

Suomen maatalouden tuottamat kasvihuonekaasujen päästöt eri politiikkaskenaarioissa

Pro Gradu-tutkielma
Taloustieteen laitos
Maatalouspolitiikka
Antti Simola
011717638

Sisällys:

Sisällys:	2
1. Johdanto	4
2. Ilmastonmuutos ja maatalous	8
2.1. Ilmastonmuutoksen luonnontieteellinen tausta	8
2.2. Ilmastonmuutoksen seuraukset	11
2.3. Maataloustuotannon vaikutukset ilmastonmuutokseen	12
2.4. Toimijat ja päästöjen vähentämisen konteksti	16
3. Teoria	20
3.1. Mikrotalusteoria ja tuotantopäätösten tekeminen maataloudessa	20
3.1.1. Voiton maksimointi	21
3.1.2. Maatalouspolitiikan vaikutus tuotantopäätöksiin	23
3.1.3. Tuotantoteknologian kehittyminen	24
3.1.4. Toimijoiden liikkuminen markkinoille ja niiltä ulos	25
3.2. Ympäristötaloustieteen peruskäsitteitä	26
3.2.1. Pareto-optimalisuus	26
3.2.2. Ulkoisvaikutukset	27
3.2.3. Julkishyödykkeet	29
3.2.4. Ulkoisvaikutusten ja julkishyödykkeiden välinen yhteys ja ratkaisuehdotukset	30
3.3. Huomioita maataloustuotannon ulkoisvaikutuksista	31
3.3.1. Hajakuormituksen tapaus	31
3.3.2. Epävarmuus	32
3.3.3. Heterogeenisyys	32
3.3.4. Dynaamisuus	33
3.4. Erityishuomioita teorian soveltamisesta käytäntöön	33
3.4.1. Globaalit saasteet ja ilmastonmuutos	33
3.4.2. Yhteiskunnallisen päätöksentekijän optimi	35
3.5. Loppupäätelmät politiikanmuodostukselle	37
4. Tutkimusmetodi	38
4.1. Taloustieteelliset mallit	38
4.2. Todennäköisyyslaskennan ja tilastotieteen peruskäsitteitä	39
4.3. Ekonometrinen mallintaminen	41
4.3.1. Ekonometrisen mallin rakenne	41
4.3.2. Ekonometrinen lähestymistapa ja systeemin identifioituvuus	44
4.3.3. Ekonometrinen aikasarja-analyysi	47
4.4. AGMEMOD-malli	48
4.4.1. Yleistä AGMEMOD-mallista	49
4.4.2. AGMEMOD-mallin rakenne	49
4.4.3. AGMEMOD-mallin ennustavuus	51
4.4.4. Ennusteen muodostuminen kasvihuonekaasupäästöille AGMEMOD-mallissa	52
5. Skenaariot ja tulosten tarkastelua	54
5.1. Skenaariot	54
5.1.1. Perusskenaario	54
5.1.2. Vaihtoehtoskenaario 1: vuoden 2003 reformi	55
5.1.3. Vaihtoehtoskenaario 2: vapaa kauppa	56
5.1.4. Vaihtoehtoskenaario 3: teknologinen kehitys	56
5.1.5. Vaihtoehtoskenaario 4: eloperäiset maat pois viljelyksestä	57
5.1.6. Vaihtoehtoskenaario 5: vaihtoehtoskenaarioiden 2, 3 ja 4 yhdistelmä	58
5.2. Tulosten tarkastelua	58

5.2.1. Dityppioksidipäästöjen kehittyminen.....	58
5.2.2. Metaanipäästöjen kehittyminen.....	59
5.2.3. Kokonaispäästöjen kehittyminen	60
6. Yhteenveto ja politiikkasuositukset	62
Lähteet:	65

1. Johdanto

Yksi tämän hetken ehkä polttavimmista ja kiistanalaisimmista ongelmista tieteenmaailmassa on käynnissä oleva ilmastonmuutos. Maapallon ilmaston huomattavasta lämpenemisestä on saatu merkkejä ja tämän lämpenemisen on arveltu olevan tulevaisuudessa yksi kaikkein suurimmista, ellei peräti suurin uhka maapallomme elinympäristöille ja ekosysteemeille. Keskustelu asian tiimoilta on ollut hyvin värikästä eikä täydellistä yhteisymmärrystä tämän asian suhteen ole saavutettu. Pessimistisimmät ennusteet näkevät jopa lopunajan merkkejä käynnissä olevan ilmastonmuutoksen seurausena samalla kun toisen ääripään kannattajat kyseenalaistavat koko ilmastonmuutoksen olemassaolon. Tätä viimeksi mainittua pientä vähemmistöä lukuun ottamatta ilmastonmuutoksen olemassaolosta sinänsä vallitsee nykyisin varsin laaja yksimielisyys - se mistä edelleen eniten kiistellään, on muutoksen laajuus ja erityisesti se, että kuinka paljon havaitusta ilmaston lämpenemisestä johtuu loppujen lopuksi ihmisen toiminnasta.

Ihmisen osuus ilmastonmuutokseen on myös poliittisesti ehkä kaikkein arin kohta ongelman tarkastelussa ja sen vaikutukset asian tiimoilta käytäviin kansainvälisiin neuvotteluihin ovat olleet varsin huomattavat johtuen eri tahojen erilaisista intresseistä tämän asian suhteen. Lisäksi ilmastonmuutoksesta koituvat riskit ja näiden riskien välttämiseksi koituvat kustannukset ovat nousseet keskeiseen asemaan kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamista puoltavien sekä niitä vastustavien tahojen keskuudessa. On kuitenkin syytä huomata, että tiedemaailman enemmistö näkee, että ihmisen toiminta on vaikuttanut ja vaikuttaa edelleen huomattavalla tavalla ilmaston lämpenemiseen.

Oreskes (2004, 1686) havainnoi, että tiedeyhteisössä vallitseva yksimielisyys asian suhteen ei ole kuitenkaan välittynyt mediaan, eikä erityisesti eri etujärjestöjen ja poliittisten ryhmittymien tiedonantoihin. Tilanne on ollut päinvastainen, sillä erityisesti nämä tahot pyrkivät korostamaan ennusteiden epävarmuutta ja eriäviä mielipiteitä. Erimielisyyksiä asian suhteen ei siis kuitenkaan voida johtaa tiedemaailmasta. Ihmisen osuus ilmastonmuutokseen on asteittain tullut enemmän tunnustetuksi myös aikaisemmin asian suhteen skeptisten tahojen puolella.

Jopa Yhdysvaltain hallinnossa on alettu tunnustaa, että ihmisen toiminnalla on osuutensa ilmastonmuutokseen. Yhdysvaltain talouden suuri riippuvuus kasvihuonekaasuja tuottavasta teollisuudesta on yleisesti tiedossa. Aikaisemmin Yhdysvaltain hallinnon asenne ilmastonmuutosta kohtaan on ollut nykyisen tieteellisen tiedon pitäminen riittämättömänä ja lisätutkimuksen vaatiminen aiheesta. Boykoffin ja Boykoffin (2004) mukaan tiedemaailmassa varmana pidetty käsitys ihmisen osuudesta ilmastonmuutokseen on käsitelty Yhdysvaltain valtalehdistössä tasavertaisena hallinnon oman näkemyksen kanssa. Nykyinen painotus Yhdysvaltain hallinnolla on muuttumassa suuntaan, jossa ihmisen osuus ilmastonmuutokseen tunnustetaan, mutta ratkaisua haetaan uusien teknologioiden kehittämisestä ennemminkin kuin päästöjen suoranaista vähentämistä.

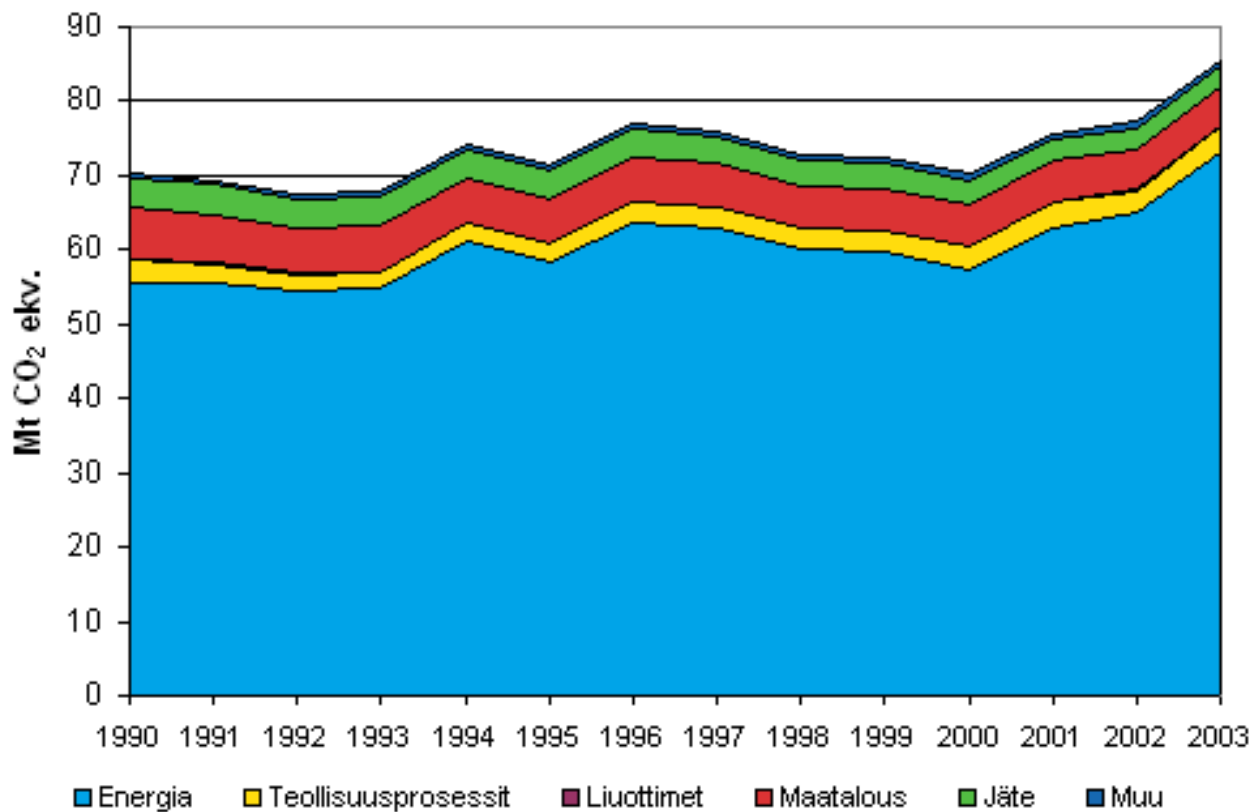
Tämä näkyi heinäkuussa 2005 julkistetussa Yhdysvaltain ja Australian neljän Kioton sopimuksessa mukana olevan maan kanssa tehdyssä sopimuksessa, jolla pyritään kasvihuonekaasupäästöjen hillitsemiseen uusia teknologioita kehittämällä. Vaikka poikkeavia tulkintoja löytyykin, yleisenä ja

eräällä tavalla virallisena totuutena asiasta voidaan pitää hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change) tuottamia tutkimuksia, joista tällä hetkellä merkittävimpänä lähteenä toimii IPCC:n viimeisin arvioreportti Third Assessment Report (TAR) (IPCC 2001a ja IPCC 2001b). IPCC:n raporttien antamat tulokset ovat olleet myös tämän tutkimuksen ongelman määrittämisen lähtökohdaksi.

Käsillä olevassa tutkimuksessa tapahtumassa oleva ilmastonmuutos ja ihmisen toiminnan vaikutukset siihen otetaan annettuina. Tarkoituksena tässä tutkimuksessa on arvioida kuinka maataloustuotannon aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt tulevat muuttumaan Suomessa lähitulevaisuudessa ja kuinka maatalous- ja ympäristöpolitiikan toimilla voidaan tähän muutokseen vaikuttaa. Maatalouden hintapolitiikan toimina tutkimuksessa tarkastellaan toteutusvaiheessa olevan Yhteisen maatalouspolitiikan vuoden 2003 reformin vaikutuksia ja ehkä jo lähitulevaisuudessa ajankohtaista maailmankaupan vapauttamista. Maatalouden rakennepolitiikan toimen tarkastellaan teknologisen kehityksen edistämistä. Ympäristöpoliittisena toimenä mukana tarkastelussa on eloperäisten maiden poistaminen viljelyksestä. Tällä arvioinnilla on käytännön merkitystä poliittisessa päätöksenteossa, kun Kioton ilmastopöytäkirjassa mukana olevat maat joutuvat arvioimaan omia kansallisia kasvihuonekaasujen päästöjään. Erityisesti tämän tutkimuksen tuottamat tulokset voivat toimia suuntaa antavina tuloksina silloin, kun arvioidaan eri sektoreiden välisiä suhteellisia kustannustehokkuuksia päästöjen vähentämisen suhteen. Tältä osin on aiheellista arvioida kuinka päästöjä voidaan vähentää maataloussektorilla joissain tapauksissa myös negatiivisin kustannuksin, sillä kustannukset eivät sinänsä tule huomioitua tässä tutkimuksessa. On selvää, että kaikkien sopimuksessa mukana olevien maiden kannattaa pyrkiä tekemään vähennyksiä nimenomaan niillä kansantalouden osa-alueillaan, joissa se olisi kaikkein kustannustehokkainta. Juuri tästä johtuen myös tämän tutkimuksen tuottamalla informaatiolla on arvoa päätöksentekijöille. Siksi maatalouden kasvihuonekaasujen määrittäminen ja arviointi niiden tulevaisuuden kehityksestä eri politiikkavaihtoehtojen vallitessa voivat mahdollisesti tuottaa hyödyllistä informaatiota niin päättäjille kuin myös eri intressiryhmille. Se, että poliittisen prosessin jälkeen päädyttäisiin vielä koko yhteiskunnan kannalta optimaaliseen ratkaisuun, onkin jo kokonaan toinen asia.

Suomen maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen on arvioitu aikaisemmissa tutkimuksissa (esimerkiksi Pipatti ym. 2000, MMM 2001) olevan laskevalla uralla ja Suomen kokonaispäästöjen kannalta myös melko vähäisiä (kuvio 1.1). Päästöjen vähennyksiä maataloudessa näyttäisi nykykehityksellä tapahtuvan jo ilman aktiivista toimintaa tämän päämäärän hyväksi. Tämä johtuu sekä maataloustuotannon vähenemisestä että myös sen tehostumisesta yleisesti. Lisäksi vuoden 2003 EU:n yhteisen maatalouspolitiikan reformin myötä yhä tiukentuneiden maatalouden ympäristövaatimusten voidaan nähdä ajavan kehitystä kasvihuonekaasupäästöjä vähentävään suuntaan. On selvää, että Kioton tavoitteisiin pääsemiseksi maatalous ei voi vastata yksinään tavoiteltavista päästöjen vähennyksistä ja että pääosa vähennyksistä tulee tapahtua muilla aloilla, joista erityisesti energian tuotannossa, mutta myös teollisuudessa ja liikenteessä. On vielä huomattava, että merkittävin päästöjä tuottava sektori, eli energiantuotanto, koskee omalta osaltaan koko yhteiskuntaa ja siten myös maataloutta. Kuviosta 1.1. nähdään kuinka kasvihuonekaasujen päästöt ovat jakautuneet sektoreittain Suomessa ja kuinka ne ovat muuttuneet viimeisen reilun kymmenen vuoden aikana. Lisäksi on havaittavissa kokonais-

päästöjen nouseva trendi, joka tapahtuu samanaikaisesti maataloustuotannon laskevan trendin kanssa. Maataloustuotannolla on kuitenkin olemassa myös mahdollisuuksia auttaa vähennystavoitteiden saavuttamisessa. Niissä tapauksissa, joissa päästöjen vähennykset maataloudessa voivat tapahtua vähäisin (tai jopa negatiivisin) kustannuksin, tulee maatalous hyvin todennäköisesti olemaan yhteiskunnallisen keskustelun piirissä. Erityisesti tämä tulee kyseeseen silloin, kun ilmastopoliittika tulee reaalisesti osaksi yhteiskunnan taloutta päästökaupan lähtiessä tosiasiallisesti käyntiin.



Kuvio 1.1. Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kehitys vuosien 1990–2003 välillä sektoreittain tarkasteltuna (Tilastokeskus 2005a).

Vaikka arviointi kohdistuukin maatalouden aiheuttamiin päästöihin, tulee kuitenkin myös huomata maatalouden vaikutukset kasvihuonekaasujen nettopäästöihin yhteiskunnassa. Tämä tarkoittaa, että päästöjen vähennyksiksi voitaisiin lukea maatalouden osalta myös maataloustuotannon kautta tuotetut vähennykset muilla sektoreilla. Kyseeseen tulee erityisesti maatalouden mahdollisuus tuottaa energiantuotannolle fossiilista energiaa korvaavia uusiutuvia energiamuotoja. Jos öljyn ja päästölupien hintojen nousu saavat jatkoa, voi maatalouden rooli uusiutuvien energiamuotojen tuottajana olla tulevaisuudessa yhä vain merkittävämpi. Maatalousmaan mahdollisuudet hiilen sitomiseen on myös seikka, mikä tuo esiin maatalouden potentiaalinen julkisen hyödyn tuottajana. Maatalouden ilmastomuutosta hillitsevien vaikutusten voidaankin katsoa olevan uusi aspekti maatalouden monivaikutteisudelle. Näiden seikkojen arvioinnin kautta on mahdollista saada lisävalaistusta sille, mikä rooli maataloustuotannolla voisi nyky-yhteiskunnassa olla: nämä aspektit tulisi ottaa entistä enemmän esille myös maatalouden monivaikutteisyyden yhteydessä.

Tutkimustyöni alkaa ilmastonmuutoksen ongelman määrittelystä ja ongelmaan liittyvien toimijoiden sekä sen piiristä nousseiden politiikkojen esittelystä. Seuraavaksi käyn läpi tutkimuksen teoriaviitekehyksen, joka pohjautuu mikrotaloustieteen teorioihin tuotantopäätösten synnystä ja ympäristotaloustieteen teorioihin ulkoisvaikutuksista. Teorian jälkeen esittelen käytettävän tutkimusmetodin, joka on ekonometrinen mallinnus, sekä käsittelen tutkimuksessa käytettävää ekonometrista mallia, AGMEMOD-mallia hieman tarkemmin. Metodien määrittelyn jälkeen tarkastelen eri skenaarioita, joita ilmastonmuutoksen tiimoilta on muodostettu ja pyrin muodostamaan tutkimuksessa käytettävät skenaariot maatalouspolitiikan odotettavissa olevien muutosten suhteen. Skenaarioiden muodostuksessa tulee odotettavissa oleva maatalouspoliittinen kehitys ja aikaisemmat aiheesta tehdyt tutkimukset olemaan keskeisiä.

2. Ilmastonmuutos ja maatalous

Esittelen nyt työn ongelmaviitekehyksen, eli ilmastonmuutoksen ja sen yhteyden maataloustuotantoon. Aloitan esittelemällä ilmastonmuutoksen luonnontieteellisen taustan ja siitä koituvat seuraukset. Seuraavaksi käsittelem maataloustuotannon yhteyttä ilmastonmuutokseen nimenomaisesti työn kannalta keskeisen hillitsemisen näkökulmasta. Lopuksi esittelen sen viitekehyksen, joissa eri toimijat pyrkivät vähentämään päästöjään niin kansallisessa kuin kansainvälisessäkin kontekstissa.

2.1. Ilmastonmuutoksen luonnontieteellinen tausta

Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan yksinkertaisimmillaan ilmaston muuttumista. Se voi johtua hyvinkin monenlaisista seikoista, kuten muutoksissa maapallon geologisessa toiminnassa tai maapallon itsensä avaruudellisista liikeradoista. Ilmaston muuttumista on tutkittu aikojen saatossa hyvinkin paljon. Nykyisen tietämyksen mukaan tulivuorten purkaukset ja bakteerien tuottama metaani mahdollistivat sellaisten olosuhteiden syntymisen maapallolle, että nykyisen kaltainen elämä täällä tuli ylipäättänsä mahdolliseksi. Nämä seikat myös tavallaan loivat ns. kasvihuoneilmaston. Kasvihuoneilmastossa maapallon ilmakehän sisältämät komponentit tavallaan vangitsevat auringon tuottaman lämpöenergian ilmakehään. Ilmakehä toimii tällöin ikään kuin kasvihuone, jossa lasin sisään päästävästä auringon säteilystä osa ei pääse enää ulos vaan kerääntyy lämmittämään kasvihuoneen ilmastoa. Ilman kyseistä ilmiötä maapallo olisi huomattavasti nykyistä kylmempi, eikä olisi siten elinkel-poinen useimmille nykyisille lajeille eikä myöskään ihmiselle. Maapallon kiertoratojen muutokset vaikuttavat siihen kuinka etäällä maapallo auringosta milloinkin sijaitsee. Kiertoradan siinä vaiheessa, jossa maapallo on kauimpana auringosta, ilmasto kylmenee. Tämä tapahtuu säännöllisin väliajoin ja on ollut syynä historialliselle säännölliselle muutokselle ilmastossa, jolloin jääkaudet ja lämpimämmät jaksot vaihtelevat keskenään. Maapallon akselin asentojen ääripäiden välillä tapahtuvan muutoksen arvellaan kestävän n. 11 000 vuotta. Uuden jääkauden voitaisiin siis arvella sijoit-tuvan 22 000 vuoden päähän edellisestä. Tällä hetkellä maapallon pitäisi olla tämän vaikutuksen vuoksi kylmenevällä uralla. (Ruddiman 2005, 49.) Tämä maapallon kiertoliikettä kuvaava ns. Milankovitchin sykli havaittiin jo 1940-luvulla ja sen perusteella ennustettiin seuraavaksi merkittäväk-si ilmastonmuutokseksi uutta jääkautta (Weart 2003, 17–18).

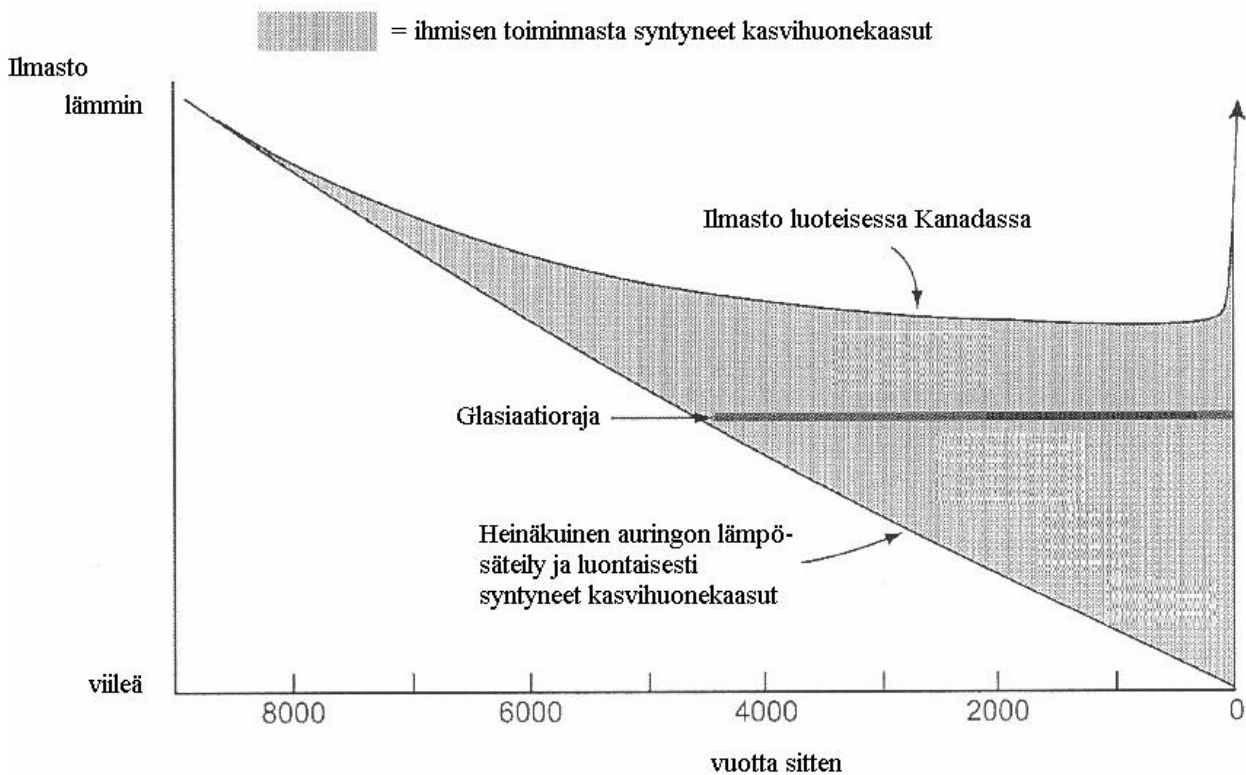
Julkisessa keskustelussa ilmastonmuutoksella tarkoitetaan kuitenkin yhä useammin juuri nimenomaisesti ihmisen aiheuttamaa muutosta ilmastossa. Ihmisen toiminnasta aiheutuu monenlaisia päästöjä ja näistä eräiden on katsottu vahvistavan luontaista kasvihuoneilmiötä. Kasvihuoneilmaston katsotaan johtuvan useista ilmakehän kaasuista siten, että 60 % vaikutuksesta johtuu vesihöyrystä, 25 % hiilidioksidista, 8 % otsonista ja loput 7 % muista kasvihuonekaasuista kuten metaani ja di-typpioksidi. Tärkein kasvihuonekaasu, eli vesihöyry on suurimmaksi osaksi luonnon omista prosesseista syntyvä kaasu. Myös metaani ja dityppioksidi syntyvät pääasiassa luonnon prosessien seurauksena ja ovat siten osa luontaista kasvihuonekaasujen tuotantoa. Hiilidioksidin päästöjen katsotaan olevan pääasiallinen syyllinen ihmisen aiheuttamaan ilmaston lämpenemiseen. Hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä on kasvanut esiteollisen ajan 280 ppm:stä nykyiseen 370 ppm:ään ja tämän voi-

daan katsoa johtuvan täysin ihmisen toiminnasta. Ihmisen toiminta tuottaa myös muita kasvihuoneilmiötä vahvistavia kaasuja, kuten metaania, dityppioksidia ja eräitä teollisuudessa käytettäviä kemiallisia yhdisteitä, mutta niiden merkitys on selkeästi pienempi kuin hiilidioksidin. Ihmisen toiminnasta syntyy välillisesti myös vesihöyryä ja alailmakehän otsonia. Ilmaston lämpeneminen aiheuttaa itsessään vesihöyryn lisääntymistä ilmakehässä ja tämän vaikutuksen on arveltu nykyisin olevan jopa 1 - 2-kertainen kasvihuonekaasujen lisääntymisen suoriin vaikutuksiin verrattuna.

Lisäksi kasvihuoneilmiöön paikallisella tasolla vaikuttavat hillitsevästi erilaiset ihmisen toiminnasta ilmakehään pääsevät partikkelit kuten aerosolit. Aerosoleilla on yhteys pilvien muodostumiseen ja pilvet taas osaltaan vahvistavat kasvihuoneilmiötä vangitseamalla auringon säteilyenergiaa ilmakehään ja osaltaan heikentävät sitä heijastamalla tulevaa säteilyä takaisin avaruuteen. (Karl ja Trenbeth 2003, 1719–1721.) Viime aikoina on alettu myös ajatella yhä enemmän ihmisen toiminnan välittömiä vaikutuksia tärkeimmän kasvihuonekaasun, eli vesihöyryn muodostumiseen. Maataloudella on tässä erityisen keskeinen asema, sillä maatalouden kastelujärjestelmät muodostavat 2/3 kaikesta maailman veden käytöstä. Keinokastelun odotetaan kasvavan tulevaisuudessa entisestään maataloustuotannon kasvupaineiden (lisääntyvä väestö) ja myös ilmastonmuutoksen aiheuttaman kuivuuden vuoksi. Kastelun lisäämä vesihöyry kiihdyttää ilmastonmuutosta globaalisti, mutta viilentää paikallisilmastoa. Boucherin ym. (2004, 602) mukaan keinokastelussa syntyvän vesihöyrypäästön aiheuttama vaikutus ilmastonmuutokseen on jopa huomattavasti suurempi kuin lentoliikenteen vaikutuksesta muodostuvan vesihöyryn. Vesihöyry poikkeaa muista kasvihuonekaasuista myös siinä, että se ei ole kumuloituva, vaan sen määrä ilmakehässä on alituisessa muutoksessa. Kastelusta syntyvän vesihöyryä (ja samalla käytettävän veden hukkakäyttöä) voidaan vähentää myös siirtymällä käyttämään kastelussa enemmän tihkukastelujärjestelmiä.

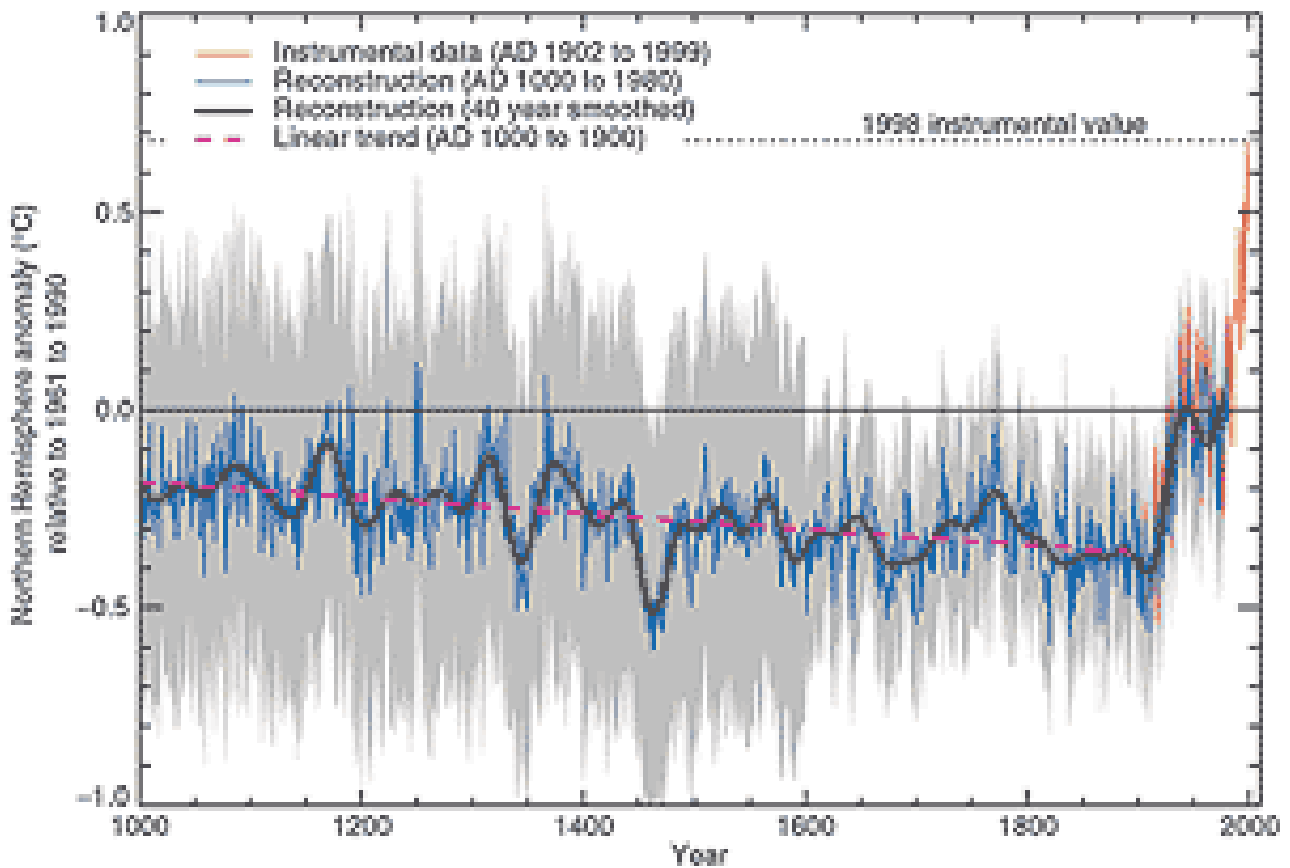
Aluksi ilmastonmuutoksen tarkastelussa nähtiin, että teollistuminen 1800-luvun lopulla olisi antanut merkittävän sysäyksen ilmastonmuutoksen käynnistymiselle. Syynä oli fossiilisten polttoaineiden käyttöönotto, joka vapautti kauan sitten ilmakehästä orgaanisesti sitoutunutta hiiltä takaisin ilmakehään. Nykyään kun ilmastonmuutoksen mekanismeja ymmärretään jo paremmin, on tultu sellaiseen johtopäätökseen, että ihmisen vaikutus ilmastoon on peräisin paljon kaukaisemmalta ajalta kuin teollistumisen alkutaipaleilta. Ruddiman (2005, 46–53) näkee, että ihmisen vaikutus ilmastoon alkoi näkyä silloin kun ihminen ryhtyi viljelemään maata. Maanviljelyn alku merkitsi luonnonvaraisten metsien raivaamista pelloiksi elintarvikkeiden tuotannon pyrkiessä vastaamaan kiihtyvään väestönkasvuun. Hiilen nieluina toimineet metsät raivattiin viljelysmaan tieltä ja niihin sitoutunut hiili pääsi näin ilmakehään. Karjatalouden yleistyessä metaanipäästöt lisäsivät kehitystä samaan suuntaan. Kun teollistuminen pääsi alkuun, ilmakehään ryhdyttiin päästämään yhä kaukaisemmalta ajalta sitoutunutta hiiltä, mikä vahvisti kasvihuonevaikutusta aiempaa vahvemmalle tasolle. Vaikka maataloustuotannon vaikutus oli varsin vähäinen teollisuuden potentiaaliin verrattuna, arvioi Ruddiman jopa että maatalouden kasvihuonekaasupäästöt eivät pelkästään tasapainottaneet luonnostaan vaihtelevaa ilmastoa, vaan että maataloustuotannon rooli oli merkittävä uuden jääkauden ehkäisemisessä n. 5000 vuotta sitten. Kuvio 2.1. havainnollistaa tätä kehitystä. Kuvassa nähdään kuinka elämme tällä hetkellä selkeästi luontaista ilmastoa lämpimämmissä olosuhteissa. Luontainen ilmasto olisi siis kylmenemään päin, mutta johtuen ihmisen toiminnasta syntyneistä kasvihuonekaasuista, ilmas-

to on selkeästi glasiaatorajan yläpuolella. Ruddimanin mukaan aivan viimeaikoina havaittu piikki lämpötilassa johtuu nimenomaan teollistumisen tuottamista kaasuista. Tämä piikki on myös nähtävissä seuraavaksi käsiteltävässä kiistanalaisessa jääkiekkomaila-hypoteesissa.



