellään lähinnä mainittuja kolmea kustannus-hyötyanalyysia sekä yksittäisiin toimialoihin tai maa-alueisiin keskittyneitä tutkimuksia. Mikään kustannus-hyötyanalyysi ei kata koko maailmaa perusteellisesti, vaan laskelmat perustuvat suurelta osin Yhdysvaltain aineistoon. Nordhaus (1990a) käytti USA:n vahinkoestimaattia interpoloidessaan siitä koko maailman vahinkoarvion. Ayresin ja Walterin työ perustuu suurelta osin Nordhausin työn kritiikkiin. Cline on tässä tarkastelluista töistä kustannusarvioiltaan monipuolisin ja perusteellisin. Laskelmat koskevat kuitenkin lähinnä Yhdysvaltoja.

4.2.1. Nordhausin laskelmat

Nordhausin työ perustuu Yhdysvaltain talouden jakamiseen kasvihuoneilmiön kannalta herkkiin, kohtuullisen herkkiin ja ilmastonmuutokseen reagoimattomiin toimialoihin. Nordhausin mukaan herkkien toimialojen bkt-osuus oli USA:ssa noin 3 %. Kohtuullisia vaikutuksia saattoi odottaa toimialoilla, jotka muodostivat noin 10 % kansantuotteesta. Ilmastonmuutoksen suhteen muuttumattomat alat vastasivat 87 % bkt:sta. Nordhausin luonnontieteelliset vaikutusarviot perustuivat Yhdysvaltain ympäristönsuojelutoimiston EPA:n tutkimuksiin vuodelta 1988 (Nordhaus, 1991b).

Nordhausin tulos ilmakehän CO₂-pitoisuuden kaksinkertaistumisen taloudellisista vaikutuksista USA:ssa seuraavien 50 - 75 vuoden kuluttua ilmenee taulukosta 4.

Taulukko 4. Nordhausin vahinkoarvio ilmastonmuutokselle.

Sektori	mrd. v. 1981 \$
Merkittäviä vaikutuksia	
Maatalous, lämpötilan nousu ja CO ₂ :n lann. vaikutus	-10,6 tai +9,7
Metsätalous, kalastus, muut	Pieni + tai -
Kohtalaisia vaikutuksia	
Rakentaminen	+
Vesikuljetus	+ tai -
Energia	
Sähkön kysyntä	-1,65
Ei-sähkölämmitys	+1,16
Vesi ja viemärointi	- ?
Merenpinnan nousun vaikutukset	
Maanvuokra	?
Maa-alan menetys	-1,55
Maa-alan suojele	-0,90
Rannikkoalueiden suojele	-2,84
Hotellit, majoitus, vapaa-aika	?
Yhteensä	
Keskimmäinen estimaatti	-6,23
Prosenttia bkt:sta (GNP)	-0,25 %

Vuoden 1990 dollareissa Nordhausin arvio olisi 8,8 mrd. USD. Jos kustannukset muunnetaan vuoteen 1990 kansantulo-osuuden mukaan, saadaan kustannuksiksi 14,0 mrd. USD. Summat kuvaavat sitä menetystä, joka realisoituu vuosittain hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistumisen vuoksi.

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

Nordhaus analysoi myös päästöjen vähentämisen kustannuksia. Hän käytti tarkastelussaan dynaamista talouden mallia, jossa ympäristötuhojen kustannuksia verrattiin kulutuksen muutoksiin. Laskelmiensa perusteella Nordhaus päätyi suosittamaan noin 11 % päästövähennyksiä CO₂-ekvivalenteilla mitattuna. Noin 9 %-yksikköä päästövähennyksistä tulisi CFC-kaasujen ja 2 %-yksikköä hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä. Nordhausin malliin palataan jatkossa.

4.2.2. Nordhausin laskelmien kritiikkiä

Nordhausin laskelmat ovat herättäneet runsaasti kritiikkiä. Muiden muassa Mors on esittänyt seuraavia huomautuksia.

1. On kyseenalaista, onko tieteellistä tietoa tarpeeksi tällaisen laskelman tekemiseen.
2. Muutosuralla aiheutuneet kustannukset eivät ole laskelmissa mukana, vaan niissä verrataan kahta tasapainotilaa.
3. Myrskyjen ja kuivuuskausien kustannuksia ei ole otettu huomioon. Jos näiden esiintymistodennäköisyys kasvaa, se aiheuttaa kustannuksia myös muille toimialoille kuin maa- ja metsätaloudelle.
4. Päästöjen vähentämisen liitännäishyötyjä ei ole otettu huomioon. Nämä ovat tärkeitä etenkin SO₂- ja CFC-päästöjen osalta.

5. Nordhausin laskelmaa pidempi aikahorisontti on kannatettava, koska CO₂:n kaksinkertaistuminen ei ole tasapainotila ja kustannukset saatavat nousta tulevaisuudessa voimakkaammin kuin lineaarisesti.
6. Energian säästö näyttäisi eräiden tutkimusten mukaan tarjoavan mahdollisuuksia vähentää päästöjä negatiivisin kustannuksin, eli energian säästöstä olisi puhdasta taloudellista hyötyä (Mors, 1991).

Myös Morgenstern (1991) on kritisoinut Nordhausin työtä. Ensinnäkin hänen mukaansa Nordhausin rahamääräiset arviot saattavat olla liian pieniä. Toiseksi merenpinnan nousun vaikutusten arvioinnissa on sattunut laskuvirhe. Tämän huomioonotto kasvattaa merenpinnan nousun kustannukset 10.6 mrd. USD:iin. Lisäksi ottamalla huomioon EPA:n yläpään kustannusarviot maataloudessa ja energian kulutuksessa rahamääräisesti mitattujen vahinkojen bkt-osuus nousi 0.25 %:sta 1,5 %:iin. Kolmanneksi Nordhausin arvioimatta jättämät ympäristön käyttö-, mahdollisuus- ja olemassaoloarvojen muutoksista aiheutuvat kustannukset voivat olla huomattavia.

Ayres ja Walter (1991) laskivat pelkästään rannikoiden suojelun, ranta-alueiden menetyksen ja pakolaisten asuttamisen maksavan maailmalle vuotuisesti 2,1 -2,4 % maailmantulosta (gross world income). Heidän mukaansa todennäköiset kasvihuoneilmiön kustannukset ovat noin 10 kertaa suuremmat kuin Nordhausin paras arvio.

4.2.3. Cline'n laskelmat

Cline'n (1991a) laskelmat perustuvat pääosiltaan IPCC:n raportteihin. Cline on tosin paikoitellen käyttänyt IPCC:a suurempia vahinkoarvioita. Cline laski vahinkoarviot sekä hiilidioksidiekvivalenttisen pitoisuuden kaksinkertaistumisesta aiheutuvalle maapallon keskilämpötilan lämpötilan nousulle (2,5°C) että pitkän aikavälin lämpötilan nousulle (10°C). Taulukossa 5 on koottu Cline'n raportin tulokset.

Pitkän aikavälin kustannusten Cline arvioi kasvavan geometrisesti. Kustannuslajien kasvuvauhdit vaihtelevat hieman; esimerkiksi vapaa-ajan harrasteiden kustannukset alenevat ajan myötä sopeutumisen tapahduttua. Toisaalta pyörremyrskyjen esiintymistodennäköisyys kasvaa voimakkaasti lämpötilan noustessa.

Taulukko 5. Cline arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista, vuoden 1990 talouden koon mukaan, mrd. USD 1990 hinnoin.

Toimiala/sektori	2*CO (2,5°C)	Pitkän aikavälin lämpeneminen (10°C)
Maanviljely	17,5	95,0
Metsien häviäminen	3,3	7,0
Luonnon moninaisuus	4,0	16,0
Merenpinnan nousu		35,0
Suojautuminen	1,2	
Kosteikkojen menetys	4,1	
Kuivan maaperän menetys	1,7	
Sähkön kysyntä	11,7	67,0
Ei-sähkölämmitys	-1,3	-4,0
Viihtyvyyssarvot	X_a	Y_a
Kuolleisuus	5,8	33,0
Muuttoliike	0,5	2,8
Hirmumyrskyt	0,8	6,4
Rakentaminen	+/- X_c	+/- Y_c
Vapaa-aika	1,7	4,0
Veden tarjonta	7,0	56,0
Kaupunkien infrastruktuuri	0,1	0,6
Ilmansaasteet		
Alailmakehän otsoni	3,5	19,8
Muut	X_o	Y_o
Yhteensä	$61,6 + X_a + X_o +/- X_c$	$338,6 + Y_a + Y_o +/- Y_c$

Lähde: Cline, 1991a.

Pitkällä aikavälillä vahingot kasvavat keskimäärin 5,5-kertaisiksi. Viihtyvyyssarvoille, rakennustoiminnan hyödyille tai kustannuksille sekä muille ilmansaasteille kuin otsonille Cline ei antanut rahamääräistä arviota.

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

Toimintavaihtoehtojen suunnittelun kannalta on tärkeää tiettenkin kysyä, kuinka suuri osa arvioiduista vahingoista voidaan välttää. IPCC:n nopeutettujen toimenpiteiden skenaarion mukaan toimittaessa maapalloa lämmittävän säteilyn kasvu jäisi määrään $3,52 \text{ W/m}^2$ perusskenaarion mukaisen kasvun ollessa $4,59 \text{ W/m}^2$. Suurin osa esiteollisen kauden jälkeisestä lämpösäteilyn kasvusta on jo tapahtunut. Lämpötilan nousu jäisi 2°C :een, mikä Cline mukaan tarkoittaisi vain 16 mrd. USD suuruisia potentiaalisia lyhyen aikavälin hyötyjä. Lisäksi sopeutumismahdollisuudet saattavat olla lyhyellä aikavälillä suuremmat kuin laskelmassa on arvioitu.

Pitkällä aikavälillä kuva on kuitenkin toinen. Kiihdytettyjen toimenpiteiden skenaarion mukaan maapallon lämpeneminen voitaisiin pysäyttää n. $2,5^\circ\text{C}$:een. Tämän mukaan rajoittavien toimenpiteiden nettohyöty vastaisi suunnilleen pitkän ja lyhyen aikavälin kustannusten erotusta. Tämä olisi noin 277 mrd. USD, eli noin 5 % vuoden 1990 bkt:sta.

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

5. ILMASTONMUUTOKSEN TALOUDELLISET VAIKUTUKSET SUOMESSA

Suomi luetaan kehittyneisiin teollisuusmaihin. Maamme on kuitenkin varsin riippuvainen yhdestä luonnonvarasta ja sen jatkojalostuksesta. Maamme metsäteollisuus saa tällä hetkellä raaka-aineensa noin 90-prosenttisesti kotimaan metsistä (Kuisma, 1990). Metsäteollisuuden osuus nettovientituloistamme on noin 40 %. Metsä 2000 -ohjelman tarkistustoimikunnan raportissa (1992) todettiin Suomen kansantalouden menestyksen olevan tulevaisuudessaakin voimakkaasti riippuvainen metsäteollisuustuotteiden kysynnän kehityksestä maailmanmarkkinoilla ja suomalaisen metsäteollisuuden kilpailukyvästä.

Taulukko 6. Suomen talouden ilmastoriippuvuus toimialoittain jaoteltuna.

Toimiala	Arvonlisäys v. 1990 mrd.mk	Osuus bkt:sta
Ilmastosta läheisesti riippuvat toimialat		
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-metall. kalusteiden valm.	8.2	1.8
Massan, paperin ja paperituott. valmistus	12.5	2.7
Yhteensä	32.4	7.1
Ilmastosta lievästi riippuvat toimialat		
Sähkö-, kaasu- 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, mrd mk	458.0	100.0

Maatalouden suhteen Suomi on useiden tuotteiden suhteen omavarainen sekä kärsii ylituotannon ongelmista. Alkutuotannon osuus viennistä on häviävän pieni, vain 0,9 % vuonna 1990 (Elintarviketeollisuusliitto, 1991, Tilastokeskus, 1991).

Suomen riippuvuutta alkutuotanto- ja metsäteollisuussektorista voidaan havainnollistaa soveltamalla Nordhausin lähestymistapaa Suomeen. Jaetaan kansantalouden toimialat ilmastosta riippuviin, ilmastoon lievästi riippuviin sekä siitä riippumattomiin toimialoihin. Alkutuotannon jatkojalostus on erotettu omaksi ryhmäkseen.

Maa- ja metsätalous sekä kalastus ovat yhteenlaskettuina maassamme suhteellisesti kaksinkertaiset Yhdysvaltoihin verrattuna. Nordhausin mukaan ilmastoon lievästi riippuvat toimialat muodostavat yhteensä noin 10 % USA:n bkt:sta. Suomessa näiden toimialojen osuus on noin 17 % (asuntojen omistusta ei laskettu Nordhausin analyysissä tähän ryhmään, mutta näin menetellään seuraavassa). Lisäksi alkutuotannosta riippuvan jatkojalostuksen, eli metsä- ja elintarviketeollisuuden osuus on merkittävä Suomessa.

5.1. Vaikutukset maatalouteen

Maatalous on toimialoista kiinteimmin yhteydessä ilmaston ja sään vaihteluihin. Elintarviketuotannon turvaaminen on myös nykymaailmassa tärkeää, vaikka teollisuusmaiden asukkaiden arkitodellisuus onkin eriytynyt ruoantuotannosta. Harvardin yliopiston ekologisesti suuntautunut antropologi Timothy Weinkel onkin muistuttanut, että ei ole olemassa "jälkiviiljelysyhteiskuntaa" (Brown, 1991).

Päätöksenteon ja kustannus-hyötyanalyysin kannalta seuraavat kolme aihepiiriä ovat keskeisiä:

- elintarvikehuollon turvallisuus
- elintarviketuotannon merkitys taloudessa
- tarvittavat investoinnit maatalouden sopeuttamiseksi ja kehittämiseksi (OECD, 1991a).

Elintarvikehuolto on ihmiskunnan perusasioita. Asiaa tulee tarkastella sekä kansallisesta että kansainvälisestä näkökulmasta. Elintarviketuotannon turvallisuus voidaan ottaa kustannus-hyötyanalyysissä huomioon paikallisten ja globaalien nälänhätien esiintymistodennäköisyyksien ja vakavuusarvioiden avulla.

Maatalouden muutokset vaikuttavat tuottajasektorin asemaan ja hyvinvointiin sekä ruoan hintatasoon ja siten kulutusrakenteeseen. Kustannushyötyanalyysin tulisi arvottaa näitä vaikutuksia.

Ilmastonmuutoksen potentiaalisia haittavaikutuksia voidaan lieventää vaihtamalla viljalajikkeita, muuttamalla kastelu- ja lannoittamiskäytäntöjä, lisäämällä viljelyalaa jne. Sopeutumismahdollisuuksia selvitetään haittavarvioiden yhteydessä.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia analysoitaessa tulee kiinnittää huomiota myös muihin tekijöihin, jotka vaikuttavat maatalouden kehitykseen. Tällaisia ovat muun muassa ilmansaasteet ja maaperän eroosio.

5.1.1. Maailman ja Suomen viljantuotannon tila ja kehitys

Viljantuotanto on maatalouden tärkeimpiä toimintoja. Useissa maissa viljantuotannossa on pyritty omavaraisuuteen, jotta pystyttäisiin turvaamaan elintarvikkeiden riittävyys kaikissa tilanteissa. Kaikki maat eivät kuitenkaan noudata samaa strategiaa. Tarkastelemalla viljatuotteiden kaupan suurimpia tuojia ja viejiä saadaan karkea kuva maailman viljantuotannosta ja -kulutuksesta.

Taulukko 7. Suurimmat viljan nettotuojat vuonna 1988, milj. tonnia.

Neuvostoliitto	34	Meksiko	6
Japani	28	Iran	5
Kiina	17	Italia	5
Etelä-Korea	9	Irak	4
Egypti	8	Saudi-Arabia	3

Lähde: Parry (1990).

Vuonna 1988 kahdeksan valtiota toi viljaa yli viisi miljoonaa tonnia enemmän kuin vei ulkomaille. Suurimmat nettotuojat ilmenevät oheisesta taulukosta 7. Viljan hintojen nousu vahingoittaisi pahasti näiden maiden asemaa.

Vain 21 maata 172:sta oli vuonna 1988 viljan nettoviejiä. Näiden viljanviejämaiden tuotannon kehityksellä on siten tärkeä vaikutus viljan maailmanmarkkinahintoihin ja kaupan volyyymiin. Vuoden 1988 suurimmat viljan nettoviejät näkyvät taulukosta 8.

Taulukko 8. Suurimmat viljan nettoviejät vuonna 1988, milj. tonnia.

USA	98	Thaimaa	6
Ranska	27	Tanska	2
Kanada	23	Iso-Britannia	1
Australia	15	Etelä-Afrikka	1
Argentiina	10		

Lähde: Parry (1990)

Yhdysvallat vie yksin yli puolet koko maailman viennistä. Näin ollen Pohjois-Amerikan satotilanne vaikuttaa suoraan maailmanmarkkinahintoihin.

Maailman elintarviketuotannon riittävyys ei näytä hyvältä, kun verrataan maatalouden tuotannon kasvua väestönkasvuun. Viime vuosikymmenen loppupuolella väestön kasvunopeus oli vuosittain prosenttiyksikön nopeampaa kuin viljan tuotannon kasvu (Brown, 1991).

Väestönkasvun jatkuminen kehitysmaissa on haitallisinta elintarviketuotannon riittävyyden kannalta Afrikassa, Latinalaisessa Amerikassa sekä Aasiassa. Onkin realistista odottaa nälänhätien esiintyvän entistä useammin jo 1990-luvulla.

Suomen maataloudessa on pyritty korkeaan omavaraisuuteen kustannuksista välittämättä. Esimerkiksi leipäviljan suhteen Suomi oli 1,6-kertaisesti omavarainen vuonna 1990. Suomi on nettotuojia lähinnä kalan, rehut tuotteiden, vihannesten ja hedelmien osalta. Taulukko 9 havainnollistaa Suomen omavaraisuutta.

Maatalouspolitiikkamme omavaraisuustavoitteista joudutaan ilmeisesti tinkimään tulevaisuudessa EY-integraation myötä. Oheisesta taulukosta 9 nähdään, että ulkomaisten tuotteiden osuus suomalaisten ruokavaliossa on nykyisellään varsin rajallinen. Ruokahuollon järkkyminen ulkomailla näkyisi nykyisellään suomalaisten ruokapöydässä lähinnä hedelmien, vihannesten, kalan ja riisin kallistumisena.

Taulukko 9. Eräiden maataloustuotteiden omavaraisuusaste Suomessa vuonna 1990, %.

Leipävilja	162
Maito ja maitovalmisteet	143
Kananmunat	137
Liha	110
Sokeri	95
Kala	88
Vihannekset	75
Hedelmät (ml. marjat)	10

Lähde: Maatilatilastollinen vuosikirja 1990, Tilastokeskus 1991.

Kalan, vihannesten ja hedelmien omavaraisuusaste on laskettu ulkomaankauppa- ja kulutustilastoista.

5.1.2. Ilmastonmuutoksen vaikutukset maatalouden tuottavuuteen

Kasvihuoneilmion vaikutukset maatalouden potentiaaliseen tuottavuuteen voidaan jakaa kolmeen ryhmään. Ensinnäkin CO₂-pitoisuuden kasvu vaikuttaa kasvien kasvunopeuteen. Toiseksi ilmastonmuutoksen myötä lämpötilan, sademäärien ja auringonpaisteen sekä ultraviolettisäteilyn muutokset vaikuttavat kasvinviljelyyn ja kotieläintuotantoon. Kolmanneksi merenpinnan nousu vähentää viljelykelpoista maa-alaa rantaviivan siirtyessä ylempiä sekä suolaveden imeytyessä syvemmälle sisämaahan (Parry, 1990). Tässä kohdassa tarkastellaan kahta ensin mainittua vaikutusryhmää. Merenpinnan nousun vaikutuksia Suomessa käsitellään tuonnempana.

Hiilidioksidi on kasvien yhteyttämisessä, fotosynteesissä, tarvitsema ainesosa. Jos ilmakehän CO₂-pitoisuus nousisi eikä lämpötila muuttuisi, nämä

vaikutukset olisivat kasvulle suotuisat kaikkialla. Hiilidioksidin määrän kaksinkertaistuminen saattaa lisätä kasvien yhteyttämisnopeutta 30 - 100 %. Eri kasvit reagoivat kuitenkin eri tavoin lisääntyneeseen hiilidioksidiin. Ne voidaan jakaa kahteen luokkaan niiden yhteyttämisprosessin mukaan: C3- ja C4-kasveihin (Parry, 1990).

C3-kasvit hyötyisivät selvästi CO₂-pitoisuuden kasvusta. Tällä on suuri merkitys maailman ruoantuotannon kannalta, koska suuri osa maailman ruoantuotannosta perustuu C3-kasveihin. Näitä ovat mm. vehnä, ohra, riisi, soijapapu, juurekset ja palkokasvit. Useimmat viileän, lauhkean ja kostean vyöhykkeen kasveista ovat C3-kasveja. Myös kaikki puut kuuluvat tähän ryhmään (IPCC, 1990b).

C4-kasvit eivät pystyisi tehostamaan yhteyttämistään juuri lainkaan hiilidioksidipitoisuuden kasvaessa. C4-kasveja ovat mm. maissi, durra, hirssi ja sokeriruoko. C4-kasvien sadot vastaavat viidesosasta maailman ruoantuotannosta ja niiden tuotanto on keskittynyt trooppiselle alueelle. Lisäksi useat ruoho- ja laidunkasvit eri puolilla maailmaa kuuluvat C4-kasveihin (IPCC, 1990b).

C3-kasvien asema parantuisi myös useimpiin rikkakasveihin verrattuna, koska 14 maailman 17 rikkakasvista on C4-kasveja. Sekä C3- että C4-kasvien veden käytön tehokkuus paranee CO₂-pitoisuuden kasvaessa. Kasvit kestäisivät kuivuutta aiempaa paremmin (Parry, 1990).

Kasvien ravintosisältö saattaa kuitenkin heikentyä satojen lisääntyessä. Tämän vuoksi ravintosisällöllä mitattuna CO₂-pitoisuuden nousun edullisuus pienenee, mutta säilyy positiivisena. Cline arvostelee IPCC:a liiallisesta optimismista maatalouden tuottavuuden suhteen. Hän huomautti, että useimmat maatalouden tuottavuuslaskelmat perustuvat hiilidioksidin kaksinkertaistumiseen nykyisestä 330 ppm:sta 660:een. Hiilidioksidi-ekvivalenttipitoisuus kaksinkertaistuu kuitenkin jo noin 440 ppm:n CO₂-pitoisuudella. Cline mukaan tästä seuraa, että hiilidioksidin pitoisuuden noususta johtuva tuottavuuden lisäys maataloudessa ensi vuosisadan puolivälissä on vain noin kolmasosa laskelmien mukaisesta tuottavuuden lisäyksestä (Cline, 1991a).

Pohjois-Euroopassa vuotuinen lämpösumma on kasvien yhteyttämistä ja satoja eniten rajoittava tekijä. Lämpötilan nousun on arvioitu lisäävän viljasatoja Pohjois-Euroopassa. Lämpötilan kohoamisen myötä kasvava haihtuminen ja maanpinnan kuivuminen nousee kuitenkin kasvua rajoittavaksi tekijäksi todennäköisimmin Etelä-Ruotsissa ja Tanskassa. SILMUn skenaariossa huhti-syyskuun sademäärien oletetaan pysyvän ennallaan, mistä seuraa kuivuusstressin todennäköisyyden kasvu haihtumisen voimistuessa (Kanninen, 1992).

Kotieläintuotantoon ilmastonmuutos vaikuttaa muuttamalla rehut tuotteiden satoja sekä nostamalla lämpötilan mantereisen ilmaston alueilla, kuten USA:n eteläisissä keskiosissa sekä IVY:ssä, lähelle eläinten sietokykyä. Erityisesti nuorten kotieläinten lämmönvaihtelun sietokyky on alhainen. Suomessa vaikutukset kotieläintuotantoon lienevät tässä suhteessa vähäisiä. Nurmirehua käyttävät eläimet voivat tosin laiduntaa entistä pidempään, minkä vuoksi kalliiden säilörehu- ja heinävarastojen rakentamisen ja ylläpidon tarve vähenee (Kanninen, 1992).

Ultraviolettisäteilyn on todettu hidastavan kasvien yhteyttämistä ja heikentävän ihmisten ja eläinten immunitettia, mutta tutkimustiedot ovat vielä melko hajanaisia. Jos yläilmakehän otsonikerros ohentuu edelleen, ultraviolettisäteilyn negatiiviset seuraukset tullevat entistä selvemmin esille.