Kuvio 2.1. Ruddimanin hypoteesi ihmisen vaikutuksesta maapallon ilmastoon (Ruddiman 2003, 287).

Hyvin paljon on kuitenkin tiedemaailmassa ehtinyt tapahtua ennen kuin ilmastonmuutoksen olemassaolosta on voitu saada kattavaa tieteellistä näyttöä. Ilmastonmuutoksen löytämiseen liittyvästä historiasta ja ongelmista tarjoaa hyvän esityksen Weart (2003). Ehkä kaikkein kuuluisin ilmastonmuutosta kuvaava aikasarja on Michael Mannin IPCC:n raportissa vuonna 2001 julkaisema ”jääkiekkomaila” (kuvio 2.2, IPCC 2001a). Sen mukaan lämpötilojen pitkän ajan trendi muistuttaa jääkiekkomailaa: aluksi tasainen ja sitten yhtäkkisesti nouseva. Tästä hypoteesista on muodostunut tärkeä symboli sille tiedemiesten joukolla, joka näkee, että ilmastonmuutos on ihmisen aiheuttamaa. Siitä on muodostunut myös kiistakapula asiasta eri mieltä olevien ryhmittymien välille. Merkittävää on huomata kuinka tämä jääkiekkomaila sopii yhteen Ruddimanin hypoteesin kanssa. Ruddimanin ansio on ollut erityisesti maataloustuotannon vaikutusten ja ihmisen toiminnan kokonaisvaltaisen tarkastelun tuominen kiinteästi mukaan ilmastonmuutoskeskusteluun. Siinä missä muu keskustelu on pitänyt olennaisena ihmisen teollistumisen ajan, eli viimeisen 150 vuoden vaikutusta ilmastoon on Ruddimanin näkökulma laaja ja käsittää viimeiset 10 000 vuotta.



Kuvio 2.2. Ns. jääkiekkomailahypoteesin mukainen anomalia pohjoisen pallonpuoliskon lämpötiloissa viimeisen 150 vuoden aikana (IPCC 2001a).

2.2. Ilmastonmuutoksen seuraukset

Vaikka jääkiekkomaila-hypoteesia on paljon kritisoitu, eikä yhteisymmärrystä sen pätevyydestä tiedemaailmassa löydy, tähän kuitenkin perustuu yleinen näkemys äkillisestä ilmastonmuutoksesta, jonka estäminen voisi olla kansainvälisen yhteisön etujen mukaista. Kasvihuoneilmion vahvistumisella on selkeästi potentiaalia aiheuttaa epätoivottuja muutoksia koko maapallon elinympäristöille ja sitä kautta ihmisten hyvinvoinnille. IPCC (IPCCa, 2001, 68–72) listaa viisi avainsyytä, joiden vuoksi ilmastonmuutokseen tulisi suhtautua vakavasti. *Ensimmäiseksi* tulisi huomioida ainutkertaiset ja uhanalaiset systeemit, joiden olemassaoloon ilmastonmuutoksella voi olla kohtalokkaita vaikutuksia. Biodiversiteetille koituvat uhat voivat olla hyvinkin merkittävä tappio globaalissa hyvinvoinnissa. Biodiversiteetillä on merkittävä vaikutus resilienssiin, eli ekosysteemien kykyyn palautua shokkien jälkeen ennalleen; ilmastonmuutos on todennäköinen shokki ja sen prosessit puolestaan vähentävät kykyä suojautua uusien shokkeja vastaan. *Toisena* seikkana on syytä ottaa huomioon aggregaatti-vaikutusten suhteutuminen vaikutusten kohteiden tosiasialliseen heterogeenisyyteen ja niiden välillä vallitsevaan epätasa-arvoon. Ennusteet mahdollisesta vähäisestä noususta maapallon keskilämpötilassa tai maailman bruttokansantuotteessa ilmastonmuutoksen seurauksena voivat olla ylioptimistisia ja piilottaa sen tosiasiaan, että valtaosa maapallon väestöstä joutuu kärsimään muutoksista. *Kolmanneksi* vaikutusten jakautuminen epätasaisesti asettaa haavoittuvammassa asemassa

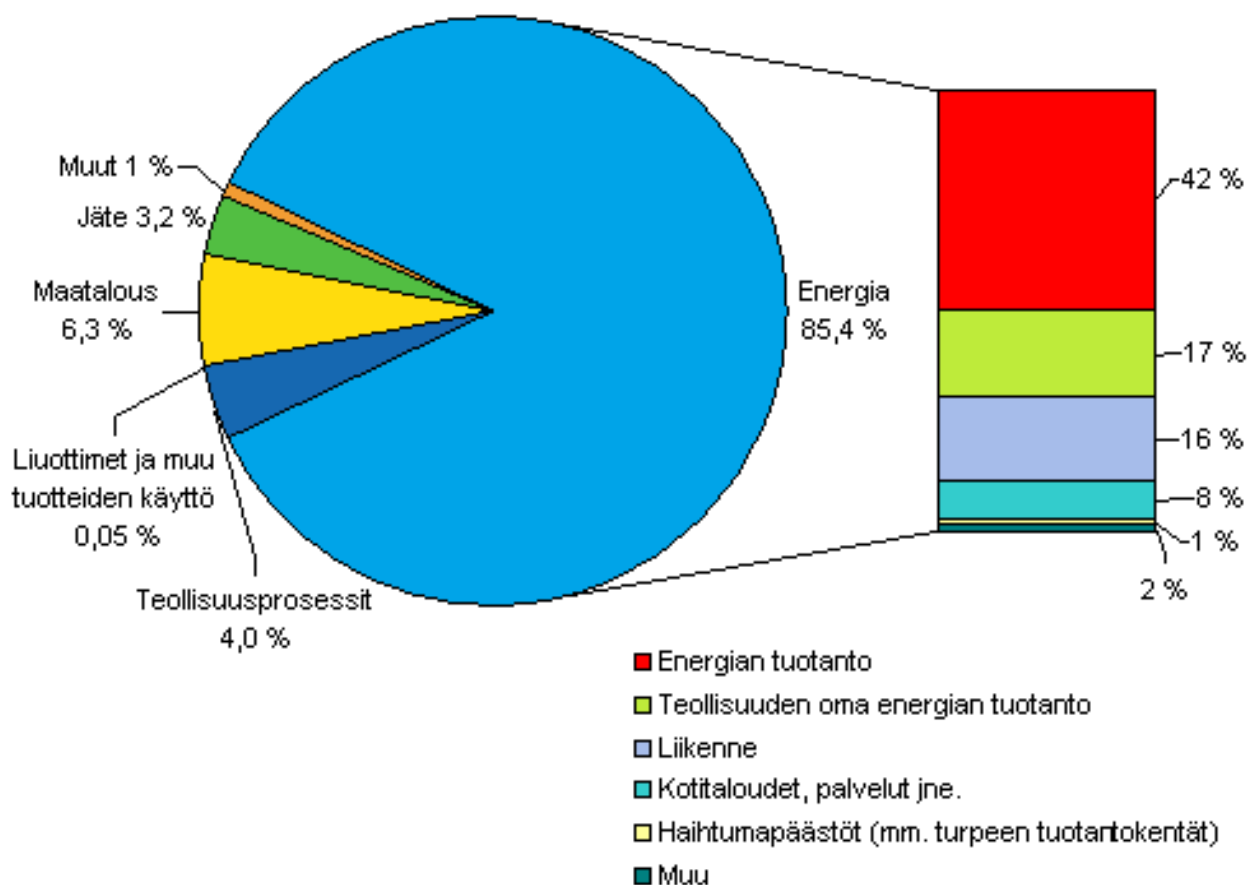
olevat kehitysmaat heikompaan asemaan. Köyhillä kehitysmailla ei välttämättä ole varaa sopeutua muutoksiin samalla tavalla kuin rikkaammilla mailla. *Neljäntenä* seikkana äärimmäisten sääilmiöiden lisääntyminen ja voimistuminen on mahdollinen seuraus ilmastonmuutoksesta. Tällä ilmiöllä on negatiivisia vaikutuksia kaikilla sektoreilla ympäri maailman. Pitää kuitenkin vielä huomioida suuren mittakaavan mahdolliset häiriöt maapallon toiminnassa, kuten ilmaston lämpenemisen vaikutukset jäätiköiden sulamiseen ja merivirtojen toimintaan. Tämänkaltaisilla häiriöillä voi olla huomattavan pitkäkestoisia vaikutuksia maapallon elinolosuhteisiin. Seuraavaksi käyn läpi maataloustuotannon vaikutuksia ilmastonmuutokseen.

2.3. Maataloustuotannon vaikutukset ilmastonmuutokseen

Maataloustuotannosta aiheutuvia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi, metaani ja dityppioksidi. Tässä tarkastelussa maatalouden kasvihuonekaasupäästöillä tarkoitetaan päästöjä niistä luonnonprosesseista, joita maataloustuotanto käyttää hyväkseen. Maatalouden energiankulutus on tässä mielessä ikään kuin välillinen päästöjen lähde maataloudelle, eikä siksi ole mukana maatalouden suorien päästöjen tarkastelussa, vaan kuuluu välillisenä energiasektorin päästöihin. Hiilidioksidin suhteen maatalous on luonnostaan tasapainossa, sillä maatalouden lopputuotteisiin sitoutunut ja pelloilla hajonnut orgaaninen hiili on alun perin saatu ilmakehän hiilidioksidista yhteyttämällä. Tämä pätee kuitenkin vain lyhyellä aikavälillä, sillä maatalousmaaksi raivattu metsä tuottaa kasvihuonekaasujen päästöjä vapautuvan hiilidioksidin muodossa. Kun ei oteta huomioon metsien raivausta pelloiksi, aiheuttaa maatalous maailmanlaajuisesti vain 5 % kaikista hiilidioksidin päästöistä. Kun taas metsien raivaus pelloiksi otetaan huomioon, maatalous on toiseksi suurin hiilidioksidin päästäjä. Yhteensä maankäyttöön liittyvistä seikoista on johdettavissa neljäsosa kaikista hiilidioksidin päästöistä. (OECD 1997, 102.)

Tämä seikka on nimenomaisesti ollut pohjana Ruddimanin hypoteesille, jossa metsän raivaus pelloksi on antanut alkusysäyksen ihmisen tulemiseksi merkittävästi ilmastoon vaikuttavaksi tekijäksi. Myös lyhyemmällä aikavälillä maaperään sitoutunutta hiiltä voi vapautua ilmakehään. Tässä maataloustuotannolla on osuutensa intensiivisen maanmuokkauksen ja maan kalkituksen muodossa. Kun estimoidaan maankäytöstä aiheutuvia hiilidioksidin päästöjä, on viljelytapa otettava huomioon kivennäismaiden hiilitaseen ollessa kyseessä. Viljelytavasta riippuen voi kivennäismaasta vapautua (intensiiviset viljelytavat kuten kyntömuokkaus) tai siihen voi sitoutua hiiltä (vähemmän intensiiviset viljelytavat kuten suorakylvö). Orgaanisten maiden viljelyn on todettu aiheuttavan hiilidioksidipäästöjä joka tapauksessa intensiteetin riippuessa siitä onko maa viljan vai nurmen viljelyksessä. (Kulmala ja Esala 2000, 16.) Huomioitavaa on, että maatalouden energian käyttö aiheuttaa n. 4 % kaikista maailman kasvihuonekaasujen päästöistä, mutta maataloustuotannon koko osuus kaikista kasvihuonekaasupäästöistä on n. 20 %. Suomessa maatalouden osuus on ollut viimeisen kymmenen vuoden aikana n. 10–15 % tasolla trendin ollessa laskeva. Kuvio 2.3. esittää tilannetta vuonna 2003, jolloin on siirrytty uuteen järjestelmään päästöjen luokituksessa.

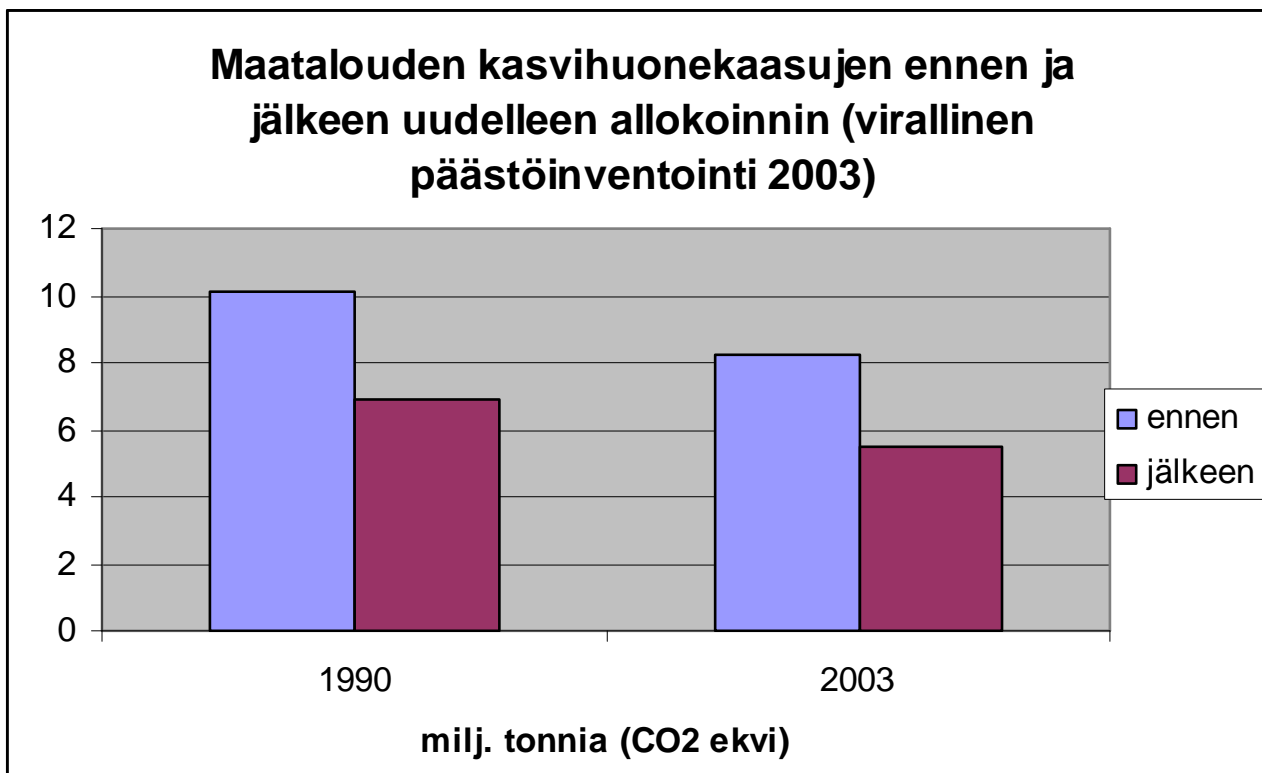
Uudessa järjestelmässä (johon tämänkin tutkimuksen empiirinen puoli pohjautuu) maatalouden päästämiin kasvihuonekaasuihin lasketaan ainoastaan metaani ja dityppioksidi maatalouden maankäytöstä aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen kuuluessa metsätalouden kanssa samaan maankäytön kategoriaan. Osittain tämän vuoksi maatalouden päästöt muodostavat nyt pienemmän osuuden päästöistä (6,3 %), sillä maatalousmaista pääsevät hiilidioksidin päästöt eivät ole nyt maataloustuotannon piirissä. Lisäksi maatalouden energiankäytöstä koituvat päästöt sisältyvät energiasektorin päästöihin, joka on selvästi suurin yksittäinen päästöjä aiheuttava sektori. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen trendi on ollut vähenevä ja päästöjen on arvioitu vähenevän tulevaisuudessa edelleen. IPCC:n laskelmissa noudatetaan samaa tapaa päästöjen laskemisessa kuin mitä tässä on esitetty. Tällöin maatalouden energiankulutus lasketaan energiasektorin päästöihin, kuten myös maatalouden panosteollisuuden käyttämä energia, eikä siis sisälly maataloussektorin aiheuttamiin päästöihin. Kuviossa 2.4 nähdään kuinka maatalouden kasvihuonekaasujen päästöt ovat ”muuttuneet” päästöjen uudelleen allokoinnin seurauksena. Vuonna 2003 uudelleen allokoitu päästöjen määrä oli n. 2/3 edellisen allokaation päästöistä.



Kuvio 2.3. Suomen kasvihuonekaasujen päästöt sektoreittain arvioituna vuonna 2003 (Tilastokeskus 2005b).

Kokonaisuudessaan maatalous on erityisen merkittävä juuri metaanin ja dityppioksidin päästöjen lähteenä. Suomen metaanipäästöistä maatalous tuottaa 30–40 % ja dityppioksidipäästöistä yli puo-

let. Dityppioksidi on myös yläilmakehän otsonikatoa aiheuttava kaasu ja siksi sen päästöjen vähentäminen voi tuoda lisähyötyjä ilmastonmuutoksen hillitsemisen ohella. (IPCC, 2001b, 39; Pipatti, ym. 2000, 8-9.) Metaania vapautuu eläinten ruoansulatuksesta ja lannan käsittelyn yhteydessä. Dityppioksidia taas vapautuu niin ikään lannan käsittelyn yhteydessä ja myös maatalousmaasta nitrifiikaatio- ja denitrifiikaatio-prosessien yhteydessä. Tähän vaikuttaa peltojen lannoittaminen keinolannoitteilla ja karjanlannalla. Dityppioksidia vapautuu myös epäsuorasti pelloilta pääsevien valumien ja eroosion mukana.



Kuvio 2.4. Päästöjen uudelleen allokoinnin vaikutus maatalouden päästöihin (vertailuvuosina vuodet 1990 ja 2003) (Statistics Finland 2005).

Kun puhutaan julkisesta päätöksenteosta ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä, on Kioton sopimuksen asettamat tavoitteet merkittävä kiintopiste. Kioton sopimuksessa päästöjä on sitouduttu vähentämään juuri nimenomaisesti IPCC:lle ilmoitettavien kansallisten päästöinventaarioiden suhteen. Siksi onkin järkevää keskittyä nimenomaisesti niihin päästöihin, jotka tuossa inventaariossa huomioidaan. Muitakin päästöjä on, jotka vaikuttavat ilmastonmuutokseen, mutta jotka ovat sen verran vähäisiä (kuten esim. maaperän metaanipäästöt) ettei niitä ole nähty järkeviksi huomioida tai joiden suhteen saatu informaatio on vielä liian epävarmaa (kastelujärjestelmien aiheuttaman lisääntynyt vesihöyryn määrä). Arviointimenetelmiä kehitetään jatkuvasti ja ehkä jo ensi vuonna julkaistavissa uusissa IPCC:n määrittämässä päästöjen arviointiohjeissa on nykyisestä jonkin verran poikkeavia ohjeita päästöjen laskemiselle. Kansallinen informaation tuottaminen on myös tärkeää, sillä siten pystytään turvaamaan alueellisten eroavaisuuksien tuleminen huomioiduksi arvioissa. Tällä hetkellä voimassa olevien hallitusten välisen ilmastopaneelin IPCC:n laatimien ohjeiden mukaan

maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen inventaareihin tulee ottaa mukaan seuraavat Suomen olosuhteisiin nähden relevantit päästöjen lähteet¹(IPCC 1996):

hiilidioksidin (CO₂) osalta:

- maankäytössä ja käsittelyssä tapahtuvat muutokset, jotka vaikuttavat kivennäismaiden orgaanisen hiilen varastoihin
- eloperäisten maiden viljelyksestä aiheutuvat CO₂-päästöt
- kalkituksesta aiheutuvat CO₂-päästöt

metaani (CH₄) osalta:

- kotieläinten ruoansulatuksen metaanipäästöt
- kotieläinten lannan metaanipäästöt

dityppioksidin (N₂O) osalta

- maatalousmaan dityppioksidipäästöt
- lannankäsittelystä aiheutuvat dityppioksidipäästöt

Muita päästöjen lähteitä ovat maatalouden fossiilisen energian käyttö (sisältyy energiasektorin päästöihin), viljelysmaiden metaanipäästöt sekä keinotekoisien lannoitteiden tuotanto, joka IPCC:n mukaisesti huomioidaan teollisuuden vastaavissa laskelmissa (Pipatti, ym. 2000, 28–29). Pipatti ym. (2000, 31) arvioi myös pelloilla tapahtuvan kasvijätteiden polton vaikutukset merkitsemättömän pieniksi Suomessa. Vuodelta 1996 olevat IPCC:n ohjeet kasvihuonekaasupäästöjen arvioimiselle ovat edelleen voimassa maakohtaisten inventaarien muodostamiselle. Uusia ohjeita ollaan kehittämässä ja niiden valmistuminen on ajoitettu vuodelle 2006 (IPCC 2005). Ohjeet perustuvat erilaisiin laskentayhtälöihin sekä IPCC:n määrittämiin maanosakohtaisiin parametreihin, joita käytetään, jos tarkempaa maakohtaista tietoa ei ole saatavilla. Päästöt lasketaan näillä yhtälöillä siten, että muuttujina käytetään relevantteja maakohtaisia arvoja esim. eläinten määrästä tai viljelyksessä olevasta orgaanisesta maasta. Nämä mainitut yhtälöt ja parametrit löytyvät kootusti lähteestä Statistics Finland (2005).

Maataloustuotannon positiivisia vaikutuksia ei kuitenkaan voida jättää huomiotta varsinkaan kun näihin vaihtoehtoihin kiinnitetään yhä enemmän julkista mielenkiintoa. Maatalouden mahdollisuudet uusiutuvan energian tuottajana odotetaan paranevan energiamarkkinoiden kohdatessa uusia haasteita Kioton ilmastopimuksen tultua voimaan ja EU:n päästökaupan lähtiessä liikkeelle sekä myös fossiilisten energiavaihtoehtojen kallistuessa myös niukkuudesta johtuen. Tällöin maataloudessa tuotettujen uusiutuvan energian muotojen (kuten ruokohelpi ja biodiesel) avulla voidaan korvata uusiutumattomien energiamuotojen käyttöä ja tehdä nettovähennyksiä kasvihuonekaasujen päästöissä. Tämä voi lisätä myös maatalouden tarjontamahdollisuuksia ja samalla maataloustuottajien markkinavoiman voi mahdollisesti olettaa jonkin verran levenevän. On kuitenkin otettava huomioon, että maatalouden energiantarve ei kuulu IPCC:n määrittelemiin maatalouden päästöihin. Jos maatalouden mahdollisuudet uusiutuvan energiantuotannossa aiotaan ottaa tarkastelussa kokonaisvaltaisesti huomioon, täytyy myös maatalouden käyttämä energia (johon kuuluu myös tuotanto-

¹ Riisinviljelyn metaanipäästöt ja savannien polttaminen ovat merkittäviä maatalouden tuottamia kasvihuonepäästöjä muualla maailmassa.

panoksien tuottamiseen kulunut energia) silloin huomioida lopullisessa arvioinnissa. Seuraavaksi esittelen joitain tärkeimpiä toimijoita, jotka ovat olennaisia ilmastonmuutoksen ympärillä käytävän keskustelun kannalta.

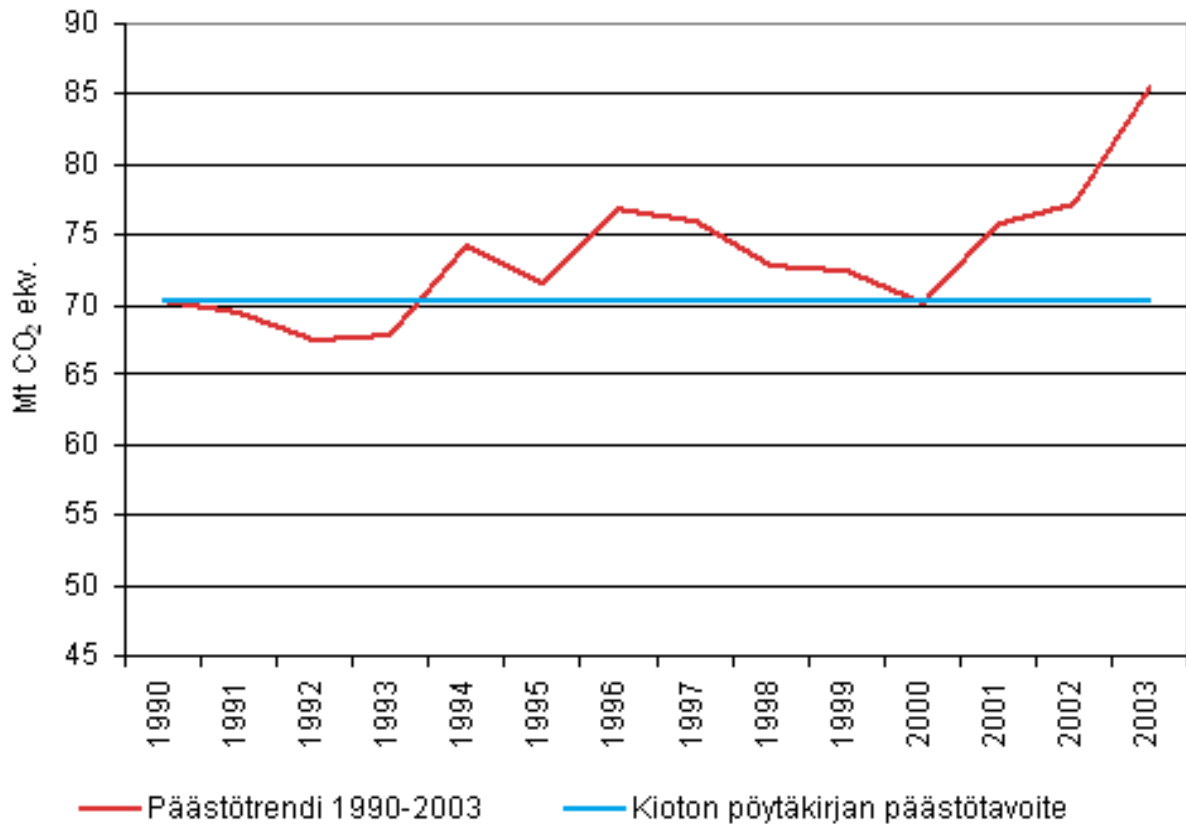
2.4. Toimijat ja päästöjen vähentämisen konteksti

Ilmastonmuutos on siis tämän hetken merkittävin maailmanlaajuinen ympäristöongelma. Siksi tätä ongelmakokonaisuutta joudutaan hoitamaan niin kansallisella kuin kansainväliselläkin tasolla. YK:n eri elimet ovat keskeisessä osassa aiheen ympärillä käytävässä kansainvälisessä keskustelussa. Jo useaan kertaan mainittu Hallitustenvälinen ilmastopaneeli IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) on YK:n alainen tutkijoiden kollegio, jonka tarkoituksena on tuottaa puolueetonta tietoa ilmastonmuutoksesta. Mielenkiintoista IPCC:ssä on sen kahtalainen luonne toisaalta tieteellisenä organisaationa ja toisaalta kansainvälisenä poliittisena organisaationa. Ilmastonmuutoksen tullessa yhä merkittävämmäksi uhaksi ja IPCC:n painoarvon noustua sen myötä, alkoi organisaatio myös vähitellen politisoitua. Erityisesti tämä näkyi Saudi-Arabian ja muiden öljyntuottajamaiden ryhtyessä ajamaan järjestössä yhä voimakkaammin omia taloudellisia intressejään ilmastonmuutoksen puolueettoman tutkimisen sijasta (Lauri Kettunen, henkilökohtainen tiedonanto 25.5.2005).

IPCC perustettiin vuonna 1988 YK:n ympäristöohjelman (UNEP) ja Maailman ilmatieteen organisaation (WMO) yhteisenä hankkeena. Se koostuu nykyisin noin 2000 usean eri alan asiantuntijasta ja julkaisee suuren määrän ilmastonmuutokseen liittyvää tutkimusta, joista tärkeimmät julkaisut ovat IPCC:n arvioreportit. Viimeisin, eli kolmas arvioreportti julkaistiin vuonna 2001 (TAR = Third Assessment Report) ja seuraavan, eli neljännen arvioreportin julkaisu on kaavailtu vuodelle 2007. Arvioreportti pyritään aina koostamaan viimeisimmän tiedon mukaan ja sen johtopäätöksiin tämänkin tutkimuksen voidaan katsoa pääasiassa nojaavan. Viimeisimmän raportin on koostanut kolme työryhmää, joiden tehtäväalueiden jako kuvailee hyvin paneelin näkökulman laajuutta: ensimmäinen työryhmä on käsitellyt ilmastonmuutoksen itsensä tieteellisiä perusteita, toinen siihen sopeutumista (adaptation) ja kolmas sen hillintää (mitigation). (IPCC 2004.) Tämän tutkimuksen näkökulma tarkastelee nimenomaan jälkimmäistä, eli ilmastonmuutoksen hillintää, mutta myös näitä muita osa-alueita sivutaan kokonaisuuden paremman hahmottamisen vuoksi.

Toinen merkittävä YK:n alainen ilmastonmuutoksen hallintaan liittyvä instituutio on YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus UNFCCC (United Nations Framework Convention for Climate Change), josta sovittiin vuonna 1997 Kiotossa. UNFCCC:n perustamisesta päätettiin Rion kestävän kehityksen konferenssin yhteydessä 1992 ja se alkoi kokoontua vuonna 1994. Neuvottelujen pohjalta oli tuolloin IPCC:n ensimmäinen arvioreportti (FAS). (IPCC 2004.) Sopimuksella pyritään hillitsemään ilmastomuutosta rajoittamalla kasvihuonekaasujen päästöjä. Kioton sopimus tuli voimaan tämän vuoden alusta, kun Venäjä ratifioi sopimuksen marraskuussa 2004. Sopimuksen on nyt ratifioinut 148 maata. (UNFCCC 2005a.) Sopimuksen mukaan siinä olevien Annex I maiden (kehittyneet maat) tulisi leikata päästöjään ajanjaksolla 2008–2012 siten, että lopullinen vähennys olisi 5 % vuoden 1990 tasosta. EU:n sisäisessä jaossa Suomen tavoitteeksi asetettiin vuoden 1990 taso, jonka

saavuttaminen tuntuu näillä näkymin erittäin vaikealta kokonaispäästöjen ollessa nousevalla uralla (kuvio 2.5).