Otsonikadosta aiheutuva lisääntynyt UV-säteily on Suomen maa- ja metsätaloudelle varteenotettava riskitekijä seuraavina vuosikymmeninä. Pohjoiset vahvaan otsonikerrokseen tottuneet kasvilajit ovat ultraviolettisäteilylle arempia kuin eteläiset lajit (Helsingin Sanomat, 24.3.1992). Suomi sijaitsee vieläpä alueella, jossa otsonikerroksen on ennakoitu ohentuvan voimakkaammin (Wahlström ym., 1992).

5.1.3. Maatalouden vaikutusten ennusteet

Cline arvioi raportissaan (1991a) ilmaston muutoksen vaikutuksia myös eräiden muiden maiden kuin USA:n maatalouteen. Hänen arvionsa perustuvat nykyiseen maatalouden tuotannon määrään sekä tuottavuuden muutoksiin. Lopullinen vaikutusarvio määräytyi myös sen mukaan, mitä oletettiin maatalouden sopeutumiskyvystä.

Maatalouden sopeutumiskyvyn arvottaminen

Cline kuvasi maatalouden sopeutumiskykyä kerroinparilla $\alpha\beta$. Parametri α on sopeutumisen jälkeisen tuotannon vähentymisen suhde välittömään tuotannon vähentymiseen, eli

$$\alpha = \frac{\text{Sopeutumisen jälkeisen tuotannon vähentyminen, \% alkup.}}{\text{Välitön tuotannon vähentyminen, \% alkuperäisestä tuot.}}$$

Tämän suhdeluvun Cline arvioi olevan selvästi alle 1, eli maatalous kykenisi sopeutumaan hyvin.

Parametri β kuvaa kuluttajien ja tuottajien hyvinvoinnin muutosta suhteessa tuotannon vähenemisen arvoon perusvuoden hinnoilla arvoitettuna. Kuluttajien ja tuottajien hyvinvoinnin muutosta mitataan ns. kuluttajien ja tuottajien ylijäämällä. Toisin sanoen

$$\beta = \frac{\text{Kuluttajain ja tuottajain ylijäämän muutos, mk}}{\text{Tuotannon muutoksen arvo perusvuoden hinnoin, mk}}$$

β :n arvo on todennäköisesti merkittävästi yli 1, koska maataloustuotteiden kysyntä on luonteeltaan joustamatonta, eli hinnankorotus yhdellä prosentilla vähentää kulutusta vähemmän kuin prosentin. Cline käytti kerroinpari $\alpha\beta$:lle kahta arvoa analyysissaan, 0,75:ä ja 1,25:ä. Suomelle Cline ennusti keskimäärin 15 %:n tuottavuuden kasvua viljantuotannossa (ja koko maataloudessa), josta seuraa Clineen sopeutumiskertoimien mukaan maatalouden arvonlisäyksen kasvu 11 - 19 %:lla. Vuoden 1990 tuotannosta se on 1,7 - 2,7 mrd mk. Clineen lähestymistavassa ei otettu huomioon vaikutuksia maataloustuotteiden maailmanmarkkinahintoihin, joten nettotuojille ja -viejille muutokset ovat todennäköisesti erilaiset kuin Clineen arvioissa.

Parryn (1990) esittelemän maataloutta kuvaavan SWOPSIM-mallin tulokset ovat mielenkiintoisia, koska maatalouden tuottoarvioista johdettiin vaikutukset tuotteiden maailmanmarkkinahintoihin. Mallit tosin kuvaavat muutosten suuruutta nykypäivän teknologialla sekä väestömäärällä. Malli on luonteeltaan komparatiivis-staattinen.

Ilmastonmuutos mallinnettiin kolmen skenaarion avulla. Ilmastonmuutoksen suuruus ja sen vaikutukset vaihtelivat kohtuullisen pienistä muutoksista erittäin suuriin ja haitallisiin muutoksiin. Pohjois-Euroopan maatalouden tuottavuus ei laskenut missään skenaariossa, vaan vehnän, maissin sekä muiden viljalajien tuottavuuskehitys vaihteli muuttumattomasta 30 %:n kasvuun. Muualla maailmassa tuottavuus vaihteli -40 %:n ja +15 %:n välillä. Tuottavuusennusteista rakennettiin neljä skenaariota maatalouden kehitykselle. Skenaarioita havainnollistaa taulukko 10.

Taulukko 10. Viljanviljelyn muutoksen skenaariot.

Skenaario	Maa/alue	Muutos tuotannossa
A	USA, Kanada, EY Muu maailma	-10:stä -50 %:iin Ei muutosta
B	USA, Kanada, EY IVY, Kiina, P-Eurooppa, Argentiina, Brasilia, Japani, Australia Muu maailma	-10:stä -50 %:iin + 25 % Ei muutosta
C	USA, Kanada, EY IVY, Kiina, P-Eurooppa, Argentiina, Brasilia, Japani, Australia Muu maailma	-10:stä -50 %:iin + 25 % - 25 %
D	USA, Kanada, EY IVY, Kiina, P-Eurooppa, Argentiina, Brasilia, Japani, Australia Muu maailma	-10:stä -50 %:iin Ei muutosta -25 %

Lähde: Parry (1990)

Maailmanmarkkinahintojen muutoksia tarkasteltiin USA:n, Kanadan ja EY:n yhteistuotannon muutoksen perusteella. Hinnat nousisivat voimakkaammin D-skenaariossa, äärimmillään 50 %. A-skenaarion suurin hintojen nousu oli 30 % ja C-skenaarion 15 %. B-skenaariossa maailmanmarkkinahinnat laskivat hieman.

Maailman taloudellinen hyvinvointi laskisi A-skenaariossa noin 5 mrd. dollarilla, jos USA:n, Kanadan ja EY:n tuotanto laskisi 10 %. Pahimmissa skenaarioissa maailman bkt laskisi 0,2-0,34 %.

Nykyisellään maailman maataloustuotanto näyttää selviävän yksittäisten maitten 20 %:n tuotannon laskuista kohtuullisen vaivattomasti, mutta etenkin nettotuojamaille pysyvä tuotannon väheneminen aiheuttaisi talouskehityksen voimakasta taantumista sekä maan ulkoisen velkaantumisen ehkäpä hallitsemattomankin lisääntymisen.

Parryn uusimmat tutkimustulokset keväällä 1992 ovat saaneet hänet pessimistisemmäksi tulevaisuuden suhteen. Nälänhätien estämiseksi bioteknologiassa olisi tapahduttava merkittäviä läpimurtoja, ja lisäksi tarvitaan todella suuria kastelu- ja maanparannusohjelmia. Tärkeimmäksi sopeutumistekijäksi hän kuitenkin mainitsee väestönkasvun hillitsemisen (Pearce, 1992).

Tulevaisuudessa elintarvikkeiden hintojen voi olettaa nousevan väestönkasvun lisätessä ruoan niukkuutta. Väestönkasvun on ennustettu keskittyvän ruoan nettotuojamaihin tai lähes omavaraistaloudessa eläviin maihin. Nälänhätien vaara on ilmeinen.

Tutkimusten mukaan Fennoskandian maatalous voittaisi ilmastonmuutoksesta eniten. Suomessa kevätvehnän satojen on ennustettu kasvavan lämpötilan ja CO₂-pitoisuuden nousun vuoksi noin 10 % Etelä-Suomessa ja noin 20 % Pohjois-Suomessa hehtaaria kohden. Ohra- ja kaurasatojen on laskettu kasvavan 9-18 %. Viljanviljelyalan on ennakoitu kasvavan karjatalouden kustannuksella ilmaston lämpenemisen seurauksena. Vehnä, ruis, sokerijuurikas sekä öljykasvit levittäytyisivät pohjoisemmaksi (Parry, 1990).

SILMU:n väliraportissa annettiin uusimpia arvioita lämpötilan ja hiidioksidipitoisuuden nousun vaikutuksista ohrasatoihin. Simuloinnit on tehty Helsingin yliopiston PotCropF-kasvumallilla (Kanninen, 1992). Tulokset käyvät ilmi taulukosta 11. Taulukossa verrataan tapauksia A ja B. Tapauksessa A oletetaan käytettävän samaa ohralajiketta ja kylvöpäivää kuin nyt. Tapauksessa B käytetään lämpimämmän vyöhykkeen viljalajiketta ja aikaisetaan kylvöpäivää. Taulukon ylä- ja alaosan vasemmasta yläkulmasta oikeaan alakulmaan kulkevilla lävistäjillä on lihavoitu SILMU-skenaarion mukaiset ilmastonmuutokset.

Taulukko 11. Ohran potentiaalisen jyväsadon muutokset suhteessa nykyiseen satoon (nykytilanne = 1,0).

TAPAUS A	Lämpötilan muutos °C		
	0	2,4 (v. 2050)	4,4 (v. 2100)
CO ₂ -pitoisuus			
350 ppm	1.0	0.85	0.71
540 ppm (v. 2050)	1.34	1.15	0.98
820 ppm (v. 2100)	1.65	1.43	1.22

TAPAUS B	Lämpötilan muutos °C		
	0	2,4	4,4
CO ₂ -pitoisuus			
350 ppm	1.0	1.08	1.08
540 ppm	1.34	1.44	1.44
820 ppm	1.65	1.76	1.76

Taulukon ylä- ja alaosan vasemmasta yläkulmasta oikeaan alakulmaan kulkevilla lävistäjillä on lihavoitu SILMU-skenaarion mukaisen ilmastonmuutoksen tuottavuusvaikutukset.

Lähde: Kanninen, 1992.

Taulukosta 11 nähdään, että viljalajikkeiden ja viljelymenetelmien oikealla valinnalla voidaan parantaa tuottavuutta huomattavasti ilmaston muuttuessa.

Euroopan integraatiokehitys vaikuttaa lähivuosina maataloutemme kehitykseen paljon voimallisemmin kuin ilmaston muutos. Maatalouden tuottavuusero säilyy Keski-Euroopan ja Suomen välillä edelleen melko suurena, jos Keski-Euroopan tuottavuus ei käänny laskuun esim. kuivuuden vuoksi. Niinpä todelliset vaikutukset maatalouden tulotasoon, tuotantoon ja hintoihin riippuvat ensisijaisesti institutionaalisten seikkojen, kuten maataloustukiaisten ja tuontisuojan kehityksestä. Taulukossa 12 havainnollistetaan maataloutemme nykyistä tehokkuuseroa EY:öön nähden hintoja vertaamalla.

Samalla saadaan mielikuva kotimaisen maataloustuotannon suojaamisen ja elintarvikeomavaraisuuden hinnasta.

Taulukko 12. Eräiden tuotteiden tuottajahinnat Suomessa ja EY:ssä vuonna 1989.

	Kotimainen hinta mk/kg	EY:n hinta mk/kg
Vehnä	2.60	0.88
Ohra	1.81	0.82
Sianliha	18.02	7.96
Naudanliha	32.86	6.56
Maito	3.17	1.49

Lähde: Kettunen, 1991.

OECD laskee vuosittain jäsenmaittensa maatalouspolitiikan implisiittisen tuen tuottajille sekä veron kuluttajille vertaamalla maailmanmarkkinahintoja ja kotimaisia tavoitehintoja. Lisäksi otetaan huomioon muu valtion maksama tuki maataloudelle. Tuottajan tukikvivalentilla (Producer Support Equivalent, PSE) mitattuna Suomen maatalouden saama tuki oli vuonna 1990 noin 20 mrd. markkaa. Tästä tuesta noin 10 miljardia maksettiin valtion budjetista. PSE:n osuus maatalouden tuotannon arvosta oli 72 %, mikä on OECD-maiden keskiarvoon nähden 1,6-kertainen (OECD, 1991b).

Suomen hyöty maatalouden tuottavuuden noususta muodostuu useasta seikasta. Maatalouden ylläpitäminen tulee halvemmaksi. Valtion tarvitsee jakaa vähemmän tukipalkkioita verovaroista. Maataloustuotteiden hinnat voivat myös laskea maanviljelijöiden tulojen säilyessä ennallaan. Kuluttajien ylijäämä kasvaisi hintojen laskiessa.

Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen julkaisemien tuotanto- ja kannattavuustilastojen sekä SILMUn tuloksien avulla voidaan tehdä arvioita viljanviljelyn tuottavuuden muutoksista. Oletetaan SILMUn simulaatiotulosten kuvaavan koko viljanviljelyn tuottavuuden kehitystä. Yli 50 hehtaarin maatioilla jyväsadon tuotto vuonna 1989 oli 8280 mk/ha, muuttuvat kustannukset 1926 mk/ha sekä muuttuvien ja kiinteiden kustannusten vähenyksen jälkeen jäävä tuotannon ylijäämä samoin 1926 mk/ha (Kola - Marttila - Niemi 1991).

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. Laskuysiköksi 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 13.

Taulukko 13. 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

Suomen viljanviljelyn ja sitä palvelevien toimintojen tulisi tehostua voimakkaasti, sillä laskelman mukaisilla tuotantopanosten hinnoilla edes 44 %:n 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 laidun aika pitenee yhdellä kuukaudella. Tästä seuraisi arviolta 10 %:n aleneminen rehukustannuksissa. Vuonna 1990 maatalouden rehukustannukset olivat noin 3,1 mrd. mk, josta maataloustulojakauman 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. Keskimmäiseksi arvioksi saadaan siten 70 milj. mk. Optimistiseksi arvioksi valitaan 90 milj. mk ja pessimistiseksi 50 milj. mk.

Kuluttajille viljan tuottajahintojen ja rehukustannusten 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 optimistisessä tapauksessa elintarvikkeiden hinnat laskevat 5 %, keskimmäisessä 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 keskimmäisessä ja 402 milj. mk pessimistisessä tapauksessa.

Laskemalla yhteen yllä mainitut summat saadaan maatalouden tuottavuuden muutoksen hyötyarvioksi pessimistisessä tapauksessa noin 1 070 milj. mk, keskimmäisessä arvioissa 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.

5.1.4. Maatalouden sopeutumisen kustannukset

Maatalouden sopeutumista ilmastonmuutokseen voidaan edistää mm. tutkimalla nykyisten lajikkeiden soveltuvuutta muuttuvaan ilmastoon. Ennen kaikkea maatalouden tutkimuksessa kiinnitettäneen huomiota maankäytön muutoksilla saataviin hyötyihin, tuholaiten leviämisen estämiseen ja muihin riskeihin, joita ei vielä ole riittävästi kartoitettu.

Myös torjunta-aineiden käyttö lisääntyy ilmaston lämmetessä. Kylmät talvemmette ovat tehokkaasti estäneet useiden keski-eurooppalaisten tuholaiten kotiutumisen maahamme. Vuonna 1990 kasvinuojeluvälineisiin käytettiin 309 milj. mk ja rehunsäilöntäaineisiin 158 milj. mk (Ala-Mantila, 1991).

Oletetaan, että pessimistisessä tapauksessa tuholaiten torjuntaan käytetään 400 milj. mk enemmän kuin nyt. Optimistisessä tapauksessa nämä kustannukset voisivat olla vain 100 milj. mk ja keskimmäisessä tapauksessa 250 milj. mk suuremmat.

5.2. Vaikutukset metsätalouteen

Suomen metsäalue kuuluu boreaaliseen vyöhykkeeseen eli pohjoiseen havumetsävyöhykkeeseen. Vyöhyke ulottuu koko maapallon ympäri Euraasian pohjoisosien ja Pohjois-Amerikan kautta. Boreaalisen metsävyöhykkeen laajuus on runsaat 1 000 milj. ha ja sen osuus maailman metsistä on noin 25 %. Suomen metsäpinta-ala on noin 20 milj. ha (Luonnonvarainneuvosto, 1990, IPCC, 1990b).

Ilmastonmuutoksen tärkeimmät vaikutuskanavat metsiin ovat sadanta, maaperän kosteus ja kasvukauden pituus. Näiden muutokset aiheuttavat monimutkaisen vuorovaikutusten ketjun metsäekosysteemissä. Muutokset ulottuvat kasvisolujen välittömästä sopeutumisesta vuosisatoja kestävään ekosysteemin sopeutumiseen. Koska ilmastonmuutoksen nopeus voi ylittää metsäekosysteemin sopeutumisnopeuden, metsät saattavat vaurioitua vakavasti erityisesti, jos niitä ei hoideta. Metsänhoidolla pystytään nopeuttamaan sopeutumista. Metsien tulevaa tuottoa arvioitaessa on siis pyrittävä arvioimaan myös metsänhoidon avulla saavutettava hyöty (Karjalainen ym., 1991, Luonnonvarainneuvosto, 1990).

Lämpötila ja kasvukauden pituus ovat Pohjois-Euroopassa eniten puiden sekä muiden kasvien kasvua rajoittavia tekijöitä. Ennustettu lämpötilan kohoaminen lisääkin puiden kasvua tehtyjen arvioiden mukaan tuntuvasti. Toisaalta pitkällä aikavälillä metsävyöhykkeet siirtyvät ilmasto-olojen mukana. Kokonaisuudessaan maapallon havumetsävyöhykkeen pinta-ala on ennustettu pienenevän (Cline, 1991). Suomessa havumetsävyöhykkeen pohjoisrajan siirtymisen on laskettu lisäävän tuottavan metsämaan määrää noin 20 %:lla 24 miljoonaan hehtaariin (Karjalainen ym., 1991).¹⁾ Samalla lauhkean metsävyöhykkeen lehtipuumetsät levittäytyisivät entistä suuremmalle alalle Etelä- ja Lounais-Suomessa. Esimerkiksi tammen levinneisyysalue saattaa yltää tulevaisuudessa Oulun korkeudelle, kun sitä nykyään esiintyy Lounais-Suomessa ja etelärannikolla (Kahninen, 1992). Tulevaisuudessa puhtaiden havumetsien perustaminen voi vaikeutua (Karjalainen ym., 1991).

1) Tuottoisan metsämaan raja-arvoksi on määritelty 1 m³/ha:n vuosikasvu.

5.2.1. Arviot metsien kasvumahdollisuuksista

Dykstra ja Kallio (Karjalainen ym., 1991) ovat laskeneet ilmaston muutoksen vaikutuksia ainespuun hakkuumahdollisuuksiin (tukki- ja kuitupuu). Seuraavassa taulukossa 14 esitellään heidän tuloksensa.

Taulukko 14. Ilmaston muutoksen vaikutus hakkuumahdollisuuksiin, milj.m³.

Vuosi	Perusarvio	Ilmaston lämmitessä
1990	49.6	
2000	52.2	54.3 (4.0)
2010	57.4	67.8 (18.1)
2020	60.0	79.5 (32.5)
2030	65.2	101.6 (55.8)

Huom. Peruslaskelmassa kasvun, metsäpinta-alan ja luonnollisen poistuman suhteen ei tapahdu merkittäviä muutoksia. Havupuun osuudeksi hakkuukertymästä on oletettu 78 %.

Lähde: Karjalainen ym., 1991 / Dykstra - Kallio, 1987.

Myös muiden tehtyjen mallilaskelmien mukaan metsien puuvarat kasvavat voimakkaasti. Kaupin ja Poschin lineaarisen regressiomallin mukaan tehdyillä laskelmilla hakkuumahdollisuudet lisääntyisivät keskimäärin 80 - 140 % (Karjalainen ym., 1991).

Luonnonvarainneuvosto on tehnyt laskelmia, joissa arvioitiin metsänhoidon ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia Suomen metsien kasvuun ja CO₂:n sitoutumiseen. Laskelmissa käytettiin apuna Joensuun yliopistossa kehitettyä YSI-simulointimallia. Simulointiaika oli 50 vuotta eli vuodesta 1989 vuoteen 2039. Simulointimallissa käytiin läpi neljä skenaariota:

- Käsittely A1: Ilmasto ei muutu ja metsää käsitellään nykyisten (vuoden 1989) suositusten mukaisesti.
- Käsittely A2: Ilmasto ei muutu. Puuston keskitilavuutta ja niiden sitomaa hiilimäärää pyritään nostamaan istutustiheyttä nostamalla, ensiharvennusikää nostamalla, kasvatushakkuuta vähentämällä sekä ohjekiertoaikaa nostamalla.

Käsittely B1 ja B2: Kasvukauden keskilämpötilan oletetaan nousevan 2°C, jolloin kasvukauden tehoisan lämpötilan summa nousee keskimäärin 200 astepäivää.¹⁾ Käsittely B1:ssä metsänhoitoa jatketaan entiseen tapaan ja B2:ssa sitä muutetaan A2:n tavoin.

Ilmaston pysyessä muuttumattomana ja käsittelymenetelmiä muuttamalla Suomen metsien runkopuuston tilavuus kasvaisi 840 milj. m³ eli 46 %. Pelkkä ilmastonmuutos aiheuttaisi puuston runkotilavuudessa 21 %:n kasvun. Jos sekä ilmasto että käsittelymenetelmät muuttuisivat, metsien runkopuun tilavuus kasvaisi 1 397 milj. m³ eli 76 %:lla. Hakkuut pysyivät nykyisellä tasolla. Käsittelyssä B2 ilmastonmuutoksen ansioksi voidaan laskea noin 40 % puuston tilavuuden kasvusta ($840/1\,397 = 0,6$).

YSI-mallin lähtökohdaksi oli tutkia sitoutuneen hiilidioksidin määrän kehitystä puustossa. Samalla nähtiin kuitenkin, että ilmastonmuutoksella on selvä vaikutus puuston kasvuun. Metsänhoidolla saatiin kuitenkin runkopuuston tilavuus nousemaan selvästi enemmän kuin pelkällä ilmastonmuutoksella.

YSI:n vaihtoehtoiset metsänhoitomenetelmät vähentäisivät metsänomistajien nettotuloja vakaan ilmaston tapauksessa 19 - 25 % (laskentakorosta riippuen) kiertoajan tavoitellun pidentämisen vuoksi. Ilmaston muuttuessa tulojen vähennys olisi pienempi. Tämän tarkastelun kannalta YSI:n mielenkiintoisin tulos oli metsänhoidon mahdollisuuksien osoittaminen. YSI:n tuloksiin palataan lisäksi myöhemmin kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamista pohdittaessa.

5.2.2. Taloudelliset vaikutusarviot

Jos arviointien lähtökohdaksi otetaan metsien lisääntyvä kasvu, seuraava askel on ryhtyä arvottamaan tapahtuvaa kasvua. Tämä on kuitenkin ongelmallista, koska jo 1980-luvulla metsien kasvun ja tehtyjen hakkuiden välinen erotus eli hakkuusäästöt kasvoivat voimakkaasti. Hakkuumahdollisuuksien

1) 200 astepäivää tarkoittaa esimerkiksi sitä, että lämpötila nousee 2°C 100 päivän ajan.

sia kaventavat tilojen pirstoutuminen, metsänomistajien hakkuukäyttämisen muuttuminen ja tilakohtaiset tekijät (Metsä 2000 -ohjelman tarkistus-toimikunta, 1992). Puunkäytön tulevaisuutta varjostavat myös kierrätyskuidun lisäämiseen kohdistuva paine sekä voimakkaasti lisääntyneet metsäteollisuusyhtiöiden ulkomaiset investoinnit (ETLA, 1992). Vaarana on, että suomalainen puunjalostuskapasiteetti jää jälkeen kasvavasta puuntarjonnasta.

Vuosina 1960-1989 puun kokonaiskäyttö säilyi käytännössä ennallaan hieinan runsaassa 50 milj. m³:ssä. Teollisuuden puunkäyttö kasvoi tänä aikana 32 milj. m³:stä 53 miljoonaan (Metsäntutkimuslaitos, 1990). Muu kuin teollinen puunkäyttö ei enää voi juuri supistua. Kotimaisen puun käytön kehitys riippuu siten puunjalostusteollisuuden kehityksestä.

Vuosina 1960-89 BKT kasvoi reaalisesti noin 3,9 % vuodessa teollisuuden puunkäytön kasvaessa noin 1,8 % vuodessa. Puunkäytön kasvu oli siten vain puolet bkt:n kasvusta.

Dykstran ja Kallion tulosten perusteella hakkuumahdollisuuksien voidaan olettaa kasvavan ilmastonmuutosten perusteella noin 40 milj. m³ muuttumattomaan ilmastoon verrattuna vuoteen 2040 mennessä. Hakkuumahdollisuuksien lisäys on noin 78 % nykyisestä puunkäytöstä.

Jos BKT kasvaa 2,5 % vuodessa 1990-2040 ja edellä kuvattu puunkäytön ja taloudellisen kasvun suhde pysyisi samana, teollisuuden puunkäyttö kasvaisi 95 milj. m³:iin, eli kasvua nykyhetkeen verrattuna olisi lähes 50 milj. m³. Tämä arvio tuntuu kuitenkin nykyisten investointisuunnitelmien valossa liian suurelta. Otetaan lähtökohdaksi puunkäytön lisääntyminen 30 milj. m³:llä. Muu puunkäyttö mukaanlukien vuoden 2040 puunkäytöksi saadaan 80 milj. m³.