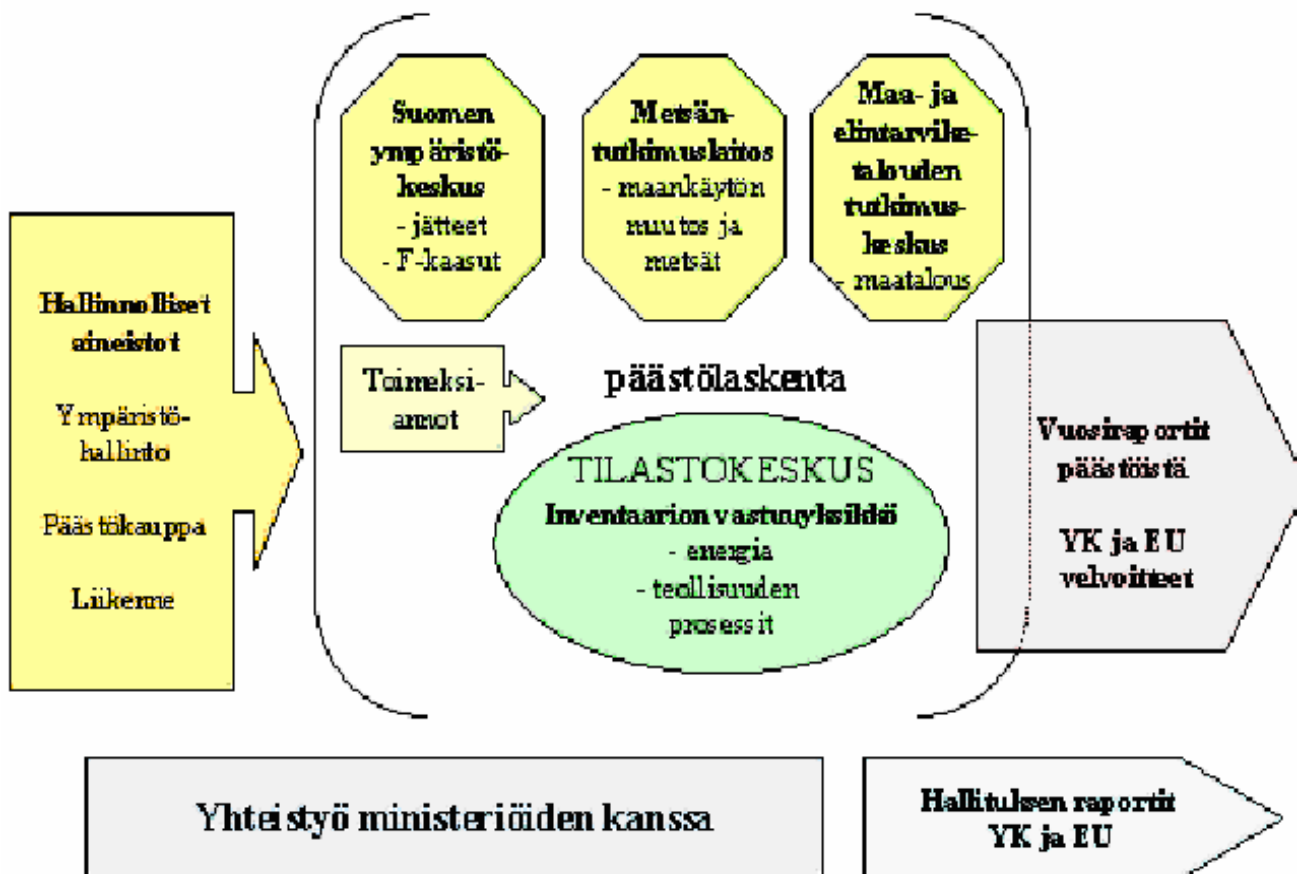


Kuvio 2.5. Kasviuonekaasujen päästötrendi suhteessa Kiotoon pöytäkirjan tavoitteeseen (Tilastokeskus 2005c).

Kehitysmailla ei päästövähennystavoitteita asetettu vielä tässä vaiheessa, mutta tulevaisuudessa niiden tulee olla mukana vähentämässä päästöjä, jotta sopimus voisi olla relevantti ilmastonmuutoksen kannalta. Nykyisin Annex I:een kuuluvat kaikkein kehittyneimmät teollisuusmaat, eli ns. Annex II maat (Annex I maat ilman siirtymätalousmaita) osallistuvat köyhemmissä maissa tapahtuvien vähennysten kustannuksiin. Vähennykset voivat tapahtua vähennyksinä maiden omista päästöistä, tai Kiotoon joustomekanismien kautta muualla. Näitä mekanismeja ovat kansainvälinen päästökauppa, yhteistoteutus (JI = joint implementation) ja puhtaan kehityksen mekanismit (CDM = clean development mechanisms). Annex I maat voivat investoida JI ja CDM mekanismeihin ja sen ulkopuoliset maat ovat oikeutettuja ottamaan vastaan CDM investointeja. Mekanismien avulla on haluttu antaa mahdollisuus kustannustehokkaamman ratkaisun löytymiseen ja maiden välisen tasa-arvon toteutumiseen. (UNFCCC, 2005b.)²

² Kiotoon sopimuksen Annex luettelot voivat olla harhaanjohtavia: Annex I ja Annex II ovat puhtaasti listoja maista, joita sopimus koskee eri tavoin. Annex A on lista sopimuksen piirissä olevista kasviuonekaasuista ja Annex B puolestaan Annex I:n kanssa miltei identtinen lista (Annex I maat Valko-Venäjä ja Turkki eivät ole mukana Annex B:ssä), sillä erotuksella, että Annex B maat ovat hyväksyneet erillisessä sopimuksessa (ns. QELRC) määrättyt tavoitteet päästöilleen.

Sopimuksessa mukana olevat maat ilmoittavat tietyin väliajoin omat päästömääränsä UNFCCC:lle ja seuraavan, eli neljännen raportin deadline on 1.1.2006. Päästöt lasketaan sektoreittain IPCC:n antamien ohjeiden (IPCC, 1996) mukaisesti, jolloin kaikki kansantalouden päästöt tulevat raportissa huomioiduksi. (UNFCCC, 2005c.) Viimeisin Suomen päästöinventaarioraportti on vuodelta 2003 ja se on löydettävissä netistä (Statistics Finland 2005). Maatalouden päästöt, jotka ovat merkittäviä tämän työn kannalta, käsitellään raportissa kappaleessa 6, sivuilla 101–128. Kuviossa 2.6. nähdään kuinka Suomen päästöjen laskentaprosessi tapahtuu institutionaalisessa kontekstissa nähtynä.



Kuvio 2.6. Kasvihuonekaasujen arviointijärjestelmä Suomessa (Tilastokeskus 2005d).

Aiheen kannalta on keskeistä huomata, että Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitos MTT on saanut toimeksiannon hoitaa maatalouden aiheuttamien päästöjen inventoimisen Tilastokeskuksen huolehtiessa valtaosasta päästöjen laskentaa ja niiden koordinoinnista. Koska maatalouden päästöt tulevat tilastoissa huomioitua omana ryhmänä, on näiden päästöjen kehitystä siksi mielekästä tutkia myös omana ryhmänä. Päästöjä kannattaa taloustieteen oppien mukaisesti vähentää siellä missä se on kaikkein kustannustehokkainta. IPCC:n arvioreportti päästöjen hillitsemisestä (2001b, 31 ja 35) arvioi maataloussektorilla olevan jonkin verran mahdollisuuksia saavuttaa päästöjen vähennyksiä hyvin alhaisin tai jopa negatiivisin kustannuksin. On kuitenkin huomattavaa, että muut sektorit kuten teollisuus, liikenne ja energian tuotanto voivat tehdä vähennyksiä vieläkin vähäisem-

millä kustannuksilla. Kuitenkin Pipatti, ym. (2000) ovat arvioineet suomalaisessa maataloudessa löytyvän useita mahdollisuuksia vähentää kustannuksia jopa negatiivisin kustannuksin: taulukossa 24 (2000, 64) sianlihan-, naudanlihan- ja maidontuotannossa kaikissa on olemassa negatiivisia kustannuksia, joilla voidaan saavuttaa vähennyksiä kasvihuonekaasujen päästöissä. Sen sijaan lannan kompostointiin liittyy suuriakin kustannuksia (esim. lehmänlannan kompostoinnille 7000 mk/t CO₂-ekvivalentin vähennyksestä), mutta nämä kustannukset tulevat loppulaskelmassa kompensoitua tuotannon tehostuttua muiden parannusten myötä. Tämä tuotannon tehostaminen on mahdollista tehokkaammalla resurssien allokaatiolla ja teknologioiden kehittämisellä. Tämän vuoksi indusoitu teknologinen kehitys (ITC = induced technological change) on mielenkiintoinen seikka myös maataloudessa. Indusoitu teknologinen kehitys pyrkii vaikuttamaan teknologioiden kehittämiseen liittyviin ulkoisvaikutuksiin: jotta uuden teknologian kehittämiseksi ominaiset ulkoisvaikutukset voitaisiin välttää, voi olla optimaalista käyttää yhteiskunnallisia tukitoimia.

Suomessa ilmastonmuutokseen vaikuttamisen lähtökohtana on EU:n ympäristöpolitiikka. Komission alaisuudessa toimiva Eurooppalainen ilmastonmuutosohjelma (ECCP = European Climate Change Programme) tekee selvitystyötä mahdollisista politiikkavaihtoehdoista ja EU:n mahdollisuuksista päästä Kioton tavoitteisiin. Erityisesti ohjelman toisessa vaiheessa 2002–2003 käsiteltiin maataloustuotannon kannalta olennaisia seikkoja, kuten maatalouden potentiaalia hillitä ilmastonmuutosta (COM(2000) 88), maatalousmaan hiilen varastoisuutta (ECCP 2002) ja biopolttoainetuotantoa (COM(2001) 547). Edellä mainittu esitys biopolttoaineista johti uuden biopolttoainedirektiivin (2003/30/EY) laatimiseen. Keskeisenä politiikkainstrumenttina EU:n ilmastonmuutoksen hallinnassa on päästölupien kauppa, jonka avulla toivotaan päästävän Kioton tavoitteisiin. Läheisesti tähän liittyy komission valkoisessa kirjassa (COM(97) 599) asetettu tavoite nostaa uusiutuvien energiamuotojen osuus 12 % kaikesta energiantuotannosta nykyisen osuuden ollessa n. 6 %. Kaikkein eniten aiotaan nostaa biomassan osuutta energiantuotannossa.

Suomen maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen osalta merkittävä dokumentti on maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio vuodelta 2001 (MMM, 2001), joka pohjaa Suomen kolmannessa maaraportissa (UNFCCC 2001) esitettyihin ennusteisiin. Tällöin kehitystä arvioitiin MTT taloustutkimuksen sektorimallilla EU:n Agenda 2000 maatalouspoliittista uudistusta silmällä pitäen. Muistion päätelmissä summataan nykyisen maatalouspoliittisen kehityksen jo sinällään ajavan kohti suotuisaa kehitystä myös maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen suhteen. Tuotannon alentamista ei nähdä potentiaalisena ratkaisuna ilmastonmuutoksen ongelmaan, sillä tuotannon siirtyminen muualle ja lisääntyvä elintarvikkeiden tuonti aiheuttaisi omat, todennäköisesti vielä suuremmat päästönsä. Sen sijaan tuotannon tehostaminen kotimaassa ja ympäristöpolitiikkojen kehittäminen maatalouden osalta nähdään ministeriössä potentiaalisina vaihtoehtoina. (MMM 2001, 38.) Tämän vuoden alussa Maa- ja metsätalousministeriö julkaisi edellä mainitun muistion pohjalta tehdyn työn tuloksena Ilmastonmuutoksen kansallisen sopeutumisstrategian (MMM 2005). Kaikkein laaja-alaisempaan, kaikki yhteiskunnan osa-alueet linkittävään malliin kasvihuonekaasujen osalta tulisi kuitenkin sisällyttää vaikutukset energian käytön sekä liikenteen ja kuljetusten muutoksista eri politiikkatoimien seurauksena. Lisäksi tulisi huomioida vaikutukset työllisyyteen ja aluetalouteen. Tällöin vasta maataloustuotannon todelliset vaikutukset yhteiskunnalliseen optimiin tulisivat esille.

3. Teoria

Käsittelen opinnäytetyössäni maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen kehittymistä Suomessa lähitulevaisuudessa lähestyen aihetta mikrotaloustieteen ja erityisesti ympäristötaloustieteen teorioiden näkökulmasta ja pyrin samalla arvioimaan, kuinka eri politiikkatoimet sekä maatalouden että ympäristön suhteen vaikuttavat tähän kehitykseen. Keskeisiä käsitteitä tässä teoreettisessa viitekehyksessä ovat mikrotaloustieteen teoriat yritysten tuotantopäätöksistä ja ympäristötaloustieteen ulkoisvaiikutusten teoria. Tärkeitä erikoistapauksia ovat hajapäästöjen teoria, joka koskee erityisesti maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista, sekä globaali saastuminen, joka taas on olennainen seikka ilmastonmuutokseen vaikuttavien kasvihuonekaasupäästöjen tapauksessa. Edellinen käsite on keskeinen käsillä olevan ongelman kannalta, mutta myös jälkimmäinen seikka on hyvä pitää mielessä asiakokonaisuuden selkeämmän hahmottamisen ja tutkimuksen perimmäisten syiden tunnistamisen vuoksi. Globaalin saastumisen ottaminen mukaan itse tarkasteltavaan malliin ei ole kuitenkaan mallinnusteknisesti realistista ja tämän vuoksi se jää tutkimuksen ulkopuolelle. Nämä mainitut seikat ovat molemmat erikoistapauksia ympäristötaloustieteen teorioista, jotka vaativat perusteoriaa laajempaa näkemystä aiheesta. Käyn ensin läpi muutamia keskeisiä peruskäsitteitä mikrotaloustieteen ja ympäristötaloustieteen teoriakehikoista, joiden ymmärtäminen on välttämätöntä ennen teorian tarkempaa spesifointia.

3.1. Mikrotalousteoria ja tuotantopäätösten tekeminen maataloudessa

Mikrotaloustiede on se taloustieteen osa, joka tutkii yksittäisten talouden toimijoiden tekemiä taloudellisia päätöksiä. Maatalouden osalta tällaisia toimijoita ovat erityisesti maataloustuottajat ja kuluttajat, sekä maatalouspolitiikan kannalta myös veronmaksajat ja julkinen sektori. Maataloustuotantoa kuvaavat hyvin muutamat erityispiirteet, kuten tuotannon perustuminen luonnon prosesseihin ja tästä johtuva epävarmuus, heterogeenisyys tuotantotekijöissä sekä kausittaiset vaihtelut tuotannossa. Tuotantopäätösten ja itse tuotannon realisoitumisen välillä on maataloudessa varsin pitkä viive muihin tuotantomuotoihin verrattuna, mikä lisää epävarmuutta tuotantopäätösten suhteen. Maataloustuotteiden hinnat ovat yleensä ottaen varsin herkkiä vaihteluille ja niiden kysyntä on usein varsin joustamatonta johtuen tuotteiden helposta keskinäisestä korvattavuudesta. Maatalouden tuotteet ovat kuitenkin kuluttajille varsin välttämättömiä: vaikka elintarvikkeiden osuus kuluttajien kulutusmenoista on ns. Engelin lain mukaisesti laskeva, ei sen voida nähdä koskaan häviävän kokonaan. Tämä on syytä pitää mielessä ilmastonmuutoksen käsittelyssä erityisesti kun maankäyttömuotojen välisen kilpailun voi olettaa kiristyvän uusiutuvan energian käytön lisääntyessä ja väestönkasvun jatkuessa edelleen. Maataloustuotannolle voidaan katsoa olevan myös tyypillistä useiden eri tuotteiden yhtäaikaista tuottamista useiden eri tuotantopanosten avulla. Monet tuotteet sekä panokset ovat myös komplementteja toistensa kanssa, ja riippuu olosuhteista ja vallitsevista hinnoista millaiseksi optimaalinen tuotanto muodostuu. (Boussard 1987, 9-16; Tomek ja Robinson 1990, 1-3.) Käsillä olevan ongelman kannalta on keskeistä ymmärtää, että kasvihuonekaasujen päästöt ovat usein varsinaisen tuotannon sivutuotteita ja varsinaisen tuotannon vähenemisen voi olettaa vähentä-

vän myös sivutuotteiden tuotantoa. Typpilannoituksen voidaan katsoa olevan dityppioksidin tuotannolle komplementti panos.

3.1.1. Voiton maksimointi

Mikrotalousteorian perusteiden mukaan yrityksen tuotto maksimoituu silloin, kun tuotteesta saatava hinta eli tuotannon rajahyöty vastaa tuotannosta koituvaa rajakustannusta ($p = c'$). Mikrotaloustieteen teorit tuotannosta sopivat markkinarakenteen osalta erityisen hyvin juuri maataloustuotannon kuvaamiseen johtuen alalla olevien tuottajien suuresta määrästä: voidaan katsoa, että maataloussektori on hyvin lähellä täydellistä kilpailutilannetta sisäisesti, ja siksi kaikki tuottajat ottavat tuotteiden ja panosten hinnat annettuina. Panos- ja tuotemarkkinat voivat kuitenkin toisaalta olla hyvinkin keskittyneitä rakenteiltaan, mutta perustuotannossa voidaan hyvin nähdä vallitsevan täydellinen kilpailu. Panosten ja tuotteiden hintojen muutosten voidaan nähdä olevan ensisijainen tuotantoa ohjaava tekijä, vaikka epätäydellisten markkinoiden ja markkinaepäonnistumisten tapauksessa muitakin ohjaavia tekijöitä on olemassa. Teorian mukaan yrityksen oletetaan maksimoivan hyötyjään relevantilla aikavälillä. Eri aikaväleillä hyötyjen maksimointi muodostuu eri tavoin johtuen tuotantopanosten eri pituisista käyttöistä ja epävarmuuden kasvamisesta kaukaisempaa tulevaisuutta kohti mentäessä. Esitän seuraavaksi, kuinka yritys maksimoi hyötyjään pitkällä ja lyhyellä aikavälillä sekä samalla, kuinka yritys valitsee optimaalisen tuoteperheen. Esitys perustuu lähteeseen Gravelle ja Rees (1992, 230–246) ja Boussard (1987, 31–39) sovellettuna, jos ei muutoin mainita.

Pitkällä aikavälillä tarkoitetaan taloustieteessä aikaväliä, jonka aikana kaikki tuotantopanokset ovat vaihdettavissa. Maataloustuotannossa tämä vaihtelee jonkin verran riippuen tuotantosunnasta. Pitkällä aikavälillä useaa tuotetta tuottava yritys pyrkii maksimoimaan voittoa π valitsemalla käyttämänsä tuotantopanokset seuraavasti:

$$(3.1) \quad \begin{aligned} \max_x \quad & \pi = p'y - w'x \\ \text{s.t.} \quad & y \leq f(x) \\ & y, x \geq 0, \end{aligned}$$

jossa y merkitsee tuotettavien tuotteiden (rivi)vektoria $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$, x tuotantopanosten (rivi)vektoria $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ ja p' markkinoilla määräytyvien tuotteiden hintojen (sarake)vektoria sekä w' puolestaan panosten hintojen (sarake)vektoria. Ensimmäinen rajoite (s.t.) kertoo, että yritys käyttää tuotantopanoksensa tuotannossaan joko tehokkaasti (yhtälö-osuus) tai tehottomasti (epäyhtälö-osuus). Tuotos y on tilan toimiessa tehokkaasti yhtä kuin tuotantofunktio $f(x)$, joka pitää sisällään biologis-teknologiset rajoitukset tuotannolle. Tehokkuuden toteutumisen aste riippuu tilan sisäisestä järjestelystä. Toinen rajoite sulkee ei-negatiiviset tuotteet ja panokset pois ratkaisusta mahdollomina.

Tällöin maksimoinnin välttämättömäksi ensimmäisen asteen ehdoksi (jotta piste olisi paikallinen optimi) saadaan (Varian 1984, 47):

$$(3.2) \quad \partial\pi/\partial x = p f'(x) - w \equiv 0,$$

jossa

$$f'(x) = f'(x(p, w)).$$

Tämä kertoo, että tuotteiden ja panosten hinnat vaikuttavat tehtyihin tuotantopäätöksiin ja siten valittavaan tuoteperheeseen.

Toisen asteen ehdoksi saadaan (jotta piste maksimoisi hyödyn):

$$(3.3) \quad \partial^2\pi/\partial x^2 = p f''(x) \leq 0.$$

Lyhyellä aikavälillä tarkoitetaan taloustieteessä tuotantoperiodia, joka maataloudessa tarkoittaa yleensä kasvukautta. Tällöin vain kyseisellä kasvukaudella käytettävät tuotantopanokset ovat muutettavissa, ja siksi muut kustannukset ovat uponneita, eivätkä ole siis taloudellisesti muutettavissa. Nyt maksimointiyhtälö muuttuu seuraavasti:

$$(3.4) \quad \begin{aligned} \max_{x_V} \pi &= p'y - w_V'x_V - w_F'x_F \\ \text{s.t. } y &\leq f(x_V, x_F) \\ y, x &\geq 0, \end{aligned}$$

jossa tuotantopanosten vektori x on nyt jaettu kahteen osaan x_V ja x_F , joista ensimmäiseen sisältyvät muuttuvat tuotantopanokset ja jälkimmäiseen kiinteät tuotantopanokset. Tuotantopanosten hintavektori w' on samalla tavalla jaettu muuttuvien ja kiinteiden kustannusten hintavektoreihin. Ensimmäinen rajoite kertoo, että tila voi käyttää muuttuvia tuotantopanoksiaan joko tehokkaasti tai tehottomasti. Tuotos y on nyt funktio muuttuvista tuotantopanoksista ja riippuu myös tilan sisäisestä tehokkuudesta. Sen sijaan uponneet kiinteät kustannukset eivät ole muutettavissa, mutta vaikuttavat tilan tuotantomahdollisuuksiin ja syntyviin kustannuksiin. Maksimoidessaan tulojaan tila voi kuitenkin valita vain käytettävien muuttuvien tuotantopanosten määrän.

Nyt maksimoinnin välttämättömäksi ensimmäisen asteen ehdoksi saadaan:

$$(3.5) \quad \partial\pi/\partial x_V = p f'(x_V) - w_V \equiv 0,$$

jossa

$$f'(x_V) = f'(x_V(p, w, x_F)).$$

Tämä taas kertoo, että tuotteiden ja panosten hinnat sekä uponneet kustannukset vaikuttavat tehtyihin tuotantopäätöksiin.

Toisen asteen ehdoksi saadaan vastaavasti:

$$(3.6) \quad \partial^2 \pi / \partial x_V^2 = f''(x_V) \leq 0.$$

3.1.2. Maatalouspolitiikan vaikutus tuotantopäätöksiin

Maatalous on yksi kiistanalaisimmista sektoreista Euroopan unionissa yhteisen maatalouspolitiikan (Common agricultural policy = CAP) harjoittamisen kautta saamiensa julkisten tukien vuoksi. CAP:n perustukset luotiin jo Rooman sopimuksessa vuonna 1957 ja sen avulla pyrittiin yhtenäistämään silloista Euroopan yhteisöä taloudellisesti ja samalla turvaamaan elintarviketuotanto yhteisön alueella. Viralliset tavoitteet, jotka politiikalle tuolloin asetettiin Rooman sopimuksen artiklassa 39, ovat maatalouden tuottavuuden parantaminen teknisen kehityksen ja resurssien optimaalisen allokaation kautta, viljelijäväestön tulotason turvaaminen, markkinoiden stabilointi, maataloustuotteiden tarjonnan turvaaminen ja kohtuulliset kuluttajahinnat. Vaikka suurimmaksi osaksi nämä tavoitteet onkin saavutettu, ei kritiikiltä ole voinut välttyä sen suhteen kuinka paljon tämä saavutus on yhteisölle tullut maksamaan; ylituotanto, korkeat kuluttajahinnat ja paisunut budjetti tulevat usein ensimmäisenä esille CAP:a koskevassa julkisessa keskustelussa. Eurooppalaisten yhteiskuntien kehittyttyä uudet ongelmat ovat nousseet entisten tilalle ja nopea kehitys on asettanut haasteensa CAP-byrokratian mukana pysymiselle uusien arvojen muodostumisessa nykypäivänä. Uusklassisen taloustieteen näkökulmasta CAP ja sen myötä maksetut tuet voidaan nähdä julkisen vallan tarpeettomana puuttumisena markkinoiden toimintaan, mikä voi aiheuttaa yhteiskunnalle hyvinvointitappioita tehottoman resurssien allokaation vuoksi. Esimerkkeinä tästä voidaan mainita maataloustuotteiden ylituotanto, ylijäämän tuetusta viennistä ja korkeasta rajasuojasta koituvat maailmanmarkkinoita häiritsevä vaikutus sekä keskittyneestä tuotannosta koituvat ongelmat ympäristölle, jotka ovat kaikki olleet keskeisiä syitä CAP:n uudistusprosessille.

Toisaalta tuilla voidaan pyrkiä poistamaan markkinaepäonnistumisien tuomia hyvinvointitappioita. Tästä voidaan puolestaan mainita esimerkkinä maataloustuotannon tuottamat julkishyödykkeet kuten maatalousmaisema, biodiversiteetti ja maaseudun elinvoimaisuus aluetaloudellisena tekijänä. Maatalouden monivaikutteisuus on nykyisessä julkisessa keskustelussa usein käytetty konsepti, jolla tarkoitetaan juuri maataloustuotannosta syntyviä vaikutuksia, joita markkinat eivät ota huomioon (esim. Lankoski 2003 ja Yrjölä ja Kola 2001). Maatalouden vaikutukset ilmastonmuutokseen sisältävät sekä myönteisiä että kielteisiä vaikutuksia. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseen tähtääviä toimia voidaan kuitenkin pitää maatalouden monivaikutteisuuden osana, jota on tutkittu vielä kuitenkin varsin vähän.

Viimeksi EU:n yhteistä maatalouspolitiikkaa uudistettiin vuonna 2003, jolloin päädyttiin irrottamaan tukia tuotannosta. Tällä pyrittiin vähentämään tukien vääristäviä vaikutuksia maatalouden kauppaan. (EC 2004.) On kuitenkin selvää, että tuet joka tapauksessa vaikuttavat maanviljelijöiden tuotantopäätöksiin ainakin jossain määrin. Tuotantopäätösten voidaan katsoa olevan nyt muotoa $x = x(p, w, s)$, jossa p ja w tarkoittavat markkinahintoja ja s tarkoittaa maatalouspolitiikan toimia. Jos

ajatellaan, että s on vektori maatalouspolitiikan toimista, joka on samandimensioinen tuotantovektorin y kanssa, muuttui tämä vektori viimeisimmän uudistuksen myötä melko radikaalisti yhdenmuukaisempaan suuntaan. Toisin sanoen tuet muuttuivat yhtäläisiksi tuotettavien tuotteiden suhteen muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Uudistuksessa nimittäin jätettiin hieman pelivaraa jäsenmaille, jotka pystyivät jättämään osan tuesta tuotantoon sidotuksi eräiden strategisten tuotteiden osalta. Voidaan myös sanoa, että muutoksen myötä vektorilla s on mallissa edelleen tuotantoa kannustava rooli, mutta sen ohjaavuus tuotantopäätösten suhteen on laskettu minimiin ja annettu markkinoiden ohjata viljelijöiden valintoja yhä suuremmassa määrin. Uudistus astuu voimaan Suomessa vuonna 2006.

3.1.3. Tuotantoteknologian kehittyminen

Erityisesti pitkällä aikavälillä tuotantoteknologian kehittyminen näyttelee keskeistä roolia viljelijöiden tekemissä tuotantopäätöksissä. Sen vuoksi voidaan katsoa, että tuotantofunktio y on pitkällä aikavälillä muotoa $y = f(x, t)$, jossa t tarkoittaa aikaa. Nyt tuotantofunktio ajan suhteen on $y(t) = f(x(t), t)$. Olennaista on estimoida teknologian muutos ajan suhteen. Tällöin

$$(3.7) \quad dy/dt = \partial f/\partial x \cdot dx/dt + \partial f/\partial t.$$

Yhtälön oikean puolen ensimmäinen osa ilmaisee yksittäisten tuotantopanosten tuoman muutoksen tuotantoon ja jälkimmäinen koko tuotantofunktion muuttumisen ajassa teknologian muutoksen seurauksena. Tämä jälkimmäinen osa on ns. ilmentymätön (disembodied) teknologian muutos, koska se ei ilmenny yksittäisten panosten vaikutusten muutoksena, vaan panosten muutosten vaikutuksena kaikkien panosten allokointiin tuotannon sisäisesti. Jakamalla yhtälön kaikki tekijät y :llä saadaan esille suhteelliset muutokset. Cobb-Douglas muotoiselle yhtälölle voidaan kirjoittaa seuraavasti

$$(3.8) \quad dy/dt \cdot 1/y = \alpha \cdot dx/dt \cdot 1/x + m,$$

jossa α on ikään kuin tuotantopanosten muutosten vektori tuotannon suhteen ja m ilmentymättömän teknologisen muutoksen asteittainen muutos. (Intriligator ym. 1996, 306.)

Tuotantotekniikkaan vaikuttavat uudet innovaatiot, joita yritykset tekevät tehostaakseen toimintaansa, mutta joita voidaan myös kannustaa toteutumaan erilaisilla politiikkatoimilla. Ympäristöpolitiikan voidaan nähdä ohjaavan teknistä kehitystä siten, että tuotannossa oleva teknologia vastaa paremmin ympäristöpolitiikan vaatimuksiin. Taloustieteen oletus rationaalisesta taloudellisesta toimijasta ei salli ajatusta uusista innovaatioista rajoitusten seurauksena. Sen mukaan rationaalinen toimija ei olisi rationaalinen, jos hän ei ottaisi uutta innovaatiota käyttöön jo ennen rajoittavaa lainsäädäntöä. Tämä liittyy kuitenkin kiinteästi oletukseen täydellisestä informaatiosta, joka todellisuudessa ei ole käytännössä mahdollista. Maanviljelijän kannattaa tietysti aina etsiä uutta informaatiota yritystoimintansa tuloksen parantamiseksi, mutta koska tietoa on olemassa rajaton määrä ja aikaa ja resursseja vain rajallisesti, tarvitaan osasysteemi, joka ohjaa uuden tiedon etsintää. Tällaisena

osasysteeminä toimii poliittinen päätöksenteko, johon yhteiskunnassa vallitsevat arvokäsitykset ovat ideaalisessa tapauksessa suodattuneet. (Wossink ym. 2001, 348.) Ilmastonmuutoksen kannalta mielenkiintoinen seikka on ns. indusoitu teknologinen kehitys (ITC = induced technological change), jota mm. hallitustenvälinen ilmastopaneeli IPCC peräänkuuluttaa varsin voimakkaasti raporteissaan (IPCC 2001a, 550–551). Tällä tarkoitetaan tutkimukselle ja kehitykselle suunnattuja tukitoimia, joiden avulla yhteiskunta pyrkii vaikuttamaan suotuisan teknisen kehityksen muodostumiseen. ITC edistää yhdessä tekemällä oppimisen (LBD = learning by doing) kanssa päästöjen vähentämiseen vaikuttavien teknologioiden kehittämistä poistamalla uuden teknologian kehittämisestä koituvia ulkoisvaikutuksia. Näitä on esimerkiksi kehitetyn tiedon "vuotaminen" (spill-over effect) ja suuri epävarmuus. Lisää ITC:stä ilmastonmuutoksen yhteydessä löytyy esim. lähteestä Goulder (2004).

3.1.4. Toimijoiden liikkuminen markkinoille ja niiltä ulos

Eräs mikrotalousteorian perusoletuksista täydellisesti toimiville markkinoille on toimijoiden vapaa liikkuminen markkinoille ja niiltä ulos (entry/exit). Aiemman tarkastelun keskittyttyä siihen millä ehtoilla markkinoiden toimijat tuottavat optimaalisesti, takaisi tämä ehto puolestaan sen, että markkinoilla on optimaalinen määrä toimijoita. Todellisuudessa tämä tilanne ei useinkaan toteudu, vaan on olemassa monia seikkoja, jotka vaikeuttavat tällaista liikkumista. Periaatteessa täydellisesti toimivien rahoitusmarkkinoiden vallitessa yrityksillä ei pitäisi olla mitään esteitä liikkua markkinoille ja sieltä pois. On kuitenkin tavallista, että informaation epätäydellisyys ja epävarmuus estävät rahoitusmarkkinoita toimimasta täydellisesti. Tämän jälkeen muut mahdolliset esteet tulevat efektiivisiksi. Monopoli voi tehokkaasti estää uusia kilpailijoita tulemasta markkinoille lukuisin eri tavoin (Gravelle ja Rees 1992, 285–296). Esimerkkinä voidaan mainita markkinavoiman käyttäminen kilpailijoiden toiminnan alasajoon alueellisesti ja verkostoulkoisvaikutuksen hyödyntäminen. Jälkimmäisestä voidaan mainita uuden polttoaineen yleistymisen kohtaamat ongelmat olemassa olevan perinteisen polttoaineen jakeluun keskittyneen huoltoasemaverkoston vuoksi.