Hakkuumahdollisuudet kasvanevat noin 70 milj. m³:iin jo ilman kasvihuoneilmiön voimistumista, joten ilmastonmuutoksen vaikutuksiksi jäisi 10 milj. m³:n lisäkäyttö sekä metsien puuvarannon kasvu, joka on arviolta noin 650 milj. m³. Tästä varannon kasvusta noin 40 % eli 260 m³ voidaan katsoa ilmastonmuutoksesta aiheutuneeksi.¹⁾

1) Puuvarannon kasvu on saatu vähentämällä 1400 m³:stä lisähakkuut YSI:n verrattuna, jotka ovat $(50v * 30 \text{ milj. m}^3/v)/2$.

Miten tämä tulisi arvottaa? Metsien kasvun lisäystä voidaan tarkastella seuraavan lausekkeen avulla:

$p_v \Delta M_t + \Delta p_m (M_m + \Delta M_m) + p_m \Delta M_m$, jossa

p_v = metsäteollisuuden tuotteiden (vienti)hinta/milj. m³

M_t = teollisuuden käyttämä puumäärä ennen ilmastonmuutosta

p_m = metsissä olevan puun arvo

M_m = metsissä olevan puun määrä

Δ = muuttujan muutos (hintojen osalta suhteellinen muutos).

Lausekkeen ensimmäinen termi kuvaa talouden kasvun vaikutusta. Toinen ja kolmas termi muodostavat varallisuusvaikutuksen.

Metsäteollisuuden tuotteiden hintojen oletetaan pysyvän vakiona. Puun kantohinnan oletetaan alenevan hakkuusäästöjen kasvaessa, eli Δp_m on negatiivinen. Käytetään p_v :n arviona metsäteollisuuden arvonlisäystä jaettuna käytetyllä puumäärällä, joka oli vuonna 1990 noin 388 mk/m³. p_m :n arviona voidaan käyttää metsätalouden arvonlisäystä per kotimaassa käytetty puumäärä vuonna 1990, joka on noin 288 mk/m³.

Ensimmäiseksi tekijäksi eli talouskasvun arvioksi saadaan näin 3 880 milj. mk/v. Varallisuusvaikutuksen arviointia vaikeuttaa epävarmuus p_m :n suuruudesta. Tutkitaan asiaa herkkyysanalyysinä. ΔM_m :n arvioitiin olevan 650 milj. m³. Jotta varallisuusvaikutuksesta tulisi nolla, puun arvon pitäisi laskea vain 8,2 %. Tämä arvio tuntuu kuitenkin melko pieneltä, joten varallisuusvaikutus saattaa itse asiassa olla negatiivinen. Toisaalta varallisuusvaikutus ei vaikuta kulutukseen suoraan vaan pidemmän ajan kuluessa.

Metsänomistajien hintavaatimuksia nostavat toisaalta mm. lisääntyvät tuholaiten torjumiskustannukset. Myös kansainvälinen kehitys vaikuttaa kantohintoihin, joten kantohintojen kehityksestä on vaikea antaa arviota. Oletetaan varallisuusvaikutus nolaksi.

Ottaen huomioon metsien tuottavuuden kehitykseen, metsäalan tuotteiden kysyntään sekä metsänomistajien ja metsäteollisuuden käyttäytymiseen liittyvän epävarmuuden varovainen arvio ilmastonmuutoksen vuotuisille hyödyille vuosina 2030-2050 olisi 2,5 mrd. mk, paras arvio 4,0 mrd. mk ja optimistinen arvio 5,5 mrd. mk.

5.2.3. Suomen metsätalouden kilpailuasema

Ilmastonmuutos on suosiollisin trooppisille metsille. Havumetsävyöhykkeen on ennustettu pienentyvän ja antavan tilaa lauhkean ilmaston lehtimetsille.

Suomen asema muihin paperintuottajiin nähden ei näytä juuri huononevan. Vaikka trooppiset metsät näyttävät kasvavan hyvin, ei niiden hyödyntäminen onnistu yhtä helposti kuin havumetsien hyödyntäminen. Tyypillisessä trooppisessa sademetsässä on useita kymmeniä laadultaan ja ominaisuuksiltaan erilaisia puulajeja hehtaarin alueella. Trooppiset metsät ovat sitäpaitsi läheisimpiä korvikkeita lähinnä lyhytkuituiselle koivupuulle. Pitkäkuituista massaa vaativat paperilaadut tarvitsevat havupuun kaltaista raaka-ainetta, jota jatkossakin näyttää kasvavan Suomessa (Pasi Ahteen (ETLA) haastattelu 21.4.1992).

Metsänjalostustuotteiden maailmanmarkkinahintojen kehitys vaikuttaa myös Suomen menestykseen. Tätä asiaa ja kotimaista kehitystä pitäisi pohtia tarkemmin mahdollisissa jatkotarkasteluissa.

5.3. Vaikutukset metsätuhoihin

On erinäisiä syitä olettaa mallilaskelmien yliarvioivan metsien kasvumahdollisuuksia. Niissä ei oteta huomioon ilmansaasteiden, ultraviolettisäteilyn, tuholaiskantojen muutosten, monokulttuurien heikentämän sopeutumiskyvyn ja ilmaston muutoksen aiheuttaman stressin yhteisvaikutusta puiden tuottavuuteen. Useimmat tulokset kasvien yhteyttämisen lisääntymisestä perustuvat lyhytaikaisiin muutoksiin. Esimerkiksi CO₂:n pysyvä lisääntyminen ilmakehässä ei aiheuttane niin voimakasta kasvun lisäystä kuin lyhytaikaisissa kokeissa on saatu tulokseksi. Paljon riippuu myös puiden talvehtimisen onnistumisesta lämpimämmässä ilmastossa (Kanninen, 1992).

Suomen metsät ovat lajiköyhiä, ja ne ovat suurelta osin tehokkaan metsänhoidon alaisia. Metsätalouden ansiosta ns. monokulttuuriviljelmät ovat kuitenkin lisääntyneet vähentäen metsien luontaista vaihtelevuutta. Kansainvälisten tutkijaryhmien mukaan erityisesti pohjoisen havumetsävyöhykkeen monokulttuurimetsät ovat alttiita erilaisille ns. bioottisten tuhonaiheuttajien, ts. lähinnä hyönteisten, sienien ja jyrsijöiden aiheuttamille metsätuhoille

(IPCC, 1990b). Ilmansaasteet lisäävät tuholaisriskiä entisestään (Karjalainen ym., 1991). Tuholaisten vaikutuksista ei kuitenkaan ole tehty alustaviaakaan laskelmia. Ennustettu lämpötilan kohoaminen ja lisääntyneet sademäärät suosivat useita tuholaislajeja.

Suomessa metsätuhoja aiheuttavat pääosin samat hyönteis- ja sienilajit kuin Keski-Euroopassa. Ilmaston lämmetessä on tosin mahdollista, että tänne leviää myös uusia tuholaislajeja. Puiden vastustuskyky saattaa toisaalta parantua ilmaston lämmetessä ja hiilidioksidipitoisuuden lisääntyessä, koska puiden aineenvaihdunta vilkastuu (Karjalainen ym., 1991).

Vuosina 1985-1989 esiintyi metsissä eriasteisia tuhoja seuraavasti: metsikön laatuun vaikuttavista tuhoista oli lieviä 2,19 milj. ha, vakavia 0,5 milj. ha ja täydellisiä 60 000 ha. Vahinkoja esiintyi vuosina 1985-89 yhteensä 17,5 %:lla metsäalasta (Kanninen, 1992).

Metsätuhojen syyt luokitellaan biottisiin (eliöperäisiin) ja abioottisiin syihin, kuten myrskytuhoihin. Nyt ja tulevaisuudessakin pääosa biottisista tuhoista syntyy abioottisten tuhojen seurauksena (Karjalainen ym., 1991).

5.3.1. Abioottiset tuhot

Myrskytuhot vaivaavat erityisesti vanhoja kuusi- sekä mäntymetsiköitä. Pääosa myrskytuhoista esiintyy sulan maan aikana. Jos kovat, yli 14 m/s tuulet yleistyvät eikä maa routaannu yhtä usein kuin ennen, voidaan myrskytuhojen olettaa lisääntyvän tulevaisuudessa (Karjalainen ym., 1991).

Lumituhot todennäköisesti vähenevät lumen määrän vähentyessä. Myös eräiden tuholaisien esiintymistiheys harvenisi lumipeitteen ohentuessa (ks. taulukko 15).

Kuloja sattuu kuivina ja sateettomina kesinä kaikkialla borealisessa vyöhykkeessä. Suomessa kulot ovat kuitenkin olleet melko harvinaisia; 1980-luvulla kulottui noin 3 000 ha vuodessa (Karjalainen ym., 1991; Tahvonen, 1991). Jos maaperä kuivuu lisääntyvän haihtumisen seurauksena, kulot yleistyvät tulevaisuudessa.

Myös ilman epäpuhtaudet heikentävät puiden vastustuskykyä ja kasvua. Ilmaston muuttuessa ilman epäpuhtauksien vaikutus saattaa toisaalta myös heiketä puiden parantuneen aineenvaihdunnan vuoksi. Ilman epäpuhtauksien vaikutus muuttuvissa olosuhteissa on siten vaikeasti pääteltävissä.

5.3.2. Biottiset tuhot

Useimmat abioottiset tuhot luovat otolliset olosuhteet hyönteis- ja sienituhojen puhkeamiselle (Karjalainen ym., 1991). Myös poikkeukselliset sääolot lisäävät tuholaisriskiä. Seuraavassa taulukossa 15 kuvataan biottisten tuhoaiheuttajien ja ilmastotekijöiden välistä yhteyttä.

Taulukko 15. Biottisten tuhoaiheuttajien ja ilmastotekijöiden yhteys

Tuhotekijä	Kohoava lämpötila	Kuivuus	Sateisuus	Lumisuus	Myrskyt	Ilman epäpuhtaudet
Hyönteiset						
Tukkimiehentäi	+	+	-0	0+	0+	0+
Neulastuholaiset	+	+	-	0+	0	0+
Ytimennävertäjät	+	+	-0	+	+	+
Kirjanpainajat	+	+	-	+	+	+
Sienitaudit						
Lumikariste	-0	-	0	+	0	0
Versoruoste	+0	-	+	0	0	-
Versosyöpä	-	-	+	-0	0	0+
Maannousema	+	-	+	0	+	0+
Nisäkkäät						
Hirvet	+	0	0	0	-	0
Myyrät	+	0	0	+	0	0

Vaikutus: 0 = ei mitään tai epäselvä, + = tuhoaiheuttaja hyötyy, - = tuhoaiheuttajalle haitaksi.

Lähde: Karjalainen ym., 1991.

Taulukosta 15 nähdään, että kohoava lämpötila edistää hyönteis- ja nisäkästuhoja. Sateisuus edistää lähinnä sienitautien etenemistä. Tuhosienet yleistyvät erityisesti, jos kasvukaudet ovat viileitä ja sateisia sekä talvet leutoja. Myrskyjen ja ilman epäpuhtauksien lisääntyminen edistäisi hyönteistuhon. Lumipeitteen heikkeneminen toisaalta olisi tuhohyönteisille haitallista.

5.3.3. Metsätuhojen taloudellisia arvioita

Vakuutusyhtiöiden Keskusliitto tilastoi metsätuhoista maksettuja korvauksia. Taulukossa 16 esitetään vuosien 1985-1989 keskimääräiset korvaukseen oikeuttavat metsätuhot vuoden 1990 rahassa (vuosittaiset korvaukset on indeksoitu kuluttajahintaindeksillä). Korvaukset on suhteutettu koko metsäpinta-alan mukaisiksi (maamme metsistä noin 13,5 % on vakuutettu).

Viime vuosina omavastuu metsävahingoissa on ollut noin 10 000 mk. Tätä pienemmät vahingot jäävät kokonaan ilmoittamatta (Veikko Knuutin (Vakuutusyhtiöiden keskusliitto) puhelinhaastattelu 27.4.1992). Käyttökelpoinen kokonaissumma vakuutusyhtiöiden tilastoimille metsävahingoille maamme koko metsäpinta-alalle laskettuna lienee noin 300 milj. mk/v.

Taulukko 16. Keskimääräiset metsätuhot vuodessa arvioituna koko Suomen pinta-alalle vuosina 1985-1989.

Tuhon syy	milj.mk, vuoden 1990 rahassa	Ilmastonmuutoksen vaikutus tuhoihin (+ lisää, - vähentää)
Kulo	8	+
Myrsky	138	+
Lumi	15	-
Hirvi	9	+ -
Muut	90	+
Yhteensä	260	+

Ostavastuuta ei ole otettu huomioon.

Lähde: Vakuutusyhtiöiden keskusliitto, Metsävakuutuksen vahinkotilasto sattumisvuosilta 1973-1990, Tilastokeskus, Tilastollinen vuosikirja 1991.

Vakuutusyhtiöt eivät kuitenkaan korvaa kaikenlaisia vahinkoja. Erilaiset kasvitautit saattavat esimerkiksi heikentää puiden vuosikasvua niitä kuitenkaan tuhoamatta.

Vuonna 1972 julkaistiin artikkeli juurikäävän aiheuttaman kuusen tyvilahotuhoista. Ne arvioitiin yli 180 milj. markaksi vuoden 1990 rahassa (Kallio, 1972). Tämän perusteella erilaiset kasvitautien kokonaistuhot Suomen metsissä on arvioitu noin 1 mrd. markaksi vuodessa (prof. Airilan puhelinhaastattelu 27.4.1992).

Biottisten ja abioottisten tuhojen yhteenlasketuiksi vuosittaisiksi kustannuksiksi voitaneen näin arvioida 1,2 mrd. mk vuodessa lisäämällä ylläolevaan 1 mrd. markkaan 0,2 mrd. mk vakuutusyhtiöiden tilastojen perusteella (vähennetään ryhmä muut vakuutusyhtiöiden tiedoista).

Ilmastonmuutoksen vaikutusta tuhoihin voidaan vain arvailla tarjolla olevan kvalitatiivisen tiedon perusteella. Muodostetaan kolme oletusta tuhojen kasvulle : 0, 10 ja 25 %. Kustannuksiksi saadaan siten 0, 120 ja 300 milj. mk vuodessa.

5.4. Kalastus ja kalanviljely

Ilmaston muutos vaikuttaa Itämeren ja Suomen sisävesien oloihin, mikä heijastuu puolestaan kalakantoihin. Kalastuselinkeinon kannalta tärkein laji silakka ei ilmeisesti ole kovin herkkä veden lämpötilan ja suolaisuuden muutoksille, koska sitä esiintyy koko Itämeren alueella. Merikalajien esiintymistä Itämeressä rajoittaa vähäinen suolaisuus. Jos makean veden valumat lisääntyvien sateiden seurauksena kasvavat Itämereen, on mahdollista, että Itämeren merikalajien levinneisyys pienenee. Itämeren suolaisuuden kehitys riippuu kuitenkin pääasiassa tuulten aikaansaamista merivirroista, joiden kehitystä ei vielä osata ennakoita (Kanninen, 1992).

Sisävesissä lämpötilan muutos suosii lämpimän veden kaloja viileän veden kalojen kustannuksella. Esimerkiksi lohikalat kuuluvat kylmän veden kaloihin, joiden kanta laskenee ilmastonmuutoksen seurauksena.

Sisävesialueilla kalojen on vaikea sopeutua ilmastonmuutokseen, koska luonnollista yhteysttä muihin vesialueisiin ei välttämättä ole. Esimerkiksi

1940-1960-luvuilla ilmaston kylmeneminen heikensi tai hävitti useita kuha-kantoja Keski- ja Pohjois-Suomen järvistä (Kanninen, 1992).

Kalanviljelyssä tärkeimpiä ovat lohikalat, jotka ovat herkkiä lämpötilan muutoksille. Kalanviljelylle onkin odotettavissa tappioita (Kanninen, 1992). Lämpimämpiin säihin lienee mahdollista sopeutua lisäämällä kiintoaltaiden käyttöä verkkoaltaiden ja luonnonravintolammikoiden asemesta.

Kokonaisuudessaan kalakantojen muutosten taloudellisia vaikutuksia on vaikea arvioida. Eräät arvokalamme eivät välttämättä viihdy lämpimämmässä vesissä, mutta lämpimien vesien kalojen kantojen kasvu saattaa osaltaan korvata menetykset. Tässä vaiheessa ei ole tarpeeksi tietoa taloudellisten vaikutusten arvottamiseksi.

5.5. Luonnon monimuotoisuuden merkitys

Luonnon monimuotoisuuden eli biodiversiteetin vähenemisellä on lukemattomia erilaisia sosioekonomisia vaikutuksia. Nykyään maapallolta on arvioitu löytyvän 5 -30 miljoonaa eliölajia. Luonnontieteilijät tuntevat näistä vain 1,5 - 1,7 miljoonaa lajia. Ajan saatossa ihmiset ovat käyttäneet noin 7000 eri kasvilajia ravintonaan. Tällä hetkellä valtaosa ihmisten ravinnosta saadaan noin 20 pitkälle jalostetusta lajista. Kuitenkin maapallolla on ainakin 75 000 syötävää kasvia. Jotkut lajit sopisivat nykyisiä lajeja paremmin laajaan käyttöön (IPCC, 1990b).

Lääketeollisuus on hyödyntänyt useita luonnonvaraisia kasveja uusia lääkkeitä kehittäessään. Nykyään noin 50 % maailman lääketeollisuuden raaka-aineista tulee luonnonvaraisista kasveista. Maailman terveysjärjestön WHO:n arvioiden mukaan noin 3,5 - 4,0 miljardia lähinnä kehitysmaiden ihmistä saa lääkityksensä suoraan luonnonvaraisista kasveista. Uusia lääkkeitä kehitetään koko ajan luonnontuotteista esim. immuunikatoa aiheuttavaa HIV-virusta vastaan. Luonnontuotteita tai niistä johdettuja aineita sisältävien lääkkeiden vuotuiseksi myynniksi on arvioitu 8 - 20 mrd. USD (IPCC, 1990b).

Tropiikin ekosysteemit, erityisesti sademetsät ovat moninaisuudessaan ylivoimaiset verrattuna muihin alueisiin. Sademetsät kattavat vain 7 % maapinta-alasta, mutta niissä elää kuitenkin noin puolet maailman eliölajeista

(IPCC, 1990b). Koska tropiikin mailla on vähän varoja sijoitettavaksi luonnon suojeleluun, teollisuusmailta odotetaan tulonsiirtoja ja niitä painostetaan avustamaan huomattavasti. Rion ympäristökokouksessa solmittu biodiversiteetin suojelusopimus on ensi askel tähän suuntaan.

5.5.1. Ilmastonmuutoksen uhka luonnon monimuotoisuudelle

Ilmastonmuutoksella saattaa olla dramaattisemmat vaikutukset luontoon kuin ensi arvaamalla odottaisi. 2,5 asteen nousu keskilämpötilassa muuttaa ilmaston lämpimämmäksi kuin se viimeisten 100 000 vuoden aikana on ollut. Maapallolla oli viimeksi 40 miljoonaa vuotta sitten 4°C nykyistä lämpimämpää (IPCC, 1990b).

Muutosnopeus ylittää useiden eläin- ja kasvilajien sopeutumisnopeuden, koska ilmastonmuutos tapahtuu 15-40 kertaa nopeammin kuin aiemmat ilmaston muutokset. Myös ihmisasutuksen levinneisyys rajoittaa kasvien ja eläinten mahdollisuuksia siirtyä suotuisemmille alueille (IPCC, 1990b).

Fennoskandia muodostaa biologis-maantieteellisen saarekkeen, jonne kasvien ja eläinten on hankalahkoa siirtyä vesialueiden, vuonojen, asutuksen ja peltoalueiden vuoksi. Niinpä Suomenlahden eteläpuoliset lajit eivät välttämättä löytäisi tietään tänne ennen tuhoutumistaan. Eteläisen Suomen ekosysteemit saattavat köyhtyä huomattavasti nykyisten lajien siirtyessä pohjoisemmaksi korvaavien lajien viipyyssä Suomenlahden toisella puolen.

Rahamääräistä arviota luonnon moninaisuuden vähentymiselle on vaikea löytää. Eliölajien tuhoon vaikuttavat lisäksi muutkin kuin ilmastotekijät. Väestönkasvu lienee perimmäinen syy eliölajien tuhoon. Maailman Luonnonsäätiön mukaan 17 000 eliölajia kuolee sukupuuttoon vuosittain (Massa - Sairinen, 1991).

5.5.2 Luonnon moninaisuuden arvottaminen

Luonnonvarojen "hinnoiteltaessa" niiden arvo jaetaan yleensä kahteen komponenttiin: käyttö- ja olemassaoloarvoon. Nämä yhdessä muodostavat luonnonvaran taloudellisen kokonaisarvon (total economic value, ks. OECD 1989).

Käyttöarvo voidaan jakaa kuluttavaan ja kuluttamattomaan osaan.

Kuluttava osa on luonnonvarojen kulutuksesta saatavaa hyötyä, kuten teollisessa tuotannossa raaka-aineelle määräytyvä arvo tai metsästäjän tai kalastajan saama hyöty harrastuksestaan.

Käyttöarvon kuluttamatonta osaa kutsutaan optio- tai mahdollisuusarvoksi. Tämä arvo kuvaa kuluttajan halukkuutta varmistaa luonnonvaran tarjonta tulevaisuudessa oman tai seuraavien sukupolvien kulutusta varten. Esimerkkinä voisi mainita paikkakunnan asukkaiden osallistumisen kalanviljelyn kustannuksiin vesialueillaan. Käyttöarvo muodostuu siis ympäristöresurssien taloudellisesta hyödyntämisestä tai virkistyskäytöstä nyt ja tulevaisuudessa (vertaa Tielaitos, 1991).

Olemassaoloarvo kuvaa tyydytystä, jonka kuluttajat saavat tiedosta, että resurssi on olemassa. Tämän hyödyn lähteenä on epäitsekäs ajattelutapa tai myötäelävä suhtautuminen luontoon. Olemassaoloarvon osuus taloudellisesta kokonaisarvosta on tehtyjen tutkimusten mukaan huomattavan suuri (OECD, 1989).

Ruotsissa selvitettiin kyselytekniikalla, kuinka paljon ruotsalaiset ovat valmiita maksamaan kertasummana ekologisesti arvokkaiden metsäalueiden suojelusta. Maksuhalukkuus oli keskimäärin 1 300 kr kotitaloutta kohden. Tämä summa haluttiin toisin sanoen käyttää uhanalaisten lajien sekä ruotsalaisen metsämaiseman suojeluun. Koko maan kotitaloudet mukaan lasketuna maksu nousisi 4 mrd. kruunuun (Johansson, 1989).

Kyselyssä selvitettiin myös maksuhalukkuuden syitä. Vastaajat, jotka ilmoittivat maksuhalukkuutensa syyksi lähinnä metsästyksen, kalastuksen tai muun käyttöarvoa vastaavan syyn, olivat valmiita maksamaan keskimäärin 300 kr. Tulevan kulutuksen turvaaminen kasvatti maksuhalukkuutta noin 500 kruunuun. Uhanalaisten lajien suojelun huomioonotto muiden motiivien lisäksi nosti maksuhalukkuuden yli 2 000 kruunuun (Johansson, 1989). Keskimääräisen taloudellisen kokonaisarvon ja pelkän käyttöarvon ero on tämän esimerkin mukaan noin nelinkertainen.

Cline (1991a) arvotti luonnon moninaisuutta raportissaan erään suojeluesimerkin avulla. USA:n luoteisosan metsissä esiintyy harvinainen täplikkäs pöllö, jonka rauhoittamiseksi luoteisosien metsiä määrättiin suojelta-

vaksi. Cline arvioiden mukaan tästä aiheutui noin 160 milj. USD vuotuiset vaihtoehtoiskustannukset menetettyinä puunmyyntituloina. Hän oletti tulevaisuudessa 2*CO₂ -ilmaston vallitessa lajien tuhoutumisriskin 50-kertaituvan. Toisaalta suojeltavien lajien määrän kasvaessa suojelun rajahyöty Cline mukaan laskee. Cline sai täten luonnon moninaisuuden suojelun arvoksi 25* 160 milj. = 4 mrd. USD.

Luonnon monimuotoisuuden arvon epämääräisyyttä ja riippuvuutta hyvinvoinnin tasosta kuvaa presidentti Bushin päätös sallia hakkuut suojelualueella luonnis-USA:n metsäsektorin työllisyyden varjelemiseksi. Ympäristöhyötyjen arvo maksuhalukkuudella mitattuna onkin erittäin tulosisoinen.