Korkeiden kiinteiden kustannusten aloja pidetään joskus ns. luonnollisina monopoleina, jolloin kilpailun syntyminen olemassa olevilla kustannuksilla ei ole mahdollista. Korkeat ns. upotetut kustannukset taasen voivat viivästyttää alalta poistumista, mikä on varsin yleistä maataloustuotannon tapauksessa. Oligopolistisuutta ei suomalaisessa maataloustuotannossa juurikaan esiinny, mutta maatalouden panos- ja tuotosmarkkinoilla sen voidaan nähdä olevan jokseenkin yleistä. Entry/exit-vääristymästä maatalouden osalta tulee kyseeseen ikäänntyvät maanviljelijät, jotka haluavat tai joutuvat muiden vaihtoehtojen puutteessa jatkamaan viljelyä sen tehottomuudesta huolimatta. Suuria ja peruuttamattomia investointeja vastikään tehneet tilat ovat monta kertaa sellaisessa tilanteessa, että niiden ei olekaan järkevää tehdä muuta kuin jatkaa toimintaansa. Ympäristöpolitiikka voi rasittaa edellä mainitun kaltaisia tiloja ja johtaa jopa tuotannosta luopumiseen. Lisäksi maataloustuet voivat mahdollistaa tehottoman toiminnan jatkamisen.

3.2. Ympäristotaloustieteen peruskäsitteitä

Ympäristotaloustiede on syntynyt toisaalta eräänlaisena kritiikkinä valtavirran uusklassista taloustiedettä kohtaan ja toisaalta sen laajenuksena. Pohjalla olevat klassisen taloustieteen teoriat pyrkivät kuvaamaan hyvinvoinnin muodostumista ja markkinoiden toimintaa tehokkaana varantojen allokoina yhteiskunnassa. Sen lähtöajatus on peräisin taloustieteen isältä Adam Smithiltä, joka näki markkinoiden toiminnan johtavan yhteiskunnan kokonaisyödyn maksimointiin. Markkinavoimat koostuvat omaa etuaan ajavista toimijoista ja ovat ikään kuin ”näkömätön käsi”, joka ohjaa yhteiskuntaa hyvinvoinnin maksimoitumiseen. Oman edun tavoittelu johtaa siis yhteisen edun maksimointumiseen Smithin mukaan. (Bannock ym. 2003, 357.) Klassisessa talousteoriassa nämä markkinavoimat on määritelty varsin tiukkojen ehtojen vallitessa, eikä tällaisia kuvattuna kaltaisia ”puhtaita” markkinoita todellisuudessa esiinny.

Näiden ehtojen mukaan täydellisillä markkinoilla kaikilla toimijoilla on yhtä suuri valta markkinoihin nähden, transaktiokustannuksia ei ole, informaatio on täydellistä ja symmetristä sekä markkinoille voi tulla ja sieltä voi poistua silloin kun toimija niin haluaa. Kun olemassa olevat markkinat poikkeavat merkittäväällä tavalla kuvattuna ideaalitalanteesta, voidaan todeta että markkinat ovat epäonnistuneet (*market failure*). (Bannock ym. 2003, 243.) Markkinoilla olevat vääristymät (*market distortions*) voivat johtua markkinoiden itsensä epäonnistumisesta tai yhteiskunnallisten toimijoiden toimista, jotka puuttuvat haitallisella tavalla markkinoiden luonnolliseen toimintaan. Ympäristöongelmien voidaan monessa tapauksessa nähdä johtuvan sekä markkinoiden itsensä epäonnistumisista että julkisen vallan toimien aiheuttamista markkinavääristymistä. Ympäristotaloustieteessä markkinoiden epäonnistumisten kuvaamiselle erityisesti tärkeitä käsitteitä ovat ulkoisvaikutukset ja julkishyödykkeet. Näiden tekijöiden tuottaman yhteiskunnallisen haitan arvioimisen vuoksi on ensin kuitenkin syytä käsitellä hieman hyvinvointitaloustieteen peruskäsitteistöä.

3.2.1. Pareto-optimalisuus

Ennen ympäristotaloustieteen käsitteitä on vielä selvitettävä eräs keskeinen seikka hyvinvointitaloustieteestä, nimittäin Pareto-optimalisuus. Hyvinvointitaloustiede on taloustieteen haara, jonka ”mielenkiinnon kohteena on taloudellisen toiminnan järjestelyn yhteiskunnallinen merkitys” (Bannock ym. 2003, 404–405). Pareto-optimalisuuden käsite on lähtöisin 1900-luvun vaihteessa eläneen italialaisen taloustieteilijän Vilfredo Pareton ajatuksista ja on ollut siitä lähtien merkittävä, joskin myös kiistelty, lähtökohta hyvinvointitaloustieteen tarkasteluille. Hänen mukaansa Pareto-optimaliselle tilanteelle välttämätön Pareto-tehokas ratkaisu on yhteiskunnassa saavutettu silloin, kun kenenkään taloudellisen toimijan tilannetta ei voida enää parantaa huonontamatta samalla jonkun toisen toimijan tilannetta. Varianin (1984, 5) mukaan Pareto-tehokas ratkaisu on sellainen, jossa ”ei ole enää muuta ratkaisua, jota kaikki toimijat preferoisivat *yksimielisesti*” (kursiivi lisätty). Yhteiskunnallisessa päätöksenteossa olisikin siis järkevää pyrkiä Pareto-optimaliseen lopputulokseen. Pareto-optimalisuuteen liittyy myös Kaldor-Hicksin kriteeri, joka kertoo, että suoritettu poliittikkatoimi johtaa Pareto-tehokkaaseen ratkaisuun myös silloin, kun politiikasta hyötyvät voivat

hypoteettisesti kompensoida saavuttamallaan hyödyillä politiikasta haittaa kokeville näiden koke-
man haitan, vaikka tällaista kompensatiota ei kuitenkaan todellisuudessa tapahtuisi. Kaldor-
Hicksin kriteeri lisää joustavuutta Pareto-tehokkuuteen pääsemisessä ja on myös neutraali yhteis-
kunnallisen tulojaon suhteen. Kaldor-Hicksin kriteeri on siksi merkittävä, että sitä sovelletaan ny-
kyisessä päätöksenteossa yhä enemmän sen helpon sovellettavuuden ja olemassa olevia valtaraken-
teita suosivan lähtökohdan vuoksi.

Pareto-optimaalisuus on kuitenkin myös teoreettisesti ongelmallinen erityisesti siitä syystä, että
Pareto-tehokkaita ratkaisuja voi olla useita, jotka ovat keskenään samanarvoisia. Tällöin kohdataan
ongelma siitä, kenen hyvinvointi maksimoidaan, kun vaihtoehtoja samaan lopputulokseen pääsemi-
sestä on useita (voidaan valita politiikka x , joka hyödyttää enemmän toimijaa a kuin toimijaa b ,
silloin kun on olemassa myös a :ta vähemmän ja b :tä enemmän hyödyttävä politiikka y , jolle pätee y
 $= x$). Tämän vuoksi Kaldor-Hicksin kriteeri voisi tarjota houkuttelevan ratkaisun. Se sisältää kui-
tenkin itsessään ongelmia. Edellä viitattiin jo mahdolliseen arvovapauden tuomaan kyseenalaisuu-
teen tulojaossa (rikkaat voivat rikastua ja köyhät köyhtyä ilman kompensatiota Kaldor-Hicksin
kriteerin mukaisesti). Voidaan myös päätyä Scitovskyn paradoksiin, jolloin on sama mihin suuntaan
hypoteettinen kompensatio tapahtuisi ja kuitenkin saavutetaan kaikkia osapuolia tyydyttävä ratkai-
su. Tämä johtaa sykliin sovellettavien eri vaihtoehtojen välillä. Vain silloin kun henkilökohtaiset
tulotasot eivät vaikuta toimijoiden arvostuksiin muutoksia kohtaan, Kaldor-Hicksin kriteeri ei johda
tähän paradoksiin. (Gravelle ja Rees 1992, 487–489.) Kaiken kaikkiaan on hyvä huomata, että Pare-
to-tehokkuus on ennen kaikkea yhteiskunnallista tehokkuutta kuvaava käsite, eikä ota niinkään kan-
taa tasapuolisuuteen politiikkatoimissa.

3.2.2. Ulkoisvaikutukset

Ulkoisvaikutukset (*externalities*) ovat kenties kaikkein tunnetuin esimerkki markkinoiden epäonnis-
tumisesta ympäristöongelmien ollessa kyseessä. Ulkoisvaikutuksella tarkoitetaan taloudellisen toi-
mijan tuottamaa vaikutusta, josta koituvat kustannukset tai hyödyt eivät tule huomioiduiksi kysei-
sen toimijan päätöksenteossa. Toisin sanoen ulkoisvaikutus ei näy markkinahinnoissa sinänsä, mut-
ta se vaikuttaa tuotantoon ja/tai koettuun hyötyyn (Hanley ym. 1997, 29). Baumol ja Oates (1988,
17) antavat kaksi ehtoa, jotka taloudellisesta toiminnasta syntyvän vaikutuksen tulee täyttää, jotta
voidaan puhua ulkoisvaikutuksesta:

Ehto 1: Ulkoisvaikutus on olemassa, jos yksilön hyöty- tai tuotantosuhteet sisältävät reaali-
muuttujia, joiden arvot ovat muiden valitsemia ilman että vaikutuksia kyseessä olevan yksilön
hyvinvointiin on huomioitu.

Ehto 2: Taloudellinen päätöksentekijä, jonka toiminta vaikuttaa muiden hyötytasoihin tai si-
sältyy näiden tuotantofunktioihin, ei saa (maksaa) toiminnasta kompensatiota tasavertaista
määrää aiheutuviin hyötyihin (haittoihin) nähden näiltä muilta (näille muille), aiheuttaa ul-
koisvaikutuksen.

Tuotannossaan varsinaisten markkinahyödykkeiden lisäksi saasteita tuottava taloudellinen toimija on tyypillinen esimerkki negatiivisen ulkoisvaikutuksen aiheuttajasta. Jos saasteen tuottaminen ei aiheuta haittaa toimijalle itselleen tai tuotteiden kuluttajille, saastuttaminen on hänelle ilmaista. Saastuttamisesta voi kuitenkin koitua vahinkoa kolmansille osapuolille, jolloin heidän hyvinvointinsa laskeminen on poissa yhteiskunnallisesta hyvinvoinnista eikä Pareto-optimaalista tilannetta tällöin välttämättä saavuteta. Esimerkkinä käsillä olevasta ongelmasta voidaan mainita maatalouden tuottamat kasvihuonekaasupäästöt, joiden yhteiskunnalle tuomat haitat eivät näy viljelijän päätöksenteossa. Ulkoisvaikutusten korjaaminen edellyttää usein julkisen vallan puuttumista markkinoiden toimintaan, mutta täytyy huomata, että myös julkisen vallan toiminnalla on potentiaalia aiheuttaa ulkoisvaikutuksia. Tämä voi nimittäin tulla kysymykseen valtiiovallan tukiessa saastuttavaa toimintaa.

Muotoillaan nyt ulkoisvaikutuksen muodostuminen Baumolin ja Oatesin (1988, 36–40) mukaan edellä käytetyn notaation avulla. Yrityksen tuotantofunktio olkoon muotoa $y = f(x, r, z)$, jossa x on tuotantopanosten vektori, r on puolestaan tuotantopanosten ulkoisvaikutusten vektori ja z kaikkien tuottajien yhteenlasketut ulkoisvaikutukset. Nyt tuottajan hyvinvointi u on muotoa $u(y, z)$. Tuottaja maksimoi tätä hyvinvointiaan ja jotta Pareto-optimiin voitaisiin päästä, seuraavien rajoitteiden täytyy olla voimassa:

rajoite	Lagrangen kertoimet
$u(y, z) \geq u^*$	λ
$f(x, r, z) \leq 0$	μ
$y - x \leq \rho$	ω
ja $x, r, z \geq 0$.	

Ensimmäinen rajoite kertoo, että muille yrityksille (* tarkoittaa tässä muita) ei koidu kompensoimattomia tappioita, toinen määrittelee yrityksen sisäisen tuotannon järjestelyn tehokkuuden ja kolmas ilmaisee yhteiskunnan resurssirajoitteen, jossa ρ on olemassa olevat resurssit. Lagrangen kertoimet ovat varjohintoja funktioille ja ne voidaan tulkita seuraavasti: λ on hyödyille saatava varjohinta ja näin ollen myös riittävä kompensatio hyödyn menetyksestä, μ on tilan sisäiselle tehokkuudelle muodostuva varjohinta, johon vaikuttavat myös päästöt ja ω on puolestaan resurssille muodostuva varjohinta. Pareto-optimille saadaan näin ollen seuraavat Kuhn-Tuckerin ehdot:

x:	$\lambda u - \omega \leq 0$ $x(\lambda u - \omega) = 0$
y:	$-\mu f + \omega = 0$
r:	$-\mu f + \sum \lambda u - \sum \mu f^* \leq 0$ $s(-\mu f + \sum \lambda u - \sum \mu f^*) = 0$.

Näillä ehdoilla voidaan siis todeta, että Pareto-optimaalinen ratkaisu on olemassa ulkoisvaikutusten tapauksessa. Ensimmäinen ehto kertoo, että hyöty kerrottuna sen varjohinnalla voi olla korkeintaan resurssien varjohinnan suuruinen. Toinen ehto kertoo, että resurssien varjohinta on yhtä suuri tilan tuotannon ja sen tehokkuuden varjohinnan tulon kanssa. Kolmas ehto on vaikeampi tulkita, mutta se kertoo kuinka kaikkien tilojen tuotanto ja yhteinen hyvinvointi suhtautuvat toisiinsa ja myös ulkoisvaikutuksiin. Näiden ehtojen tarkemman tulkinnan antavat Baumol ja Oates (1988, 45–47).

Edellä esitettyyn yrityksen voiton maksimoinnin kuvaukseen ulkoisvaikutukset suhtautuvat seuraavalla tavalla. Oletetaan nyt, että on olemassa sellainen tuotannosta johtuva ulkoisvaikutus r , joka on muotoa $r(x, \alpha)$. α on tässä tapauksessa ympäristön vastaanottokykyä kuvaava vektori. Ulkoisvaikutus puolestaan vaikuttaa yhteiskunnan kokemaan hyötyyn haittafunktion D kautta, joka on muotoa $D(r)$. Haittafunktio D on riippuvainen yhteiskunnan sisällä vallitsevista arvostuksista ja voi siis muuttua ajassa yhteiskunnan arvopohjan muuttuessa esimerkiksi yhteiskunnallisen kehityksen seurauksena. Yhteiskunnallinen hyvinvointifunktio on nyt muotoa $u(\pi, D)$, jolloin yhteiskunnan hyvinvointiin ($SW = \text{social welfare}$) vaikuttavat talouden toimijoiden tuotannosta syntynyt hyvinvoinnin lisä ja toisaalta tuotannon ulkoisvaikutuksista johtuvat haitat (tai myös hyödyt). Yhteiskunnallinen suunnittelija pyrkii maksimoimaan tätä hyvinvointia seuraavasti:

$$(3.9) \quad \max SW = \Sigma \pi - D(r).$$

On huomioitava, että vaikka haittafunktio on esitetty negatiivisena, ei asia ole useinkaan näin yksioikoinen johtuen positiivisen ulkoisvaikutuksen mahdollisuudesta. Tähän aiheeseen palaan vielä maataloustuotannon ilmastonmuutosta hillitsevien mahdollisuuksien yhteydessä.

3.2.3. Julkishyödykkeet

Julkishyödykkeillä (public goods) tarkoitetaan sellaisia hyödykkeitä, jotka ovat kulutukseltaan rajattomia (non-rivalness, yhden kuluttajan lisäkulutus ei vähennä muiden mahdollisuutta hyödykkeen kulutukseen), pois-sulkemattomia (non-excludable, ketään ei voida estää kuluttamasta hyödykettä, jos muutkin sitä kuluttavat) ja joskus myös pakollisia kuluttaa (non-rejectable, kulutuksesta ei voi kieltäytyä, vaikka haluaisi) (Bannock ym. 2003, 316). Julkishyödykkeitä ei markkinoilla tuoteta Pareto-optimaalista määrää johtuen sellaisista markkinaepäonnistumisista kuten vapaa-matkustajan ongelma ja siitä, että markkinoita ei välttämättä edes synny. Julkishyödykkeitä täytyy siis tuottaa julkisesti valtiovallan toimesta. Tyypillinen esimerkki tiukasti määritellystä julkishyödykkeestä on maanpuolustus, joka täyttää myös viimeisenä mainitun ehdon (siviilipalvelusmieskään ei voi kieltäytyä maanpuolustuksen kuluttamisesta). Esimerkkinä käsillä olevasta ongelmasta voidaan mainita hyvin hoidetun maatalousmaan kyky varastoida hiiltä itseensä. Koko kansantalouden laajuisesti ajateltuna tällä on julkista hyötyä ilmastonmuutosta hillitsevänä seikkana, josta ketään ei voida sulkea pois. Viljelijä siis tuottaa toimillaan yhteiskunnalle hyötyä, josta hän ei saa kuitenkaan korvausta markkinoilta. Tyypillisesti hyödykkeillä on ominaisuuksia sekä julkis- että yksityishyödykkeiltä, eikä puhtaita julkishyödykkeitä juurikaan esiinny. Viljelijäkin hyötyy usein myös itse viljelymaansa

kunnossapidosta. Siksi myös markkinat voivat tuottaa julkishyödykkeitä, vaikka niiden avulla Pareto-optimaaliseen tilanteeseen ei välttämättä päästäisikään.

3.2.4. Ulkoisvaikutusten ja julkishyödykkeiden välinen yhteys ja ratkaisuehdotukset

Ulkoisvaikutusten ja julkishyödykkeiden välistä rajaa ei ole aina kovinkaan helppo muodostaa. On tärkeää huomata, että molemmat voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia (on siis olemassa myös positiivinen ulkoisvaikutus sekä julkishaitake) riippuen vaikutusten luonteesta ja niiden kohteiden kokemasta hyödystä. Eräs valaiseva näkökulma on käsitellä ulkoisvaikutuksia virtasuureina ja julkishyödykkeitä varantoina. Tällöin julkishyödykkeiden muodostuminen voidaan johtaa siihen vaikuttaneesta ulkoisvaikutuksesta. Taloudellisen toiminnan aiheuttamat negatiiviset ulkoisvaikutukset muodostavat kumuloituessaan julkishaitakkeita, kuten saastumisen seurauksena heikentynyt ilmanlaatu sekä ilmastonmuutos. Yhdessä ulkoisvaikutusten ja julkishyödykkeiden olemassaolo asettavat kyseenalaiseksi markkinoiden kyvyn päästä Pareto-optimaaliseen ratkaisuun yhteiskunnassa.

Pareto-optimaaliseen ratkaisuun pääsemiseksi ympäristötaloustieteessä on ehdotettu useanlaisia ratkaisuja, jotka kuitenkin voidaan jakaa kahteen pääryhmään. Molemmat pyrkivät tavallaan sisäistämään ulkoisvaikutukset taloudellisen päätöksenteon piiriin. Ensimmäinen näistä on ns. pigoulainen ratkaisu, jossa asetetaan maksu (ns. Pigoun vero) saastuttavalle toiminnalle siten, että tuotannon rajakustannus veroineen vastaa yhteiskunnan kohtaamaa rajahyötyä, johon siis ulkoisvaikutukset ovat liittyneet (Baumol ja Oates 1987, 21–23). Toisin sanoen saastumisen aiheuttama rajahaitta ja Pigoun vero ovat samansuuruiset (sama 1987, 42). Toinen lähestymistapa on ns. Coasen teoreema, joka lähtee omistusoikeuksien määrittelystä. Teoreeman mukaan ulkoisvaikutuksia ei synny silloin, kun kaikki omistusoikeudet ovat yhteiskunnassa täysin määriteltä ja vapaa kauppa kaikkien omistusoikeuksien suhteen on mahdollista. (sama 1987, 23–25.) Ongelmaksi kuitenkin nousee se, että kenelle omistusoikeus todellisuudessa kuuluu (ks. Scitovskyn paradoksi edellä Pareto-optimaalisuuden käsittelyn yhteydessä sivulla 27).

Täytyy ottaa myös huomioon, missä järjestyksessä saastuttava toiminta ja uhrien altistuminen ovat toisiinsa ajallisesti. Tällöin voisi ajatella, että ”ensimmäisellä” on luontainen omistusoikeus. Teoreeman laatijan Coasen itsensä mukaan saastuttajan ei tule maksaa missään tapauksessa korvauksia uhreille, sillä korvaus antaa turhan kannustimen joutua saasteille alttiiksi. Ilmastonmuutoksen suhteen on kyseenalaista voidaanko uhreja pitää vastuullisina, kun päästöt tapahtuvat joka puolella maapalloa ja eikä se ole välttämättä missään yhteydessä asuinpaikkojen valintaan. Tähän ilmastonmuutoksen ongelmatiikkaan liittyy läheisesti myös Garrett Hardinin vuonna 1968 muotoilema ”tragedy of commons” teoria, jonka mukaan yhteisomistukselliset luonnonvarat tulevat kestäättömästi käytetyiksi silloin, kun niiden käyttöä ei ole yhteisesti säädelty. Hardinin mukaan teknologisten ratkaisujen etsiminen johtaa vain kierteseen, joka ei ratkaise perimmäistä ongelmaa, eli luonnonvarojen rajallisuutta. Tämän ongelman ratkaisu vaatii yhteistä sopimista luonnonvaran käytön sääntelystä. Tuon ajan hengen mukaisesti Hardin päätyi dikotomiseen näkemykseen, jonka mukaan ongelma voitaisiin ratkaista, joko yhteisomistuksen tai yksityisomistuksen kautta. Mielenkiintoisen

näkökulman ilmastonmuutoksen suhteen tähän tarjoavat Ostrom ja Field (1999) sekä Dietz ym. (2003). Ostrom ja Field tuovat esiin yhteisomistusmuotojen välillä vallitsevan heterogeenisyyden ja huomauttavat ongelman olevan selvästi monimutkaisempi kuin Hardin oli ajatellut. Lisäksi he huomauttavat ongelman monimutkaisuuden yhä kasvavan lähestyttäessä globaalien ongelmien kuten ilmastonmuutoksen tasoa. Dietz ym. lisäävät vielä, että myös instituutioiden heterogeenisuus on tärkeää, jotta optimaaliseen lopputulokseen voidaan päästä. Puhtaan yksityisomistuksen ja puhtaan yhteisomistuksen välimuodot lienevät optimaalisin tapa hoitaa kyseinen ongelma hyvin heterogeenisellä, globaalilla tasolla.

3.3. Huomioita maataloustuotannon ulkoisvaikutuksista

Maataloustuotantoon voidaan liittää useita mahdollisia (positiivisia ja negatiivisia) ulkoisvaikutuksia ja tätä kautta maatalous toimii sekä julkishyödykkeiden että -haitakkeiden tuottajana. Seuraavaksi käyn läpi joitain keskeisiä huomioita maatalouden ulkoisvaikutuksista ja niille ominaisista erityispiirteistä.

3.3.1. Hajakuormituksen tapaus

Maatalouden aiheuttamat päästöt ympäristöön mainitaan ympäristötaloustieteessä usein esimerkkitapauksena niin sanotuista hajapäästöistä (esim. Hanley ym. 1997, 145). Hajapäästöt ovat päästöjen erikoistapaus ja niille on ominaista päästöjen vapautuminen ”laajalla rintamalla” siten, että yhtä yksittäistä päästöpiikistä ei ole havaittavissa. Hajapäästöistä syntyy hajakuormitusta, joka voidaan erottaa yksittäisistä päästölähteistä syntyneestä pistekuormituksesta. Pistekuormituksen aiheuttajista tyypillisiä esimerkkejä ovat tehtaan piiput tai viemäriputket ja hajakuormituksen malliesimerkki on puolestaan maatalouden aiheuttamat ravinnepäästöt vesistöihin. Kaplan ym. (2003, 106–107) määrittelevät hajapäästöt näin: ”päästöjä laajalta alueelta, missä perimmäinen suhde saastuneen alueen ja lähteen välillä ei ole varmuudella tunnettu”. Hajakuormitukseen kohdennettujen politiikkatoimien kehittämisen voidaan sanoa olevan vaativampaa kuin pistekuormituksen tapauksessa, sillä hajakuormituksen suhteen ei voida yksiselitteisesti kertoa, kuinka paljon haitasta johtuu yhden nimenomaisen saastuttajan toimista. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ovat jopa haastavampi ongelma kuin hajapäästöt vesistöihin, sillä nyt päästöt ovat ehkä vieläkin äärimmäisempi esimerkki hajapäästöistä johtuen kasvihuonekaasujen kaasulomuodosta (verrattuna nestemäisiin valumiin). Siinä missä vesistöjen kuormitukseen voidaan vaikuttaa sellaisten teknisten ratkaisujen kuin suojavaikojen avulla, on kasvihuonekaasupäästöjen tapauksessa otettava tarkasteluissa erityisen keskeiselle sijalle erilaiset tuotantomenetelmät sinänsä.

Hajakuormituksen ja pistekuormituksen hallitsemiseen käytettävät politiikkavaihtoehdot ovat monilta osin hyvin eriluontoisia. Pistekuormittajien päästöt voidaan estimoida ja separoida hyvin tyydyttävällä tarkkuudella, mutta hajapäästöjen suhteen asia on monimutkaisempi. Hajapäästöjen tarkka estimointi ja kohdentaminen oikeisiin lähteisiin olisivat hyvin informaatiointensiivisiä toimenpi-

teitä ja korkeiden transaktiokustannustensa vuoksi niiden käyttäminen on myös käytännössä pois suljettu vaihtoehto. Koska hajapäästöjen kontrollissa first-best ratkaisu ei ole käytännössä mahdollinen, on siis turvauduttava erilaisiin yhdistelmiin second-best ratkaisuja. Hyvän esityksen pakollisista politiikoista, joita voidaan soveltaa maatalouden hajapäästöihin, antaa Horan ja Shortle (2001, 37–62). Pakollisia keinoja on usein optimaalista täydentää vapaaehtoisilla politiikkavaihtoehtoilla, joista enemmän Horan ym. (2001). Seuraavaksi esitän vielä eräitä tärkeitä huomioita maataloustuotannon hajakuormittavuuteen läheisesti liittyvistä epävarmuudesta ja heterogeenisyydestä.

3.3.2. *Epävarmuus*

Epävarmuus on reaali maailman tekijä, joka usein estää taloudellista toimijaa saavuttamasta tuotannossaan optimia. Taloustieteen näkökulmasta epävarmuus ei välttämättä ole kuitenkaan ongelma, jos oletetaan että vakuutusmarkkinat toimivat täydellisesti. Tämäkin lienee kuitenkin vain teoreettinen mahdollisuus epätäydellisen informaation vallitessa. Maataloustuotannossa vallitsevaan epävarmuuteen vaikuttaa ennen kaikkea sen sitoutuneisuus luonnon prosesseihin kuten säätilojen muutoksiin ja ilmastoon. Säätila ja maantieteelliset seikat (kuten maalaji ja topografia) vaikuttavat puolestaan yhdessä siihen, kuinka maataloustuotanto todellisuudessa vaikuttaa ympäristöönsä. Tämän vuoksi niin päästöt kuin tuotantofunktiokin ovat luonteeltaan varsin epävarmoja ja stokastisten mallien käyttö vaikutusten estimoinnissa on näin ollen varsin perusteltua. Maataloustuotannon ulkoisvaikutusten tila- ja kulkeutumiskäytännön sisältyä suuren määrän epävarmuutta. (Horan ja Shortle 2001, 29.) Ilmastonmuutokseen sinänsä liittyy runsaasti epävarmuutta, eikä keskustelua ihmisen toimintojen osuudesta ilmaston lämpenemiseen ole vielä käyty loppuun.

3.3.3. *Heterogeenisyys*

Heterogeenisyys on niin ikään olennainen käsite maatalouden tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen arvioimisen suhteen. Tällä tarkoitetaan vaihtelua tuotannontekijöissä ja tuotanto-olosuhteissa. Tärkeimmät hajakuormituksen malliin vaikuttavat taloudelliset ja ekonomiset muuttujat ovat todellisuudessa paitsi epävarmoja, myös hyvin heterogeenisiä. Vaihtelua tapahtuu ennen kaikkea ajallisesti ja paikallisesti. Paikallinen vaihtelu tulee huomioitua saastutusfunktiossa $r_i(x_i, \alpha_i)$, jossa myös ympäristön ominaisuudet saavat vaihdella tilakohtaisesti. Mallin muuttujista ajassa voivat muuttua (ja hyvin todennäköisesti muuttuvat) tuotantotekniikat, tuotoksen ja saastumisen suhde sekä saastumisen variaatio.

Myös ilmastonmuutoksen seurauksena tuotanto-olosuhteiden voidaan olettaa muuttuvan Suomessa. Esimerkkinä voidaan mainita Parry (1990), jossa on arvioitu maataloustuotannon vaihtelua ilmastonmuutoksen seurauksena eri puolilla maapalloa. Suomessa (ja Euroopan pohjoisosissa ylipäänsä) tuotannon arvioitiin tutkimuksen mukaan hyötyvän suhteellisesti enemmän kuin muualla. Viimeaikoina merivirtojen ottaminen mukaan tarkasteluun on muuttanut arvioita pessimistisemmiksi (esim. Alley 2004). Ajassa tapahtuvat muutokset ja ilmasto-olosuhteet vaikuttavat myös ratkaise-

vasti päästöjen muodostumiseen niin kasvukauden sisällä kuin pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna. (Wossink ym. 2001, 349.) Tuotoksen heterogeenisyydellä on olemassa myös spatiaalinen ulottuvuus, joka liittyy yhteen ajallisen vaihtelun kanssa. Paikallinen vaihtelu johtuu eroista ilmastossa, maaperässä ja ekosysteemeissä. Vaihtelua voidaan havaita niin maatilojen sisällä kuin niiden välilläkin. (Wossink ym. 2001, 350.) Oma lukunsa on ilmastonmuutoksen vaihtelua ja epävarmuutta vahvistava ominaisuus, jonka huomioimatta jättämisen Dalton (1997) näkee antavan liian optimistisiä tuloksia hyvinvoinnin muuttumisesta, kun ilmasto muuttuu.

3.3.4. Dynaamisuus

Dynaamisuus on olennaista maatalouden ympäristövaikutuksille. Sen rooli on muutenkin keskeinen ilmastonmuutosta arvioitaessa, sillä kasvihuonekaasujen vaikutukset ilmastoon ovat dynaamisia kaasujen kumuloituvuuden vuoksi. Kaasut eroavat toisistaan dynamiikkojensa osalta, josta myöhemmin kerron lisää globaalien saasteiden yhteydessä. Hiilen varastoituminen maahan on dynaaminen prosessi samoin kuten tuotantopäätöksiä tekeminenkin. Edellä jo mainittiin tehtyjen investointien vaikutuksesta lyhyen aikavälin tuotantopäätöksiin.

3.4. Erityishuomioita teorian soveltamisesta käytäntöön

Käyn nyt lävitse muutamia käytännön kannalta olennaisia seikkoja koskien edellä kuvailtua teoriaa. Keskeisessä asemassa käsiteltävän ongelman kannalta on kasvihuonekaasupäästöjen luonne globaaleina päästöinä ja niiden suhteen käytävät kansainväliset neuvottelut. Lisäksi keskeistä on yhteiskunnallisen optimin löytyminen haja- ja pistekuormittajien tapauksessa.

3.4.1 Globaalit saasteet ja ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen globaalisuus muodostaa oman ongelmansa tarkastelulle. Samalla tavalla kuten hajapäästöjen tapauksessa saastumisen lähde ei ollut tarkasti tiedossa, ei nyt globaalien saasteiden tapauksessa ole olemassa yhtä tiettyä kohdetta, johon saaste vaikuttaa, vaan vaikutukset kohdistuvat joka puolelle maapalloa ilmaston muutoksen seurauksena riippumatta päästöjen lähteen sijainnista. Koska tämä ei ole tutkimusaiheen kannalta keskeinen seikka (tutkimus käsittelee maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen muuttumista eri politiikkatoimien seurauksena Suomessa), käsittelem ongelmaa vain hyvin pintapuolisesti. Tarkempi kuvaus globaalien saasteiden mallintamisesta on esitetty lähteessä Welsch (1993).