Suomen noin 42 000 eliölajista 1 692 (4,0 %) katsotaan uhanalaiseksi vuosina 1986-1990 tehdyn seurannan mukaan. Edelliseen seurantaan verrattuna uhanalaisten lajien määrä on kasvanut noin 60 %. Tärkeimpiä uhanalaisuuden syitä ovat metsätalous (41 %) sekä eri kulttuuriympäristöt (21%). Tulevaisuuden uhkatekijöinä mainitaan metsätalouden lisäksi ympäristön saastuminen sekä ilmaston muutos (Komiteamietintö 1991:30).

Suuri osa uhanalaisista lajeista on metsissä kasvavia sieniä. Näiden roolia metsäekosysteemissä ei tunneta riittävästi, mutta eräät juurisienet ovat välttämättömiä puiden ja muiden kasvien ravinnetalouden kannalta.

Uhanalaisten lajien suojeluun käytetään nykyisellään vuosittain noin 2 milj. mk. Tämän lisäksi yksityiset luonnonsuojelujärjestöt käyttävät noin 1 milj. mk samoihin kohteisiin. Uhanalaisten eläinten ja kasvien seurantatoimikunnan mukaan 1990-luvun aikana tulisi vuosittain käyttää noin 35 milj. mk tutkimukseen, seurantaan ja luonnonsuojelualueiden hankintaan sekä niiden hoitoon. Kustannuksista noin 21 milj. mk kuluisi uusien luonnonsuojelualueiden perustamiseen (Komiteamietintö 1991:30). Arvioitu tarve ylittää käytettävissä olevat varat nykyään noin 17-kertaisesti.

Toimikunnan mietinnössä todettiin, että ilmaston muutos on erittäin suuri tulevaisuuden uhkatekijä, mutta sen vaikutuksia yksittäisiin lajeihin on vaikea arvioida. Uhanalaisten lajien tilanne on kuitenkin huononemassa ilmeisen nopeasti.

Mikä sitten olisi oikea arvo luonnon moninaisuudelle? Yli 40 % eliölajeis-

tamme elää metsissä. Metsien käyttö määräytyy kuitenkin metsätaloudellisten näkökohtien mukaan, mikä pienentää uhanalaisten lajien arvoa yhteiskunnallisessa päätöksenteossa. Luonnonsuojelun asiantuntijoiden omat intressit saattavat toisaalta nostaa heidän arvioitaan (esim. tutkimusvarojen myöntäminen). Olemassaoloarvon huomioonottava taloudellinen kokonaisarvo saattaa olla Suomessa Ruotsin tapaan noin 4-5 kertaa käyttöarvoa suurempi.

Lajien moninaisuuden arvoa voidaan karkeasti approksimoida yksinkertaisella kaavalla. Oletetaan, että uhanalaiseksi julistetun lajin häviämistodennäköisyys on 10 % vuoden aikana. Uhanalaisia lajeja on noin 1 700 kpl. Oletetaan valtion luonnonsuojeluun käyttämien varojen kuvaavan yhteiskunnan päätöksentekijöiden halukkuutta välttää lajien tuhoutuminen. Yhden lajin keskimääräiseksi arvoksi saadaan $2\,000\,000\text{ mk} / 0,1 * 1700 = 12\,000\text{ mk}$. Asiantuntijoiden rahantarvearvion mukaan yhden lajin arvoksi saataisiin noin 200 000 mk. Ruotsalaisen tutkimuksen perusteella taloudellisen kokonaisarvon approksimaatio olisi vastaavasti 48 000 - 60 000 mk (ks. yllä).

Jos peräti 25 % eliölajeistamme olisi tulevaisuudessa uhanalaisia, valtio käyttäisi niiden suojeluun edellisen laskelman mukaan 125 milj. mk vuodessa. Jos 20 % lajien uhanalaisuudesta johtuisi ilmaston muutoksesta, vuosittaisiksi luonnonsuojelun lisäkustannuksiksi saataisiin nykyrahassa 25 milj. mk. Jos yksityisten lahjoitusten suhde valtion menoihin pysyisi samana kuin se on tällä hetkellä, lahjoitukset nousisivat 75 miljoonaan markkaan vuodessa. Näistä 15 milj. mk voitaisiin ehkä laskea ilmaston muutoksen aiheuttamiksi. Clinen esimerkin mukaan voidaan eliölaajien suojelun rahoituksen olettaa laskevan suojeltavien lajien määrän kasvaessa, joten otetaan arvioksi 20 milj. mk vuodessa.

Tietty konservatiivisuus arvioissa on puolusteltavissa myös sillä, että useat lajit ovat Suomessa esiintymisalueensa ääri rajoilla. Toisaalta esimerkiksi valkoselkätikka on uhanalainen myös monien muiden valtioiden alueella (Helsingin Sanomat 10.4.1992). Uhanalaisia lajeja voikin verrata muihin kansainvälisiin yhteisömuutoksiresurssiin. Ne jäävät liian vähälle huomiolle, koska millään valtiolla ei ole yksin vastuuta resurssien ylläpidosta eikä yksinoikeutta niiden hyödyntämiseen.

Kansainvälisen kehityksen arvottaminen on hankalampaa. Suomessa on

noin 0,15 % maailman eliölajeista. Jakamalla Suomen kustannukset tällä suhdeluvulla maailman kustannuksiksi saataisiin noin 13 mrd. mk vuositain. Clinen arvio vain USA:lle oli noin 18 mrd. mk. Suomelle laskettu arvio lienee melko varovainen.

Maailmanlaajuisista kustannuksista ehkä 0,1 % eli 13 milj. mk koituisi Suomen kustannuksiksi uusien lääkekasvien menettämisenä, lisääntyneenä kehitysapuna, vähentyneinä luonnonsafarimatkoina yms.¹⁾

Yllä oleva laskelma on täynnä epävarmuustekijöitä, eikä sitä voi pitää muuna kuin perusteltuna arvauksena. Luonnon moninaisuuden vähemisen vuotuisiksi kustannuksiksi saadaan noin 33 milj. mk, josta 20 milj. mk on lisääntyneitä luonnonsuojelukustannuksia ja 13 milj. mk ulkomaisten eliölaajien menetyksestä aiheutuvia kustannuksia. Summa kuvaa lähinnä suuruusluokkaa muihin ilmaston muutoksen vaikutuksiin verrattuna.

Lisäksi tulee muistaa, että luonnon monimuotoisuuden arvostus riippuu kunkin yhteiskunnan rakenteellisista tekijöistä ja preferensseistä, kuten metsäsektorin suuruudesta Suomen tapauksessa. Mainittu luku voi olla 4-5 kertaa suurempi. Otetaan 35 milj. mk optimistiseksi arvioksi, 65 milj. mk keskimmäiseksi arvioksi sekä 165 milj. mk pessimistiseksi arvioksi.

5.6. Ilmastonmuutoksen vesitaloudelliset vaikutukset

5.6.1. Merenpinnan nousu

Merenpinnan nousu aiheuttaa ongelmia erityisesti eräille rannikko- ja saarivaltioille. Monet näistä maista ovat nopean väestönkasvun kehitysmaita, joten ne pystyvät vaikeasti sopeutumaan viljelys- ja asumiskelpoisen maan vähenemiseen. Erään tutkimuksen mukaan seuraavat 10 maata (aakkosjärjestyksessä) ovat erityisen herkkiä merenpinnan nousulle: Bangladesh, Egypti, Indonesia, Malediivit, Mosambik, Pakistan, Senegal, Surinam, Thaimaa, Gambia (OECD 1991a).

1) Osuus vastaa suunnilleen maamme osuutta maapallon väestöstä tällä hetkellä.

Näistä Bangladesh, Egypti, Mosambik ovat Suomen kahdenvälisen kehitysyhteistyön kohdemaita (Finnida, 1991). Myös useat Tyynen meren saarivaltiot ovat herkkiä merenpinnan nousulle (IPCC, 1990b).

Viimeisimpien arvioiden mukaan merenpinta nousee eteläisellä puoliskolla enemmän kuin pohjoisella, koska etelänapamantereeseen jäämassan on ennustettu kasvavan lähivuosikymmeninä. Jäätikön painovoima vetää pohjoisen napa-alueen sulamisvedet puoleensa. Merenpinta nousee myös vesimassan lämpölaajenemisen vuoksi (IPCC, 1990a).

Suomi on erikoisessa asemassa merenpinnan nousun suhteen: edellisen jääkauden seurauksena maankuori nousee Suomessa edelleen melko nopeasti, eikä merenpinta siksi juuri nouse suhteessa rantaviivaan. Erityisen nopeata maanpinnan nousu on Pohjanmaan alueella (noin 90 cm vuosisadassa), missä maasto on alavaa. Merenpinnan ennustetulla nousulla ei näyttäisi olevan merkittäviä haitallisia vaikutuksia Suomessa (Eronen, 1992).

Suomen lähialueilla lähinnä Pietarissa, Ruotsin eteläkärjessä sekä Tanskassa merenpinnan nousu voi aiheuttaa ongelmia (Geodeettisen laitoksen ylijohtaja Juhani Kakkurin puhelinhaastattelu 9.4.1992).

Seuraavassa taulukossa 17 esitetään kaksi arviota teoreettisen keskiveden korkeuden kehityksestä vuosina 1990 - 2090. Luvuissa on otettu huomioon maanpinnan kohoaminen.

Taulukko 17. Kaksi arviota merenpinnan noususta (cm) Suomessa.

Vuosi	Jäger (1988)			Oerlemans (1989)		
	p=0,05	p=0,5	p=0,95	p=0,05	p=0,5	p=0,95
2010	-15	-3	19	-27	-5	17
2040	-30	2	82	-44	0	44
2090	-55	16	200	-63	19	100

Lähde: Kahma - Boman, 1990.

Luku p kuvaa todennäköisyyttä, että todellinen merenpinnan korkeuden muutos on alle kyseisen sarakkeen luvun. Siten esimerkiksi Jägerin mukaan

on olemassa vain 5 %:n mahdollisuus, että merenpinta kohoaisi vuoteen 2090 mennessä yli 2 m. Keskimmäiset arviot vastaavat suunnilleen IPCC:n todennäköisimmäksi ennustamaa ilmaston lämpenemistä, eli noin 2°C kesällä ja 7°C talvella vuoteen 2090 mennessä. Todennäköisimmän arvion mukaan merenpinnan nousu olisi 0 cm vuoteen 2040 ja noin 20 cm vuoteen 2090 mennessä.

Geodeettisen laitoksen ylijohtaja Kakkurin mukaan vuoteen 2030 mennessä veden pinta nousee hyvin todennäköisesti korkeintaan 50 cm (puhelinhaastattelu 9.4.1992).

5.6.2. Vaikutukset kaupunkisuunnitteluun

Kaupunkisuunnittelussa merenpinnan nousu otetaan huomioon esim. rakennusten lattiatason vähimmäiskorkeutena. Helsingin Ruoholahdessa valittiin rakennusten alimmaksi lattiatasoksi +3 m merenpinnasta. Nykytietojen mukaan se siis riittää erinomaisesti. Maansiirtokustannukset eivät ole kovinkaan suuria verrattuna rakennusten kokonaiskustannuksiin (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, Annukka Lindroosin puhelinhaastattelu 9.4.1992).

Kaupunkisuunnittelussa ei riitä, että merenpinnan keskikorkeus on alle rakennusten lattiatason, vaan on varauduttava myös merenpinnan vaihteluun. Seuraava asetelma kertoo ajan, jonka jälkeen tietty merenpinnan taso esiintyy hetkellisesti uudelleen:

Merenkorkeus teoreettiseen keskimerenkorkeuteen nähden	toistuvuus vuosia
+0.6	1
+0.8	1.4
+0.9	1.7
+1.0	2
+1.1	4
+1.2	8
+1.3	17
+1.5	100

Huom. Helsingin nykyinen keskimerenkorkeus on -12 cm, joka pitää ottaa huomioon yllä olevia lukuja tulkittaessa. **Lähde:** Oasmaa, 1990.

Jos merenpinta nousisi metrin, Helsingin alueella jouduttaisiin rakentamaan patorakennelmia rakennetun ympäristön suojelemiseksi. Patoamalla voitaisiin estää viemäriverkoston toiminnan vaikeutuminen, ranta-alueiden joutuminen veden valtaan sekä kaukolämpöjohdoille sekä kellaritiloille aiheutuvat vahingot (Ravea, 1991).

Patoaminen edellyttäisi ehkä myös Vantaanjoen kääntämistä padon ulkopuolelle (Ulkoasianministeriön kehitysyhteistyöosasto, Kari Silverbergin puhelinhaastattelu 13.4.1992).

Ravea (1991) on tehnyt diplomityön yhteistyössä Helsingin kaupungin kanssa Helsingin tulvapatojen rakentamisen edellytyksistä. Työssä tarkastellaan eri patolinjausvaihtoehtoja ja erilaisia rakenteita sekä niiden kustannuksia. Padon maarakennuskustannukset vaihtelevat patolinjojen ja patotyyppien mukaan 185 ja 1600 milj. markan välillä.

Helsingin lisäksi muita merenpinnan nousun uhkaamia kaupunkeja ovat lähinnä eteläisen Suomen Hanko, Turku ja Loviisa. Saaristoalueella vaikutukset jäisivät vähäisiksi. Esimerkiksi Loviisassa ydinvoimala on rakennettu täyttömaalle. Ydinvoimalalle on arvioitu aiheutuvan ongelmia, jos merenpinta nousee hetkellisesti yli 2 metriä nykyisen keskivedenkorkeuden yläpuolelle (Aittoniemi, 1990).

Merenpinnan metrin noususta aiheutuisi ehkä merkittäviäkin suojaus- ja suojautumiskustannuksia. Vesitaloudellisia kustannuksia käsitellään tuonnempana.

5.6.3. Sadannan muutokset ja viemäröinti

Suomessa vuotuisen sademäärän ja haihtumisen erotuksen on ennustettu kasvavan 18 % eli noin 100 mm vuoteen 2050 mennessä, joten krooninen vesipula ei näytä todennäköiseltä (Kanninen, 1992). Viljelyksien kastelu ei myöskään kilpaile vesivaroista. Veden riittävyys ei muodostune Suomessa ongelmaksi. Pohjaveden taso päinvastoin nousee 20 - 40 cm (Kanninen, 1992).

Euroopan muissa maissa vesivarvoja käytetään tällä hetkellä melko intensiivisesti. Pohjavesivarojen lisäyksestä käytetään 50 % tai enemmän Ranskas-

sa, Italiassa, Alankomaissa ja Belgiassa. Tulevaisuudessa ilmaston lämpiyminen, sadannan muutokset ja haihtumisen lisääntyminen vaikeuttavat vesipulaa näissä maissa (Falkenmark, 1989).

Vaikutukset viemäröintiverkoston riippuvat siitä, kulkevatko sadevedet ja muut jätevedet samassa verkostossa. Nykyään käytetään yleensä erillisiä putkistoja. Helsingin kantakaupungissa sade- ja jätevedet kulkevat tosin yhteisissä viemäreissä, jolloin sadevedet rasittavat kaupungin jätevesipuhdistamojen kapasiteettia. Sadannan lisääntyessä on mahdollista, että vesistöjen laatu heikkenee Suomen rannikkoseuduilla.

Lisääntyneisiin sademääriin voidaan sopeutua ainakin kolmella tavalla: lisätään jätevesipuhdistamojen puhdistuskapasiteettia, rakennetaan erilliset putkistot tai rakennetaan maanalaisia sadevesialtaita, joista vesi voidaan pumpata puhdistettavaksi kuivempina kausina.

Näistä kallein tapa on rakentaa uudet putket. Kustannukset olisivat varmastikin miljardiluokkaa. Ruotsissa viemäröintitekniikan uusimiseen kului noin 3,5 mrd. kruunua (Niemi, 1989). Helsingissä suunnitellaan sadevesialtaita parhaillaan, mutta konkreettisia laskelmia ei ole vielä tehty.

5.6.4. Vesitalouden muutosten kustannusarvio

Ilmastonmuutoksen vesitaloudelliset kustannukset syntyvät suurelta osin rakennetun ympäristön suojelemisesta ja parantamisesta. Oletetaan kerta-luonteisten lisäinvestointien maksavan koko maassa noin 10 mrd. mk, jos merenpinta nousee metrin. Kustannukset muodostuisivat patojen rakentamisesta, viemäriverkoston ja sadevesialtaiden uusimisesta, rakennustason korottamisesta ranta-alueilla jne. 30 vuoden käyttöiälle 5 % reaalikorolla laskettuna investointien vuotuiseksi kuluksi tulisi noin 650 milj. mk. Myös hallinto- ja ylläpitokustannukset on otettava huomioon. Arvioidaan nämä 50 milj. markaksi. Yhteensä vuosikustannuksiksi saadaan 700 milj. mk. Kustannusten toteutuminen on epävarmaa, koska merenpinnan nousu jää melko varmasti pienemmäksi. Oletetaan täksi todennäköisyydeksi 5 - 10 %, jolloin vuosikustannuksien odotusarvoksi saadaan 35 - 70 milj. mk. Valitaan optimistiseksi oletukseksi nollakustannus, keskimmäiseksi arvioksi 35 milj. mk ja pessimistiseksi 70 milj. mk.

Kansallisella tasolla merenpinnan nousulla ei näytä olevan huomattavia suoria vaikutuksia. Suomi on kuitenkin osa maailmaa sekä kansainvälisen politiikan että ulkomaankaupan välityksellä. Näihin tekijöihin palataan tuonnempana.

5.7. Vaikutukset energian kysyntään ja tuotantoon

Aittoniemi teki vuonna 1990 tutkimuksen ilmastonmuutoksen vaikutuksista energian tuotantoon ja kysyntään Suomessa. Tutkimuksen lähtökohtana käytettiin kauppa- ja teollisuusministeriön energiatalouden perusskenaariota vuodelta 1990 sekä ilmastonmuutos-skenaarioita, jotka oli rakennettu kansainvälisten GCM-ilmastomallien (General Circulation Model) tulosten avulla. Lisäksi hyödynnettiin Imatran Voiman Ounas- ja Kemijoelle tekemiä veden valuntamalleja, joiden avulla arvioitiin vaikutukset koko maan vesivoiman tuotantoon.

Tutkimuksen ilmastoskenaarioissa A, B ja C tehtiin oletuksia lämpötilan noususta sekä sadannan ja haihtumisen muutoksista nykypäivään verrattuna. Vuoden keskimääräinen lämpötilan nousu oli 1,2 - 4,6°C, sadanta kasvoi keskimäärin 10 - 36 % ja potentiaalinen haihdunta kasvoi keskimäärin 3 - 14 mm/kk.

Skenaariossa A ilmaston muutokset ovat suhteellisen pieniä. Sen muutokset ovat noin neljäsosa GISS-ilmastomallin ennusteista Suomelle.

Skenaario B perustuu kotimaiseen Valtion luonnontieteellisen toimikunnan arvioon. Lämpötilan nousu on suunnilleen sama kuin merivirtamallin sisältävällä GFDL-mallilla (Aittoniemi, 1990).

Skenaario C kuvaa voimakkaimpia muutoksia. Sen oletukset vastaavat GISS-ilmastomallin 2*CO₂ -tasapainotilannetta.

Ilmastonmuutoksen vaikutuksia energian käyttöön mitattiin sähkön kulutuksen muutoksina. Sähkön kulutuksen muutoksia arvioitaessa otettiin huomioon muuttuneet lämmitys- ja jäädytystarpeet sekä teollisuuden sähkön kulutus. Ilmastonmuutoksen vaikutuksia energian kulutukseen kuvattiin Imatran Voima Oy:ssä kehitetyllä tietokoneohjelmalla.

Sähkön kokonaiskulutus väheni seuraavasti kauppa- ja teollisuusministeriön perusskenaarioon verrattuna:

skenaario A	1,2 %
skenaario B	2,9 %
skenaario C	4,4 %.

Noin 60 % kokonaiskulutuksen laskusta aiheutui lämmityssähkön kulutuksen vähenemisestä. Loppu seuraa kotitalouksien ja teollisuuden kulutuksen laskusta (Aittoniemi, 1990).

Sademäärien lisääntyminen lisäsi tutkimuksen mukaan huomattavasti vesivoiman sähköntuotantokapasiteettia. Perusskenaarioon verrattuna vesivoiman sähköntuotanto lisääntyi 0,5 (A) - 1,6 (C) TWh, eli 12 - 41 % perusskenaariot tuotantomääristä.

Ilmastoskenaarioissa säästy perusskenaarioon verrattuna erillisen lämpövoiman muuttuvia kustannuksia sekä kaukolämpövoiman polttoainekustannuksia taulukon 18 mukaisesti.

Taulukko 18. Ilmastonmuutoksesta aiheutuvat energiantuotannon muuttuvien kustannusten säästöt vuotta kohti, milj. mk (v. 1990 rahassa).

Skenaario	Erillinen lämpövoima	Kaukolämpö	Yhteensä
A	210	30	240
B	440	70	510
C	690	110	800

Lähde: Aittoniemi, 1990.

Lämpötilan nousu vastanee vuosina 2030 - 2050 lähinnä vaihtoehtoa B tai C. Tutkimuksen luvuthan on laskettu vuodelle 2025, joten vaihtoehto B tai C kuvanee parhaiten noin 50 vuoden aikana tapahtuvaa muutosta. Arvioiden oikeaan osuminen riippuu osin myös perustana käytetystä energiaskenaariosta.

Aittoniemi ei selvittänyt tutkimuksessaan ilmastonmuutoksen vaikutuksia energiantuotannon investointeihin. Hän mainitsee kuitenkin, että virtaaman lisääntyminen saattaa vaatia B- ja C-skenaarioissa lisäinvestointeja vesivoimaloihin. Toisaalta lisääntynyt vesivoimatuotanto sekä vähentynyt lämmitystarve pienentävät tulevaisuudessa tarvittavaa erillisen lämpövoiman tuotantokapasiteettia siinä määrin, että Aittoniemi katsoi kauppaja teollisuusministeriön perusskenaarion lämpövoimakapasiteetin ylimitoitetuksi. Alustavien laskelmien mukaan Aittoniemi laski, että noin 500 MW hiilivoimalaitos voidaan korvata noin 300 MW investoinneilla vesivoimaan. Näiden voimalaitosten investointikustannukset ovat suunnilleen yhtä suuret. Vesivoiman kiinteät käyttökustannukset ovat suuremmat (Lehtilä - Pirilä, 1991).

Optimistinen hyötyarvio olkoon 800 milj. mk, keskimäinen ja pessimistinen vastaavasti 655 ja 510 milj. mk saadaan. Tässä arvioissa ei ole otettu huomioon investointitarpeiden eikä siten kiinteiden kustannusten muutoksia.

5.8. Ihmisten sairastuvuuden muutokset

5.8.1. Lämpötilan muutoksen terveysvaikutukset

Hiilidioksidin lisääntyminen ilmakehässä ei sinänsä ole haitallista ihmisille. Lämpötilan nousukaan kesäaikaan tuskin haittaisi Suomessa, missä hellepäiviä (päivälämpötila yli 25°C) on vuodessa keskimäärin kymmenen vuodessa.¹⁾ Toisaalta niinkin pohjoisessa kuin Hampurissa on todettu vanhusten ja lasten kuolleen helleaaltojen seurauksena.

Tanskan hallituksen selonteossa oletettiin, että lämpötilan kohoamisen myötä uusia tarttuvia tauteja leviäisi Tanskaan. Tällä hetkellä Tanskan eteläreunassa elää hyönteinen, joka kantaa malarian aiheuttavaa loiseläintä. Tämän hyönteisen - kuten monien muidenkin taudinkantajien - levinneisyyttä rajoittaa lähinnä lämpötila. Lisääntyvä sairastelu voi johtaa sairauspäivien kasvuun sekä ennenaikaisiin kuolemiin.

1) Helsingissä hellepäiviä oli keskimäärin 11,5 ja Oulussa 8 vuosina 1980-1990.
Lähde: Raino Heino, Ilmatieteen laitos.

Pönkä (1990) on selvittänyt ilman epäpuhtauksien ja säättekijöiden vaikutusta astmasairastuvuuteen Helsingissä. Tutkimuksessa havaittiin, että lämpötilan lasku lisää astmatapauksia. Kylmien säiden vähentyminen vähentäisi siten myös astmapotilaiden sairaalassakäyntejä. Kylmyys vaikuttaa myös muita hengitystieinfektioita lisäävästi (Pönkä, 1991). Tässä mielessä ilmastonmuutoksesta olisi hyötyä, koska lämpötilan nousun seurauksena hengitystieinfektiot vähenisivät.

Ihmisten hengitystieinfektioihin sairastuvuuden muuttumisen taloudellisia vaikutuksia voidaan arvioida työstä poissaolon yhteiskunnallisten kustannusten avulla. Ennenaikaisia kuolemia ei oteta tässä huomioon.

Tielaitos (1992a) arvioi, että hengitystieinfektioiden vuoksi töistä poissa olleiden yhteiskunnalliset kustannukset olivat vuonna 1989 noin 180 milj. mk. 20 %:n muutos sairastuvuudessa merkitsisi noin 36 milj. mk kustannuksia tai kustannussäästöjä. Käytetään 36 milj. mk kustannussäästöä optimistisenä ja samansuuruisista lisäkustannuksista pessimistisenä arviona.

5.8.2. Ultravioletisäteilyn terveysvaikutukset

Ihosityöpään sairastui Suomessa vuonna 1987 noin 400 henkeä (melanooma ja muut ihosityövät). Siihen kuoli noin 150 henkeä (Tilastokeskus, 1989). Ihosityöpöpotilaiden määrän uskotaan kasvavan lisääntyneen auringonoton vuoksi yli kolminkertaiseksi, 1 285 tapaukseen vuosina 2004-2008 (Wahlström ym., 1992). Ruskettuneisuuden arvostuksen vähenemisellä ja käyttäytymisen muutoksella ihosityövän levinneisyyttä voitaisiin rajoittaa tehokkaasti.

Ihosityövän on arvioitu lisääntyvän 0,6-4,6 %, jos ilmakehän otsonikerros ohenee prosentin verran. Otsonikerroshan heikkenee mm. CFC-kaasupäästöjen seurauksena, jotka myös voimistavat kasvihuoneilmiötä. Tämän vuoksi asiaa tarkastellaan ilmastonmuutoksen yhteydessä (IPCC, 1990b). CFC-kaasujen elinikä ilmakehässä on 60-130 vuotta. CFC-päästöjä aiheutuu kaasujen tuotannon lisäksi eri tuotteisiin (esim. jääkaapit ja eristeet) sidottujen kaasujen vähittäisestä purkautumisesta ilmakehään (Cline, 1991b).

Oletetaan, että UV-säteily kasvaa pysyvästi 20 % Suomen yllä.¹⁾ Oletetaan ihosyöpätapauksien lisääntyvän 40 % vuodesta 1987. Vuosittain uusia tapauksia todettaisiin tällöin 160 lisää.

Ihosyöivistä melanoomaa on tutkittu jonkin verran. Suomen aineiston mukaan henkiinjäämisprosentti on 10 vuodessa miehillä 52 % ja naisilla 59 %, jos tauti on todettu sen alkuvaiheessa. Melanooman aiheuttaman kuolleisuuden pienentämiseen on muita syöpätauteja paremmat mahdollisuudet sen helpon toteamisen vuoksi. Hoitoennuste synkkenee huomattavasti taudin toteamisajankohdan mukaan (Pakkanen, 1977). Oletetaan, että 50 % tapauksista jää henkiin ja paranee viidessä vuodessa.

Ihosyöpää hoidetaan lähinnä leikkauksilla ja sädehoidolla. Oletetaan, että uusien ihosyöpätapausten osuus kaikista uusista syöpätapauksista kuvaa ihosyövän osuutta syöpäpotilaiden hoitokustannuksista (avohoito ja vuodeosastolla hoito).

Lasketaan, että ihosyöpäpotilaat saavat hoitoa 5 vuoden ajan. Tänä aikana elossa olevien määrä puolittuu. Näin laskettuna hengissä olevia ihosyöpäpotilaita on 1 500 kpl.

Ihosyöpäpotilas saa tehtyjen oletusten mukaan avohoitoa keskimäärin 1,6 kertaa vuodessa ja on keskimäärin 2 päivää vuodeosastolla. Näillä oletuksilla ja Suomen sairaalaliiton kustannustietojen mukaan (Tielaitos, 1992a) uusien ihosyöpäpotilaiden sairaanhoitokustannuksiksi saadaan 2 milj. mk 160 uutta tapausta kohden.

Lasketaan ihosyövän muut kustannukset Tielaitoksen (1992a) keuhkosyöpää koskevien laskelmien avulla. Tielaitos arvioi, että 80 keuhkosyöpätapauksesta aiheutui muita kuin sairaalakustannuksia (lääkkeet, työstä poissaolo, eläkkeet, sairausajan palkat jne.) 12 milj. mk. Potilaiden oletettiin elävän vuoden ajan taudin toteamisesta.

160 uuden ihosyöpäpotilaan hoito 5 vuoden aikana vastaa 600 uutta potilasta

1) IPCC on arvioinut biologisesti vaikuttavan UV-säteilyn kasvavan 25 % seuraavan 60 vuoden aikana (Kanninen, 1992). Tämä vastaa 12,5 % ohentumista otsonikerroksessa (Wahlström ym., 1992).

vuodessa. Muiksi kuin sairaanhoitokustannuksiksi saadaan $600/80 * 12$ milj. mk = 90 milj. mk. Ihosyövän hoidon kokonaiskustannukset ovat siten 92 milj. mk.

Harmaakaihi on toinen sairaus, johon ultraviolettisäteilyllä on osuutta. Kaihileikkauksilla, etenkin tekomyköleikkauksilla, pystytään kuitenkin korjaamaan suuri osa harmaakaihin haitoista (Immonen ym., 1989).

Harmaakaihia hoidettiin vuonna 1989 noin 12 000 hoitojakson verran. Yhteen hoitojaksoon kuului keskimäärin 5,9 hoitopäivää (Sosiaali- ja terveyshallituksen poistotilasto, 1989). Jos yhden hoitopäivän kustannukset ovat 1000 mk päivässä, sairaanhoitokustannuksia kertyy noin 70 milj. mk vuodessa.

Otsonikerroksen 1 %:n ohentumisen on arvioitu lisäävän harmaakaihia 0,3-0,6 %. Käytetään laskelmissa arvoa 0,45 %, jolloin 10 %:n ohentuma eli 20 %:n kasvu UV-säteilyssä lisäisi harmaakaihitapauksia 4,5 %. Vuosittaiset sairaanhoitokustannukset kasvaisivat noin 3,2 milj. mk, mikä vastaisi noin 540 uutta kaihitapausta (hoitojaksoa).

Harmaakaihi on erityisesti ikääntyneiden ihmisten tauti, joten sen muut yhteiskunnalliset kustannukset eivät ole niin suuret kuin esimerkiksi ihosyövällä. Kaihileikkauksen avulla on myös mahdollista jatkaa työelämässä. Osassa tapauksista joudutaan kuitenkin antamaan jatkuvaa kotihoitoa (Immonen ym., 1989). Vuodelle 1986 laskettujen kustannusten perusteella vuotuiset kotihoidon kustannukset 540 kaihipotilaille olisivat noin 1,6 milj. mk vuoden 1990 rahassa. Harmaakaihin kustannuksiksi saadaan yhteensä noin 5 milj. mk vuodessa.

Otsonikerroksen ohentumisen terveyshaittojen hoidon arvoksi saadaan 97 milj. mk vuodessa. Tässä laskelmassa ei ole arvoitettu eliniän lyhentymistä. Käytetään 100 milj. mk keskimmäisenä, 125 milj. pessimistisenä ja 75 milj. mk optimistisenä arviona.

5.9. Vaikutukset rakentamiseen

Sää vaikuttaa rakentamiseen lähinnä talvella. Työmarkkinajärjestöt ovat sopineet ulkotöiden pakkasrajoista. Viimeisiä talvia lukuunottamatta tällaisia pakkaspäiviä on ollut talvessa noin 10-20. Pakkasrajat on sovittu niin,

että pakkasraja alittuu suunnilleen yhtä useasti eri puolilla maata. Parina viime talvena töitä ei ole juurikaan keskeytetty pakkasen vuoksi.

Kylmyys vaikuttaa myös tarvittaviin rakentamismenetelmiin. Esimerkiksi betonin jäätyminen estämiseksi sitä on talvella valettaessa lämmitettävä. Talvirakentamisen lisäkustannukset vaihtelevat kahdesta kolmeen prosenttiin rakennuskohteen kokonaiskustannuksista (Rakennushallitus, yli-insinööri Mauri Jaakkolan puhelinhaastattelu 15.4. 1992).

Maa-, vesi- ja talonrakentamiseen käytetään Suomessa vuosittain 50 - 60 mrd. markkaa "normaalisuhdanteen aikana". Talvirakentamisen kustannukset ovat siten arviolta 1 - 1,8 mrd. mk vuodessa. 2 - 4°C:n lämpötilan nousu talvisaikaan vähentäisi "pakkasvapaat" olemattomiksi. Toisaalta osaa talvirakentamisen kustannuksista ei pystytä välttämään näinkään suurella talvilämpötilan kohoamisella. Valitettavasti tätä tutkimusta tehtäessä käytössä ei ollut tarkempaa käsitystä talvirakentamisen kustannusten rakenteesta. Oletetaan, että talvirakentamisen kustannukset vähenisivät 30 % ilmaston lämmetessä 2*CO₂-arvioiden mukaisesti. Tästä seuraisi 0,3 - 0,5 mrd. markan kustannussäästöt. Keskimäärin kustannuksia säästyisi näin laskettuna 0,4 mrd. mk.

Talojen eristystasoon ennustettu ilmastonmuutos ei vaikuttane. Eristäminen on energiansäästöinvestointi, jonka kannattavuuteen vaikuttaa yhtäältä ennakoitavissa oleva energian hinnan nousu ja toisaalta lämmityskauden lyhentymisen. Näiden yhteisvaikutus lienee, että eristystaso ei maassamme juuri muutu seuraavien 50 vuoden aikana (Mauri Jaakkolan puhelinhaastattelu 25.6. 1992).

5.10. Vapaa-aika ja turismi

Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa sekä kesän että talven vapaa-ajanviettomahdollisuuksiin. Talvella lumipeite ohenee ja sen kesto lyhence voimakkaasti. Lumipeite pysyisi GISS-virtausmallin mukaan 2*CO₂-skenaarion toteutuessa Lapissa yhtä kauan (120 vrk) kuin se pysyy nykyään Lounais-Suomessa, eli lumipeitteen kesto vähenisi Lapissa 90 vrk. Etelä- ja Lounais-Suomessa lumipeitteen kesto olisi noin 30 vrk, eli eteläisin Suomi olisi lähes lumeton (Kuusisto, 1989). Tässä kohdin on muistettava, että SILMUn viimeisimmän arvion mukaan talven lämpötila nousisi vähemmän kuin

GISS ennustaa. Lähtöoletuksena voinee siten olla lumipeitteen keston lyheneminen maassamme 45 vrk:lla, eli noin kolmasosalla nykyisestä vuonna 2050.

Lumipeitteen väheneminen vähentää hiihto- ja laskettelumahdollisuuksia koko maassa, mikä vähentää talviurheiluun tottuneen sukupolven hyvinvointia. Ajan oloon tämä vaikutus kuitenkin heikkenee. Toisaalta Etelä-Suomen ja muun Euroopan asukkaat saattavat ruveta harrastamaan "lumiturismia", ts. he matkustaisivat Pohjois-Suomeen kokeakseen oikean talven. Ulkomaalaisten tulo lisäisi Suomen valuuttatuloja. Lumi saattaa olla tulevaisuudessa entistä suuremmissa määrin teollisesti tuotettu markkinahyödyke uusiutuvan luonnonvaran asemesta.

Vuonna 1990 tehdyn laskettelijaselvityksen mukaan 15-69 -vuotiaista suomalaisista noin 717 000 henkilöä harrastaa laskettelua vähintään kerran vuodessa. Suomessa tehdään noin 166 000 viikon kestäviä laskettelumatkoja (Matkailun edistämiskeskus, 1992), joiden keskimääräinen kustannus on 2 200 mk henkeä kohden (Art-Travel, 1990). Vuorokautta kohden laskettelumatkailusta syntyy noin 310 markan kustannukset. Laskettelua harrastetaan myös kotoa käsin arviolta noin 4 miljoonaa laskettelukertaa vuodessa (arvio laskettu MEKin (1990) tietojen perusteella). Arvioidaan lähialueen laskettelukustannuksiksi 100 mk kerralta. Oletetaan näiden kotoa tehtyjen käyntien jakaantuvan tasan heikkolumisen Etelä-Suomen ja runsaslumisen Pohjois-Suomen kesken.

Maastohiihtoa harrastetaan noin 150 000:lla viikon mittaisella talvilomamatkalla (Matkailunedistämiskeskus, 1992). Hiihtämistä harrastetaan kuitenkin pääasiallisesti oman kodin lähialueilla. Oletetaan kotiseudun hiihtokertoja kertyvän 12 miljoonaa talvessa. Itse hiihtäminen on huomattavasti huokeampaa kuin laskettelu, koska laduista ei yleensä joudu maksamaan käyttökorvausta. Arvioidaan maastohiihtolomailun päiväkustannuksiksi 250 mk vuorokaudessa.

Kuvataan talviloman kotimaassa vieton kysyntää seuraavalla yhtälöllä:

$$D = pL_e * L_e + pL_p * L_p + pH_e * H_e + pH_p * H_p, \text{ jossa}$$

L_e = laskettelupäivät Etelä-Suomessa kotoa käsin, lukumäärä 2 milj./v

L_p = laskettelupäivät Pohjois-Suomessa lomamatkan yhteydessä

H_e = hiihtopäivät Etelä-Suomessa kotoa käsin, lukumäärä 6 milj./v

H_p = hiihtopäivät Pohjois-Suomessa lomamatkan yhteydessä

pL_e = L_e :n hinta = 100 mk/päivä

pL_p = 310 mk/päivä

pH_e = 0 mk/päivä

pH_p = 250 mk/päivä.

Oletetaan, että laskettelu ja hiihto eivät ole toisilleen täydellisiä substituutteja käytetyillä hintaoletuksilla. Kotoa käsin harrastaminen oletetaan kuitenkin lomamatkailun yhteydessä harrastamisen substituutiksi.

Oletetaan seuraavaksi, että kolmasosa Etelä-Suomen laskettelu- ja hiihtokäynneistä tulee mahdottomaksi ilmastonmuutoksen vuoksi.

Näiden vaihtoehdoksi jää harrastuksen harjoittaminen Pohjois-Suomessa. Oletetaan vielä, että Pohjois-Suomen päiväkustannukset kuvaavat alinta hintaa, jolla kotiseudulla harrastamisen kysyntä on nolla. Tällöin Etelä-Suomen hiihto- ja laskettelukauden lyhentymisestä saaduksi hyödyn menetykseksi saadaan seuraavat arviot:

laskettelu: $(pL_p - pL_e)L_e * 1/2 * 1/3 = 70$ milj. mk/v

hiihto: $(pH_p - pH_e)H_e * 1/2 * 1/3 = 250$ milj. mk/v

yhteensä 320 milj. mk/v

(kerroin 1/2 tulee siitä, että hinnan kohotessa kysyntä alence asteittain).

Käytetään optimistisenä, keskimmäisenä ja pessimistisenä arviona vastavasti 300 milj. mk:aa, 320 milj. mk:aa ja 340 milj. mk:aa.

Kesälämpötilan nousun voisi kuvitella vähentävän suomalaisten kiinnostusta etelänmatkoihin, ainakin jos niiden pontimena on vain lämmin ympäristö. Lisäksi Keski-Euroopan hiihtokeskuksien kilpailukykyisyys heikkenee lumisuuden vähentyessä. Toisaalta talven lisääntyvä loskaisuus saattaa siirtää etelänmatkat talvikaudelle.

Vuosina 1985-1990 suomalaiset käyttivät kulutusmenoihin ulkomailla keskimäärin 8 620 milj. mk vuodessa ja ulkomaalaisten kulutusmenot Suo-

nessa olivat keskimäärin 4 270 milj. mk vuoden 1990 rahassa (Tilastokeskus, 1991b).

Ilmastonmuutoksella on vaikutuksia myös matkailutaseeseen: ulkomaalaiset saattavat tulla enenevässä määrin talvisin ja kesäisinkin leppeän kesäkauden pidentyessä. Oletetaan pessimistisessä tapauksessa, että ulkomaalaisten kulutusmenot maassamme pysyvät ennallaan ja että muut kuin hiihtäjät ja laskettelijat lisäävät kotitalouksien kulutusmenoja ulkomailla 5 %. Matkailutaseemme heikkenisi 430 milj. mk.

Positiivinen oletus olkoon, että ulkomaalaisten kulutusmenot Suomessa kasvavat 10 % suomalaisten kuluttaessa ulkomailla yhtä paljon kuin ennenkin. Hyötyä kertyisi 430 milj. mk vuodessa. Keskimäinen arvio olkoon matkailutaseen pysyminen ennallaan.

Laskemalla yhteen edellä mainitut luvut vapaa-ajan ja turismin vaikutusarvioiksi saadaan optimistisessä tapauksessa +130 milj. mk, keskimmäisessä tapauksessa -320 milj. mk ja pessimistisessä -770 milj. mk.

5.11. Viihtyvyyden muutokset

Lisääkö ilmastonmuutos suomalaisen arkielämän viihtyvyyttä? Moni meistä on manaillut kylmiä ja sateisia kesäpäiviä. Ilmastonmuutoksen myötä on mahdollista, että kesät lämpenevät ja muuttuvat ehkä jopa vähäsateisemmiksi. Toisaalta talvista uhkaa muodostua pitkiä pimeän ja loskan kausia. Myös näille vaikutuksille on tämän tutkimuksen puitteissa vaikea edes arvailla taloudellista merkitystä.

Nordhaus (1991b) ei myöskään esittänyt raha-arvoista vaikutusta viihtyvyydestä, mutta hän arveli, että viihtyvyyshyödyt olisivat suuret Yhdysvalloissa. Ayres ja Walter (1991) puolestaan arvelivat, että rakennetun ympäristön kasviston hyvinvointi on ensiarvoisen tärkeää ihmisille. Niinpä he näkivät ilmastonmuutoksen sisältävän suuria potentiaalisia viihtyvyyshaittoja.

Ilmastonmuutoksen myötä Suomessa kasvaisi entistä useampi eksoottinen kasvilaji. Ayresin ja Walterin ajatuksia seuraamalla päädyttäisiin tältä osin potentiaaliin hyötyihin, koska suurin osa taajama-alueen puustosta on leh-

tipuita, joita ilmastonmuutos suosii. Rahamääräisten arvioiden tekemiseen ei kuitenkaan ole riittävästi tietoa.

5.12. Jää- ja lumipeitteen vähenemisen vaikutukset liikenteeseen

Suomen talvi aiheuttaa kustannuksia liikenteelle monella tavoin. Meriliikenteessä tarvitaan jäänmurtajia reittien avoinna pitämiseen, maanteitä on suolattava ja aurattava, jotta autot pääsevät liikkumaan turvallisesti.

Itämeri jäätyy joka vuosi osittain. Sen 405 000 km²:n pinta-alasta jäätyy keskimäärin runsaat puolet. Jääpinta-alan vaihtelu on kuitenkin ollut suurta. Esimerkiksi talvella 1987 Itämeri jäättyi lähes kokonaan, kun vuonna 1988/1989 vain runsaat 50 000 km² oli jään peitossa (Alenius, 1989).

Jääpeitteen laajuus riippuu voimakkaasti lämpötilasta. 2°C:n lämpötilan nousu vähentäisi jääpeitettä keskimäärin 30 % ja 4°C:n noin 50 %. Jääpeitteen suuren vaihtelun vuoksi myös keskilämpötilan noustessa esiintyy talvia, jolloin tarvitaan jäänmurtajia (Alenius, 1989). On arvioitu, että talven keskilämpötilan pitää nousta noin 10°C, jotta Itämeri ei jäätyisi lainkaan (Kanninen, 1992).

Vuoden 1992 budjettiesitykseen sisältyi yhden Karhu-luokan jäänmurtajan tilauspäättös. Jäänmurtajan hankinta rahoitusmenoineen maksaa noin 580 milj. mk. Vuotuisia investointikustannuksia siitä kertyy noin 20 milj. mk. Tällä hetkellä talvimerenkulkua ylläpidetään 9 jäänmurtajan voimin. Vuoden 1992 toimintamenoiksi arvioidaan budjettiesityksessä noin 710 milj. mk.

Oletetaan, että tulevaisuudessa tarvittavien jäänmurtajien määrä laskee kolmanneksen nykyisestä määrästä. Jäänmurtajakanta olisi tuolloin 6 alusta. Oletetaan, että kaikki merenkulun kustannukset laskevat samassa suhteessa. Kustannussäästöjä kertyisi noin 240 milj. mk vuodessa.

Ilmastonmuutos vaikuttaa yksittäisiin toimenpiteisiin eri tavoin. Liukkaiden keliä torjuntaa tarvitaan eniten, kun lämpötila vaihtelee 0°C:n molemmin puolin. Oletetaan suolauksen ja hiekoituksen tarpeen lisääntyvän 20 %.

Lumenpoisto kuorma-autolla vähenisi selvästi. Tielaitoksen mukaan lumenpoisto tiehöylällä tuskin muuttuisi paljon, koska tiehöylällä pyritään lähinnä tasoittamaan tien pintaa. GISS-mallin mukaisten tulosten mukaan lumisateen määrä putoaisi koko maan tasolla noin puoleen (Kuusisto, 1989). Oletetaan, että tiehöyläyksen kustannukset eivät laske ja lumenpoisto kuorma-autolla vähenee puoleen. Muiden kustannusten oletetaan pysyvän ennallaan. Talvikunnossapidon kustannukset alenisivat näiden oletusten mukaan 25 milj. mk vuodessa.

Tielaitos käytti vuosina 1988-1990 keskimäärin 360 milj. mk teiden talvikunnossapitoon. Summa jakaantui seuraavasti:

	milj.mk
Suolaus	54
Hiekoitus	66
Lumenpoisto	
- kuorma-autolla	98
- tiehöylällä	48
Muut	94
Yhteensä	360

Lähde: Kullervo Havun (Tielaitos) puhelinhaastattelu.

Liikenteen kustannussäästöiksi saadaan yllä olevien laskelmien mukaan 265 milj. mk. Tätä voitaneen pitää keskimääräisenä arviona. Pessimistinen arvio voisi olla 230 milj. mk ja optimistinen 300 milj. mk vuodessa.

5.13. Ilmansaasteiden haitat

Energian kulutus ja fossiilisten polttoaineiden käyttö on yksi tärkeimpiä kasvihuonekaasujen lähteitä. Energian kulutuksella on toisaalta myös muita ympäristövaikutuksia, jotka voidaan ottaa huomioon analyysissä kasvihuonekaasupäästöjen liitännäishaittoina. Esimerkiksi hiilivety- (HC) ja tyypin oksidipäästöt (NO_x) reagoivat ilman hapen kanssa muodostaen haitallista alailmakehän otsonia (O₃), jolla on merkittäviä terveysvaikutuksia. Polttoaineiden käytöstä syntyvät hiilivety-yhdisteet ovat myös haitallisia terveydelle. Rikkidioksidi- (SO₂) ja tyypin oksidipäästöt aiheuttavat happamia sateita ja maaperän happamoitumista, mistä on monilla tavoin haittaa.

Norjassa yleisen tasapainon mallin avulla tehdyssä simuloinnissa havaittiin, että polttoaineiden lisääntyvästä verotuksesta aiheutuneista taloudellisista kustannuksista 2/3 korvautuisi muilla kuin kasvihuoneilmiön välttämiseksi saaduilla ympäristöhyödyillä.

Näitä hyötyjä olivat mm. metsien ja järvien kunnon parantuminen, terveysvaikutukset, korroosion vähentyminen, liikenneonnettomuuksien vähentyminen, liikenneonnettomuuksien vähentyminen sekä tiestön kulumisen ja melun vähentyminen (Glomsrød - Vennemo - Johnsen, 1990). Näin vain 1/3 polttoaineiden kustannuksista jäi kasvihuoneilmiön välttämisen hyötyjen korvattavaksi. Itse kasvihuoneilmiön taloudellisia vaikutuksia tutkimuksessa ei arvioitu.

Tielaitos on selvittänyt tieliikenteen päästöjen haittojen kustannuksia alustavassa tutkimuksessa. Tutkimus koski rikin ja typen oksidien, hiilimonoksidin, hiilivetyjen sekä hiukkasten kustannuksia. Liikenteen kokonaishaittoiksi saatiin 1,2 mrd. mk vuodessa.

Tutkimuksessa selvitettiin myös ilmansaasteiden kokonaismäärien kustannukset. Ilmansaasteiden muut kuin ilmastomuutostaloudelliset olivat vuonna 1988 Tielaitoksen mukaan taulukon 19 mukaiset.

Taulukko 19. Ilmansaasteiden haittavaikutukset vuonna 1988.