Welschin johtoajatus on ns. hyöty-periaate, jonka mukaan niiden, jotka hyötyvät julkishyödykkeestä eniten, tulisi kantaa myös suurin osa kustannuksista. Tämä olisi Welschin mukaan myös tasapuolinen ja tehokas ratkaisu. Päästövähennys-vektorissa voi olla tämän näkökulman mukaan myös negatiivisia tekijöitä, mikäli päästöt tuovat maalle enemmän hyvinvointia kuin mitä niiden välttämi-

nen voisi tuoda. Huomioimatta kuitenkin jää ajallinen aspekti, eli aikaisemmin tehtyjen päästöjen suhde nykyisiin haittoihin sekä kertyneeseen pääomaan ja hyvinvointiin; voidaan kysyä onko oikein, että länsimaiden hyvinvointi on saavutettu päästöillä, joista koituu haittaa enimmäkseen köyhien kehitysmaiden edustajille. Mallissa ei oleteta kansainvälistä elintä, joka säätelisi päästöjen vähennyksiä, vaan kaikki tapahtuu ikään kuin markkinoiden ohjaamana. Kyoton sopimuksessa olevat päästöjen vähennysmekanismit toimivat mallin kuvaamalla tavalla, mutta sopimuksella voidaan katsoa olevan lisähyötyä päästöjen vähennystavoitteen saavuttamiselle, kun vapaamatkustajan ongelma vältetään (tosin vain osittain, sillä kaikkein suurin kasvihuonekaasujen päästäjä maailmassa eli USA on päättänyt vapaamatkustaa oman elämänmuotonsa turvaamiseksi). Koska kasvihuonekaasujen vaikutukset ovat luonteeltaan globaaleja, ei niiden vähentämiseen riitä pelkästään kansallinen keinovalikoima, vaan vähennyspäätökset on tehtävä kansainvälisellä tasolla, jotta ne olisivat tehokkaita.

Kuuluisin ja kenties myös ainoa esimerkkitapaus globaalista saasteongelmasta, joka on pystytty hoitamaan kansainvälisen yhteistyön tuloksena, on otsonikerrosta tuhoavista kaasusta luopuminen Montrealin protokollan myötä vuonna 1996 (Hanley ym. 1997, 170–171). Ilmastonmuutos tulee luultavasti olemaan hyvin paljon vaikeampi ongelma selvitettäväksi kuin otsonikerrosta tuhoavat kaasut johtuen eri tahojen erilaisista intresseistä koskien kasvihuonekaasujen tuotantoa. Otsonikerrosta tuhoavat kaasut olivat helposti korvattavissa haittattomilla vaihtoehdoilla, eivätkä ne muutamat yhtiöt, jotka niitä tuottivat, halunneet ottaa riskiä mahdollisista ihosyöpöpotilaiden nostamista oikeudenkäynneistä. Fossiilisten polttoaineiden käyttö on merkittävin yksittäinen ilmastonmuutosta aiheuttava tekijä. Potentiaalista korvaajaa fossiilisille polttoaineille pääasiallisena energianlähteenä maailmassa ei ole vielä olemassa, eikä ilmastonmuutoksesta pahiten kärsimään joutuvat kehitysmaiden ihmiset ole vaatimuksineen suuri uhka fossiilisia polttoaineita hallitseville tahoille. Globaalien kasvihuonekaasupäästöjen mallintamisessa erilaiset peliteoreettiset menetelmät lienevätkin kaikkein soveltuvin metodi, sillä niiden avulla eri ryhmien intressit voidaan huomioida tarkastelussa (esim. Chen 1997 ja Caplan ym. 1999). Vaikka kasvihuonekaasujen päästöjen vaikutukset ilmastonmuutokseen ovat samat riippumatta niiden sijainnista, ilmastonmuutoksen vaikutukset ovat puolestaan hyvin erilaisia paikallisilta hyvinvointivaikutuksiltaan: jotkut alueet voivat jopa hyötyä vaikutuksista korkeamman biologisen tuottavuuden muodossa toisten taas kärsiessä kuivuudesta, merenpinnan kohoamisesta ja ilmaston ääri-ilmiöiden lisääntymisestä. Tämä heterogeenisyys luo oman lisänsä neuvottelujen tarkasteluun.

Yksittäisen taloudellisen toimijan ja politiikan suunnittelijan osalta tilanne kuitenkin yksinkertaistuu, sillä välittömästi päästölähteitä ympäröivän ympäristön vaihtelu ei vaikuta haittojen määräytymiseen, vaan kaikkien kasvihuonekaasujen kumuloituminen ilmakehään on nyt olennaista. Tämän vuoksi haittafunktio D koostuu tasapuolisesti kaikista maailmassa päästetyistä päästöistä, mutta se koetaan eri alueille erilaisilla johtuen alueiden heterogeenisyydestä niin luonnonolosuhteiden kuin myös ihmisten arvostusten suhteen. On kuitenkin huomattava, että kasvihuonekaasujen vaikutukset eivät kuitenkaan ole samanlaisia, vaan eri kaasut vaikuttavat eri lailla ilmastonmuutokseen sekä vaikutusten voimakkuuden että keston osalta. Oheisessa taulukossa (IPCCb 2001, 189) on koottu

maatalouden kannalta olennaisten kasvihuonekaasujen hiilidioksidiekvivalentit päästöt 20, 100 ja 500 vuoden kuluttua ilmakehään pääsemisen jälkeen:

KHK	Aika ilmakehässä (vuosia)		
	20	100	500
CO ₂	1	1	1
CH ₄	62	23	7
N ₂ O	275	296	156

Taulukosta nähdään, että metaani ja dityppioksidi ovat molemmat suhteessa voimakkaampia kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidi. Dynaamisessa tarkastelussa on huomioitava myös kaasujen käyttäytyminen ilmakehässä ajan myötä. Metaanin vaikutus suhteessa hiilidioksidein laskee ajan myötä dityppioksidin noustessa ensin, mutta kääntyy sitten lopulta laskuun.

3.4.2. Yhteiskunnallisen päätöksentekijän optimi

Yhteiskunnallinen päätöksentekijä pyrkii poliittisen taloustieteen teorioiden mukaan maksimoimaan yhteiskunnan hyvinvointia. Tällöin päätöksentekijän tulee huomioida toimissaan markkinoiden tuottamien hyötyjen lisäksi myös markkinoiden epäonnistumiset. Seuraavaksi esittelen perusmallikehikon yhteiskunnan hyödyn maksimoinnille, jossa otetaan huomioon kaikki kuormittajat riippumatta kuormituksen luonteesta. Maatalouden hajapäästöjen mallintamisen voidaan katsoa alkaneen Griffinin ja Bromleyn vuonna 1983 kehittämästä mallista, jossa huomioitiin piste- ja hajakuormittajien yhteinen osallisuus päästöjen aiheuttamisesta ja siten yhteiskunnallisessa hyvinvoinnissa. Vuonna 2001 Horan ja Shortle kehittivät mallia edelleen ottaen huomioon myös sellaiset seikat kuin stokastisuus ja heterogeenisyys. Esitän nyt Horanin ja Shortlen artikkelin perusajatukset muuntamalla ne kasvihuonekaasupäästöjen ongelmaa vastaaviksi. Mallissa päästöjen kohdetta eli ilmakehää käyttävät sekä pistekuormittajat että hajakuormittajat, joiksi luetaan tässä tapauksessa pelkästään maataloustuottajat. Maatalous koostuu maatiloista, joita on n kappaletta. $r_i(x_i, \alpha_i)$ on maatilan i saastutusfunktio, jossa x_i on maanviljelijän i tekemät tuotantopäätökset, eli yhtälön kontrollimuuttuja ja α_i on ympäristön ominaisuuksia kuvaava vektori. Pistekuormittajia ilmakehällä on s kappaletta ja niiden saastutusta kuvaa funktio e . Yhteensä ilmakehään vaikuttavat tekijät summataan mallissa funktioksi

$$(3.10) \quad a = a(r_1, \dots, r_n, e_1, \dots, e_s, \zeta, \psi),$$

jossa ζ on ilmakehään jo ennestään kumuloituneet kasvihuonekaasut ja ψ päästöjen kohteen muut olennaiset ominaisuudet. Tämä on mallissa ns. ”fate and transportation function” eli vaikutus- ja kulkeutumiskäsite. Funktiolle pätee $\partial a / \partial r_i \geq 0$ ja $\partial a / \partial e_k \geq 0$ eli saastuttavan toiminnan muutokset vaikuttavat ympäristön tilaan samansuuntaisesti (toiminnan lisääntyessä myös saastuminen lisääntyy). Haittafunktio D on muotoa $D(a)$ ja sille pätee $D' > 0$ (ympäristölle koituvat haitat saastuttamisen vaikutuksesta kasvavat saastuttamisen vaikutusten lisääntyessä). Kun nyt mallissa tarkastellaan

edellä kuvatus kaltaisia toimijoita, yhteiskunnallisen hyödyn funktioksi (SNB = social net benefit) saadaan

$$(3.11) \quad \text{SNB} = \sum \pi_{N_i}(x_i) + \sum \pi_{P_k}(e_k) - D(a),$$

jossa $\pi_{N_i}(x_i)$ on tilan i tuotanto ja $\pi_{P_k}(e_k)$ pistekuormittaja k :n tuotanto. Yhteiskunnan hyöty siis koostuu taloudellisten toimijoiden yhteiskunnalle tuottamasta hyvinvoinnista vähennettynä näiden tuotannossaan aiheuttamalla haitalla. Päätöksentekijä pyrkii maksimoimaan tätä hyötyä ja yksittäiset toimijat taas pyrkivät maksimoimaan omaansa. Ongelmana on, että ympäristölle aiheutuvat haitat eivät välttämättä näy yhdenkään niitä aiheuttavan toimijan tuloksessa ja siten ne eivät tule huomioituksi tuotantopäätöksissä (ks. edellä ulkoisvaikutuksen käsite). Näin on ainakin tilanteissa, joissa ei ole olemassa ympäristöpolitiikkaa tilanteen korjaamiseksi. Yhteiskunnallisen suunnittelijan tehtäväksi jää sellaisten politiikkatoimien suunnittelu, jolla nämä haitat saataisiin mukaan talouden toimijoiden päätöksentekoon. Kyseeseen tulevat erilaiset määrärajoitukset ja standardit sekä taloudelliset ohjaukeinot kuten verot, valtiovalan tukitoimet ja lupakauppajärjestelmät. Erilaisia maatalouden piirissä käytettyjä ympäristövaikutusten ohjaukeinoja käsitellään aineessa myöhemmin.

Pistekuormituksen tapauksessa tapahtuva ympäristöpolitiikka oletetaan nyt annetuksi ja keskitytään hajapäästöjen tuomiin ongelmiin. Hajapäästöjen tapauksessa optimoimalla saadaan hyötyjen maksimoinnin ensimmäisen asteen ehdoksi

$$(3.12) \quad \frac{\partial \pi_{N_i}}{\partial x_{ij}} - \lambda \frac{\partial W}{\partial a} \frac{\partial a}{\partial r_i} \frac{\partial r_i}{\partial x_{ij}} = 0 \text{ kaikilla arvoilla } i \text{ ja } j,$$

jossa j kuvaa tiettyä viljelijän käyttämää tuotantopanosta, W ympäristön tilaa ja λ ympäristöhaitan varjohintaa. Kustannustehokkaassa ratkaisussa maanviljelijän kokema rajahyöty tulee siis olla yhtä suuri kuin ympäristöhaitan varjohinta kerrottuna tuotannosta syntyvän ympäristövaikutuksen rajahaitta. Tätä ohjenuoraa hyödyntäen tulisi päätöksentekijän siis suunnitella ympäristöpolitiikkansa, jotta hän päätyisi siinä Pareto-tehokkaaseen ratkaisuun. (Horan ja Shortle 2001, 26–29.) Edelleen maataloustuotanto pitää sisällään muita huomionarvoisia seikkoja tuotannon ja saastumisen välillä, joita käsittelen seuraavaksi tarkemmin.

Horan ja Shortle laajentavat Griffinin ja Bromleyn kehittämää mallia tuomalla siihen mukaan maataloudesta ja sen ympäristövaikutuksista puhuttaessa hyvin olennaisen seikan, eli epävarmuuden. Stokastisuus tuodaan malliin mukaan lisäämällä tila- ja kulkeutumiskäsitteeseen termit δ , joka kuvaa ympäristön stokastisia muuttujia, ja θ_a joka taas kuvaa informaation epätäydellisyyden mukanaan tuomaa epävarmuutta toimijan päätöksentekoon. Tila- ja kulkeutumiskäsitteen stokastinen muoto on siis tällöin

$$(3.13) \quad a = a(r_1, \dots, r_n, e_1, \dots, e_s, \zeta, \psi, \delta, \theta_a).$$

Samalla tavalla ensimmäisen asteen ehdoksi hajakuormittajan päästöjen optimoinnissa voidaan johtaa perustapauksen yhtälöstä

$$(3.14) \quad \pi_{N_i} / \partial x_{ij} = \lambda E \{ \partial W / \partial a \partial a / \partial r_i \partial r_i / \partial x_{ij} \} \text{ kaikilla arvoilla } i \text{ ja } j.$$

Tässä yhtälössä E on odotusarvo-operaattori. Käytännössä stokastisuuden käsitteen huomioiminen päätöksenteossa tekee tehdyistä päätöksistä tarkemmin todellisuuteen soveltuvia. Jos oletetaan, että ollaan asettamassa rajoitteita toiminnalle jolla niitä ei aikaisemmin ole ollut, on tuotannossa ja ympäristövaikutuksissa vallitsevan stokastisuuden perusteella oletettavaa, että asetutaan ensi alkuun alemmalle tasolle kuin olisi optimaalista. Kun käytetään mallin laadinnassa odotetun tapahtuman todennäköisyysjakaumaa yhden lukuarvon (keskiarvo, mielivaltainen standardi, tms.) sijasta, voidaan ottaa huomioon realistisempi tapahtumien jakautuminen kun populaatiossa on todellisuudessa olemassa hajontaa (ts. aineiston varianssi tulee nyt huomioitua). Jos esimerkiksi maatilojen keskimääräinen päästöjen taso on yhteiskunnallisten tavoitteiden mukaisella tasolla $E\{a(\bullet)\} \geq a_0$ (tai alittaa sen), luontoon pääsevän saasteen määrä voi olla kokonaisuudessaan suurempi kuin mitä on alun perin tavoiteltu johtuen todennäköisyysjakauman ääripään arvoista. Poliittikkatoimilla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka paljon tavoitteen ylittävää saastutusta tapahtuu. Kun tiedetään optimaalinen saastutus ja saastumisen varianssi, voidaan poliittikkatoimet suunnitella epävarmuus huomioon ottamalla siten, että tavoitteen yli toteutuu vain optimaalinen määrä saastutusta. (Horan ja Shortle 2001, 29–32.)

3.5. Loppupäätelmät politiikanmuodostukselle

Olen nyt esitellyt käsillä olevan ongelman kannalta olennaisen teoreettisen viitekehyksen. Ongelman ytimessä ovat toimijoiden tekemät tuotanto- ja poliittikkapäätökset, joilla on vaikutuksia maataloustuotannon aiheuttamiin kasvihuonekaasujen päästöjen muodostumiseen. Pitkällä aikavälillä teknologinen kehitys tulee olemaan keskeisessä roolissa tuotantopäätösten suhteen. Epävarmuus kuitenkin kasvaa, eikä voida varmuudella ennustaa kuinka esimerkiksi kauppaneuvottelut vaikuttavat mahdollisuuksiin käyttää eri poliittikkainstrumentteja tulevaisuudessa ja kuinka maataloustuotteiden hinnat kehittyvät kaupan vapautuessa. On näet vielä epäselvää minkälaiset ympäristöpoliittiset toimet ovat WTO:ssa hyväksyttäviä. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen ongelma on selkeästi useamman muuttujan ongelma ja sen arvioimiseen taloustieteellinen mallintaminen lienee kaikkein sopivin työkalu.

4. Tutkimusmetodi

Tutkimusmetodiksi tätä ongelmaa varten olen valinnut ekonometrisen mallintamisen. Käytännössä tämä on tapahtunut laajentamalla Suomen AGMEMOD-mallia siten, että se huomioi maatalouden tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen kehityksen maataloustuotannon yleisen kehittymisen perusteella. Ekonometrisessä viitekehysessä käsillä oleva ongelma kuuluu useiden samanaikaisten prosessien ongelmakehikkoon ja siksi tulenkin sitä tässä lähemmin käsittelemään. Käyn ensin lävitse muutamia keskeisiä seikkoja taloustieteellisestä mallintamisesta aivan yleisellä tasolla, jonka jälkeen käsittelem tarkemmin ekonometristä mallintamista ja siihen liittyviä ongelmia. Lopuksi käsittelem vielä tutkimuksessa käytettävää AGMEMOD-mallia hieman tarkemmin. Suomen AGMEMOD-malli on MTT Taloustutkimuksen käytössä ja tämä tutkimus on kokonaisuudessaan suoritettu kyseisessä laitoksessa. Olen itse vastannut tämän tutkimuksen osalta malliin tehdyistä laajennuksista. Kiinnitän erityistä huomiota mallin ennustettavuudessa piileviin ongelmiin ja pyrin tekemään sen suhteen myös kehitysehdotuksia.

4.1. Taloustieteelliset mallit

Automaattisen tietojenkäsittelyn kehittyminen on avannut lukuisia uusia mahdollisuuksia monimutkaisten ilmiöiden tarkastelulle ja siten luonut myös uusia mahdollisuuksia tieteelliselle tutkimukselle. Ihmisen taloudellinen toiminta on hyvä esimerkki monimutkaisesta systeemistä ja erään määritelmään mukaanhan taloudessa kaikki liittyy kaikkeen. Taloustieteessä on perinteisesti totuttu käyttämään ilmaisua ”ceteris paribus”, joka tarkoittaa muiden oletusten pysyessä muuttumattomina. Tämä on ollut tarpeen, sillä kaikkien asiaan vaikuttavien tekijöiden yhtäaikainen arvioiminen on käytännöllisesti katsoen mahdotonta. Erityisen paljon tämä tuottaa vaikeuksia silloin, kun automaattista tietojen käsittelyä ei ole apuna. Vaikka tietotekniikan kehittyminen ei pystykään koskaan täysin poistamaan tätä ongelmaa, ero aikaisempaan on kuitenkin selvä: kun aiemmin pystyttiin käsittelemään talouden ilmiöitä, joissa oli muutamia selittäviä muuttujia, ovat mahdollisuudet nyt aivan eri luokkaa ja monimutkaisten mallien luominen arkipäivää taloustieteellisessä tutkimuksessa. Mallien sovellettavuuteen tulisi kuitenkin kiinnittää yhä suurempaa huomiota.

Suurin etu tietokonemalleissa puhtaaseen ihmisajatteluun verrattuna lienee juuri useiden prosessien huomioiminen malleissa samanaikaisesti. Tämä soveltuu erityisen hyvin käsillä olevaan ongelmaan eli maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen arvioimiseen, jossa useat eksogeeniset muuttujat vaikuttavat tuotantopäätöksiin ja useat samanaikaiset tuotantofunktiot vaikuttavat päästöjen muodostumiseen ja jossa myös prosessien dynaamisuuksella on oma keskeinen roolinsa. Täytyy myös huomata, että perusongelman (eli ilmastonmuutoksen) arviointi on tapahtunut juuri nimenomaan lukuisten erilaisten tietokonemallien avulla. Tähän on syynä juuri nimenomaan ongelman laajuus ja monitahoisuus. Ilmastonmuutoksen arviointiin käytettäviä malleja on usein myös kritisoitu vedoten niiden epävarmuuteen todellisten ilmiöiden ennustajana. Tällöin on syytä huomata, että malleja kehitetään jatkuvasti tarkemmiksi ja uuden tieteellisen tiedon myötä niitä myös ohjelmoidaan ottamaan huomioon uusia seikkoja. Tietotekniikan yhä jatkuva kehitys mahdollistaa jatkossa mallien kehitystyön

jatkamisen taas uusille tasoille. Myöskään AG-MEMOD malli ei ole nykyisellään vielä kehityksensä huipussa ja joitain tässä esitettäviä ongelmia tullaan mahdollisesti tulevaisuudessa korjaamaan.

Taloustieteellisiä malleja voidaan katsoa olevan kahta eri päätyyppiä: puhtaasti matemaattisia optimointimalleja ja tilastoaineiston käsittelyyn perustuvia ekonometrisia malleja. Tässä tutkimuksessa käytettävä AG-MEMOD malli kuuluu näistä jälkimmäiseen ryhmään. Mallien ero liittyy niiden perusideaan käytetyn informaation luonteesta. Optimointimallit ovat hypoteettisia malleja, jotka perustuvat taloudellisten toimijoiden oletettuun käyttäytymiseen taustalla olevan teorian pohjalta (joka on tässä tapauksessa hyödyn maksimointi annetuilla resursseilla) ja ekonometriset mallit taas perustuvat havaintoaineiston analysoimiseen tilastotieteen menetelmien avulla olemassa olevaa teoriaa hyödyntäen. Näillä mallityypeillä on kummallakin omat vahvuutensa ja heikkoutensa, jotka liittyvät läheisesti mallien toimintatapoihin. Optimointimallit perustuvat teorioiden antamalle a priori tiedolle, joka ei koskaan pysty kuvailemaan ongelmaa täydellisesti kun taas ekonometriset mallit tavallaan sisältävät kaiken mahdollisen ongelman kannalta enemmän tai vähemmän olennaisen informaation. Nyt ongelmana on kuitenkin, että tämän informaation täydellinen erittely ei kuitenkaan ole koskaan mahdollista.

4.2 Todennäköisyyslaskennan ja tilastotieteen peruskäsitteitä

Ekonometria on tieteenhaara, joka tarkastelee taloudellisia ilmiöitä tilastotieteellisten metodien avulla. Käyn nyt läpi muutamia peruskäsitteitä, jotka ovat keskeisiä tilastotieteelliselle ajattelulle. Tilastotiede itsessään perustuu pohjimmiltaan todennäköisyyslaskennan käsitteisiin. Tämä johtuu tarkasteltavien ilmiöiden luonteesta satunnaisilmiöinä; myös taloudessa arvioitavat ilmiöt ovat tavallisesti ainakin jossain määrin satunnaisia, ennemminkin kuin puhtaasti ennalta määrättyjä eli deterministisiä. Todennäköisyyslaskennalle ovat keskeisiä erilaiset tapahtumien joukot. Kaikki mahdolliset tapahtumat sisältävää joukkoa kutsutaan todennäköisyyslaskennassa todennäköisyyskentäksi, joka on tavallisesti supistettu tarkastelun yksinkertaistamiseksi pienemmäksi osajoukoksi eli σ -kentäksi, joka voidaan tulkita myös mittausmielessä. Toisin sanoen σ -kenttä on joukko todennäköisyyskentän alijoukkoja, jotka ovat tarkastelun kannalta olennaisia. (Spanos 1986, 38–40.) Populaatiolla tarkoitetaan koko kyseistä tarkasteltavaa ilmiötä ja sen muodostavia tekijöitä kokonaisuudessaan. Tässä tapauksessa populaation muodostavat Suomen kaikki kotieläimet ja maataloustuotannossa oleva viljelysmaa. Populaatiosta muodostetaan usein tutkimusteknisistä syistä pienempi ryhmä eli otos, josta sitten tehdään koko populaatiota koskevia arvioita tilastotieteen menetelmien avulla.

Tässä tutkimuksessa otoksena toimii Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen TIKE:n tuottaman Maataloustilastollisen vuosikirjan sisältämä aineisto, joka koskee Suomen maataloudessa käytettyjä panoksia ja sen tuottamia tuotoksia. Vuosikirja sisältää tilastoaineistoa useista eri lähteistä ja niiden voidaan katsoa edustavan Suomen maataloustuotannon virallisia tilastoja. Tällaisen otoksen oletetaan yleisesti edustavan koko populaatiota ja samalla oletetaan tavallisesti, että populaatio on normaalisti jakautunut. Myös muita jakaumia voidaan käyttää ja jakauman määrittäminen

aineiston perusteella on nykyään myös mahdollista. Yli sadan havainnon otoksista on yleistä lähtökohtaisesti olettaa aineiston olevan normaalisti jakautunut. (Stock ja Watson 2003, 109.) Oletukseen normaalijakaumasta päästään tavallisesti silloin, kun otoskoko on tarpeeksi suuri. Tämä on ilmais tavissa kahden otoskokoon liittyvän teorian, suurten lukujen lain ja keskeisen raja-arvolause, avulla. Suurten lukujen laki (the law of large numbers) kertoo, että otoksen keskiarvo on hyvin lähellä populaation keskiarvoa silloin, kun otoskoko on suuri. Otoksen koon kasvaessa otoskeskiarvo lähenee populaation keskiarvoa asymptoottisesti. Keskeinen raja-arvolause (central limit theorem) puolestaan kertoo otoksen olevan suunnilleen normaalisti jakautunut otoskoon ollessa suuri. Myös nyt voidaan sanoa, että tarpeeksi suuri otos on asymptoottisesti normaalisti jakautunut. (Stock ja Watson 2003, 43–49.) Mallissa käytetyt Maatilatilastollisen vuosikirjan tilastot ovat aikasarjoja, jotka ovat käytännössä poikkileikkausaineistoista eri vuosilta saatuja tunnuslukuja.

Eri tekijöiden välisiä riippuvuussuhteita tarkasteleva ekonometrinen malli perustuu usein regressioyhtälöiden pohjalta tehtyyn arviointiin:

$$(4.1a) \quad y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + u \text{ ja}$$

$$(4.1b) \quad \mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u}.$$

Yhtälössä (4.1a) y_i tarkoittaa selitettävää muuttujaa ja x_i :t tätä selittäviä muuttujia. β :t edustavat regressiokertoimia. Otoksen avulla muodostetaan estimaatteja näille kertoimilla, jotka ovat kuvauksia todellisesta ilmiöstä (merkitään $\hat{\beta}$). Otos koostuu yksittäisistä havainnoista. Koska todellista ilmiötä ei pystytä täysin selittämään saaduilla havainnoilla, sisältyy malliin aina virhetermi u . Virhetermille oletetaan pätevän, että (1) sen odotusarvo on nolla ($E(u) = 0$), (2) että sen varianssin odotusarvo on vakio ($E(u_i, u_i) = \sigma^2$) ja (3) että virhetermit eivät riipu toisistaan ($E(u_i, u_j) = 0$, $i \neq j$). Yhtälössä (4.1b) on esitetty regressioyhtälöryhmä matriisimuodossa, jossa \mathbf{y} on vektori, joka koostuu useasta regressioyhtälöstä y_i .

Regressioyhtälöä tarkastellaan tavallisimmin pienimmän neliösumman menetelmien kautta. Niistä kaikkein yksinkertaisin on OLS-menetelmä (ordinary least squares). Pienimmän neliösumman menetelmissä pyritään löytämään sellaiset regressio-kertoimet β_i , jotka minimoivat virhetermien neliön $\mathbf{u}'\mathbf{u}$. Tällöin saadaan kaavasta (4.1b) ratkaisemalla:

$$(4.2) \quad \hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y},$$

jonka voidaan katsoa olevan paras lineaarinen harhaton estimaattori regressiokertoimelle (BLUE = best linear unbiased estimator) silloin, kun edellä mainitut virhetermille asetetut oletukset ovat voimassa. Yleisessä muodossa nämä ns. Gauss-Markov oletukset voidaan ilmaista seuraavasti:

- i. $E(u_i | X_1, \dots, X_n) = 0$,
- ii. $\text{var}(u_i | X_1, \dots, X_n) = \sigma_u^2$, $0 < \sigma_u^2 < \infty$, $i = 1, \dots, n$ ja
- iii. $E(u_i u_j | X_1, \dots, X_n) = 0$, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, n$, $i \neq j$.

Näiden oletusten ollessa voimassa LS-menetelmät ovat siis hyviä estimaattoreita ja tuottavat tällöin myös hyviä estimaatteja. (Spanos 1986, 6 ja Stock ja Watson 2003, 588.)

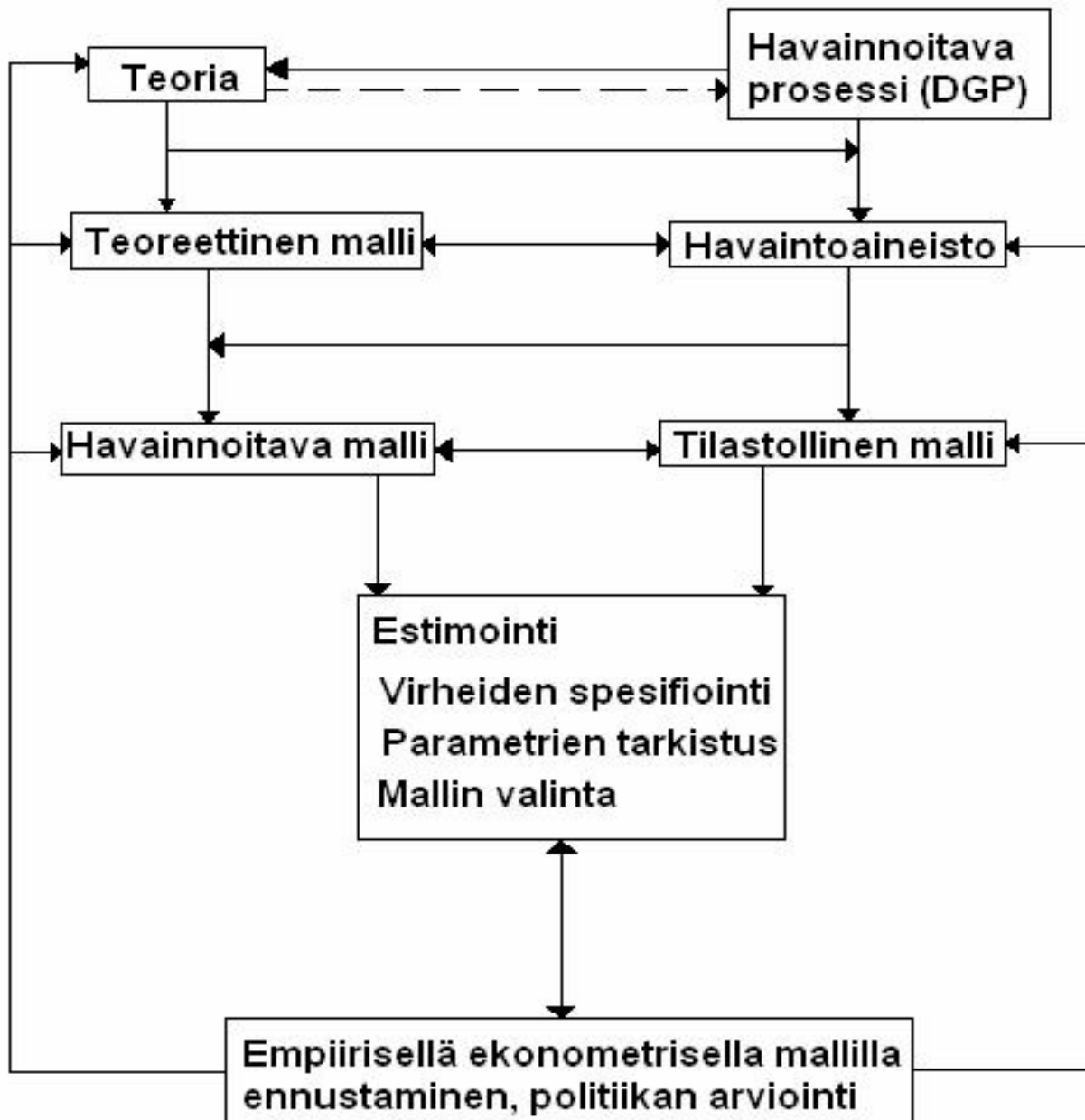
4.3. Ekonometrinen mallintaminen

Ekonometrisen mallin valinnalle on Harveyn (1981a, 5-7) mukaan olennaista seuraavat viisi seikkaa: niukkuus (on pikemminkin pyrittävä selittämään paljon vähällä kuin päinvastoin), identifioitavuus (malli on oltava yksiselitteisesti tunnistettavissa, eli mallia selittäviä parametri-joukkoja ei saa olla enempää kuin yksi), kelpoisuus (mallin täytyy selittää ilmiötä tarpeeksi hyvin), teoreettinen johdonmukaisuus (tulosten ja teorian oltava keskenään johdonmukaisia) ja ennustuskyky (mallin antamat ennusteet tulevat olla johdonmukaisia havaitun aineiston kanssa). Hyvin laajoissa malleissa kuten AG-MEMOD, nämä kaikki ehdot eivät täyty. Monesti laajoissa malleissa selitetään paljon vähää. Laajoissa malleissa onkin monta kertaa tärkeämpää niiden suuntaa antavuus ja suurten linjojen hahmottaminen kuin eksaktit tulokset. On kuitenkin huomattava, että myös laajoissa malleissa pohjalla ovat tilastotieteelliset oletukset ja siksi mallin rakenteellisiin seikkoihin tulee kiinnittää huomiota kun mallin ennustusvoimaa pyritään arvioimaan. Laajat mallit voidaan myös nähdä kokonaisuutena pienempiä malleja, jotka ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Käyn nyt läpi ekonometrisen mallinnuksen teoriaa aloittaen ekonometrisen mallin rakenteesta ja tarkastellen erityisesti ongelman kannalta keskeistä usean samanaikaisen yhtälön systeemiä, sen rakennetta ja siihen liittyviä erityisongelmia. Seuraavaksi käsitelen valittavan lähestymistavan ja mallin identifioinnin problematiikkaa. Lopuksi esitän muutaman huomion aikasarja-analyyseistä osana usean samanaikaisen yhtälön systeemiä ja sen dynamiikkaa.