Vahinkoalue	milj. mk
Materiaalivahingot (SO ₂ , NO _x)	340
Likaantuminen (hiukkaset)	550
Terveysvaikutukset	
- keuhkosityöpä (NO _x , HC, hiukkaset)	50
- muut hengityselinsairaudet ja infektiot (SO ₂), NO _x , HC, O ₃ , hiukkaset)	550
Metsien tuoton vähentyminen (SO ₂ , NO _x , HC, O ₃ , hiukkaset)	3840
Kasvinviljelyn hävikki (SO ₂ , NO _x , HC, O ₃ , hiukkaset)	2500
Yhteensä	7830

Lähde: Tielaitos (1992b)

Tutkimuksessa korostettiin, että lukujen oikeellisuudesta vallitsee suuri epävarmuus. Esimerkiksi metsien ja kasvinviljelyn tuotannonmenetykset vaikuttavat suurilta.

Metsävauriot perustuvat IIASA:n laskelmiin, jonka mukaan rikkidioksidi- ja typen oksidien päästöt aiheuttivat noin 2 470 milj. markan vahingot Suomessa vuonna 1987. Tielaitos puolestaan arvioi mainittujen päästöjen aiheuttavan 70 % kaikista ilmansaasteiden metsävahingoista (Tielaitos, 1992b).

Maatalouden satotappioarvio perustuu ruotsalaiseen tutkimukseen, jonka mukaan otsoni aiheuttaa Ruotsissa 2,5 - 20 %:n sadon vähentymisen lajista riippuen. Otsonin Suomessa aiheuttamiksi vahingoiksi Tielaitos laski 1 250 milj. mk. Otsonin lisääntymisen arvioitiin aiheuttavan 50 % kaikista ilmansaasteista johtuvista satotappioista (Tielaitos, 1992b).

Kasvihuonekaasujen päästöjen vähentäminen vaikuttaisi myös näihin haittoihin, etenkin jos keinona käytetään energian säästämistä. Ilmansaasteiden päästöjen rajoittamisen yhteiskunnalliseen kannattavuuteen myös Suomessa. Jos päästöt toisaalta kasvavat, siitä seuraa helposti miljardien lisävahingot. Tällä hetkellä ilmansaasteiden annos-vaikutusanalyysi on puutteellista, minkä vuoksi tarkkoja arvioita vahinkojen muutosherkyydestä päästöjen suhteen ei ole tehty.

Lasketaan Suomen päästöjen keskimääräinen haittakustannus tonnia kohden (oletuksena tasaisesti kasvava haitta, jolloin rajahaitta on yhtä suuri kuin keskimääräinen haitta):

	mk/tonni
SO ₂	2 700
NO _x	2 200
HC	1 300
Hiukkaset	3 100

Huom. Otsonin haittakustannukset on jaettu typen oksidien ja hiilivetyjen kesken tasan, koska otsonia muodostuu näistä päästöistä. Ilmansaasteiden

kokonaiskustannuksista on otettu huomioon osuus, joka vastaa kunkin päästön osuutta laskeumasta maassamme (Lähde: Tielaitos (1992b)).

Ktm on arvioinut perusskenaariossaan, että primäärienergian kulutus kasvaa voimakkaasti. CO₂-päästöt kasvavat ktm:n mukaan 65%, rikkidioksidipäästöt 8 % ja typen oksidien päästöt laskisivat 23 % vuodesta 1990 vuoteen 2025 mennessä (Ktm, 1990). Tielaitoksen ja ktm:n materiaalin avulla voidaan arvioida päästömäärien kehitys kotimaisista lähteistä referenssiskenaarion mukaan. Vahinkoarviossa on käytetty seuraavia muutosoletuksia: NO_x -23%, SO₂ +8%, HC -3%, O₃ -13% ja hiukkaset +30%. Hiukkasleijuman määrä riippuu olennaisesti liikennemääristä, ei niinkään päästömääristä (Tielaitos, 1992b).

Tielaitos (1992b) on arvioinut kunkin vahingon osalta eri päästöjen suhteelliset osuudet vahingoista. Näitä suhdelukuja ja kunkin ilmansaasteen kehityssennusteen avulla saadaan tulokseksi, että ilmansaasteiden vahingot pienenisivät 20 milj. mk. Tätä arviota voinee kuitenkin pitää sangen optimistisena, koska se ei ota huomioon saasteiden kaukokulkeumia. Kaukokulkeuma on ongelma ainakin rikkidioksidin, typen oksidien sekä otsonin osalta.

Päästöjen kehitys riippuu olennaisesti naapurimaidemme toimenpiteistä. Suomi on tosin pyrkinyt lisäämään yhteistyötään lähialueitten maiden kanssa mm. myöntämällä varoja ympäristönsuojeluinvestointeihin. Vuodeksi 1992 Suomen valtio on varannut 67 milj. mk tähän tarkoitukseen (Kaitala - Pohjola, 1992).

Päästömäärien kasvun estäminen voi osoittautua vaikeaksi. Erityisesti Itä-Euroopan maissa on suuri taloudellisen kasvun tarve. Vuosina 1979-1984 maamme rikkidioksidin laskeumasta yli 30 % oli lähtöisin Itä-Euroopasta ja noin 38 % oli lähtöisin Länsi-Euroopasta Suomi mukaan luettuna. Loppuosa oli määrittelemättömästä lähteestä (Kauppi ym., 1987).

IPCC:n (1992) mukaan maailman typpioksiduulin (N₂O) päästöt kasvavat 16-26 % vuoteen 2030 mennessä. Rikkidioksidipäästöt kasvavat vastaavasti 17-66 %.

Oletetaan, että puolet Suomen laskeumasta kehittyy kuten Suomen omat päästöt. Laskeuman toisesta puoliskosta oletetaan, että typen oksidien pääs-

töt kasvavat 30 % ja rikkidioksidin 70 %. Oletetaan hiukkas- ja hiilivetyypäästöjen riippuvan vain Suomen päästöistä. Otsonin määrän oletetaan riippuvan hiilivetyjen ja typen oksidien määrästä. Laskeumat muuttuvat vuoteen 1988 verrattuna seuraavasti: NO_x +3%, SO₂ +39%, HC -3%, O₃ +9% ja hiukkaset +30%. Ilmansaasteiden vahingot kasvaisivat 1 700 milj. mk vuoteen 1988 verrattuna.

Ei kuitenkaan lasketa tätä summaa ilmastonmuutoksen haitaksi, koska päästömäärien kehitys on erkanemassa polttoaineiden kulutuksesta paranevan puhdistustekniikan ansiosta. Verrataan sen sijaan jatkossa eri päästöjen tonnihaittaa edempänä laskettavaan hiilidioksiditonin haittaan.

5.14. Kansainvälisten vaikutusten arviointi

Vuonna 1991 Suomen päävientialue oli EY noin 50 %:n osuudella. Noin viidennes viennistä meni Euroopan ulkopuolisiin maihin (ETLA, Suhdanne 1/92). Tulevaisuudessa EY:n osuus kasvanee entisestään. 2000-luvulla Suomi lienee EY:n jäsen. 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" jäsenmaille, jotka joutuvat ilmaston muutoksen vuoksi vaikeuksiin. Eteläisen Euroopan maat joutunevat myös ottamaan tulevaisuudessa pohjoisesta Afrikasta vyöryvät pakolaismassat vastaan (Pearce, 1992). Lisääntyykö Suomeen suuntautuva siirtolaisuus vai avustammeko muita maita rahallisesti ja tarvikeapuna?

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

Cline arvioi, että siirtolaisuus Latinalaisesta Amerikasta Yhdysvaltoihin lisääntyisi 100 000:lla nykyisestä 800 000:sta vuodessa ilmastonmuutoksesta aiheutuvien ympäristöongelmien vuoksi tulevaisuudessa. Se lisäksi USA:n osavaltioiden ja kuntien infrastruktuurikustannuksia 4 500 USD:lla pakolaista kohden. Näin Clinen arvioksi muodostui 450 milj. USD:n, eli noin 2 mrd markan lisäkustannus USA:lle.

Ayres ja Walter (1991) arvioivat, että pakolaisten vastaanottaminen ja hoitaminen maksaa kehitysmaissa noin 1 000 USD pakolaista kohden vuodessa. 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 vastaanottokustannukset (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. Tämän vuoksi pakolaista kohden lasketut kustannukset säilyisivät lähes ennallaan, vaikka määrät kasvaisivatkin.

Pitkällä aikavälillä siirtolaisuus ei välttämättä ole haitaksi yhteiskunnalle. Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan koulutetun maahanmuuttajan yhteiskunnallinen kustannus ennen työelämään siirtymistä on huomattavasti pienempi kuin mitä maassa syntyneiden lapsien kouluttaminen maksaa.

Pakolaisuuden kustannusarvioiden on perustuttava karkeisiin oletuksiin. Oletetaan, että ilmastonmuutoksen seurauksena 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. 18 kuukautta pidempään maassa viiptyvät voitaneen jo rinnastaa tavallisiin kansalaisiin. Optimistisena arviona voinee pitää puolta tästä ja pessimistisenä kaksinkertaista lukua.

Kansainvälisen yhteisön ongelmat heijastuvat Suomeen monella eri tavoin. Esimerkiksi yleinen poliittinen rauhattomuus hankaloittaisi kansainvälistä kauppaa.

5.15. Yhteenveto kustannuksista ja hyödyistä

Taulukossa 20 on vaikutusaloittain koottuna edellisten alalukujen laskelmien tulokset.

Pakolaisuuden vaikutus laskelman lopputulokseen on merkittävä. Pessimistinenkin laskelma kääntyisi positiiviseksi ilman sitä. Laskelmien paras arvaus on joka tapauksessa lievästi positiivinen.

Mahdolliset EY:n sisäiset kustannukset eivät ole taulukossa mukana. Kansainvälisen tason kustannuksia taulukossa on mukana vain uusien lääkkeiden menetyksestä aiheutuva haitta sekä lisääntyvä pakolaisuus.

Haittaverokeskustelua varten tulisi tietää, kuinka suuria taloudelliset vaikutukset ovat ilmaan päästettyä hiilidioksiditonnia kohden. Nordhaus on esittänyt mallin, miten kasvihuonekaasujen taloudelliset vaikutukset lasketaan CO₂-ekvivalentitonnia kohden. Käytän hänen malliaan hieman muunneltuna.

Taulukko 20. 2*CO₂-ilmastonmuutoksen vuotuiset taloudelliset vaikutukset vuoden 1990 rahassa, milj. mk.

Vaikutusalue tai toimiala	Pessimistinen arvio	Keskimmäinen arvio	Optimistinen arvio
Maatalous			
- tuotanto	+ 1070	+1915	+3035
- tuholaisien torjunta	-400	-250	-100
Metsätalous			
- tuotanto	+2500	+4000	+5500
- myrsky- ja tuholaisvauriot	-300	-120	0
Kalastus	-	+ -	+
Luonnon monimuotoisuus	-165	-65	-35
Merenpinnan nousu	-70	-35	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	-4800	-2400	-1200
Yhteensä	-2055	+3945	+8890
Osuus vuoden 1990 bkt:sta, %	-0.45	+0.86	+1.94

Nordhausin malli ja CO₂:n hinta

Nordhausin mallissa talouden oletetaan olevan resurssien käytön suhteen vakaassa tilassa, eli kaikki materiaali- ja palvelusvirrat ovat vakioituneet. Päästöjen oletetaan kasvavan pysyvästi.

Jotta pysyväksi oletettu päästöjen muutoksen hyvinvointivaikutus voidaan muuttaa markoiksi ekvivalenttista CO₂-tonnia kohden, tarvitaan diskonttaustekijää, jolla hyvinvointivaikutus kerrotaan. Nordhausin johdama (1990a) diskonttaustekijä Γ on seuraavaa muotoa:

$$\Gamma = \alpha / [(r-h+\delta)(r-h+\alpha)], \text{ jossa}$$

r = yhteiskunnallisten investointien reaalikorko

h = per capita -tulotason kasvuvauhti

δ = 0,005 = kasvihuonekaasujen häviämisen nopeus ilmakehästä 0,5 % vuodessa

α = 0,02 = lämpötilan nousun aikaviive 2 % vuodessa, eli 50 vuodessa 63 % lämpötilan noususta on tapahtunut.

Laskelman varsinainen diskonttokorko muodostuu reaalisesta korkokannasta ja tulotason kasvunopeuden erotuksesta $r-h$. Vaikka erotus olisi nolla, diskonttaustekijä ei kasva äärettömän suureksi, koska kasvihuonekaasut häviävät ilmakehästä vähitellen. Γ voidaan tulkita niiden vuosien diskonttatuksi lukumääräksi, joiden taloudelliset vaikutukset otetaan huomioon laskelmissa. Diskonttotekijäksi muodostuu siten seuraavat luvut:

Diskonttokorko $r-h$	Diskonttotekijä Γ
0 %	200.0
1 %	44.4
2 %	20.0
4 %	7.4

Lähde: Nordhaus, 1991b.

CO₂-ekvivalenttitonniin haitta hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistamisessa lasketaan yksinkertaistettuna seuraavasta kaavasta:

CO₂-tonnin haitta = 2*CO₂:n haitta-arvio * Γ / 2*CO₂:n aiheuttavat päästöt.

Ilmastonmuutoksen aiheuttavien päästöjen kokonaismäärää voi approksimoida laskemalla, kuinka paljon yhden vuoden päästöt kasvattavat ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuutta suhteessa esiteollisen ajan pitoisuuteen. Viime vuosina hiilidioksidipitoisuus on noussut 1,8 ppm vuodessa. Muiden kaasujen säteilypakotteen kasvu vastaa noin 0,59 ppm hiilidioksidia vuodessa. Täten voidaan arvioida, että ekvivalenttipäästöt ovat kasvaneet 2,39 ppm vuodessa. Esiteollisena aikana pitoisuus oli noin 280 ppm, joten sen prosentuaalinen kasvu on tähän verrattuna noin 0,85 % vuodessa. Sijoitetaan tämä suhdeluku osoittajaan ja Suomen yhden vuoden päästöt nimittäjään. Tällä tavoin voidaan laskea taloudellisia vaikutuksia päästötonnille Suomessa.

Kaikkien kasvihuonekaasujen päästöt olivat Suomessa vuonna 1988 noin 81 milj. tonnia hiilidioksidiksi muunnettuna. Käytetään tätä päästölukua seuraavissa laskelmissa.

Nordhausin menetelmiä hyväksi käyttämällä saadaan arvio CO₂-tonnin rajahaitalle, eli vahinkojen lisäykselle, kun päästöt kasvavat yhden tonnin (oletuksena rajahaitan ja keskimääräisen haitan yhtäsuuruus). Seuraavista taulukoista 21 ja 22 nähdään, että tulokset ovat erittäin riippuvia tehdyistä oletuksista ja valitusta diskonttokorosta.

Taulukko 21. 2*CO₂-ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset CO₂-tonnia kohden.

Diskonttokorko $r-h$	Vaikutus mk/tCO ₂ , 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

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

Ulkomaisten laskelmien perusteella ilmastonmuutoksen haittoiksi voi olettaa 0,25 - 6,0 % maailman kokonaistuotannosta (gross world product, GWP). Sovelletaan näitä vahinkoarvoja Nordhausin kehikkoon. Maailman kokonaistuotanto oli vuonna 1990 noin 20 000 mrd USD. Vaihtokurssina käytetään 4,5 FIM/USD. Maailman kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ovat noin 29 mrd tCO₂ vuodessa (Nordhaus, 1990b). Oletetaan, että maailmassa suostutaan jakamaan kasvihuonekaasujen haittakustannukset valtioiden kesken päästömäärien mukaan. Silloin kasvihuoneilmiön haittoille tarvitsisi laskea vain yksi, globaali haittakustannus.

Tutkitaan, kuinka suureksi CO₂-tonnin haitat muodostuisivat 1/4, 1, 2 ja 6 %:n suuruisen haitan tapauksissa. 6 % maailman kokonaistuotannosta on Cline'n pitkän aikavälin arvion mukainen USA:n kustannusarvio maailman tasolle laskettuna. Tulokset ilmenevät taulukosta 22.

Taulukkoon 22 on laskettu myös Suomen osuus globaaleista kustannuksista. Esimerkiksi jos globaalit vahingot ovat 0,25 % 1990 kokonaistuotannosta, Suomen nykyisten päästömäärien mukainen osuus - noin 0,32 % - kustannuksista olisi 720 milj. mk vuodessa.

Taulukko 22. Ilmastonmuutoksen taloudelliset haitat CO₂-tonnia kohden kansainvälisestä näkökulmasta katsottuna.

Diskontto- korko	HAITTA mk/tCO ₂ , kun vahinkoarvio on (suluissa Suomen osuus kokonaiskustannuksista)			
	0.25 % GWP (720 milj.mk)	1 % GWP (2880 milj.mk)	2 % GWP (5760 milj.mk)	6 % GWP (17280 milj.mk)
r-h				
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

Pitkän aikavälin kustannuksiksi saadaan 0 % diskonttokorolla noin 360 mk/tCO₂, mikä on selvästi muita arvioita enemmän. Verrattaessa luvussa 5.13 laskettuihin muiden ilmansaasteiden rajahaittoihin huomataan, että hiilidioksidin rajahaitta on sangen pieni. Koska muut haitat realisoituvat lyhyemmällä aikavälillä, näiden päästöjen rajoittaminen on lyhyellä aikavälillä tärkeämpää. Toisaalta rikkidioksidi ja typen oksidit ovatkin jo kansainvälisten sopimusten säätlemiä (ks. luku 6.3).

Mekaanisesti laskien kansallisessa laskelmassa saatu pessimistinen arvio vastaa noin 0,7 %:n (= [2 055/2 880]*1 %) globaalisia haittoja.

Edellisten laskelmien perusteella suuri osa tulevaisuudessa mahdollisesti kerättävästä hiilidioksidiverosta voidaan ymmärtää eräänlaiseksi solidaarisuudeksi muita maita kohtaan tai fiskaaliseksi toimeksi.

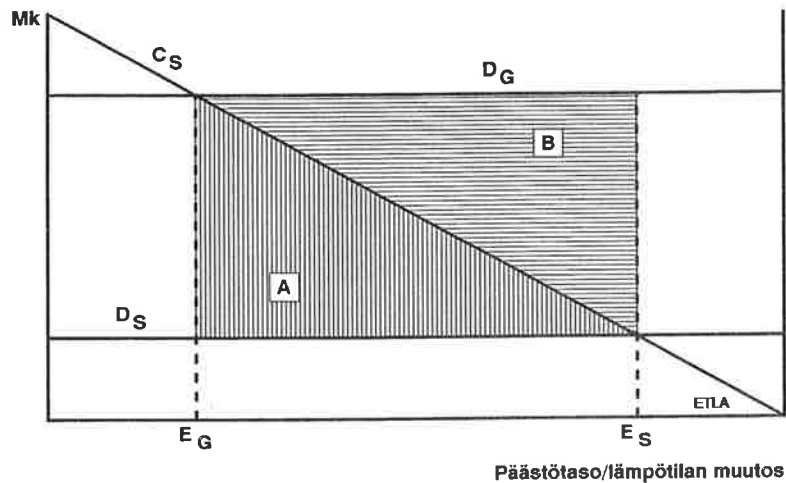
Lämpötilan noustessa yli nykyisten 2*CO₂-ennusteiden luonnonkatastrofien todennäköisyys kasvaisi yhä suuremmaksi sekä kotimaassa että ulkomailla. Suomelle olisi edullisinta, että ilmastonmuutosta saataisiin hidastettua olennaisesti ja lopulta pysäytettyä.

Edellä laskettu CO₂-tonnin rajahaitan arvio ei sellaisenaan kelpaa päästöjen rajoittamisen hyödyn eli vältettävissä olevan haitan arvioksi. Olennaista on, kuinka suuri osuus kasvihuoneilmiön kustannuksista on vältettävissä. Tähän vaikuttaa ensinnäkin ilmaston lämpenemisen dynamiikka ja toiseksi kasvihuonekaasuja tuottavan kulutuksen vähennysmahdollisuudet.

Cline'n mukaan 2*CO₂-skenaario voi edustaa pitkän aikavälin tasapainoa, jos rajoitaviin toimenpiteisiin ryhdytään välittömästi. 50 vuoden aikavälillä vain noin 25 % ilmastonmuutoksen aiheuttavan säteilyvoimakkuuden kasvusta on vältettävissä, koska menneisyyden päästöjen vaikutus ulottuu pitkälle tulevaisuuteen eikä kasvihuonekaasujen päästöjä voida vähentää nopesti (Cline, 1991a). IPCC:n laskelmien mukaan CO₂-päästöjen rajoittaminen nykyiselle ja niiden vähentäminen 2 % vuosittain 2005 alkaen nostaisi hiilidioksidin pitoisuutta joka tapauksessa 25 % nykyistä suuremmaksi vuoteen 2060 mennessä. Jos muiden kasvihuonekaasujen päästöjä ei rajoitettaisi, ekvivalentti hiilidioksidipitoisuus kasvaisi suunnilleen 2*CO₂-skenaarion mukaiseksi.

50 vuoden aikavälillä Suomella ei siten näyttäisi olevan paljonkaan omakoh-
taista painetta ryhtyä verottamaan päästöjä ankarasti. Pessimistisen arvio-
mukaan 0 %:n diskonttokorolla laskettuna päästöjen rajoittamisen rajahyöty
on vain 11 mk/t CO₂. Ilman kansainvälisiä sopimuksia Suomi tuskin ryhtyy
rajoittamaan päästöjä. Kansainvälistä neuvotteluasetelmaa havainnollistaa
kuvio 3.

**Kuvio 3. Optimipäästöt ilman kansainvälistä yhteistyötä
ja yhteistyön vallitessa**



Symbolien selitykset:

D_S = Päästöjen rajoittamisen rajahyöty maassa S

D_G = Päästöjen rajoittamisen globaali rajahyöty

C_S = Päästöjen rajoittamisen rajakustannus maassa S

E_S = Optimipäästöt maassa S ilman kansainvälistä yhteistyötä

E_G = Optimipäästöt kansainvälisen yhteistyön vallitessa.

Alue A kuvaa sitä haittaa, joka maalle S aiheutuu suostumisesta päästöjen rajoittamiseen enemmän kuin mikä olisi sen kannalta optimaalista. Muu maailma hyötyy alueiden A ja B summan verran. Maa S suostuu yhteistyöhön, jos sille korvataan haitta A tai sitä uhataan A:a suuremmalla haitalla,

esim. kauppasaarrolla. Korvauksen maksaminen päästöjen rajoittamisesta tarkoittaisi, että S:llä katsottaisiin olevan oikeus päästöihinsä. Jos tulkitaan, että muulla maailmalla on oikeus muuttumattomaan ilmastoon, S:ltä vaadittaisiin A+B:n suuruinen korvaus tai päästöjen vähentämistä.

Koska 2*CO₂-skenaario voi edustaa pitkän aikavälin tasapainoa, arvio päästöjen rajoittamisen 200 vuoden aikavälin hyödyistä saadaan vähentämällä tämän aikavälin referenssiskenaarion haittoista (6 % GWP:sta) 2*CO₂-skenaarion haitat (Cline, 1991a). Näin laskettaessa oletetaan, että Suomi joutuisi maksamaan osuutensa kansainvälisistä haittoista muodossa tai toisessa. Suomen hyödyt päästöjen rajoittamisesta 200 vuoden aikavälillä olisivat taulukon 23 mukaiset.

Tästä näkökulmasta katsottuna jopa noin 450 markan haittaverot hiilidioksiditonnilta ovat puolusteltavissa. On toki muistettava, että kansainvälisistä haittoista ei ole mitään luotettavaa tietoa toistaiseksi tarjolla. 450 mk/tCO₂ voikin pitää vältetyn haitan maksimiarviona. 1 %:n diskonttokorolla arvio on noin 100 mk/tCO₂.

Taulukko 23. Arvio päästöjen rajoittamisen hyödyistä 200 vuoden aikavälillä, mk vähennettyä CO₂-tonnia kohti.

Haitat, mk/tCO ₂	Aikaväli		Pitkän aikavälin hyöty
	A: 2*CO ₂ , 50 v.	B: Pitkä, 200 v.	
0 %	-82.80	362.70	445.50
1 %	-18.40	80.50	98.90

Huom. Suomen 2*CO₂-haitoille on käytetty keskimmäistä arviota.

Koska Suomen lyhyen aikavälin haitta onkin hyötyä, pitkällä aikavälillä on vielä suurempi syy rajoittaa päästöjä.

6. CO₂-VERON VAIKUTUKSET JA PÄÄSTÖJEN RAJOITAMISEN MAHDOLLISUUDET

Tässä luvussa tarkastellaan hiilidioksidiveron hinta- ja kansantaloudellisia vaikutuksia sekä pohditaan päästöjen vähennysmahdollisuuksia.