4.3.1 Ekonometrisen mallin rakenne

Mallin rakentamisen prosessia voi kuvata usealla eri tavalla. Kuviossa 4.1 Spanos (1986, 21) esittää, kuinka ekonometrinen malli rakentuu teorian ja varsinaisen havainnoitavan prosessin (data generating process = DGP) pohjalta. Teorian pohjalta luodaan teoreettinen malli ja havainnoitava prosessi tuottavat puolestaan havaintoaineiston. Teoreettisen mallin ja havaintoaineiston pohjalta luodaan havainnoitava malli (estimable model). Teoreettinen malli ei välttämättä ole sama kuin estimoitava malli, sillä havaintoaineisto asettaa tavallisesti omat rajoituksensa teoreettisen mallin estimoinnille. Tilastollinen malli antaa kuvauksen havaintoaineiston tilastollisista ominaisuuksista ja luo siten pohjan mallin estimointiin käytettävien tilastotieteellisten mallinnusmenetelmien käytölle. Mallia tulee testata estimoimalla sitä ja etsimällä virhelähteitä. Parametreja voidaan joutua arvioimaan uudelleen ja suorittamaan herkkyysanalyysjä ennen kuin lopullinen ekonometrinen malli voidaan valita. Lopullista ekonometrista mallia voidaan sitten käyttää ennustamiseen ja politiikkasuositusten tekemiseen ja myös rakenteellisiin analyysihin.

Seuraava esitys usean samanaikaisen yhtälön ekonometrisen mallin rakenteesta perustuu suurimaksi osaksi lähteeseen Intriligator ym. (1996, 13–49). Mallinnus siis perustuu tilastojen tulkitsemiselle ja siksi tilastotieteen käsitteiden läpikäyminen on tässä yhteydessä varsin olennaista. Muuttujat voidaan jakaa endogeenisiin ja eksogeenisiin muuttujiin. Endogeeniset muuttujat ovat tarkasteltavan mallin sisäisiä muuttujia, joiden käyttäytymistä mallilla halutaan havainnoida ja eksogeeniset muuttujat puolestaan otetaan annettuina systeemin ulkopuolelta ja niiden avulla pyritään ennustamaan endogeenisten muuttujien käyttäytymistä.



Kuvio 4.1. Ekonometrisen mallin rakenne Spanosin (1986, 21) mukaan.

Tästä voidaan johtaa jako selittäviin ja selitettäviin muuttujiin. Selitettävät muuttujat ovat mallin endogeenisiä muuttujia ja selittävät muuttujat ovat taasen mallin eksogeenisiä muuttujia sekä myös

dynaamisten mallien ollessa kyseessä viivästettyjä endogeenisia muuttujia. Esimerkki yksinkertaisesta ekonometrisestä mallista on esitetty yhtälössä (4.1a). Todellisuudessa tarkasteltavat ilmiöt ovat kuitenkin tästä huomattavasti monimutkaisempia, eikä tämä yhden yhtälön regressiomalli sovellu kovinkaan hyvinkäsillä olevan ongelman tarkasteluun. Yleiseksi lineaarisen usean muuttujan ekonometrisen mallin *rakenteelliseksi* muodoksi saadaan:

$$(4.3) \quad \mathbf{y}\Gamma + \mathbf{x}\mathbf{B} = \boldsymbol{\varepsilon},$$

jossa \mathbf{y} on selitettävien muuttujien $1 \times g$ dimensioinen rivivektori ja \mathbf{x} mallissa näitä selittävien muuttujien $1 \times k$ dimensioinen rivivektori. Γ ja \mathbf{B} ovat puolestaan näiden muuttujien parametri-matriisit, joiden dimensiot ovat $g \times g$ ja $k \times g$. $\boldsymbol{\varepsilon}$ on mallin stokastisten virhetermien rivivektori, jonka dimensio on $1 \times g$. Tämä muoto voidaan ratkaista selitettävien muuttujien vektorin \mathbf{y} suhteen, jos oletetaan, että matriisilla Γ on käänteismatriisi Γ^{-1} (Γ ei saa olla singulaarinen, eli $|\Gamma| \neq 0$) ja saadaan seuraava tulos:

$$(4.4) \quad \mathbf{y} = -\mathbf{x}\mathbf{B}\Gamma^{-1} + \boldsymbol{\varepsilon}\Gamma^{-1}.$$

Yleisesti käytetään seuraavia merkintöjä:

$$(4.5) \quad \mathbf{\Pi} \equiv -\mathbf{B}\Gamma^{-1} \text{ ja}$$

$$(4.6) \quad \mathbf{u} \equiv \boldsymbol{\varepsilon}\Gamma^{-1},$$

jolloin saadaan yleisen lineaarisen ekonometrisen mallin *supistettu* muoto

$$(4.7) \quad \mathbf{y} = \mathbf{x}\mathbf{\Pi} + \mathbf{u}.$$

Tämä muoto ei sisällä yhtä paljoa informaatiota mallin rakenteesta kuin rakenteellinen muoto. Supistettu muoto on kuitenkin myös käytännöllinen tietyissä tilanteissa, sillä sen avulla kaikki selitettävät muuttujat pystytään esittämään selittävien muuttujien ja virhetermien lineaarikombinaationa. Tämä muoto siis antaa myös todennäköisyysjakauman selitettävälle muuttujalle selittävien muuttujien ja virhetermin todennäköisyysjakauman perusteella. Se on myös käytännöllinen systeemin tarkastelussa komparatiivisen statiikan avulla, sillä matriisin $\mathbf{\Pi}$ alkioille π_{hj} pätee:

$$(4.8) \quad \partial y_h / \partial x_j = \pi_{hj}.$$

Supistettu muoto on kuitenkin myös ongelmallinen, koska sen avulla ei voida tehdä päätelmiä systeemin rakenteesta, eikä se voi tämän vuoksi tuottaa tarkkoja estimaatteja joustoille mallissa syntteisesti. $\mathbf{\Pi}$ on ns. a posteriori (jälkikäteistä) tietoa, josta Γ ja \mathbf{B} voidaan määrittää riittävän a priori (etukäteis-) tiedon avulla. A priori informaatio ilmaistaan yleensä rajoitteilla, kuten esimerkiksi asettamalla tietyt arvot nolliksi (ei vaikutusta, zero restrictions) tai tietylle määrätylle tasolle, joka on etukäteen selvillä. Esimerkiksi voidaan olettaa tarjontakäyrä a priorisesti tunnetuksi, jos tarvitta-

va tieto on olemassa ja asettaa sen mukaiset parametrit niiden matriiseihin. Synteettisen mallin toiminnan vuoksi onkin tärkeää, että malli on identifioituva sen rakenteellisen muodon kautta. Tähän ongelmaan palataan myöhemmin uudestaan mallin identifioitavuuden käsittelyn yhteydessä. *Lopullinen* muoto mallille saadaan, kun viivästetyt muuttujat otetaan huomioon. Nyt selittävien muuttujien vektori jaetaan tämän periodin eksogeenisiin muuttujiin, viivästettyihin endogeenisiin muuttujiin ja viivästettyihin eksogeenisiin muuttujiin:

$$(4.9) \quad \mathbf{x}_t = (\mathbf{y}_{t-1} \mid \mathbf{z}_t \mid \mathbf{z}_{t-1}),$$

jossa \mathbf{y} tarkoittaa endogeenisten muuttujien vektoria, \mathbf{z} eksogeenisten muuttujien vektoria alaindeksin t ollessa aikaperiodi. Kaavassa (4.9) on esitetty yhdellä periodilla viivästetyn selittävien muuttujien vektorin muodostuminen, mutta viivästäminen on mahdollista tehdä myös pidemmälle aikavälille. Selittävien muuttujien vektorin jakamisen vuoksi myös parametri-matriisi \mathbf{B} jakautuu nyt kolmeen osaan, jolloin *rakenteellisesta* muodosta saadaan:

$$(4.10) \quad \mathbf{y}\Gamma + \mathbf{y}_{t-1}\mathbf{B}_1 + \mathbf{z}_t\mathbf{B}_2 + \mathbf{z}_{t-1}\mathbf{B}_3 = \boldsymbol{\varepsilon}$$

ja *supistetusta* muodosta vastaavasti:

$$(4.11) \quad \mathbf{y}_t = \mathbf{y}_{t-1}\Pi_1 + \mathbf{z}_t\Pi_2 + \mathbf{z}_{t-1}\Pi_3 + \mathbf{u}_t.$$

Lopullinen muoto saadaan iteroimalla kaavasta (4.11). Ensin ratkaistaan \mathbf{y}_{t-1} analogisesti yhtälön (4.11) avulla ja sijoittamalla se takaisin alkuperäiseen yhtälöön ja jatkamalla tätä aina siihen asti kunnes päästään alkuperiodille $t=0$, jolloin *lopulliseksi* muodoksi saadaan:

$$(4.12) \quad \mathbf{y}_t = \mathbf{y}_0\Pi_1^t + [\mathbf{z}_t\Pi_2 + \mathbf{z}_{t-1}(\Pi_2\Pi_1 + \Pi_3) + \dots + \mathbf{z}_0\Pi_3\Pi_1^{t-1}] + [\mathbf{u}_t + \mathbf{u}_{t-1}\Pi_1 + \mathbf{u}_{t-2}\Pi_1^2 + \dots + \mathbf{u}_1\Pi_1^{t-1}].$$

4.3.2. Ekonometrinen lähestymistapa ja systeemin identifioituvuus

Ekonometrisen lähestymistavan valinta on riippuvainen monesta mallia kuvaavasta seikasta. Usean muuttujan malleissa käytettävän lähestymistavan valinta on erityisen keskeisessä asemassa. Yleisesti lähestymistavat voidaan jakaa kahden tavallisimmin käytetyn lähestymistavan ryhmään: pienimmän neliösumman menetelmiin (LS = least squares) ja suurimman uskottavuuden (ML = maximum likelihood) menetelmiin, joista jälkimmäinen on huomattavasti yleisemmällä tasolla oleva lähestymistapa havainnoitavan informaation suhteen ja sopii hyvin myös parametrien suhteen epälineaaristen yhtälöiden estimointiin toisin kuin LS menetelmät. Pienimmän neliösumman menetelmien etuna on kuitenkin estimaattorin harhattomuus: suurimman uskottavuuden menetelmät ovat harhaisia, vaikkakin tarkentuvia ja asympotoottisesti harhattomia estimaattoreita otosvarianssien suhteen. (Intriligator, ym. 1996, 84–86.) Käytetyn informaation perusteella lähestymistavat voidaan jakaa naiiveihin, rajoitetun informaation ja täydellisen informaation lähestymistapoihin. Kaikkein standardein

lähestymistapa ekonometriassa on ollut tavallinen pienimmän neliösumman menetelmä (OLS = ordinary least squares), joka on kuitenkin naiivi useamman yhtälön yhtäaikaisten prosessien ollessa kyseessä. OLS johtaa usean yhtälön systeemien ollessa kyseessä harhaisiin ja tarkentumattomiin estimaatteihin; harha ei häviä edes asympotoottisesti. OLS-metodilla jokainen systeemin yhtälö estimoidaan erikseen, eikä systeemin kokonaisuudessa piileviä yhteisvaikutuksia saada tällöin esille. OLS-metodia käyttämällä menetetään informaatiota, sillä siinä endogeenisten ja eksogeenisten muuttujien välille ei tehdä eroa. Useamman samanaikaisen yhtälön rakenteelliselle muodolle soveltuvampia lähestymistapoja ovat erilaiset suurimman todennäköisyyden menetelmät ja OLS:n eri variaatiot sekä myös yleistetty momenttimetodi (GMM = generalized method of moments). (Intriligator, ym. 1996, 351–353.)

Erityisen keskeisessä asemassa useamman samanaikaisen yhtälön mallintamisessa on systeemin identifioituminen. Ennen kuin mallin estimointia voidaan harhattomasti suorittaa, mallin täytyy olla identifioituva. Tällä tarkoitetaan rakenteellisen muodon parametrimatriisien (Γ ja \mathbf{B}) selvittämistä supistetun muodon parametrien (tässä tapauksessa Π) avulla. Kun tarkoituksena on saada aineistosta tarvittavaa informaatiota, on tehtävä joitain ennako-oletuksia: virhetermin odotusarvo on nolla ($E(\mathbf{u}) = 0$) ja virhetermien kovarianssi on nolla ($E(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j) = 0$, kaikille $i, j, i \neq j$). Määritellään ongelman kannalta keskeinen kovarianssi matriisi supistetulle muodolle seuraavasti:

$$(4.13) \quad \text{Cov}(\mathbf{u}_i) = E(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_i) = \mathbf{\Omega},$$

joka on $g \times g$ -dimensioinen symmetrinen positiividefiniitti-matriisi. Tästä voidaan johtaa rakenteelliselle muodolle vastaava kovarianssi matriisi

$$(4.14) \quad \mathbf{\Sigma} = \mathbf{\Gamma}' \mathbf{\Omega} \mathbf{\Gamma}.$$

Ongelmaksi muodostuu siis identifioitumattomuus sekä regressiokertoimien että virhetermien suhteen. Π edustaa a posteriori tietoa, josta pyritään arvioimaan Γ ja \mathbf{B} a priori tiedolla. Esitän seuraavaksi, kuinka identifioituminen toteutuu Intriligator ym. (1996, 332–336) mukaan lineaaristen rajoitteiden yleisessä tapauksessa. Esitän tässä yksinkertaisuuden ja yleisyyden vuoksi vain tämän tunnettujen rajoitteiden tapauksen, vaikka myös muut rajoitetummat tapaukset identifioitumisesta voisivat olla käyttökelpoisia riippuen a priori tiedon luonteesta. Esimerkiksi nolla-rajoitteisuus voi olla käytännön kannalta hyvinkin hyödyllinen. Muodostetaan nyt matriisi \mathbf{A} , johon yhdistetään rakenteellisen muodon parametrimatriisit Γ ja \mathbf{B} . Saadaan

$$(4.15) \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \Gamma \\ \mathbf{B} \end{bmatrix},$$

josta saadaan rakenteellinen muoto

$$(4.16) \quad (\mathbf{y}_i | \mathbf{x}_i) \mathbf{A} = (\mathbf{y}_i | \mathbf{x}_i) \begin{bmatrix} \Gamma \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} = \boldsymbol{\varepsilon}_i,$$

josta voidaan johtaa yksittäiselle systeemin yhtälölle h

$$(4.17) \quad (\mathbf{y}_i | \mathbf{x}_i) \mathbf{a}_h = \boldsymbol{\varepsilon}_{hi}$$

A priori tunnetut rajoitteet voidaan järjestää matriisiksi Φ_h jokaista yhtälöä h kohden siten, että pätee $\Phi_h \mathbf{a}_h = \mathbf{0}$. Edelleen määritellään matriisi \mathbf{W} seuraavasti:

$$(4.18) \quad \mathbf{W} = (\mathbf{\Pi} | \mathbf{I}),$$

jossa \mathbf{I} on $k \times k$ -dimensioinen yksikkömatriisi ja $\mathbf{\Pi}$ yhtälössä (4.5) määritelty supistetun muodon parametrimatriisi, joka siis sisältää tunnetun a posteriori tiedon. Matriisi \mathbf{W} on dimensioiltaan $k \times (g+k)$. A posteriori-tiedolle täytyy myös päteä:

$$(4.19) \quad \mathbf{W} \mathbf{A} = \mathbf{0}, \text{ koska}$$

$$(4.20) \quad \mathbf{W} \mathbf{A} = (\mathbf{\Pi} | \mathbf{I}) \begin{bmatrix} \Gamma \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} = \mathbf{\Pi} \Gamma + \mathbf{B} = \mathbf{0}.$$

A priori- ja a posteriori-tieto yhdistämällä saadaan:

$$(4.21) \quad \begin{bmatrix} \Phi_h \\ \mathbf{W} \end{bmatrix} \mathbf{a}_h = \mathbf{0}.$$

Tästä johtamalla saadaan mallin identifioitumiselle seuraavat ehdot:

malli on:

yli-identifioitu		$\text{rank}(\Phi_h \mathbf{A}) = g-1$ ja $\text{rank}(\Phi_h) > g-1$
täysin identifioitu	jos	$\text{rank}(\Phi_h \mathbf{A}) = g-1$ ja $\text{rank}(\Phi_h) = g-1$
ali-identifioitu		$\text{rank}(\Phi_h) < g-1$
ei-identifioitu		$\text{rank}(\Phi_h \mathbf{A}) < g-1$ ja $\text{rank}(\Phi_h) \geq g-1$.

Täytyy huomata, että g on yhtä kuin endogeenisten muuttujien lukumäärä systeemissä. Täytyy havainnoida myös, että rajoitteiden määrälle r_h yhtälöä h kohden täytyy päteä $r_h \geq g-1$. Täysin identifioidussa mallissa systeemin rakenteellinen muoto saadaan täsmälleen selville a priori- ja a posteriori-tiedon avulla. Yli-identifioidussa tapauksessa mallissa on informaatiota enemmän kuin tarvitaan ja ali-identifioidussa tapauksessa taas informaatiota ei ole tarpeeksi. Ei-identifioitu systeemi ei tuota mitään tuloksia, koska se ei ole määritelty. Tästä seuraa myös, että yhden yhtälön systeemi on aina täysin identifioitu.

Identifioinnista seuraa, että täysin identifioitu samanaikaisten yhtälöiden systeemi voidaan estimoida epäsuoran neliösumma-menetelmän (ILS = indirect least squares) avulla. Yli-identifioitua systeemiä voidaan estimoida useiden monimutkaisempien menetelmien (kuten esimerkiksi kaksi- tai kolmivaiheinen neliösumma, tai suurimman uskottavuuden informaatio muunnokset) avulla. Ali-identifioitua systeemiä ei voida estimoida, vaan se tulee muotoilla uudestaan mieluiten siten, että se on täysin identifioitavissa. Tärkeitä erityistapauksia ovat rekursiiviset systeemit, jotka ovat aina identifioituvia ja siksi niiden estimointiin soveltuu hyvin myös perinteinen OLS-lähestymistapa. Systeemin tulee käyttää kaksi ehtoa ollakseen rekursiivinen: 1) systeemin yhtälöt eivät saa sisältää endogeenisina muuttujina sellaisia muuttujia, jotka ovat muuttujina systeemin korkeammassa yhtälössä ja 2) stokastinen kovarianssi matriisi Ω on oltava diagonaalinen. Ensimmäinen ehto siis sanoo, että malli etenee suoraviivaisesti, eikä tavallaan palaa itseensä (ei synny kehäviittausta). Ensimmäinen ehto ei ole vielä riittävä, vaan jotta systeemi olisi puhtaasti rekursiivinen, eivät systeemin virhetermit saa vaikuttaa toisiinsa. Tällöin rekursiivisuudelle riittävä toinen ehto täyttyy. Epälineaaristen systeemien kohdalla identifiointi on pääsääntöisesti monimutkaisempaa kuin lineaarisissa tapauksissa ja parametrien suhteen epälineaaristen systeemien estimaattoreiksi kelpaavat vain suurimman uskottavuuden menetelmien muunnokset ja yleinen momenttimetodi. Kun lineaarinen systeemi voidaan identifioida, se on silloin identifioitavissa globaalisti. Parametrien osalta epälineaaristen yhtälöiden tapauksessa identifiointi voi kuitenkin johtaa useisiin ratkaisuihin, joten epälineaariset systeemit ovat identifioitavissa vain paikallisesti. (Intriligator ym. 1996, 336–341.)

4.3.3. *Ekonometrinen aikasarja-analyysi*

Aikasarja-analyysillä tarkoitetaan muuttujien ajan suhteen tapahtuvan muutoksen analysoimista. Tällöin yleisesti käytetään merkintää t kuvaamaan aikaperiodia, jolloin t_0 on tarkasteltavan ajanjakson ensimmäinen periodi ja viimeistä periodia merkitään tavallisesti symbolilla T . Käyn nyt lyhyesti läpi eräitä aikasarjojen yhteydessä tärkeitä prosesseja ja esitys perustuu lähteeseen Harvey (1981b, 1-9). Autoregressiivinen prosessi (AR) on puhtaimmillaan tietyn muuttujan riippuvuutta saman muuttujan edellisen periodin arvosta (autoregressio = regressio itsensä suhteen). Kaavalla ilmaistuna saadaan:

$$(4.22) \quad y_t - \mu = \phi (y_{t-1} - \mu) + \varepsilon_t,$$

jossa y_t tarkoittaa havaintoa periodilla t ja y_{t-1} vastaavasti havaintoa aikaisemmalla periodilla $t-1$. μ on tässä havaintojen otoskeskiarvo ja ϕ regressiokerroin. ε_t tarkoittaa totuttuun tapaan stokastisen prosessin virhetermiä periodille t . Merkitsemällä AR(1) tarkoitetaan yhtälössä (4.22) kuvattua yhdellä periodilla viivästettyä autoregressiivistä prosessia. Yleinen merkintä autoregressiiviselle prosessille on AR(p), jossa p tarkoittaa viivästettyjen periodien määrää. Stationaarille prosessille pätee $\phi < |1|$, jolloin prosessi pysyttelee havaintokeskiarvon ympärillä. Muissa tapauksissa prosessi on hajoava, eli ajan myötä havainnot poikkeavat yhä enemmän alkuperäisestä otoskeskiarvosta. Mitä lähempänä parametrin ϕ :n itseisarvo on yhtä, sitä tarkemmin muuttujan arvo pystytään ennustamaan sen edellisen periodin arvosta.

Liikkuvan keskiarvon (MA) prosessissa selitettävä muuttuja riippuu puhtaimmillaan vain virhetermistä ja yhdellä periodilla viivästetystä virhetermistä. Toisin sanoen muuttujan erotus havaintojen keskiarvoon muodostuu virhetermin autoregressiivisestä prosessista. Tällainen MA(1) prosessi voidaan kirjoittaa kaavamuodossa seuraavasti:

$$(4.23) \quad y_t - \mu = \varepsilon_t + \theta \varepsilon_{t-1},$$

jossa θ on yhdellä periodilla viivästetyn virhetermin sama regressiokerroin. Yleisesti liikkuvan keskiarvon prosessi merkitään MA(q) q:lle periodille. Nyt eri periodien virhetermit vaikuttavat tarkasteltavaan muuttujaan ja voidaan todeta, että havainnoissa on autokorrelaatiota. On tavallista yhdistää nämä kaksi prosessia ja ARMA (1,1) prosessiksi saadaan näin:

$$(4.24) \quad y_t - \mu = \varphi (y_{t-1} - \mu) + \varepsilon_t + \theta \varepsilon_{t-1}.$$

ARMA (p,q) prosessi on paljon käytetty siitä syystä, että sen voidaan katsoa sisältävän olennaiset peruselementit aikasarjatarkastelulle. Ongelmana on sen stationaarisuus, joka ei yleensä luonnehdi käytännössä havaittavia talouden prosesseja. Siksi nämä prosessit muutetaan tavallisesti stationaarisiksi logaritmisten yms. muunnosten avulla. Merkittävän laajennuksen aikasarjojen tarkasteluun toivat Box ja Jenkins vuonna 1976, jolloin he ottivat ARMA:an mukaan integroidun elementin. Autoregressiivinen ja integroitu liikkuvan keskiarvon prosessi ARIMA (p,d,q) lähtee liikkeelle havaintojen periodien välisistä erotuksista. Tällöin ARIMA (1,1,1) prosessiksi saadaan siten:

$$(4.25) \quad (y_t - y_{t-1}) = \varphi(y_{t-1} - y_{t-2}) + \varepsilon_t + \theta \varepsilon_{t-1}.$$

Nyt ei siis tarkastelussa ole lainkaan mukana havaintojen keskiarvoa, vaan analyysi tapahtuu periodien välisten erotusten kautta. Tästä syystä tämä prosessi sopii erityisen hyvin paikallisten trendien selvittämiseen.

4.4. AGMEMOD-malli

Käsittelen tässä kappaleessa tarkemmin tutkimuksessa käytettyä ekonometrista mallia. Esittelen ensin mallin historian yleisesti, jonka jälkeen käsittelen lähemmin mallin rakennetta. Esitellyn rakenteen ja edellä esitellyn teorian valossa käsittelen myös mallin ennustavuutta ja siihen liittyviä ongelmia. Lopuksi annan vielä havainnollistavan esimerkin siitä, kuinka kasvihuonekaasujen päästöille muodostuu ennuste mallin toiminnan kautta.

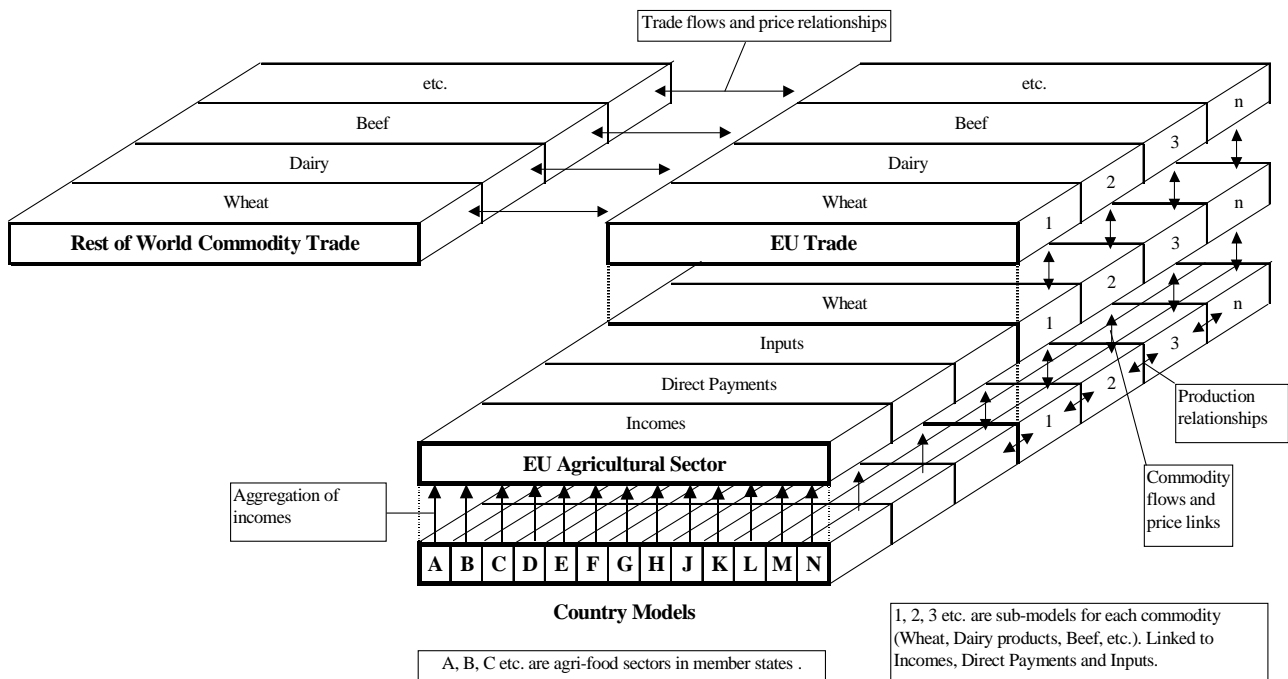
4.4.1. Yleistä AGMEMOD-mallista

AGMEMOD tarkoittaa karkeasti suomennettuna “jäsenmaiden maatalouden mallintaminen” (AGMEMOD = AGriculture in the MEMber states: MODelling). Malli pohjautuu Yhdysvaltalaisen Iowan valtion yliopiston ja Missouri-Columbian yliopiston alaisuudessa olevan FAPRI-tutkimuslaitoksen luomaan GOLD-malliin (GOLD = Grain Oilseed Livestock Dairy). Eurooppaan GOLD-mallin konseptin on tuonut irlantilainen maatalousalan tutkimuslaitos RERC (Rural Economy Research Center), joka on jo pitkään toiminut yhteistyössä FAPRI:n kanssa. RERC toimii myös AG-MEMOD projektin vetäjänä. Tällä hetkellä mallissa on mukana 22 nykyistä jäsenmaata (Kypros ja Malta eivät ole mukana ja Luxemburg on puolestaan sisällytetty Belgian malliin), joiden lisäksi lähiaikoina liittyvistä maista mukana ovat myös Bulgaria ja Romania. Suurin osa mallin kehityksestä on edelleenkin ollut mukana olevien vanhojen jäsenmaiden (EU-15) vastuulla, mutta uusia jäsenmaita on pikkuhiljaa alettu ottaa yhä tiiviimmin projektiin mukaan. AGMEMOD-projekti on saanut rahoitusta erityisesti Euroopan Yhteisöjen komission maatalouden pääosastolta, joka toivoo saavansa mallin avulla tulevaisuudessa yhä enemmän hyödyllistä tietoa Euroopan maataloussektorin kehityksestä. Mukana olevissa maissa mallia kehittävät maatalousalan tutkimuslaitokset ja yliopistot. Suomen AGMEMOD-mallia hoitaa MTT Taloustutkimus, jossa se kuuluu maatalouspolitiikan ryhmän mallivalikoimaan. Tällä mallilla on merkitystä myös laitoksen kansainväliselle yhteistyölle muiden malliin osallistuvien tutkimuslaitosten kanssa. Tämä kappale perustuu suurimmaksi osaksi mallia MTT taloustutkimuksessa kehittäneiden Jyrki Niemen ja Lauri Kettusen henkilökohtaisiin tiedonantoihin kesältä 2005, sekä AGMEMOD-projektin kotisivuilla esitettyihin tietoihin (AG-MEMOD 2005).

4.4.2. AGMEMOD-mallin rakenne

Oheisesta kuvioista (Kuvio 4.2.) tulee ilmi kuinka AGMEMOD-malli on rakennettu. Alimmalla tasolla ovat eri maiden omat mallit kirjaimin (A-N) merkittyinä. Nämä palkit on jaettu erillisiin pätkiin, jotka yhdessä muodostavat yksittäisen maan mallin. Ensimmäisenä näistä pätkistä pitää sisälään sektorin aggregoidut tulot, seuraava suorat tukimaksut ja tämän jälkeen ensin tuotantopanokset yhtenä ryhmänä ja viimeisenä tuotetut tuotteet eriteltyinä. Kaikki nämä osat ovat mallissa yhteydessä toisiinsa muodostaen itsenäisen maamallin. Eri jäsenmaiden omat mallit on yhdistetty seuraavalle, korkeammalle tasolle koko EU:n maataloussektoria kuvaavaksi malliksi. Itsenäiset maamallit yhdistetään toisiinsa GAMS ohjelmointikielen avulla, jolloin saadaan koko unionin maataloussektoria koskevia ennustuksia. EU:n tuottamat tuotteet on edelleen linkitetty mallissa muuhun maailmaan kauppavirtojen ja hintojen muutosten kautta. Täytyy huomata, että mallin maantieteellinen perusyksikkö on yksittäinen maa ja maiden sisäinen heterogeenisyys jää malleissa tällöin huomioimatta. Tällä seikalla on merkitystä myös mallin Suomen mallin rakenteelle: hintojen perusteella operoiva malli sinänsä tekisi vehnästä koko Suomen mittakaavassa dominoivan viljelykasvin. Koska tämä ei ole luonnontieteellisesti mahdollista, on vehnän alaksi määrätty mallissa ala, joka jää ohran ja kauran viljelystä yli. Malli on yksiulotteinen myös laadullisessa mielessä: kaikki tuotteet ja panokset

oletetaan tasalaatuisiksi. Ajallisesti katsottuna mallissa perusyksikkönä on vuosi, eikä vuoden sisäinen vaihtelu tule mallissa tällöin esille.



Kuvio 4.2. AGMEMOD-mallin rakenne (AG-MEMOD 2005).

Ohjaavana voimana AG-MEMOD mallissa ovat ns. avainhinnat, jotka on mallin avulla muodostettu tietyille tärkeimmille tuotteille niiden pääasiallisilla tuotantoalueilla Euroopassa. Esimerkiksi Suomen vehnäntuotannon avainhinnana toimii Ranskan ennustettu vehnän hinnan kehittyminen. Kotimaisen hinnan kehitys on saatu arvioimalla toteutunutta kotimaisen hinnan aikasarjaa vastaavaan avainhintaan. Lopulta muut mallin antamat tulokset on saatu johtamalla lineaarisia riippuvuussuhteita arvioitujen kotimaisten hintojen ja selitettävien muuttujien välille. Malli on puhtaasti lineaarinen, OLS-menetelmää hyödyntävä ja pääasiassa rekursiivinen useamman samanaikaisen yhtälön systeemi. Näihin seikkoihin liittyy myös mallin heikkoudet. Malli on jouduttu pitämään hyvin yksinkertaisena lähinnä käytännön syistä. Yksittäisten maiden mallit on käytännössä toteutettu Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla, mutta näiden yksittäisten maamallien yhdistäminen koko EU:n kattavaksi voi tapahtua ainoastaan GAMS-ohjelmointikielellä. Vaikka alun perin mallinsuunnittelijat kaavailivat realistisempien epälineaaristen funktioiden sisällyttämistä malliin, ei tämä ole käytännössä toiminut yhdistetyssä mallissa. Täytyy huomata, että mallin suunnittelu on tavallaan vielä kesken. Se kohtaa lähitulevaisuudessa samat rajoitteet kuin koko EU:n projekti yleisesti: mallia tulisi kehittää ja syventää samanaikaisesti, kun se laajenee uusien maiden tullessa siihen mukaan. Mallia on kehitetty pikku hiljaa ja muutamat maat ovat tuoneet malliin itselleen tärkeitä tuotteita, joita ei muiden maiden malleissa ole, kuten esimerkiksi oliiviöljy ja tomaattimurska. On

myös tutkittu ajatusta ottaa sääilmiöt mukaan malleihin, mutta vielä tässä vaiheessa sääilmiöt (ja ilmastonmuutos) eivät sinänsä ole malliin sisällytetty. AGMEMOD-malleja on kuitenkin käytetty myös tätä tutkimusta ennen maatalouden tuottamien päästöjen arviointiin.

4.4.3. AGMEMOD-mallin ennustavuus

Vaikka AGMEMOD:n sanotaankin olevan rekursiivinen systeemi, ei se sitä käytännössä ole siinä kaikkein puhtaimmassa mielessä kuin mitä rekursiivisuudella tarkoitetaan. Rekursiivisuuden ensimmäinen ehto toki täyttyy mallissa, eli systeemi muodostuu asteittain etenevistä yhtälöistä. Toisen ehdon kohdalla asia on huomattavasti epäselvempi. Ei voida nimittäin sanoa, että onko stokastinen kovarianssimatriisi diagonaalinen, vai vaikuttavatko yhtälön muuttujat toistensa virhetermeihin. Matriisin ei-diagonaalisuus on hyvin todennäköistä, koska nyt systeemi sisältää runsaasti sellaisia tuotantopanos- ja tuotossuhteita, jotka muodostavat vahvoja komplementteja toisilleen; toisin sanoen maataloustuotannossa saman tuotantopohjan kautta voidaan tuottaa lukuisia eri tuotteita. Tällöin systeemin virhetermien sisältämä informaatio sisältää todennäköisesti hyvin paljon yhteisiä elementtejä, jolloin rekursiivisuuden toinen ehto ei täyty virhetermien riippuessa toisistaan. Tällä on kahdenlaisia vaikutuksia mallin ennustusvoimalle: toisaalta joustojen määrittämisen suhteen ja toisaalta harhattoman estimaattorin valinnan suhteen.

Tutkimuksen alkuvaiheissa mallina toimi Lauri Kettusen 18.4.2005 päivittämä synteettinen versio. Synteettisyydellä tarkoitetaan tässä tuotantofunktioiden joustojen määräytymistä mallin sisäisesti eli synteettisesti. Synteettisyys on ollut lähtöideana mallin toteuttamiselle. Tätä ei ole sovellettu kuitenkaan kaikkiin mallin funktioihin, vaan joitain on jouduttu kalibroimaan tietyillä kertoimilla ja joissain tapauksissa kirjallisuudesta löytyneitä joustoja on käytetty niiden paremman ennustavuuden vuoksi. Joustojen saaminen kohdalleen on ollut erityisen tärkeää mallin toiminnalle, sillä yhdellä joustolla on parhaimmillaan vaikutuksia useisiin muihin funktioihin mallissa. Tämän perusteella voisi sanoa, että AGMEMOD on osittain frekventistinen, eli puhtaasti tilastollisesta aineistosta johdettu ja osittain bayesilainen, eli subjektiivisen näkemyksen perusteella muotoiltu. Subjektiiviset kertoimet joustoissa on saatu asiantuntija-arvioinnilla MTT Taloustutkimuksen tutkijoiden toimesta ja myös allekirjoittanut on suorittanut joustojen subjektiivista kalibrointia omaan harkintakykyyn pohjautuen niiden tuotteiden ja panosten osalta, jotka malliin on lisätty. Oman hankaluutensa synteettiseen joustojen määrittämiseen tuo se, että mallin rakenteellinen muoto ei ole identifioitu. Joustot ovat siis johdettu muuttujien ajallisesta muutoksesta, jolloin riippuen arvioitavasta aikaperiodista saadaan tälle tietyille mallin osalle vakioinen jousto. Se, että joustot eivät ole samoja joka vuosi tulee esille silloin, kun saadaan malliin uutta tilastoaineistoa ja voidaan saada estimaatti tällöin pidemmältä aikaperiodilta. Tällöin kuin tietoja päivitetään, myös synteettinen jousto muuttuu jonkin verran. Voidaan sanoa, että näin saatuna jousto on lineaarinen approksimaatio mahdollisesti epälinearisesti muuttuvasta suureesta ja siten epätarkka. Tällä lienee ollut vaikutusta erityisesti niiden tuotteiden joustojen suhteen, jotka eivät synteettisellä menetelmällä antaneet tyydyttäviä tuloksia.

Ekonometrisenä lähestymistapana OLS voi olla myös jossain määrin ongelmallinen. Rekursiivisuuden ensimmäinen ehto täyttyy AGMEMOD-mallissa, mutta toinen ei. Tällöin OLS-metodilla luotujen estimaattorien käyttäminen on omiaan tuottamaan harhaisia estimaatteja. Kuinka suuren harhan OLS:n käyttäminen tällaisessa tilanteessa aiheuttaa, ei voida varmuudella sanoa, mutta on epätoennäköistä, että virhe olisi kovinkaan suuri. Greenen mukaan (2003, 396–397) tämä ns. samanaikaisten yhtälöiden harha on yleinen johtuen OLS metodin helposta käytettävyydestä. Nykyisen tietojenkäsittelytekniikan ja tilastollisten ohjelmapakkausten avulla ongelma on helposti kierrettävissä erilaisten edellä esiteltyjen hieman monimutkaisempien metodien avulla. On kuitenkin kyseenalaista kuinka nämä voidaan tuoda AGMEMOD-mallin Excel-pohjaiseen laajaan taulukkoon. Greene myös havainnoi OLS metodin aiheuttaman harhan olevan merkittävä omassa makrotaloudellisen mallin esimerkissään (2003, 412). Tällöin OLS tuotti selkeästi erilaisia estimaattoreita kuin muut käytetyt menetelmät.

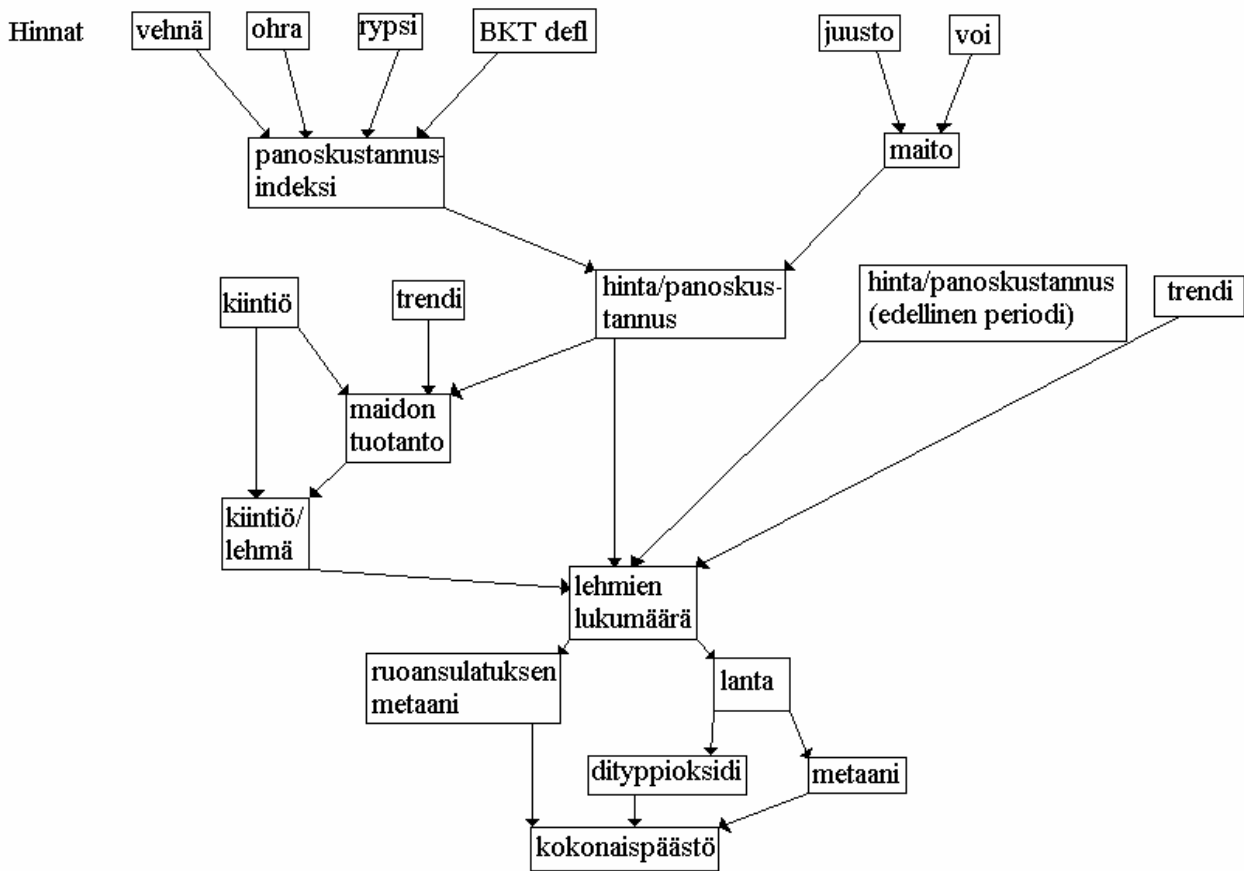
Kehitysehdotuksena AGMEMOD-mallille voisin ehdottaa yksittäisissä maamalleissa olevasta Excel-muodosta luopumista ja mallin toteuttamista keskitetysti GAMS:in pohjalta. Tällöin luotaisiin yhtenäinen Excel-lomake, johon jäsenmaiden edustajat antaisivat omat tietonsa, jotka sitten syötettäisiin kokonaiseen GAMS-malliin, joka ei kärsisi samoista rajoitteista kuin estimaattorin valinnassa ja yhtälöiden lineaarisuudessa kuin nykyinen Excel-pohjainen versio. Mallin kehittäminen ekonometrisesti tarkemmaksi olisi tällöin myös helpompaa. Tietty jäykkyyden lisääntyminen esimerkiksi uusien tuotteiden mukaan ottamisessa korvautuisi mallin yhteistoiminnan paremmalla luotavuudella. Nykyisin yhteisen mallin toiminta on ollut varsin epävarmaa. Myös aikasarjaestimointia voitaisiin näin hyödyntää mallissa paremmin. Ongelmia voisi kuitenkin potentiaalisesti tulla lisää mallin kalibroituuden suhteen.

4.4.4. Ennusteen muodostuminen kasvihuonekaasupäästöille AGMEMOD-mallissa

AGMEMOD-malli siis laskee maatalouden tuotantomäärät eri tuotteille, sekä määrittää tason muutamalle tärkeälle tuotantopanokselle. Tämän jälkeen nämä mallin antamat tuotostasot syötetään mallissa päästöt laskeviin taulukoihin, jotka on laadittu IPCC:n ohjeiden mukaan. Nämä taulukot sitten antavat lopulliset päästöt. Esitän tässä nyt yhden yksittäisen esimerkin, sillä koko mallin purkaminen johtuen sen laajuudesta ei olisi mielekästä. Tässä esimerkissä nähdään varsin suoraviivaisesti kuinka lypsylehmä on linkkinä tuotannon ja aiheutuneiden päästöjen välillä.

Kuviossa 4.3. on kuvattu virtauskaaviona lypsylehmien tuottamien kasvihuonekaasupäästöjen muodostuminen. Prosessi etenee kaaviossa ylhäältä alaspäin alkaen ensin hinnoista. Nämä hinnat ovat kokonaismallin tuottamista avainhinnoista johdettuja Suomen omia malli-hintoja. Vehnän, ohran ja rypsin hinta, sekä BKT-deflaattori yhdessä vaikuttavat panoskustannusindeksiin. Voin ja juuston hinnat puolestaan vaikuttavat itsensä maidon hintaan. Jakamalla maidon hinta/panoskustannusindeksillä, saadaan prosessissa keskeinen hinta/panoskustannus-indeksi. Tämä kuvaa toiminnan taloudellista kannattavuutta, sitä kuinka rajakustannukset vastaavat rajatuottoja. Hinta/panoskustannus-indeksi yhdessä kansallisen maitokiintiön ja teknologista kehitystä sisällään pi-

tävän trendi-muuttujan kanssa vaikuttavat keskimääräiseen maidon tuotantoon lypsylehmää kohden. Maidon tuotanto lehmää kohden yhdessä kokonaiskiintiön kanssa määrittävät kuinka paljon kiintiöstä jakautuu yksittäistä lypsylehmää kohden. Lehmien lukumäärään lopulta vaikuttavat lehmää kohden muodostuva kiintiö, hinta/panoskustannus-indeksi, edellisen periodin hinta/panoskustannus-indeksi viivästettynä muuttujana sekä tässä selittämätöntä muutosta kuvaava trendi-muuttuja. Lehmien lukumäärä syötetään sitten lopulta IPCC:n ohjeiden mukaan laadittuun taulukkoon, joka laskee ensinnäkin ruoansulatuskanavan metaanipäästöt ja lehmien tuottaman lannan määrän. Lannan määrästä määritetään siitä aiheutuvat sekä metaanin että dityppioksidin päästöt. Laskemalla nämä päästöt yhteen saadaan mallin tuottama kokonaispäästö, jonka Suomen lypsylehmät tuottavat.



Kuvio 4.3. Esimerkkikaavio lehmien lukumäärän ja päästöjen välisestä yhteydestä AGMEMOD-mallissa.

5. Skenaariot ja tulosten tarkastelua

Tarkastelen tässä kappaleessa lähemmin niitä skenaarioita, joita olen käyttänyt mallissa ja mallin antamia tuloksia kasvihuonekaasujen kehitykselle eri skenaarioissa. Skenaariot pohjautuvat siihen etukäteistietoon mahdollisista keinoista päästöjen vähentämiseksi, jota esiteltiin ongelmaviitekehysten yhteydessä ja myös yleisiin ennusteisiin maatalouspolitiikan tulevaisuuden trendeistä.

5.1. Skenaariot

Koska taloustieteelliset mallit eivät koskaan voi antaa täydellistä kuvaa tulevasta kehityksestä absoluuttisessa mielessä, muodostetaan yleensä erilaisia skenaarioita, joita voidaan verrata toisiinsa. Näin mallit tuottavat vertailukohtia mahdollisille politiikkavaihtoehdoille, joilla ongelmaa pyritään ratkaisemaan. Tämä voi olla erityisen hyödyllistä kustannus-hyöty-analyysin kannalta, jolloin mahdolliset hyödyt ovat helposti vertailtavissa. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus tarkastella kasvihuonekaasupäästöjen kehittymistä tiettyjen politiikkavaihtoehtojen seurauksena. Koska ennakkoletuksena on, että päästöjen määrä tulee laskemaan tulevaisuudessa, voidaan nähdä että nyt tarkastellaan nimenomaan hyötyjä, joita eri politiikkavaihtoehdot tuottavat. Sen sijaan politiikoista koituvat kustannukset eivät sisälly tarkasteluun, vaan vaativat erillistä tutkimusta.

5.1.1. Perusskenaario

Perusskenaariona tarkastelussa toimii AGMEMOD-malliin perusskenaario, jossa politiikkamuuttujat ovat Agenda 2000-uudistuksen mukaiset. Lisänä AGMEMOD:in perusversioon on muutama muuttuja, jotka olen lisännyt malliin mukaan kasvihuonekaasupäästöjen tarkemman määrittämisen vuoksi: tuotantopanoksista olen ottanut mukaan typpilannoituksen ja orgaaninen maan ja tuotteista rukiin, herneen ja lampaanlihan olen lisännyt malliin uusina Suomen AGMEMOD:in perusversioon verrattuna. Typpilannoituksen ja orgaanisen maan viljelyn aikasarjat olen saanut suoraan Suomen kasvihuonekaasujen inventaarioraporteista (Statistics Finland 2005). Varsinkin jälkimmäiseen aikasarjaan tulee suhtautua tietyllä varauksella, sillä vuosittaista tilastoa orgaanisen maan käytöstä ei Suomessa kerätä ja todellisia havaintoja on viimeisen 15 vuoden ajalta vain muutamalta vuodelta. Puuttuvat vuodet on aikasarjaan saatu lineaarisen ekstrapoloinnin avulla. Lisäksi sikojen ja siipikarjan kokonaismäärät olen määritellyt mallin sisällä uusina muuttujina. Uudet tuotteet ovat tuotu malliin käyttämällä avainhintoja Saksan hintojen aikasarjoja, jotka on ekstrapoloitu vuoteen 2010 asti Eurostatin tilastoaineistosta. Tämän jouduin tekemään siitä syystä, että varsinaisia avainhintoja ei näille tuotteille ollut AGMEMOD:n puitteissa saatavilla. Poikkeuksena on lampaanlihan hinta, johon AGMEMOD:ssa on avainhintana Irlannin hinta. Vaikka näiden uusien tuotteiden merkitys on pieni kokonaistarkastelun kannalta, kalibroivat ne tulokset lähemmäksi sitä tasoa, jolla virallinen inventaarioraportti päästöistä liikkuu. Toinen vaihtoehto olisi ollut ottaa puuttuvat tuotteet mukaan malliin vakioisina taustalla olevina tekijöinä, joihin malli ei vaikuta, mutta nyt toteutettu vaihtoehto sallii muutoksen tapahtumisen myös näiden tuotteiden suhteen.

Suomen virallisessa inventaarioraportissa (Statistics Finland 2005, maatalouden inventaario 101–128) on mukana tuotteita, joita en ole tähän malliin ottanut mukaan johtuen niiden hyvin vähäisestä merkityksestä ja joissain tapauksissa myös vaikeasta mallinnettavuudesta. Nämä päästölähteet ovat seosviljan, puna-apilan siemenen, eräiden puutarhakasvien kuten porkkanan ja punajuuren viljely, vuohet, hevoset, turkiseläimet ja porot. Lisäksi siat ja siipikarja on inventaareissa jaoteltu tarkemmin eri eläinluokkiin, kuin mitä tässä tutkimuksessa on tehty. AGMEMOD-mallissa tämä ei ollut mahdollista tällaisen tarkemmin jaotellun datan puuttumisen vuoksi. Vaikka nämä päästölähteet ovatkin pääsääntöisesti merkityksettömiä, on myös eräitä poikkeuksia. Metaanipäästöjen suhteen porot ovat sikoihin tai emolehmiin verrattavissa oleva päästöjenlähde ja turkiseläimet ovat puolestaan kolmanneksi suurin yksittäinen ryhmä lannankäsittelyn dityppioksidipäästöissä (Statistics Finland 2005, 104 ja 110). Kokonaisuuden kannalta ei kuitenkaan synny suurta vaikutusta näiden lähteiden poisjäännistä. On myös kyseenalaista kuinka poronhoito ja turkistarhaus kuuluvat maatalouspolitiikan piiriin. Kuvailut muutokset ovat voimassa myös mallin muissa skenaarioissa.

Kahden ensimmäisen vaihtoehdoisen skenaarion suhteen on huomattava, että CAP:n tukitoimista on mallissa mukana vain CAP-tuki eikä mitään kansallisia tukia. Suurin paino mallin toiminnassa on vallitsevilla markkinahinnoilla ja hallinnollisesti määriteltyjen interventiohintojen vaikutuksella niihin.

5.1.2. Vaihtoehtoskenaario 1: vuoden 2003 reformi

Vuonna 2003 suoritettiin EU:n maatalouspolitiikassa varsin kattava reformi, jolla oli monenlaisia ja syvälle meneviä vaikutuksia Euroopan maatalouteen. Suomessa reformin mukaista politiikkaa aletaan toteuttaa vuonna 2006. Reformin pääasiallinen sisältö on tukien irrottamisessa tuotannossa, jolla pyrittiin poistamaan epäselvyyksiä EU:n sisäisen tuen WTO-kelpoisuuden suhteen. Lisäksi uudistukseen kuului myös modulaation käsite, jolla tukea ohjataan entistä enemmän maatalouden tukemisesta maaseudun tukemiseen. Nämä reformin pääkohdat ovat kuitenkin varsin vaikeasti mallinnettavissa AGMEMOD:in Excel-pohjaisen lineaarisen ekonometrisen mallintamisen puitteissa. Siksi tässä vaihtoehtoskenaariossa pääpaino keskittyykin reformin yhteydessä tehtyihin alennuksiin EU:n interventiohinnoissa. Vuoden 2003 reformissa päätettiin alentaa eräiden tärkeiden tuotteiden interventiohintoja. Eniten interventiohintoja alennettiin maitosektorilla, jossa hintojen alennus tehtiin epäsymmetrisesti: voille tuli alennusta 25 % neljän vuoden aikana ja rasvattomalle maitojauheelle 15 % kolmen vuoden aikana, joka on sama kuin Agenda 2000-ratkaisussa. Koska hintojen alennuksen voi nähdä alentavan tuotantoa maitosektorilla, tällä on Suomessa selkeä vaikutus myös naudanlihan tuotantoon: vasikat naudantuotannolle saadaan pääasiassa lypsylehmiltä. Tämä yhteys tulee hyvin huomioitua AGMEMOD:issa. Viljojen interventiohintoja ei sinänsä alennettu, vaan alennus kohdistui näiden hintojen kuukausikorotuksiin. Interventiohintojen laskun seurauksena saatiin AGMEMOD:in yhdistelmämallissa laskua aikaan myös Suomen mallia ohjaavissa avainhinnoissa. Tällä tavalla AGMEMOD:iin tehdyllä 2003 reformin skenaariolla saadut tuotannon prosen-

tuaaliset vähenemiset otettiin huomioon päästöjen kannalta olennaisissa muuttujissa, jonka jälkeen saatiin vaihtoehtoskenaario 1.

5.1.3. Vaihtoehtoskenaario 2: vapaa kauppa

Toiseksi vaihtoehtoskenaarioksi olen valinnut vapaakaupan skenaarion, jossa mallin hinnoiksi asetetaan maailmanmarkkinahinnat. Tämä skenaario on puhtaasti hypoteettinen ja sisältää omat ongelmakohtansa. Erityisen tärkeää on pitää mielessä, että vaikka AGMEMOD:iin kuuluu mahdollisuus liittää EU:n kokonaismalli maailmanmarkkinoihin, tätä kytkentää ei kuitenkaan ole kehitetty vielä täysin toimivaksi ja maailmanmarkkinoiden reaktiot jäävät tällöin toteutumatta. Maailmanmarkkinahinnat ovat eräällä tavalla keinotekoisia hintoja, jotka eivät todellisuudessa vastaa globaalisti vapaata markkinatilannetta, vaan niissä heijastuu ennen kaikkea maiden omilla markkinoilla käyttämättömien elintarvikkeiden ”dumppaus” näille maailmanmarkkinoille. Skenaarion tilanne vastaisi todellisuudessa tilannetta, jossa EU:n rajasuoja poistettaisiin ja tuotannon tulisi tapahtua maailmanmarkkinahintojen sallimalla tasolla olettaen samalla, että maailmanmarkkinahinta ei kohoja EU:n tuotannon vähenemisestä johtuvan kysyntäpaineen vuoksi. Vaikka skenaario sisältää monta epärealistista oletusta, se on kuitenkin hyvä vertailupohja muihin skenaarioihin nähden. Skenaariossa oletetaan maailmanmarkkinahintojen astuvan voimaan vuonna 2005 ja ne pysyvät vakioina tämän jälkeen aina tarkasteluperiodin loppuun asti. Maailmankauppahinnat estimoitiin FAO:n tilastoaineistosta, jossa tuotekohtaisesti 20 suurimman viejamaan vientien arvoista otettiin painotettu keskiarvo vientimäärien suhteen. Näin muodostettiin aikasarja maailmanmarkkinahinnoille vuodesta 1995 vuoteen 2003. Vuoden 2003 hinta asetettiin sitten skenaarioon vakiona vuodesta 2005 vuoteen 2010 asti. Tämän vuoksi hinnoissa oleva trendi ei tule huomioitua tässä skenaariossa.

5.1.4. Vaihtoehtoskenaario 3: teknologinen kehitys

Kolmas vaihtoehtoskenaario on teknologisen kehityksen skenaario. Kuten todettu, myös tuotannon tehostumisella on oma osuutensa päästöjen kehittymiseen. Kirjallisuudessa on olemassa lukuisia esimerkkejä tuotannon tehostamisesta ja erityisen hyvin erilaisia mahdollisuuksia ovat koonneet Kulmala ja Esala (2000, 30–35; 38–41). Teknologisen kehityksen skenaarion luomisessa on kuitenkin useita ongelmakohtia, eikä suurinta osaa mahdollisista toimista ole voitu huomioida AGMEMOD mallissa. Siksi tähän skenaarioon onkin valikoitunut sellaisia teknologisen kehityksen aspekteja, jotka on mainittu kirjallisuudessa ja jotka ovat olleet mahdollisia liittää malliin. Tämä myös tarkoittaa, että kaikkia teknologisen kehityksen aspekteja ei mallissa ole kuitenkaan voitu ottaa huomioon. Tämän skenaarion tarkoituksena on antaa suuntaa siitä kuinka erilaiset mahdollisuudet teknologian kehityksessä mahdollisesti vaikuttavat päästöjen kehitykseen. AGMEMOD mallin käytännöllisyys tulee esiin kuitenkin juuri nimenomaan tavoitteena olevassa kokonaispäästöjen vähentämisessä, sillä dityppioksidin ja metaanin vähentäminen voivat vaatia juuri vastakkaisia toimia ja riippuen vaikutusten vahvuudesta ei ole itsestään selvää kumpi vaikutus nousee merkittävämmäksi ja tapahtuuko kokonaispäästöjen vähentymistä todellisuudessa, jos vain tarkastellaan toisen kaasun

päästöjen vähentämistä. On myös huomattava, että eräitä teknologia-aspekteja on mukana AGMEMOD:issa jo endogeenisina muuttujina: satotasot, lehmien elopaino ja tuotetun maidon rasvapitoisuus ovat esimerkkejä kaikissa skenaarioissa mukana olevista teknologiseen kehitykseen vaikuttavista tekijöistä. Ne vaihtelevat mallissa kuitenkin markkinavoimien vaikutuksesta, eikä muutoksia näissä ole silloin syytä tarkastella erikseen erillisten politiikkatoimien valossa. Tämän skenaarion teknologinen kehitys liittyy nimenomaan indusoidun teknologisen kehityksen kategoriaan ja tarkoituksena on tutkia kuinka valtiovallan panostus teknologisen kehityksen tukemiseen voi auttaa päästöjen vähentämisessä. Skenaario on muodostettu muuttamalla IPCC:n laskentataulukon teknologisen kehityksen parametreja suotuisammalle, mutta kuitenkin realistiselle tasolle. Tuotantomäärät pysyvät tässä skenaariossa samoina verrattuna perusskenaarioon.

Ensimmäinen tekijä teknologisen kehityksen vaihtoehtoskenaariossa on eläinten ruokinnan tehostaminen, jonka kautta typen erittyminen lannan mukana vähenee. Kulmalan ja Esalan(2000, 33–34) kirjallisuuskatsauksesta saatiin seuraavat potentiaalit lannan typen vähentämiselle: lypsylehmät 20 %, muu nautakarja ja lampaat 10 %, siat 33 % ja siipikarjalle 25 %. Toisena otetaan huomioon rehun sulavuus: Kulmalan ja Esalan (2000, 39) mukaan metaanipäästöjä voidaan vähentää rehun sulavuutta nostamalla. Tämä toteutettiin asettamalla rehun sulavuus mallissa 75 % IPCC:lle ilmoitetun 70 % sijasta.

5.1.5. Vaihtoehtoskenaario 4: eloperäiset maat pois viljelyksestä

Neljännessä vaihtoehtoisessa skenaariossa tarkasteltiin sitä, kuinka eloperäisten maiden poistaminen viljelyksestä vaikuttaisi maatalouden tuottamiin kasvihuonekaasujen päästöihin. Oletuksena skenaariossa on, että vuodesta 2005 lähtien eloperäisiä maita ei ole enää viljelyksessä. Eloperäiset maat voidaan jakaa multa- ja turvemaihin. Erityisesti turvemaiden viljelyn on nähty olevan ongelmallista kasvihuonekaasupäästöjen vuoksi. Hiilidioksidin laskennan osalta on merkitystä onko eloperäinen maa multamaata vai turvemaata. Tässä tarkasteltavan dityppioksidin suhteen ei kuitenkaan eroja laskennassa ole; multa- ja turvemaat aiheuttavat yhtä suuren päästön hehtaaria kohden IPCC:n laskentaohjeiden mukaisesti laskettuna. Siksi olenkin tarkastellut kaikkien orgaanisten maiden viljelystä poistamisesta saavutettuja päästöjen vähennyksiä. Lisäksi voidaan sanoa, että tämä tarkastelu ei anna koko kuvaa, sillä orgaaniset maat toimivat myös merkittävinä hiilidioksidin lähteinä, jolloin tämä malli ei itse asiassa pysty huomioimaan kaikkia toteutuvia päästöjen vähennyksiä. Turvemaisista vapautuu myös pieniä määriä metaania, mutta näitä päästöjä ei ole mallissa huomioitu kuten ei myöskään muita maaperän metaanipäästöjä. Maaperän metaanipäästöjen arvioidaan olevan merkittömän pienet verrattuna luonnontilaisten soiden metaanipäästöihin.

Tämän skenaarion tuloksiin olisi syytä suhtautua varauksella myös siksi, että ei ole varmaa millaisessa käytössä maa on viljelykäytön jälkeen. Se, että päästöt poistuvat maatalouden inventaariosta, ei välttämättä kerro sitä aiheutuuko päästöjä tämän jälkeen esimerkiksi soistumisen vuoksi ja kuinka paljon. Turvemaiden metsittämisestä on olemassa huonoja kokemuksia. Siksi aiheen jatkotarkastelu tulisikin tapahtua koko maankäyttöä koskevassa kontekstissa. Aluepoliittiset ongelmat ovat oma

lukunsa, sillä turvemaiden sijoituksessa lähinnä pohjoiseen Suomeen, ovat orgaaniset maat tasaisesti jakautuneet joka puolelle maata. Kokonaisuudessaan eloperäisiä maita on viljelyksessä n. 280 000 ha, joista turvemaata on 78 000 ha eli n. 28 % (vuoden 2003 tieto, Statistics Finland 2005, 120).

5.1.6. Vaihtoehtoskenaario 5: vaihtoehtoskenaarioiden 2, 3 ja 4 yhdistelmä

Viimeisessä vaihtoehtoskenaariossa tarkastellaan vapautetun kaupan tilannetta, jossa myös pyritään saavuttamaan teknologisia parannuksia karjan ruokintaa tehostamalla. Lisäksi vaihtoehtoskenaariossa 4 mukaisesti turvemaat otetaan pois viljelyksestä. Tämä skenaario on tarkastelussa ikään kuin maksimaalisen vähennyksen skenaario, mikä ei kuitenkaan vielä sano, että se voisi kattaa koko päästöjen vähennyksen potentiaalin. Erityisesti teknologisen kehityksen aspektissa voisi olla runsaasti pelivaraa tähän nähden.