6.1. CO₂-veron vaikutukset polttoaineiden hintoihin

Tutkitaan, kuinka paljon 100 markan haittaveron CO₂-päästönnille vaikuttaisi eräiden polttoaineiden kuluttajahintoihin. Taulukosta 24 havaitaan, että haittaveron nostaisi huomattavasti muiden kuin liikennepolttonesteiden hintoja. Uuden haittaveron pitäisi olla huomattavan suuri ennen kuin se näkyisi bensiinin ja dieselin hintojen voimakkaana suhteellisena nousuna, koska jo nykyisellään niiden hinnasta yli puolet koostuu veroista.

Taulukko 24. 100 mk/t CO₂ haittaveron vaikutus eräiden polttoaineiden kuluttajahintoihin.

Polttoaine	Hinta 12/91 (mk/MWh)	Verojen osuus nykyisin (%)	Haittaveron (mk/MWh)	Hinnan- nousu (%)
Kivihiili	41	24.0	33	98
Maakaasu	57	19.3	20	43
Turve	47.3	4.4	40	100
Raskas p-öljy	69	20.2	28	50
Kevyt p-öljy	127	19.2	27	26
	(p/l)	(%)	(p/l)	(%)
Moottoribensiini	390	58	24	8
Dieselöljy	315	51	26	10

Huomautuksia: Kivihiili rannikolla käytettynä, turve tarkoittaa jyrksinturvetta käyttöpaikalle toimitettuna, moottoribensiininä lyijytön 95E.

Verojen osuus tarkoittaa voimassaolevien verojen osuutta kuluttajahinnasta.

Hinnannousussa on otettu liikevaihtoveron vaikutus huomioon.

Lähde: Ktm, 1991b, Mattila 1991, Boström - Backman - Hupa, 1990.

EY:n komission keväällä 1992 esittämä energiaveron 10 USD/bbl öljyä, josta puolet määräytyisi energiasisällön mukaan ja puolet hiilidioksidipitoisuuden mukaan, tarkoittaisi raakaöljylle laskettuna noin 50 mk/tCO₂ haittaveron hiilidioksidisisällön perusteella ja saman verran energiasisällön mukaan. EY:n energiaveron tulevaisuus on vielä epävarma, koska se päätettiin toteuttaa sillä ehdolla, että muut maat säätävät samanlaisen veron. Tällä hetkellä Suomessa kerätään polttoaineiden hiilisisällön perusteella veroa 7,00 mk/t CO₂ (Komiteamietintö 1991:21).

Taulukosta 25 nähdään, että EY:n kaavailema yhdistetty energia- ja hiilidioksidivero on hyvin lähellä 100 mk/tCO₂ suuruisia haittaveron. EY:n energiaveron rasittaisi turpeen käyttöä noin 15 % alhaisemmalla verolla kuin pelkästään hiilidioksidisisällön mukaan määräytyvä vero.

Taulukko 25. EY:n kaavaileman haittaveron hintavaikutus eräille polttoaineille laskettuna Suomessa.

Polttoaine	Energiaveron mk/MWh	CO ₂ -veron mk/MWh	Yhteensä mk/MWh
Kivihiili	14	17	31
Maakaasu	14	10	24
Turve	14	20	34
Raskas p-öljy	14	14	28
Kevyt p-öljy	14	13	27
	p/l	p/l	p/l
Bensiini	13	12	25
Diesel	14	13	27

Lähteet: Boström - Backman - Hupa, 1990, Commission of the European Communities, 1991, Mattila, 1991.

Taulukossa ei ole otettu huomioon liikevaihtoveron vaikutusta. Tulokset ovat verrannollisia taulukon 24 kolmannen sarakkeen lukuihin. Laskelmissa on oletettu, että raskaan polttoöljyn hiili- ja energiasisältö vastaavat raakaöljyä.

Energiaa on verotettu tähän asti lähinnä muista kuin ympäristösyistä. Jos kaikki energiaan kohdistuva verotus tulkitaan implisiittiseksi hiilidioksidiveroksi.

veroksi, Suomi verotti vuonna 1988 tonnin hiilidioksidipäästöä noin 130 markalla. Verotaso on OECD-maiden keskitasoa. Esimerkiksi Ruotsin implisiittinen CO₂-vero on kaksinkertainen (Hoeller - Wallin, 1991).

6.2. CO₂-veron kansantaloudelliset vaikutukset

Hiilidioksidiveroja on tarkasteltu kahdesta näkökulmasta: kuinka suuria veroja tarvitaan tiettyjen päästötavoitteiden saavuttamiseksi ja toisaalta millaisia vaikutuksia tietyn suuruusilla veroilla on päästöihin ja kansantalouteen.

OECD on tehnyt laskelmia GREEN-mallilla koko maailman päästöjen kehityksen ja hiilidioksidiverojen kansantaloudellisten vaikutusten arvioimiseksi. Laskelmilla arvioitiin tarvittavien hiilidioksidiverojen suuruutta, jotta kukin maa rajoittaisi CO₂-päästönsä vuoden 1990 tasolle vuoteen 2000 mennessä ja vähentäisi päästöjään 20 % vuoteen 2020 mennessä v. 1990 tasosta. Kiristytvä verotus kompensoitiin muuta verotusta alentamalla. Tarvittava hiilidioksidivero oli koko maailmassa keskimäärin noin 260 mk/tCO₂ OECD-maiden keskiarvon ollessa noin 380 mk/tCO₂ (OECD, 1991c).

Hiilidioksidiveron hyvinvointikustannukset olivat alle 1 % kotitalouksien käytettävissä olevista tuloista Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. Suurimmat kustannukset aiheutuivat öljyä vieville kehitysmailla sekä Tyynen valtameren valtioille ja Kiinalle. Laskelmista havaittiin myös, että päästölupien kansainvälinen kauppa vähentäisi CO₂-verojen kustannuksia ja suuruutta. Myös energiamuotojen korvautuvuudella eli energiamuotojen välisen korvausjouston suuruudella on suuri vaikutus lopputulokseen (OECD, 1991c).

Christensen (1991) ja Mäenpää (1991, 1992) ovat tehneet laskelmia Suomen osalta. Kumpikin on tutkinut verotuksen vaikutuksia päästöihin ja talouteen.

Mäenpää on tehnyt analyysinsä Oulun yliopiston FMS-mallilla. Tarkastelu ajoittuu vuosille 1990-2005. Perusoletus BKT:n kasvusta on TASKUn arvioiden ja kauppa- ja teollisuusministeriön skenaarioiden perusteella 2,5 % vuodessa. Peruskkenaariossa CO₂-päästöt kasvavat 2,3 % vuodessa, eli yhteensä 41 % vuoteen 2005 (Mäenpää - Tervo, 1992).

Mäenpää sai tulokseksi, että tarvittaisiin noin 600 markan vero hiilidioksiditonnia kohden, jotta päästöt saataisiin rajoitetuksi vuoden 1988 tasolle. Bruttokansantuote laskisi noin 9 % referenssiskenarioon verrattuna. Jos hiilidioksidivero olisi 100 mk/tCO₂, taloudelliset vaikutukset jäisivät lievemiksi ja päästöt kasvaisivat noin viidenneksen nykyisistä (Mäenpää, 1991).

Mäenpään myöhemmät laskelmat on tehty olettaen hiilidioksidiveroksi 500 mk/t CO₂. Veron vaikutukset riippuvat erityisesti talouden sopeutumista-voista, erityisesti energian käytön tehostumisesta ja taloudessa tapahtuvasta hinta- ja rakennesopeutumisesta. Vain hiilidioksidipäästöjen kannalta optimistisimmassa tapauksessa 500 mk:n hiilidioksidivero riittäisi stabiloimaan päästöt vuoden 1990 tasolle. BKT:n kasvu ei vähene uusien laskelmien mukaan optimistisessä tapauksessa lainkaan, vaan energian säästö ja kansainvälinen energiaverotus mahdollistaisivat jopa pienen lisäkasvun energiamenojen pienentyessä ja Suomen vaihtosuhteen parantuessa. Suomen vaihtosuhte, eli vienti- ja tuontihintojen suhde paranisi, koska Suomen vientituotteet sisältävät välillistä energiaa enemmän kuin tuontituotteet. Myös kotitalouksien kulutus voi kasvaa (Mäenpää - Tervo, 1992).

Christensenin laskelmat on tehty valtionvarainministeriön KESSU-mallilla. Mallin perusskenaariossa talous kasvaa 2,45 % vuodessa ja CO₂-päästöt 1,4 % vuodessa. CO₂-päästöt kasvaisivat 32 % nykyisestä. Christensenin perusskenaario on siten päästökehityksen suhteen optimistisempi kuin Mäenpään perusskenaario. Energiayksikköä kohden laskettuna kunkin sektorin CO₂-päästöt pysyisivät ennallaan. Mallin tulokset on arvioitu vuosille 1991-2010.

Christensenin laskelmissa verotus kohdistuu energian käyttöön yleensä. Hiilidioksiditonille laskettuna verot olisivat vuonna 2000 noin 800 mk ja vuonna 2010 noin 1 100 mk (Mattila, 1991).

Laskelmat tehtiin kolmelle skenaariolle. A-skenaariossa verotusta kiristettiin vähitellen ilman verokompensaatiota, toisin sanoen talouden veroaste nousi. B-skenaariossa energian hintaa nostettiin veroilla, mutta verokertymä palautettiin yrityksille ja kotitalouksille. C-skenaariossa oletettiin myös muiden maiden toteuttavan B-skenaariion tyyppisiä veroratkaisuja.

Eri skenaarioiden taloudelliset vaikutukset ovat erisuuruisia. Vuoden 2010

BKT oli A-skenaarion mukaan 8,6 %, B-skenaarion 6,9 % ja C-skenaarion mukaan 4,8 % alhaisempi kuin perusskenaariossa. CO₂-päästöt alenivat perusskenaarioon verrattuna 11-12 % vuoteen 2000 mennessä ja 21-24 % vuoteen 2010 mennessä (24 %:n vähennys vastaa päästöjen pysymistä ennallaan).

Kummankin mallin mukaan hiilidioksidiverojen pitäisi olla melko korkeita, jotta Suomen hiilidioksidipäästöt saataisiin pysymään nykyisellä tasolla. Malleja on kuitenkin kritisoitu substituointimahdollisuuksien puutteellisesta huomioonotosta. Mattilan mukaan näitä arvioita voidaanakin pitää tarvittavien hiilidioksidiverojen enimmäisarvoina (Mattila, 1991).

Mäenpään (1991) ja Christensenin (1991) mukaan päästömäärät vaikuttavien energiaverojen hyvinvointikustannukset näyttävät olevan suurempia kuin tässä raportissa arvioidut päästöjen vakauttamisesta saatavat hyödyt CO₂-tonnia kohden. BKT alenee näissä laskelmissa 5-9 % perusskenaarioon verrattuna.

Mäenpään ja Tervon (1992) uusimpien laskelmien mukaan 500 mk/t CO₂ verotus ei välttämättä vähennä kulutustasoa, etenkin jos valuuttakurssit ja palkat joustavat.

On tosin mahdollista, että Suomen tuottamien energiaintensiivisten tuotteiden kysyntä osoittautuu ennakoitua hintajoustavammaksi. Mäenpään ja Tervon (1992) vuoteen 2005 ulottuvien arvioiden mukaan 500 mk:n hiilidioksidivero saa supistaa Suomen vientiä enintään 2 %, jotta bruttokansantuote ei laskisi.

6.3. Päästöjen vähentämisen vaihtoehdot

Suomi on muiden teollisuusmaiden tavoin solminut useita ilmastonsuojelusopimuksia kasvihuonekaasujen ja muiden ilmansaasteiden päästöjen vähentämisestä. Taulukosta 26 ilmenee Suomen ilmastonsuojelusuunnitelmat ja -sopimukset. Sopimuksia solmittaessa ei yleensä ole tarkalleen selvillä, miten kyseisiä päästöjä aiotaan vähentää. Mahdollisuuksien selvittämiseksi tarvitaan taloudellisia ja teknisiä laskelmia.

Yksi tapa vähentää päästöjä on päästöverojen asettaminen. Niiden asettami-

Taulukko 26. Suomen ilmastonsuojelua koskevia päätöksiä ja sopimuksia.

Ohjelma tai päätös	Päästötyyppi	Vuodelta	Tavoite
Valtioneuvoston periaatepäätös (Geneven sopimus)	SO ₂	1991	Päästöjen vähennys 80 % vuoden 1980 tasolta vuoteen 2000 mennessä.
Kansainvälinen tyyppipöytäkirja ja Sofian julistus	NO _x	1988	Pöytäkirja: päästöjen jäädyttäminen vuoden 1987 tasolle vuoteen 1994 mennessä. Julistus: 30 %:n vähennys vuoden 1980 tasolta vuoteen 1998 mennessä.
Kansainvälinen sopimus	VOC	1991	Päästöjen vähennys 30 % vuoden 1988 määrästä vuoteen 1998 mennessä.
Valtioneuvoston periaatepäätös (Montrealin sopimus)	CFC-kaasut ja muut otsonikerrosta tuhoavat kaasut	1990	CFC-kaasujen käytöstä luopuminen vuoden 1994 loppuun mennessä. Muiden kaasujen käyttöä supistetaan voimakkaasti.
Kansainvälinen ilmastopöytäkirja (Rio de Janeiro)	kasvihuonekaasut	1992	Kasvihuonekaasupäästöjen rajoittaminen ilman sitovaa aikataulua.

Lähde: Wahlström ym., 1992, United Nations, 1992.

seksi on saatava tietoa eri kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen kustannuksista.

Mm. Nordhaus (1990a, 1991a) on paneutunut yksittäisten kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamismahdollisuuksiin. Hän mainitsee mm. seuraavia vaihtoehtoja: CFC-kaasujen korvaaminen muilla aineilla, puiden istutus ja CO₂-päästöjen vähentäminen. Muita päästöjen rajoittamismahdollisuuksia ovat energian säästäminen, voimalaratkaisut sekä uusien energiamuotojen hyödyntäminen.

6.3.1. CFC-päästöjen vähentäminen

CFC-päästöjen vähentäminen on Nordhausin mukaan kustannuksiltaan halvin ja tehokkain tapa vähentää kasvihuonekaasujen päästöjä. Hänen laskelmissaan CFC-kaasujen päästöjä vähentämällä saavutettaisiin noin 80 % kasvihuonekaasujen optimaalisesta vähennyksestä. CFC-kaasujen vähentäminen maksaisi alle 10 USD/t C eli alle 12 mk/tCO₂ (Nordhaus, 1991).

CFC-kaasujen korvaaminen muilla kaasuilla on jo edennyt pitkälle. Mm. Yhdysvallat ja EY ovat luopumassa niiden valmistuksesta otsonikadon vuoksi jo ennen Montrealin sopimuksen mukaista vuotta 2000. Myös Suomi on päättänyt luopua CFC-kaasujen käytöstä vuoden 1994 loppuun mennessä. Asiasta on tarkoitus tehdä lopullinen päätös vuoden 1992 aikana.

CFC-kaasujen valmistuksen lopettamisella saatavat hyödyt lienee siten saavutettavissa jo melko nopeasti, mikäli esim. Kiina saadaan mukaan sopimukseen.

6.3.2. Puiden käyttö CO₂-nieluna

Puiden istutusta Nordhaus ei pitänyt taloudellisesti järkevänä, koska kustannukset ovat mm. maa-alan arvon vuoksi korkeat hiilidioksidin sitomiseksi. Nordhausin laskelmien mukaan puiden lisäviljelmillä voidaan sitoa noin 0,2 mrd. tonnia hiiltä vuodessa seuraavien 75 vuoden ajan hinnalla 120 mk/t CO₂ (Nordhaus, 1991b).

Ayres ja Walter (1991) laskivat hiilidioksidin puihin sitomisen rajakustannuksiksi 43 mk/t CO₂ lauhkeassa vyöhykkeessä ja 21 mk/t CO₂ troppiikissa. Nordhausin laskelmat ovat näihin tuloksiin verrattuna pessimistisiä.

Suomalaisen luonnonvarainneuvoston laskelmien mukaan ilmastonmuutoksen ja metsänhoitomenetelmien muutoksen johdosta metsien runkopuun kokonaistilavuutta voitaisiin kasvattaa 1 397 milj. m³, jolloin hiiltä sitoutuisi 470 milj. tonnia, joka vastaa 1 725 milj. t CO₂:a (ks. luku 5.2.1). Tämä aiheuttaa metsänomistajille nettotulojen menetyksiä, koska kiertoaikoja pidennetään 10 vuodella eli noin 12 %:lla ja harvennushakkuiden määrää vähennetään. Muuttumattoman ilmaston tapauksessa käsittelyn muutos vähentäisi nettotuloja noin 25 % (Luonnonvarainneuvosto, 1990). Ilmaston

muuttuessa metsien kasvu toisaalta lisääntyy, minkä vuoksi nettotulot eivät laske yhtä paljon kuin muuttumattoman ilmaston tapauksessa.

Oletetaan, että metsätalouden vuosittainen toimintaylijäämä vähenisi 15 %, eli kustannukset olisivat 1 230 milj. mk vuodessa. 50 vuodelle 5 % diskonttorolla laskettuna kustannukseksi saadaan 22 450 milj. mk. Hiilidioksiditonille laskettuna tulonmenetys maksaa 13 mk/tCO₂. 25 % tulonmenetyksenkin mukaan laskettuna puuhun sidotun hiilidioksiditonin hinnaksi tulisi vain 22 mk/tCO₂.

Suomalaisissa oloissa hiilidioksidin sitominen näyttäisi olevan hyvin edullista 50 vuoden aikavälillä kansainvälisiin arvioihin verrattuna. Tähän vaikuttaa erilainen tarkastelunäkökulma. Kansainvälisissä tutkimuksissa käsitellään usein puiden istuttamista esim. niittymaalle. Äskeisten laskelmien valossa metsänhoitomenetelmien muuttaminen on paljon tehokkaampi tapa vähentää hiilidioksidin nettopäästöjä kuin energiaverot. Metsänhoidon muutoksista aiheutuvat tulonmenetykset tulisi korvata metsänomistajille, jotta he suostuisivat muuttamaan metsänhoitoa yksityistaloudellisesti epäedulliseen suuntaan.

Metsänhoidolla voidaan vaikuttaa nettopäästöihin muutaman vuosikymmenen ajan, jonka jälkeen puuston kokonaismäärää ei voida enää lisätä. Siirtymävaiheen keinona puiden istutus näyttää houkuttelevalta vaihtoehdolta.

Riossa kokoontunut maailmanlaajuinen ympäristökokous päätti myös kerätä tietoa kunkin maan hiilidioksidinieluista. Näiden huomioonotto kunkin maan päästöjä määritettäessä jäi kuitenkin tarkemmin sopimatta.

6.3.3. Energian säästö

Hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää energian käyttöä vähentämällä. Energiansäästö- sekä energian käytön tehostamismahdollisuuksia on tutkittu myös Suomessa.

Lepistön mukaan energiankäytön intensiteettiä (öljyekvivalenttitonnia/BKT) voidaan pienentää enintään 30-40 %, mikä edellyttää kaikkien mahdollisten tehostamistoimien käyttöä. Suurimmat energian loppukulu-

tuksen pienentämismahdollisuudet ovat rakennusten lämmityksessä, liikenteen polttoainekulutuksessa sekä palvelualan ja kotitalouksien sähkönkulutuksessa. Toisaalta talouspolitiikan tavoitteiden mukainen talouskasvu kasvattaisi energian kulutusta enemmän kuin on mahdollista säästää. Energian loppukulutuksen vähentäminen edellyttää siten talouspolitiikan tavoitteista ja kulutustasosta tinkimistä, jos ihmisten suhtautuminen energiansäästöön ei muutu (Lepistö, 1991).

Energiansäästötoimenpiteiltä vaaditaan yleensä kotitalouksien tasolla suurempaa tuottoa kuin muilta "sijoituksilta". Eräessä yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa arvioitiin ihmisten energiansäästöinvestoinnilta vaadittavaa tuottoa ilmastointilaitteiden ostopäätösten perusteella. Tuottovaatimus riippui voimakkaasti tulotasosta, ks. taulukko 27.

Myös Lepistön mukaan kuluttajien vaatima korkea tuotto energian käytön tehostamisinvestoinneille on tärkein yksittäinen este tehostamisen etenemiselle. Sen vuoksi hän suosittelee 30 % tuottovaatimusta kotitalouksien energiansäästön kannattavuuslaskelmissa (Lepistö, 1991).

Lepistön arvioiden mukaan tarvittaisiin energian hintojen kolminkertaistamista, jotta jo nykyisillä hinnoilla alennetulla tuottovaatimuksella kannattavat säästömahdollisuudet todellakin käytettäisiin hyödyksi (Lepistö, 1991). Aiemmin 6. luvussa käsitellyille polttoaineille laskettuna tarvittaisiin 300-1 200 mk/tCO₂ haittaveroja hintojen kolminkertaistamiseksi (poislukien moottoribensiini ja dieselöljy).

Taulukko 27. Arvioidut energiansäästöinvestoinnin diskonttokorot

Tuloluokka, USD	Diskonttokorko, %
6 000	89
10 000	39
15 000	27
25 000	17
35 000	9
50 000	5
Keskimäärin	24 %

Lähde: OECD, 1990.

Energian säästö on käsitteenä ongelmallinen. Termiä käytetään usein yläkäsitteenä erilaisille tavoille vähentää ja tehostaa energian käyttöä. Säästökäsitteitä voidaan määritellä mm.

- halutusta energian kulutuksesta luopuminen
- ominaiskulutuksen alentaminen
- energiantuotannon ja talouden rakennemuutos (Kasanen, 1990).

Kahta ensimmäistä tekijää on käsitelty edellä. Seuraavaksi käsitellään energiantuotannon säästömahdollisuuksia.

6.3.4. Voimalaratkaisujen vaikutukset päästöihin

Hiilidioksidipäästöjen osalta perusvoimaratkaisut vaikuttavat olennaisesti lopputuloksiin. Kauppa- ja teollisuusministeriön mukaan Suomen päästöt pahimmassa tapauksessa kaksinkertaistuvat vuoteen 2025 mennessä vuoden 1988 tasosta. Vuonna 2025 voidaan päästä alle vuoden 1988 päästöjen kahdessa skenaariossa: fossiiliset polttoaineet minimoivassa fosmin-skenaariossa sekä ydinvoiman maksimoivassa ydinmax-skenaariossa. Fosmin-skenaariossa energian lisätarpeet tyydytetään maakaasulla ja ydinvoimalla (Ktm, 1990).

Sekä rikkidioksidin että typen oksidien päästöt ovat todennäköisesti joko laskemassa tai jäämässä vuoden 1988 tasolle. Vain pahimmassa uhkaskenaariossa näiden päästöjen määrät kasvavat Suomessa. Fosmin-skenaariossa SO₂-päästöt puolittuvat ja typen oksidipäästöt vähenevät yli 40 % vuoden 1988 määristä (Ktm, 1990).

Mäenpään ja Tervon (1992) hiilidioksidiverolaskelmissa tutkittiin myös voimalaitosvalintojen vaikutusta talouteen ja CO₂-päästöihin.

Mallissa perusskenaariossa oletetaan, että lauhdesähkön tuotantoon tarvitaan lisäkapasiteettia 1 000 MW. Laskelmat tehtiin kivihillelle, ydinvoimalle sekä kaasuvoimalle.

Jos suhteellisten hintojen oletetaan mukautuvan 500 mk/t CO₂-suuruiseen hiilidioksidiverotukseen ja kotitalouksien asenteiden muuttuvan energian

säästöä suosiviksi (optimistinen tapaus), vuonna 2005 hiilidioksidipäästöt olisivat eri voimalavaihtoehdoilla seuraavat:

	milj. t CO ₂
Kivihiili	60
Ydinvoima	53
Kaasu	57

Lähde: Mäenpää - Tervo (1992).

Viiteskenaariossa hiilidioksidipäästöt ovat 76 milj. tonnia. Vain ydinvoimaskenaariossa päästään lähelle vuoden 1990 päästötasoa 52 milj. t CO₂. Kaikissa vaihtoehdoissa yhteenlaskettu yksityinen ja julkinen kulutus sekä BKT ovat suurempia.

6.3.5. Uusi energiantuotantotekniikka

Uusiksi energiantuotantotekniikoiksi nimitetään niitä vaihtoehtoja, jotka eivät vielä ole Suomessa käytössä merkittävän mittakaavan energiantuotannossa (Ktm, 1991b).

Tekniikaltaan kypsimmät vaihtoehdot lähivuosisikymmeninä ovat tuulivoima, paineistetut polttoprosessit sekä biomassapohjaiset moottoripolttoaineet.

Tuulivoiman hyödyntämispotentiaalin ylärajaksi on arvioitu Suomessa noin 7 TWh vuodessa, mikä vastaa noin 11 % nykyisestä sähkön kulutuksesta. Tällä hetkellä tuulivoiman käyttöönotto näyttää riippuvan keskeisesti julkisen vallan toimenpiteistä. Teknologisia esteitä tuulivoiman hyödyntämiseen ei ole. Tuulivoiman yleistyessä sen hinnan on arveltu laskevan puoleen nykyisestä suurtuotannon etujen vuoksi (Ktm, 1991b).

Uudella polttotekniikalla voidaan nostaa kiinteiden polttoaineiden hyötysuhdetta sähköntuotannossa. Myös sellunkeitosta syntyvän mustalipeän palamisprosessia voidaan tehostaa (Ktm, 1991b).

Tällä hetkellä näyttää siltä, että kiinteän polttoaineen kaasutukseen perustu-

villa tekniikoilla on parhaat tulevaisuudennäkymät. Tämä saattaisi mahdollistaa taloudellisesti kannattavan pienimuotoisen turvetta ja puuta käyttävän lauhdevoimatuotannon (Ktm, 1991b).

Biomassapohjaisten polttoaineiden käyttöä rajoittaa yhtäältä raaka-aineen tarjontamahdollisuudet, toisaalta myös tekniikassa on vielä kehittämistä. Esimerkiksi alkoholiksi jalostetun biopolttoaineen hinta olisi näillä näkymin ainakin kaksinkertainen fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna vielä seuraavina vuosikymmeninä (Ktm, 1991b).

Muut energiantuotantomuodot, kuten aurinkoenergia, uudet ydinvoimatekniikat ym. ovat kaupallisessa vaiheessa aikaisintaan vuoden 2030 jälkeen. Eräät ratkaisut kaupallistunevat vasta ensi vuosisadan jälkipuoliskolla (Ktm, 1991b).

Kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämiseen on myös uusia tekniikoita kehitteillä. Hiilidioksidien poistotekniikan osalta ongelmat ovat suurimpia. Suurien poistokustannuksien lisäksi talteenotetun CO₂:n varastoiminen on ongelmallista (Ktm, 1991b).

Uusien tekniikoiden avulla tuotetun energian kustannustaso muodostaa konventionaalisen energiantuotannon verotukselle ylärajan muutaman vuoden aikavälillä. Jos energian hinta nousee konventionaalisesti tuotettuna korkeammaksi, energian tuotanto siirtyy vähäpäästöiseen tekniikkaan, tosin joidenkin vuosien viiveellä suurten laiteinvestointien aiheuttaman siirtymäajan vuoksi.

Kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisen kannalta olisi hyödyksi, että maamme sitoutuisi julkistettuun energiapolitiikkaan, jonka tavoitteena olisi konventionaalisen energian hinnankorotukset ennalta määrättyyn tahtiin. Tämä kannustaisi energian säästöinvestointien suunnitteluun ja uusien energiamuotojen käyttöönottoon. Suomen on kuitenkin edettävä tässä asiassa muiden maiden mukana kilpailukykyensä säilyttämiseksi.

7. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa on käsitelty ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia erityisesti Suomen kannalta ensi vuosisadan puoliväliin mennessä.

Toisessa luvussa annettiin tiivis yleiskuva ilmastonmuutoksen vaikutuksista maailman ja Suomen kannalta. Luonnon ja ihmisten sopeutuvuus joutuu koetukselle lähivuosikymmeninä. Maapallon keskilämpötilan ennustetaan kohoavan keskimäärin 2,5°C ensi vuosisadan loppuun mennessä. Lämpötilan nousun myötä ilmastovyöhykkeet, sademäärät, tuulet, myrskyjen esiintymistodennäköisyys, merenpinnan korkeus jne. muuttuvat. Vakavimmat vaikutukset koetaan alueilla, joissa suuri osa väestöstä on riippuvaisia alkutuotannosta ja jossa ympäristötekijät aiheuttavat jo nyt vaikeuksia maaja metsätaloudelle sekä koko yhteiskuntarakenteelle. Ennustetut lämpötilan ja sademäärien muutokset heikentänevät maatalouden tuottavuutta useissa tropiikin maissa sekä mahdollisesti myös Yhdysvalloissa sekä IVY:n kaakkoisosissa. Merenpinnan nousu uhkaa rannikko- ja saaristoyhdyskuntia. Luonnonriistasta elävät yhteiskunnat voivat joutua vaikeuksiin eläinten kannan romahtaessa eläinten elinolojen muuttuessa.

Suomi näyttää verraten hyväosaiselta kansainväliseen kehitykseen verrattuna. Pohjois-Atlantin ja Skandinavian ilmaston muuttumista on kuitenkin muita hankalampaa ennustaa, koska muutoksille alttiit merivirrat vaikuttavat voimakkaasti ilmastoomme. Suomen Ilmakehänmuutosten Tutkimusohjelman SILMUn "paras arvaus" on, että Suomen keskilämpötila kohoaa 0,4 °C vuosikymmenessä vuoteen 2100 asti.

Kolmannessa luvussa verrattiin eri analysointi- ja päätöksentekotapoja ilmastonmuutoksen tapauksessa. Erityisesti kiinnitettiin huomiota epävarmuuden huomioonottoon ja tiedontarpeeseen. Päätöksentekotavat eroavat erityisesti niiden tarvitsemista taustatiedoista. Päätöksentekoanalyysi ja kustannus-hyötyanalyysi tarvitsevat hyvin samankaltaista tietoa päätöksentekoon. Luonnontieteellisten faktojen lisäksi tarvitaan vaikutusten arvottamista. Kustannus-vaikuttavuusanalyysi keskittyy valittujen tavoitteiden, esim. hiilidioksidipäästöjen rajoittamisen taloudellisesti optimaaliseen toteuttamiseen. Kasvihuonevakuutuksen ostamisessa selvitetään yhteiskunnan halukkuus sijoittaa varoja ilmiön torjuntaan saatavilla olevan tiedon perusteella. Ympäristövaikutusten arvioimisprosessissa kerätään relevantti

luonnontieteellinen tieto päätöksentekoa varten, mutta vaikutusten arvottaminen jää asiantuntijoiden, virkamiesten, talouselämän ja kansalaisten välisessä neuvotteluprosessin tehtäväksi. Epävarmuus voidaan useissa tapauksissa ottaa huomioon vaikutusarvioiden vaihteluvälien tai todennäköisyys- arvioiden avulla.

Neljännessä luvussa käsiteltiin kustannus-hyötyanalyysin perusongelmia ilmastonmuutoksen kannalta. Näistä esimerkiksi diskonttokoron määrittäminen on analyysin lopputuloksen kannalta ratkaisevan tärkeää.

Neljännessä luvussa käytiin läpi myös ilmastonmuutoksesta tehtyjä kustannus-hyötyanalyysseja. Havaittiin, että mitään yhtenäistä ratkaisua laajuus- ja arvottamisongelmiin ei vielä ole löydetty. Analyysien tulokset vaihtelevat tämän vuoksi paljon.

Viidennessä luvussa käsiteltiin ilmastonmuutoksen taloudellisia vaikutuksia Suomessa vaikutusalueittain. Tärkeimmät taloudelliset haitat ja hyödyt aiheutuvat analyysin perusteella maa- ja metsätaloudessa.

Metsämme eivät nykytietojen mukaan kuitenkaan näytä juuri kärsivän ilmastonmuutoksesta, jos muutos onnistutaan pysäyttämään tai olennaisesti hidastamaan ensi vuosisadan puoliväliin mennessä. Itse asiassa maamme metsätalous ja välillisesti myös metsäteollisuus voivat hyötyä nopeutuneesta metsänkasvusta sekä uusista täällä menestyvistä puulajikkeista. Samalla kasvitautien ja tuholaisien uhka kasvaa, mihin on varauduttava metsänhoidossa.

Maamme maataloussektori saattaa myös hyötyä ilmastonmuutoksesta lisääntyneenä tuottavuutena. Maatalouden sopeutumismahdollisuudet ovat myös metsätaloutta suuremmat lyhyen kasvukauden ansiosta. Myös maatalouden on varauduttava kasvavaan tuholaisriskiin.

Jos asiaa tarkastellaan noin 50 seuraavan vuoden aikana Suomen näkökulmasta, ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset ovat suuruudeltaan -0,5 - +1,9 % bkt:sta keskimmäisen arvion ollessa +0,9 %. Keskimmäisen arvion mukaan Suomi saisi hyötyä.

Mahdollisten positiivisten muutosten vastapainoksi Suomi joutunee osallistumaan muiden maiden kustannusten rahoittamiseen. EY:n jäsenenä Suomi

ei voine välttyä kantamasta osuuttaan esim. mahdollisista pakolaisvirroista. Pitkällä aikavälillä haitat lienevät hyötyjä suuremmat. 200 vuoden aikavälillä kustannusten arvioiminen on äärimmäisen hankalaa. Ilmastonmuutoksen luonteen vuoksi kuitenkin näin pitkän aikavälin kustannusarviot ovat päätöksenteon kannalta tärkeitä, koska esim. 50 vuoden aikana ilmastonmuutoksen estäminen on käytännössä lähes mahdotonta. On arvioitu, että pitkällä aikavälillä olisi mahdollista pysäyttää ilmastonmuutos hiilidioksidin pitoisuuden kaksinkertaistumista vastaavalle tasolle. Vertaamalla tämänsuuruisen ilmastonmuutoksen kustannuksia "jatketaan entiseen tyylin" -skenaarion mukaisen ilmastonmuutoksen kustannuksiin saadaan arvio kasvihuonekaasujen rajoittamisen hyödystä. Alustavana arviona saatiin tulokseksi, että 200 vuoden aikavälillä kasvihuonekaasujen rajoittamisen rajahyöty olisi 100 - 450 mk tonnilta 0-1 %:n diskonttokorolla laskettuna. Korkeammilla diskonttokoroilla rajahyöty on mitättömän pieni.

Kuudennessa luvussa tehtiin lyhyt katsaus kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisen kustannuksiin mm. hiilidioksidiverojen avulla. Hiilidioksidiverojen tulisi olla huomattavan suuria, jotta niillä saataisiin aikaan haluttu päästöjen vähentyminen. Verojen hyvinvointikustannukset eivät kuitenkaan näytä kohoavan kovin suuriksi, etenkin jos välillisen verotuksen kiristymisen kompensoidaan esim. tuloveroja alentamalla. Hiilidioksidiverotuksen tulisi lisäksi olla useiden valtioiden käytössä, jotta Suomen luonteeltaan energiaintensiivinen vienti ei menettäisi kilpailukykyään.

50 vuoden aikajaksolla metsänhoidon menetelmien muutoksilla voitaisiin Suomessa sitoa huomattavia määriä hiilidioksidia metsiin. Tällainen käsittely on melko edullista verrattuna muihin päästöjen vähennyskeinoihin.

Pitkällä aikavälillä tärkeiksi energian säästö- ja päästöjen vähennysmahdollisuuksiksi nousevat mm. energiaa käyttävien laitteiden ominaiskulutuksen vähentäminen sekä voimalaitosvalinnat. Kasvihuonekaasujen päästöjä voidaan tulevaisuudessa vähentää myös uusien energiantuotantomenetelmien, kuten tuulivoiman avulla.

Kirjallisuus

Aittoniemi, P. (1990): *Ilmastonmuutoksen vaikutukset energian tuotantoon ja käyttöön Suomessa*, Imatran Voima Oy, Tutkimusraportteja A 4/90, Helsinki.

Ala-Mantila, O. (1991): *Maatalouden kokonaislaskelmat*, Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos, tiedonantoja No 172, Helsinki.

Alenius, P. (1989): *Ilmastonmuutokset ja Itämeren jääpeitteen laajuus, XIV Geofysiikan päivät 3.-4.5. 1989*, 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.

Christensen, Arne (1991): *Stabilization of CO₂ Emissions - Economic Effects for Finland*, Ministry of Finance, Discussion Paper No. 29, 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 CO₂ Emissions*, Final Report, Brussels.

Decker, D. J. ja Goff, G. R., ed. (1987): *Valuing Wildlife - Economic and Social Perspectives*, Westview Press, USA.

Economist (1992): Ozone depletion - Ultraviolet fright, March 7th 1992.

Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos (1992): *Suhdanne*, 1992/2, Helsinki.

Elintarviketeollisuusliitto (1991): *Haarukkapaloja elintarviketeollisuudesta 1991*.

Eronen, M. (1992): Late quaternary crustal deformation and coastal changes in Finland, käsikirjoitus, ilmestymässä *Quaternary international* -julkaisussa.

Falkenmark, M. (1989): Climate induced hydrological shifts in Europe and their implication spectrum - Unique opportunity to strengthen hydrology, teoksessa *Conference on climate and water 11.-15.9.1989, volume 2*, Suomen Akatemian julkaisuja 9/89, Helsinki.

Finnida (1991): *Suomen kehitysyhteistyö 1990*, Hallituksen kehitysyhteistyökertomus eduskunnalle vuodelta 1990, Helsinki.

Glomsrød, S., Vennemo, H. ja Johnsen, T. (1990): *Stabilization of emissions of CO₂: A computable general equilibrium assessment*, Central Bureau of Statistics, Discussion Paper No. 48, Oslo.

Hienkoski, P. (1990): *Rationaalisuus ja kansainvälinen yhteistyö ilmastonmuutosten hallinnassa*, Valtio-opin koulutusohjelman pro-gradu -tutkielma, Helsingin Yliopisto.

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.

Hoeller, P., Wallin, M. (1991): *Energy Prices, Taxes and Carbon Dioxide Emissions*, OECD Economic Studies No. 17, Autumn 1991.

Holopainen, E. (1991): Ilmaston kehitysnäkymät, teoksessa *Ilmastonmuutos ja Suomi -kohti kansallista toimintastrategiaa*, toim. Anttila, P., Suomalainen Ilmakehänmuutosten Tutkimusohjelma SILMU, Helsinki.

Immonen, I., Tuominen, R. ja Raivio, I. (1989): *Kaihileikkaus, Lääketieteelliset, sosiaaliset ja taloudelliset tulokset*, Helsingin yliopistollinen keskussairaala, Helsinki.

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.

Johansson, P.-O. (1989): *Att värdera miljövaror*, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsekonomi, Umeå.

Kahma, K. ja Boman, H. (1990): *Meriveden korkeus seuraavien 20-100 vuoden aikana*, Merentutkimuslaitos, sisäinen raportti 10.

Kaitala, V. ja Pohjola M. (1992): *Acid rain and international environmental aid: a case study of transboundary air pollution between Finland, Russia and Estonia*, ETLA Discussion Papers no. 400, Helsinki.

Kallio, T. (1972): Esimerkki kuusikon lahovikaisuuden Etelä-Suomessa aiheuttamastataloudellisesta menetyksestä, *Silva Fennica*, vol. 6, 1972, N:o 2.

Kanninen, M., toim. (1992): *Muuttuva ilmakehä - 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.

Kasanen, P. (1990): *Energian säästön määrittely*, ETLAn keskustelunaiheita No. 316, Helsinki.

Kasanen, P. (1991): *Taloudelliset ohjauskeinot energian käytön hiilidioksidien rajoittamisessa*, ETLA C61, Helsinki.

Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto (1990): *Energiatalouden 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.

Kauppi, P., Kenttämies, K., Oikarinen, S. ja Valli, R. (1987): *Happamoituminen Suomessa*, Ympäristöministeriö, Ympäristön- ja luonnonsuojeluosasto, A 57, Helsinki.

Kemppi, H. (1991): Ympäristöpolitiikka ja oikeudenmukaisuus, *Vuosikirja 1991*, VATT-julkaisuja 4, Helsinki.

Kettunen, L. (1991): Muuttuvan Euroopan vaikutus Suomen maatalouspolitiikkaan, *Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos, tiedonantoja 171/1991*, Helsinki.

Kola, J., Marttila, J. ja Niemi, J. (1991): *EY:n ja Suomen maatalouden ja maatalouspolitiikan vertailu*, Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos, tiedonantoja 174, Helsinki.

Komiteamietintö (1991): *Uhanalaisten eläinten ja kasvien seuranta-toimikunnan mietintö*, 1991:30, Helsinki.

Komiteamietintö (1992): *Metsä 2000 -ohjelman tarkastustoimikunnan mietintö*, Maa- ja metsätalousministeriö, 1992:5, Valtion painatuskeskus.

Kuisma, M. (1990): *Suomalaisten suuryritysten kasvu ja kytkennät metsäsektoriin*, Helsingin Kauppakorkeakoulu, Ltt: hallinnon pro gradu -tutkielma, Helsinki.

Kuusisto, E. (1989): Snow and ice: nonrenewable natural resources in the future?, teoksessa *Conference on climate and water 11.-15.9. 1989, volume 1*, Suomen Akatemian julkaisuja 9/89, Helsinki.

Lehtilä, A., Pirilä, P. (1991): *Energiantuotannon ja teollisuuden päästöjen kokonaisuusmalli*, Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Tiedotteita 1313, Espoo.

Lepistö, A. (1991): *Energiansäästöprojekti, Loppuraportti*, Ktm energiaosasto, Katsauksia B:100, Helsinki.

Leskinen, A., Salminen, P., Turtiainen, M. (1991): *Ympäristövaikutusten arviointiprosessin perusteet*, Helsingin yliopisto, Maankäytön ekonomian laitos, 10/1991, Helsinki.

Luonnonvarainneuvosto (1990): *Ilmastonmuutoksen vastatoimista pohjoisen havumetsävyöhykkeen metsissä*, Maa- ja metsätalousministeriö, Luonnonvarajulkaisuja 13, Helsinki.

Manne, A. ja Richels, R. (1991): Buying greenhouse insurance, *Energy Policy*, July/August 1991, Butterworth-Heinemann.

Massa, I. ja Sairinen, R., toim. (1991): *Ympäristökysymys - ympäristöuhkien haaste yhteiskunnalle*, Gaudeamus, Helsinki.

Mattila, V.-M. (1991): *Hiilidioksidipäästöt, talous ja taloudellinen ohjaus*, VATT keskustelunaloitteita no. 9, Helsinki.

Metsä 2000 -ohjelman tarkastustoimikunta (1991): *Kansantalouden jaoston muistio*, Helsinki.

Morgenstern, R. D. (1991): *Towards a Comprehensive Approach to Global*

Climate Change Mitigation, American Economic Review, May 1991.

Mors, M. (1991): *The Economics of Policies to Stabilize or Reduce Greenhouse Gas Emissions: the Case of CO₂*, Commission of the European Communities, Economics papers no. 87, Brussels.

Mäenpää, I. (1991): *Economic effects of alternative means to reduce energy related emissions in Finland*, European Economic Association Meeting, Cambridge 30.8.-2.9.1991.

Mäenpää, I., Tervo, H. (1992): *Hiiidioksidipäästöjen rajoittaminen - Kokonaistaloudelliset vaikutukset Suomessa*, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Katsauksia B:114, Helsinki.

Niemczynowicz, J. (1989): Impact of "Greenhouse Effect" on Sewerage systems, *Conference on Climate and Water 11.-15.9.1989*, volume 2, Suomen Akatemian julkaisuja 9/89, Helsinki.

Nordhaus, W. (1982): How Fast Should We Graze the Global Commons?, *American Economic Review*, May 1982.

Nordhaus, W. (1990a): *To Slow or Not To Slow: The Economics of The Greenhouse Effect*, Yale University.

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.

Oasmaa, K. (1990): Kasvihuoneilmion voimistumisen vaikutukset Helsingin ympäristön tilaan - tulvasuojelujatuksia Helsingissä, *Geotekniikan päivä 15.11.1990*, Suomen Geoteknillinen yhdistys ry.

OECD (1989): *Environmental Policy Benefits: Monetary Evaluation*, Paris.

OECD (1990): *Climate Change - Economic Instruments for Climate Change Policy*, Annex 1, Paris.

OECD (1991a): *Climate Change - Evaluating the Socio-Economic Impacts*, Paris.

OECD (1991b): *Agricultural Policies, Markets and Trade, Monitoring and Outlook 1991*, Paris.

OECD, Working party No. 1 of the economic policy committee (1991c): *The Costs of Policies to Reduce Global Emissions of CO₂: Initial Simulation 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.

Pakkanen, M. (1977): *Ihomelanooma Suomessa*, Tampereen yliopisto, Lääketieteellisen tiedekunnan julkaisuja 9, Tampere.

Parry, M. (1990): *Climate Change and World Agriculture*, Earthscan Publications, London.

Pearce, F. (1992): Grain yields tumble in greenhouse World, *New Scientist*, 18 April 1992.

Pönkä, A. (1990): *Ilman epäpuhtauksien ja säätelijöiden vaikutus astmasairastuvuuteen Helsingissä*, Helsingin kaupungin terveystieteiden raportteja, sarja A 49/1990.

Pönkä, A. (1991): Pakokaasupäästöt, teoksessa *Auto, terveys ja ympäristö*, toim. Savilahti, P. ym., Gaudeamus, Helsinki.

Ravea, T. (1991): *Helsingin tulvapaadon rakentamisen edellytykset*, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, diplomityö, Espoo.

Schelling, T. (1992): Some Economics of Global Warming, *The American Economic Review*, vol. 82 no. 1, March 1992.

Tahvonen, O., toim. (1991): *Ympäristö, talous, hyvinvointi*, Teknillistieteelliset akatemit 1991:1, Jyväskylä.

Tielaitos (1991): *Maksuhalukkuusmenettelyn soveltuvuus tieliikenteen vaikutusten arviointiin*, Tielaitoksen selvityksiä 43/1991, Helsinki.

Tielaitos (1992a): *Melun ja pakokaasujen hinnoittelu tiensuunnittelussa*, Tielaitoksen selvityksiä 2/1992, Helsinki.

Tielaitos (1992b): *Tieliikenteen päästöjen haittojen kustannukset*,

Tiehallituksen sisäisiä julkaisuja 3/1992, Helsinki.

Tilastokeskus (1989): *Terveystilasto*, Helsinki.

Tilastokeskus (1991a): *Suomen tilastollinen vuosikirja*, Helsinki.

Tilastokeskus (1991b): *Kansantalouden tilinpito 1985-1990*, Helsinki.

Wahlström, E., Reinikainen, T. ja Hallanaro, E-L. (1992): *Ympäristön tila Suomessa*, Vesi- ja ympäristöhallitus, Gaudeamus, Helsinki.

LAITOKSEN HENKILÖKUNTA

Pentti Vartia, toimitusjohtaja

ENNUSTETOIMI

Tutkimusjohtaja **Jukka Lassila**

Ennustepäällikkö **Tarmo Valkonen**

Pasi Ahde, Christian Edgren, Reijo Mankinen, Olavi Rantala, John Rogers, Paavo Suni, Esko Torsti, Mika Widgrén.

Atk-toimi: Heikki Vajanne, Mari Harni, Elina Mikkela.

PROJEKTITUTKIMUS

Tutkimusjohtaja **Kari Alho**

Tutkimusohjaajat: **Pekka Ilmakunnas, Pekka Yiä-Anttila**

Rita Asplund, Robert Hagfors, Juha Kettunen, Markku Kotilainen, Markku Lammi, Jukka Leskelä, Risto Murto, Maarit Säynevirta, Synnöve Vuori.

HALLINTO

Apulaisjohtaja **Kari Sihtola**

Toimisto

Inkeri Happonen, toimistopäällikkö

Ann-Christine Ekebohm-Korhonen, toimitusjohtajan sihteeri

Tuula Ratapalo, tekstinkäsittelijä

Hannele Immonen, puhelinvaihteenhoitaja ja laskuttaja

Railla Seppälä, taloussihteeri

Kirjasto

Kaija Hyvönen-Rajecki, informaattikko

Tilasto- ja grafiikkapalvelu

Eija Kauppi, suunnittelija

Arja Selvinen, Arja Virtanen, graaf. piirtäjät

Sinikka Littu, tutkimusapulainen

Laitoksen eri projekteissa ovat viime aikoina lisäksi työskennelleet mm. seuraavat henkilöt: Gavin Bingham, Tor Eriksson, Susanna Fellman, Vesa Kanninen, Jouko Kinnunen, Toivo Kuus, Olavi Lehtoranta, Katariina Leikas, Rolf Maury, Roy Muir, Timo Myllyntaus, Pekka Pere, Simo Pinomaa, Wolfgang Polt, Tauno Ranta, Jussi Raumoin, George F. Ray, Antti Ripatti, Petri Rouvinen, Jyrki Ruutu, Timo Teräsvirta, Timo Tiainen, Juhani Turkkila, Laura Vajanne, Päivi Valkama, Sirpa Wallius, Yrjö Vartia ja Pentti Vuorinen.

* * *

Laitoksen yhteydessä toimii projektitutkimus- ja tietopalveluyksikkö (ETLATIETO) ja kustannustoimintaa harjoittava yksikkö (TALOUSTIETO).

ETLATIETO OY, Lönnrotinkatu 4 B, 00120 Helsinki, puh. 90 - 609 901
Toimitusjohtaja Juha Ahtola, tutkimusjohtaja Hannu Hernesniemi.