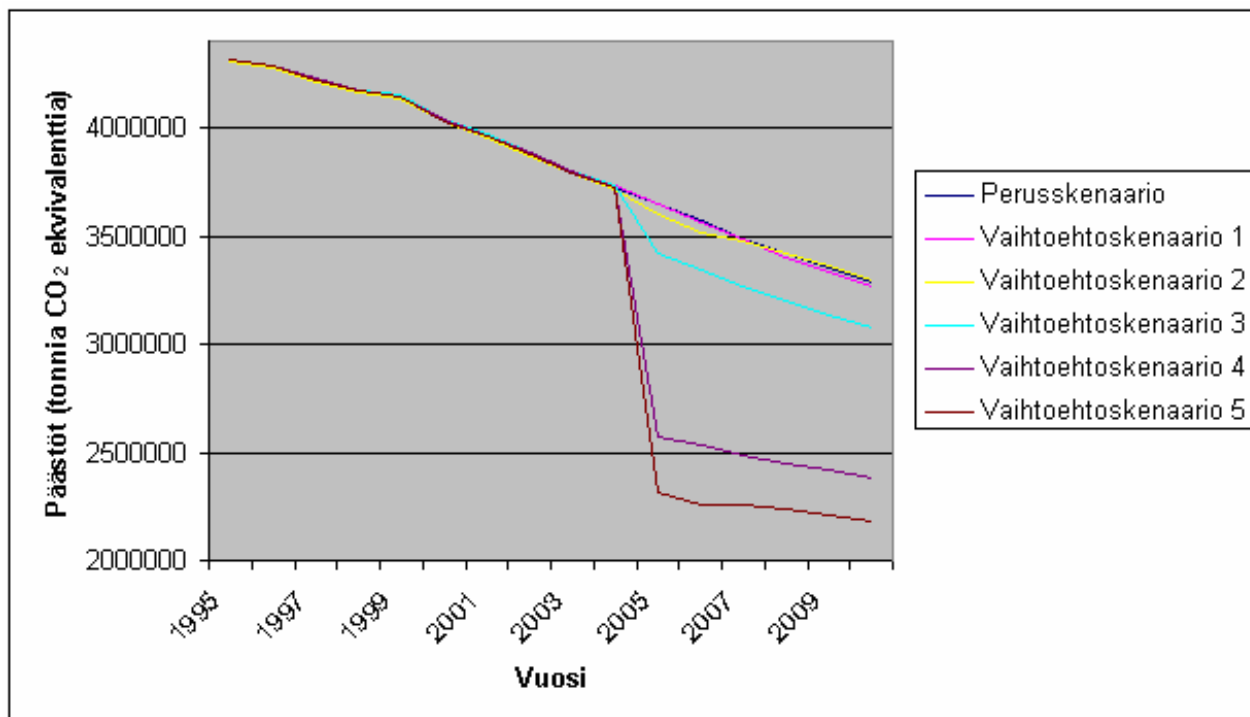
5.2. Tulosten tarkastelua

Seuraavaksi tarkastelen skenaarioiden antamia tuloksia ensin erikseen dityppioksidille ja metaanille ja sitten näiden kaasujen kokonaispäästöille yhteensä. Ennusteet ulottuvat vuoteen 2010, joka on varsin lyhyt ajanjakso ilmastonmuutoksen ongelmakehikossa. Pidemmälle meneviin ennusteisiin ei tämän mallin puitteissa ollut kuitenkaan mahdollisuutta, sillä AGMEMOD:n avainhintaennusteet ulottuvat ainoastaan vuoteen 2010. On myös oletettu, että muutokset astuvat voimaan täysimääräisinä vuonna 2005. Tällöin on huomattava, että johtuen lyhyestä tarkasteluajanjaksosta, ei mitään merkittäviä rakenteellisia muutoksia ehdi syntyä Suomen maataloussektorilla.

5.2.1. Dityppioksidipäästöjen kehittyminen

Oheinen kuvaaja (kuvio 5.1) esittää mallin antamia tuloksia dityppioksidin päästöille eri skenaarioissa. Perusskenaario näyttäisi noudattavan odotettua, laskevaa uraa. Perusskenaariossa ja CAP-reformin välillä ei ole havaittavissa merkittäviä eroja. Vapaakauppaskenaarion päästöt nousevat alun notkahduksen jälkeen hivenen perustasoa korkeammalle tasolle. Tämä johtunee viljanviljelyn paremmasta asemasta suhteessa karjan kasvatukseen maailmanmarkkinahintojen vallitessa. Teknologisella muutoksella saadaan aikaan suhteellisesti merkittävä vähennys päästöjen tasossa. Tässä on syytä huomata, että skenaario ei kata läheskään kaikkia teknologisen kehityksen mahdollisuuksia, vaan mallinnusteknisistä syistä enempää kuin karjan ruokinnan tehostamiseen liittyviä teknologisia parannusmahdollisuuksia ei ole huomioitu. Turvemaiden poistaminen viljelyksestä aiheuttaa suurimman vähennyksen dityppioksidin päästöissä. Edelleen on muistettava turvemaiden päästöihin kuuluvan myös hiilidioksidia ja pidettävä mielessä, että turvemaat muussa maankäytössä aiheuttavat vielä jonkin verran päästöjä, eikä tämä vähennys tule kokonaisuudessaan yhteiskunnan hyödyksi, vaikka onkin poissa maatalouden tuottamasta päästörasitteesta. Yhdistelmäskenaariossa päädy-

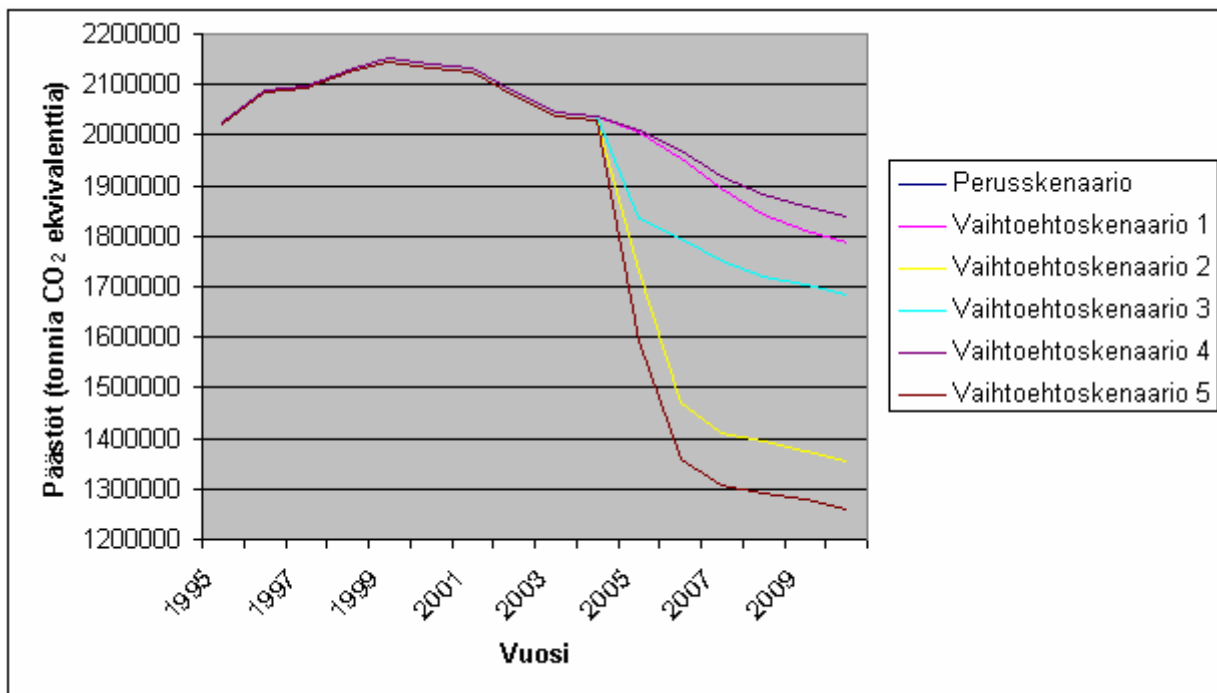
tään vuonna 2010 2,18 miljoonaa tonniin dityppioksidia hiilidioksidiekvivalentteina ilmaistuna, joka on 66 % perusskenaarion päästötasosta 3,29 miljoonaa tonnia.



Kuvio 5.1. N₂O:n päästöt eri skenaarioissa.

5.2.2. Metaanipäästöjen kehittyminen

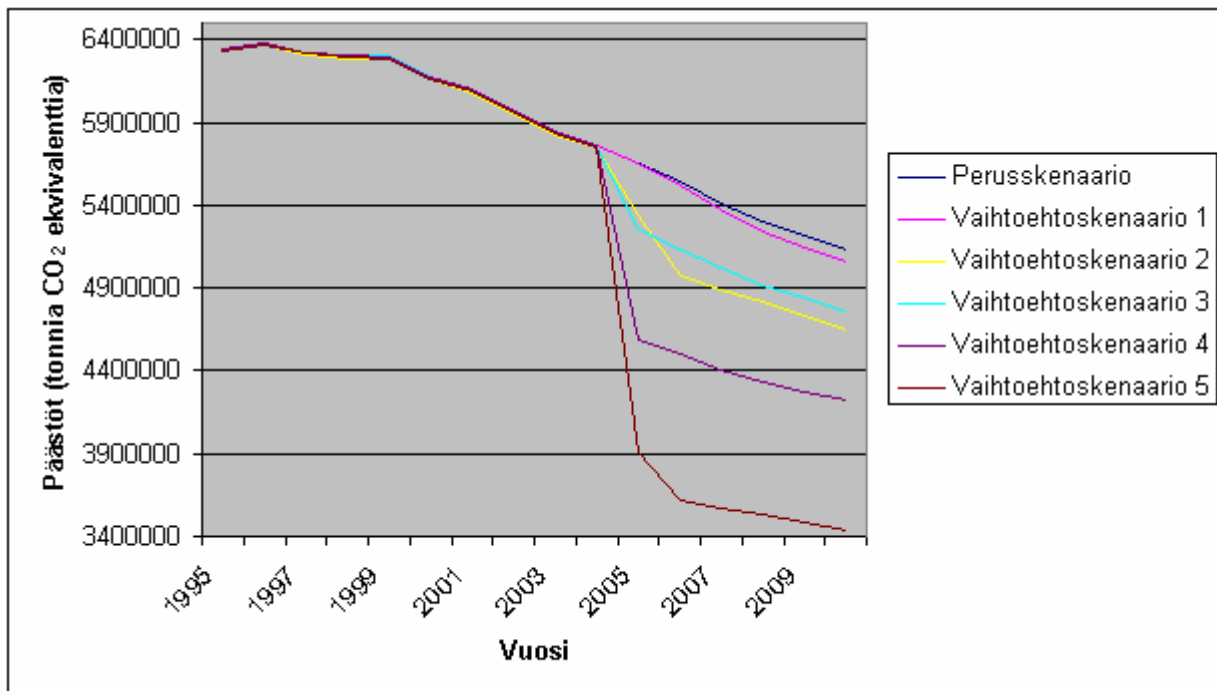
Kuviossa 5.2 nähdään puolestaan kuinka metaanipäästöt kehittyvät eri skenaarioiden myötä. Perusskenaario jatkaa laskevalla uralla ja koska turvemaiden metaanipäästöt eivät ole vähäisyytensä vuoksi mukana laskennassa, on turvemaiden viljelystä poistamisen skenaarion ura yhteneväinen perusskenaarion uran kanssa. CAP reformi aiheuttaa nyt selkeästi näkyvämmän muutoksen päästöurassa kuin mitä dityppioksidin tapauksessa. Tämä johtuu ennen kaikkea maitotuotteiden hinnan alennuksista ja tästä johtuvasta märehelijöiden määrän vähenemisestä. Teknologisen kehityksen skenario aiheuttaa myös metaanin päästöihin huomattavan vähennyksen perusuraan verrattuna ja myös tämä on nimenomaan sidoksissa karjan ruoansulatuksen tehostamiseen. Suurin yksittäisen skenaarion vähennys metaanipäästöissä muodostuu maailmanmarkkinahintojen skenaariossa. Tämä vaikutus johtuu nimenomaan metaanipäästöistä yksin vastaavan kotieläintuotannon tilanteesta, joka tuotantohaaroista eniten kärsii maailmanmarkkinahintoihin siirtymisestä. Yhdistelmäskenaariossa päädytään vuonna 2010 1,26 miljoonaa tonniin metaania hiilidioksidiekvivalentteina ilmaistuna, joka on 69 % perusskenaarion päästömäärästä 1,84 miljoonaa tonnia.



Kuvio 5.2. CH₄ päästöt eri skenaarioissa.

5.2.3. Kokonaispäästöjen kehittyminen

Seuraavassa kuvaajassa (kuvio 5.3) nähdään kuinka eri skenaarioissa metaanin ja dityppioksidin yhteispäästöt (hiilidioksidiekvivalentteina ilmaistuna) kehittyvät. Perusskenaariossa päädytään vuonna 2010 5,12 miljoonaan tonniin päästöjä hiilidioksidiekvivalentteina. Nyt voidaan havaita, että pienin muutos saavutetaan CAP reformin skenaariossa, jolloin vuonna 2010 päädytään 5,06 miljoonaan tonniin päästöjä, joka on 99 % perusskenaarion päästöistä. Seuraavina tulevat teknologisen kehityksen skenaario 4,76 miljoonaa tonnia (93 % perusskenaarion päästöistä), vapaan kaupan skenaario 4,65 miljoonaa tonnia (91 % perusskenaarion päästöistä) ja suurimman yksittäisen vähennyksen aiheuttajan turvemaiden poistaminen viljelyksestä, jossa päädytään 4,22 miljoonaan tonniin (82 % perusskenaarion päästöistä). Yhdistelmäskenaariossa päädytään 3,44 miljoonaan tonniin, joka on 67 % perusskenaarion tasosta. Saavutettu vähennys on 1,68 miljoonaa tonnia hiilidioksidiekvivalenttia, joka on noin 1,96 % Suomen vuoden 2003 kokonaispäästöistä (85,58 miljoonaa tonnia hiilidioksidi ekvivalenttia; Tilastokeskus 2005e) ja 11,1 % Kioton tavoitteen ylittävästä osasta (Kioton tavoite on vuoden 1990 taso, eli 70,46 miljoonaa tonnia; Tilastokeskus 2005e). Jos verrataan tätä vähennysmäärää päästökaupan piirissä oleviin vähennyksiin, saadaan tämän hetkiselällä päästöoikeuden hinnalla (23,2 €/tonni, lähde Point Carbon 2005) kertomalla tämän maksimivähennyksen rahalliseksi arvoksi n. 39 miljoonaa euroa. Tämä on n. 2 % maatalouden koko BKT:stä, joka oli 1595 miljoonaa euroa vuonna 2003 (Knuutila 2005, 13). Kokonaisuudessaan maatalouden päästöt ovat perusskenaariossa vuonna 2010 119 miljoonan euron arvoiset. Tämä on puolestaan n. 7 % maatalouden BKT:stä.



Kuvio 5.3. Kokonaispäästöt eri skenaarioissa.

6. Yhteenveto ja politiikkasuositukset

Maatalouden tuottamat kasvihuonekaasujen päästöt ovat jokseenkin vähämerkityksellisiä yhteiskunnallisen hyvinvoinnin kannalta ainakin, kun niitä verrataan muiden sektorien kasvihuonekaasujen päästöihin. Silti teknologisen kehityksen kannustaminen potentiaaleineen vähentää päästöjä negatiivisin kustannuksin on rationaalisen yhteiskunnallisen suunnittelijan otettava huomioon. Maatalouspolitiikan ohjauksen kannalta tässä käsiteltyä ilmastonmuutoksen hillitsemistä huomattavasti olennaisempi ja tulevaisuudessa merkityksellisempi seikka on kuitenkin edelleen ilmastonmuutokseen sopeutuminen maataloussektorillamme siihen liittyvän suuren epävarmuuden ja suurten potentiaalisten riskien sekä myös hyötyjen vuoksi kuin mitä ilmastonmuutoksen hillitsemiseen tähtäävät erityistoimet. On toki seikkoja, joissa ilmastonmuutoksen hillitseminen voitaisiin kytkeä muihin politiikan aloihin, kuten alue- ja rakennepolitiikkaan. Maataloustuotannon ja energiantuotannon tulevaisuudessa mahdollisesti yhä tiukemmasta yhteen limittymisestä tarvitaan ehdottomasti enemmän tutkimusta ja aivan erityisesti teknologisen kehityksen potentiaali tällä saralla tulisi olla tutkimustyössä kiinnostuksen kohteena. En sano myöskään, että ilmastonmuutoksen hillintään tähtäävät toimet olisivat turhia vaan että niiden potentiaali ongelman ratkaisemiseksi on rajallinen. Jotta Kioton tavoitteeseen voidaan päästä, on kaikkia keinoja tutkittava tarkoin.

Kansainvälisessä kontekstissa on odotettavissa myös suuria muutoksia: Kioton sopimuksen jatko on vielä epävarma ja ilmastonmuutoksen itsensä vaikutukset niin ikään. Tutkimusta tarvitaan jatkossa yhä enemmän ja olemassa olevien mallien sekä IPCC:n kasvihuonekaasujen laskentamenetelmien kehittäminen tulisi olla keskeisimpiä huomioitavia seikkoja tällöin. Julkisuudessa käytävä epämääräinen keskustelu asian suhteen tulisi saattaa vastaamaan enemmän tieteellistä tietoa kuin lukuisten etujärjestöjen intressejä. Mallien ja laskentamenetelmien kehittäminen on varmasti myös IPCC:n intresseissä ja uusimmasta kehityksestä saadaan valaistusta viimeistään seuraavana vuonna, kun uusi arvioreportti ja laskentamenetelmien päivitykset valmistuvat. Laskentamenetelmissä maankäytön ja maatalouden erottaminen olivat muutoksia oikeaan suuntaan, mutta voisi kuvitella, että jos maatalouden maankäyttö ja kotieläinten kasvatus erotettaisiin vielä erillisiksi osiksi, saavutettaisiin tilanne, jossa limittäisyyksiä laskennassa olisi kaikkein vähiten. Mallien parantamisen suhteen on tässä työssä myös esitetty huomioita AGMEMOD-mallin kehittämisestä. Kehitystyö sen osalta jatkuu ja projektissa ollaan siirtymässä uuteen vaiheeseen.

Annan vielä lopuksi politiikkasuosituksia edellä kuvailtujen tutkimustulosten perusteella. Lähtökohdana näissä suosituksissa on teoriaosassa kuvailtu yhteiskunnallisen päätöksentekijän ongelma. Yhteiskunnallisen päätöksentekijän tavoitteena on tässäkin tapauksessa siis yhteiskunnallisen hyvinvoinnin maksimoiminen. On kyseenalaista kuinka hyvin Kioton sopimuksessa määriteltyihin päästöjen vähennystavoitteeseen pyrkiminen sinänsä todellisuudessa maksimoisi yhteiskunnan hyvinvointia, mutta eräänlaisena tavoitteena tai ainakin välietappina ilmastonmuutoksen suhteen sitä voidaan pitää. Sillä on myös merkityksensä osana Suomen politiikkaa EU:ssa ja siten se koskee myös koko Suomen ulkopolitiikkaa ainakin välillisesti. Jos ajatellaan puhtaasti hyödyn kannalta, maksimaalinen hyöty mitä maataloussektorilla voidaan saavuttaa ilmastonmuutoksen hillitsemisen suhteen, on edellä mainittu 11,1 % vähennys tavoitteen tällä hetkellä (vuonna 2003) ylittävissä pääs-

töissä. Tässä valossa on selvää, että jos Kiiton asettamaan tavoitteeseen aiotaan yhteiskunnassamme päästä, ei maataloussektorilla tule olemaan kovinkaan keskeistä roolia tässä prosessissa vaan suurten muutosten on tapahduttava enemmän päästöjä aiheuttavilla sektoreilla kuten energiantuotannossa. On kuitenkin selvää, että maataloussektorin antama apu päästöjen vähennykseen on tervetullut myös näiden muiden sektoreiden edustajille. Toisaalta maataloustuotannolla on mahdollisuuksia osallistua myös suoraan energiasektorin päästöjen vähennykseen uusiutuvan energiantuotannon potentiaalinsa avulla ja tällä voi olla mahdollisesti myös maatalouden suoraa päästöjä vähentävä vaikutus, jos metaania pystytään käyttämään tilojen omana energianlähteenä ja ruokohelven monivuotisella viljelyllä saadaan hiiltä sidottua maatalousmaahan. Nämä seikat vaativat ehdottomasti jatkotutkimusta ja sisältävät monia mahdollisuuksia taloustieteilijöiden rakastamille win-win tuloksille. Maatalouden vientitukien poistosta koitua kustannusten lasku ja syntyvän ylituotannon käyttäminen energiantuotantoon tulisi myös ottaa lähempään tarkasteluun.

Maatalouspoliittisen tilanteen yleinen kehitys yhä vapaampaa maailmankauppaa kohden ajaa myös päästöjä alhaisemmalle tasolle tuotannon vähentyessä. Kokonaisuuden kannalta tämä vähennys ei ole kovinkaan merkittävä ja saavutetut hyödyt tuskin painavat muiden hyötyjen ja haittojen suhteen, joita kaupan vapauttamisen kontekstissa käydään. Näistä tuloksista ei myöskään selviä, minne täältä poistuva tuotanto siirtyy. Jos tuotanto siirtyy maihin, joissa tuotanto on tehottomampaa ja joissa siis syntyy enemmän kasvihuonekaasuja tuotettua yksikköä kohden, voivat kasvihuonekaasujen päästöt jopa lisääntyä globaalisti, vaikka ne täällä vähenisivätkin. Tämän lisäksi tulisi myös ottaa huomioon, kuinka elintarvikkeiden pidentyneet kuljetusmatkat tuottavat kasvihuonekaasujen päästöjä. Tässä valossa nähtynä on siis hyvin kyseenalaista, saavutetaanko maataloustuotteiden kaupan vapauttamisella suotuisia tuloksia globaalien päästöjen vähentämisen suhteen. Toisin sanoen, Suomen kansallisen optimin saavuttaminen ei välttämättä edistä globaalin optimin saavuttamista, vaan saattaa viedä tilannetta jopa päinvastaiseen suuntaan.

Teknologisen kehityksen edistämisestä tämä tutkimus sen sijaan antaa varsin varovaisen arvion; tarkastelussahan ei ole mukana kuin nautaeläinten ruokinnan tehostamisesta koituvat hyödyt. Silti päästöjen vähennys on näkyvä ja koska nämä vähennykset voivat olla luonteeltaan negatiivisin kustannuksin toteutuvia, voi niihin tapahtuva yhteiskunnan investointi tuoda potentiaalisia yhteiskunnallisia nettohyötyjä. Tässä yhteydessä tulee myös mainita tutkimuksen ulkopuolella ollut maatalouden mahdollisuus tuottaa uusiutuvaa energiaa, jonka toiminnan tukemista olisi mielenkiintoista tutkia mahdollisena yhteiskunnallisten hyötyjen tuojana. Lisätutkimusta teknologisen kehityksen tukemisesta tarvitaan mielestäni ehdottomasti. Hyödyt aluetalouksille voivat olla merkittäviä erityisesti uusiutuvan energian tuotannossa. Kehitys vaatii kuitenkin yhteiskunnan osallistumista tähän kehitykseen. Indusoidun teknologisen kehityksen idea tulisi ottaa näkyvämmiin esille koko Suomen maatalouden ilmastonmuutosstrategian suhteen. Tällöin julkisten varojen suuntaamista tutkimus- ja kehitystyöhön sekä myös kehitystä ohjaavia muita politiikkatoimia tulisi lisätä.

Paljon kiistelyä aiheuttava seikka on varmasti orgaanisten maiden poistaminen viljelyksestä. Tämä tutkimus vahvistaa sitä kuvaa, että orgaanisten maiden poistaminen viljelyksestä tuottaa yksittäisenä toimenä suurimman mahdollisen vähennyksen päästöissä muihin toimiin verrattuna. Vuonna 2003

orgaanista maata Suomen maatalousmaasta oli n. 283 000 ha, josta varsinaista turvemaata n. 78 000 ha ja määrä on ollut laskevalla uralla (Statistics Finland 2005, 120). Suhteessa Suomen koko maatalousmaan pinta-alaan määrä on melko huomattava, eli n. 13 %. Toisaalta pelkkien turvemaiden osuus on vain n. 3 % ja ne ovat sijoittuneet Pohjois-Suomeen vähätuottoisille alueille. Turvemaan poistaminen viljelyksestä aiheuttaisi ehkä selvästi pienemmät kustannuksensa sektorille, koska nämä maat eivät ole kaikkein tuottavimpia maataloustuotannossa ja turvemaat ovat orgaanisten maiden kaikkein eniten päästöjä tuottava luokka. Lisäksi pitää muistaa, että yhteiskunnan saavuttama nettovähennys riippuu myös tämän maan tulevasta käytöstä. On erityisen tärkeää, muutetaanko tämä maa hiilen nieluna toimivaksi metsämaaksi, vai annetaanko maan soistua ja tuottaa sen jälkeen metaanin päästöjä. Vaikka turvemaiden poistaminen viljelystä vaikuttaa yksinkertaiselta ja tehokkaalta toimenpiteeltä, eivät sen vaikutukset todellisuudessa ole kovinkaan suoraviivaisia. Myös tästä toimenpiteestä koituvien kustannusten selvittäminen ja jakautuminen eri alueiden välillä olisi mielekästä. Paikallisille aluetalouksille kustannukset voivat olla hyvinkin merkittävät ja tulonmenetysten kompensoimisen järjestäminen järkevällä tavalla voi olla hankalaa. Luonnollisen poistuman kautta tapahtuva turvemaan siirtyminen pois viljelyksestä sisältää luultavasti vähiten ylimääräisiä kustannuksia, joskin ylimääräisiä kannustimia turvemaiden viljelystä luopumiseen voitaisiin hyvinkin luoda. Lisäksi tulisi varmistaa, että uutta turvemaata ei oteta viljelykseen esimerkiksi tukioikeuksien saamisen toivossa.

Lähteet:

AG-MEMOD 2005. AG-MEMOD homepage, <http://tnet.teagasc.ie/agmemod/>, viitattu 20.4.05

Alley, R. B. 2004. Abrupt Climate Change. *Scientific American* 291, 5: 40-47, New York. Scientific American, Inc.

Bannock, G., Baxter, R. E. & Davis, E. 2003. *The Penguin Dictionary of Economics* (7th edition), Lontoo, Penguin books ltd. 410 p.

Baumol, W. J. & Oates, W. E. 1988. *The Theory of Environmental Policy* (second edition), Cambridge, Cambridge University Press. 299 p.

Boucher, O., Myhre, G. & Myhre, A. 2004. Direct Human Influence of Irrigation on Atmospheric Water Vapour and Climate. *Climate Dynamics* 22 :597-603

Boussard, J-M. 1987. *Economie de l'Agriculture*, Pariisi, Ed. Économica. 310 p.

Boykoff, M. T. & Boykoff, J. M. 2004. Balance as Bias: Global Warming and the US Prestige Press. *Global Environmental Change*, 4: 125-136

Caplan, A. J., Ellis, C. J. & Silva, E. C. D. 1999. Winners and Losers in a World with Global Warming: Noncooperation, Altruism, and Social Welfare. *Journal of Environmental Economics and Management* 37: 256-271.

Chen, Z. 1997. Negotiating an Agreement on Global Warming: A Theoretical Analysis. *Journal of Environmental Economics and Management* 32: 170-188.

Dalton, M. G. 1997. The Welfare Bias from Omitting Climatic Variability in Economic Studies of Global Warming. *Journal of Environmental Economics and Management* 33: 221-239.

EC 2004. YMP:n uudistus: Pitkän aikavälin näkökulma kestävään maatalouteen, http://europa.eu.int/comm/agriculture/capreform/index_fi.htm, viitattu 16.4.05

ECCP 2002. Working Group Sinks Related to Agricultural Soils, http://europa.eu.int/comm/environment/climat/pdf/finalreport_agricsoils.pdf, viitattu 22.4.05

Ewert, F., Rounsevell, M. D. A, Reginster, I., Metzger, M. J. & Leemans, R. 2005. Future Scenarios of European Agricultural Land Use – I. Estimating Changes in Crop Productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, 101-116.

- Gravelle, H. & Rees, R. 1992. Microeconomics (second edition). Harlow, Pearson Education Limited. 752 p.
- Greene, W. H. 2003. Econometric Analysis (fifth edition). New Jersey, Prentice Hall. 1026 p.
- Goulder, L. H. 2004. Induced Technological Change and Climate Policy, Arlington, Pew Center on Global Climate Change. myös www.pewclimate.org
- Griffin, R. C. & Bromley, D. W. 1982. Agricultural runoff as a nonpoint externality: a theoretical development. American Journal of Agricultural Economics 64, 37-49.
- Hanley, N., Shogren, J. F. & White, B. 1997. Environmental Economics – in Theory and Practice, Lontoo, MacMillan Press Ltd. 464 p.
- Hardin, G. 1968. The Tragedy of Commons. Science 162, 1243: 1243-1248.
- Harvey, A. C. 1981a. The Econometric Analysis of Time Series. Southampton: Camelot Press Limited.
- Harvey, A. C. 1981b. Time Series Models. Exeter: BPC Wheatons Ltd.
- Horan, R. D. & Shortle, J. S. 2001. Environmental Instruments for Agriculture. Teoksessa Shortle J. S. & Abler D. (toim.) Environmental Policies for Agricultural Pollution Control. New York: CABI Publishing, 19-65.
- Horan, R. D., Ribardo, M. & Abler, D. G. 2001. Voluntary and indirect Approaches for Reducing Externalities and Satisfying Multiple Objectives. Teoksessa Shortle J. S. & Abler D. (toim.) Environmental Policies for Agricultural Pollution Control. New York: CABI Publishing, 67-84.
- Intriligator, M. D., Bodkin, R. G. & Hsiao, C. 1996. Econometric Models, Techniques, and Applications (2nd edition), New Jersey, Prentice Hall. 654 p.
- IPCC 1996. Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. London: IPCC, OECD & IEA. Vol. 1-3. myös <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>, viitattu 25.3.2005.
- IPCC 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>, viitattu 19.9.2005
- IPCC 2001a. Climate Change 2001 - Mitigation. Cambridge, Cambridge University Press. 752 p.

IPCC 2001b. Climate Change 2001 – Synthesis report. Cambridge, Cambridge University Press. 392 p.

IPCC 2001c. Climate Change 2001 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge, Cambridge University Press. 1032 p.

IPCC 2004. 16 Years of Scientific Assessment in Support of the Climate Convention. <http://www.ipcc.ch/about/anniversarybrochure.pdf>, viitattu 19.4.05

IPCC 2005. 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/cop10/COP10_Side_Event.pdf, viitattu 29.3.2005.

Kaplan, J. D., Howitt, R. E. & Hossein Farzin, Y. 2003. An Information-theoretical Analysis of Budget-constrained Nonpoint Source Pollution Control. *Journal of Environmental Economics and Management* 46, 106-130.

Karl, T.R. & Trenbeth, K.E. 2003. Modern Global Climate Change. *Science* 302, 5651: 1719-1723

Knuuttila, M. 2005. Maa- ja elintarviketalous kansantalouden osana. Julkaisussa Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2005 – kymmenen vuotta Euroopan unionissa (toim. Niemi, J. ja Ahlstedt, J.). MTT Taloustutkimuksen julkaisuja 105. 94 s.

Kulmala, A. & Esala, M. 2000. Maatalous ja kasvihuonekaasupäästöt. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A, 76. 67 s.

Lankoski, J. 2003. The Environmental Dimension of Multifunctionality: Economic Analysis and Implications for Policy Design. MTT Agrifood Research Reports 20. 107 s.

MMM 2001. Maatalouden kehitysarvio kansallista ilmasto-ohjelmaa varten. Työryhmämuistio MMM 2001:2. Maa- ja metsätalousministeriö. 48 s.

MMM 2003. Luonnonvaramittarit 2003. <http://www.mmm.fi/mittarit/>, viitattu 25.3.2005, sivu päivitetty 14.3.2005

MMM 2005. Ilmastomuutoksen kansallinen sopeutumisstrategia. MMM:n julkaisuja 1/2005. 276 s.

OECD 1998. The Environmental Effects of Reforming Agricultural Policies. OECD Publications, Paris. 130 p.

Oreskes, N. 2004. The Scientific Consensus on Climate Change. *Science* 306, 5702: 1686.

Ostrom, E., Dietz, T. & Stern, P. C. 2003. The Struggle to Govern the Commons. *Science*: 302, 5652: 1907-1913.

Parry, M. 1990. *Climate Change and World Agriculture*. Lontoo, Earthscan Publications Limited. 157 p.

Perälä, P., Lehtonen, H., Niemi, J. & Esala, M. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen arvioitu kehitys vuoteen 2025 sekä arvio kehityksestä vuoteen 2050. MTT

Pipatti, R., Tuhkanen, S., Mälkiä, P. & Pietilä, R. 2000. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt sekä päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT julkaisuja 841. 72 s.

Point Carbon 2005. www.pointcarbon.com, viitattu 4.10.2005

Rounsevell, M. D. A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R. & Carter, T. R. 2005. Future Scenarios of European Agricultural Land Use – II. Projecting Changes in Cropland and Grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 107, 117-135.

Ruddiman, W. F. 2003. The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago. *Climatic Change* 61, p. 261-293.

Ruddiman, W. F. 2005. How Did Humans First Alter Global Climate, *Scientific American* 291: 5, 46-53, New York, Scientific American, Inc.

Sombroek, W. G. ja Gommers, R. 1997 *Changement de climat – agriculture* (kappale 1, teoksessa Bazzaz, F. ja Sombroek W. G.: *Changements du climat et production agricole*) saatavilla: <http://www.fao.org/docrep/W5183F/w5183f00.htm#Contents>, viitattu 12.7.05

Spanos, A. 1986. *Statistical Foundations of Econometric Modelling*. Cambridge, Cambridge University Press. 720 p.

Statistics Finland 2005. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990-2003. 213 s. saatavilla myös: http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/nir_2005_unfccc.pdf

Stock, J. H. & Watson, M. W. 2003. *Introduction to Econometrics*. Boston, Pearson Education, Inc. 696 p.

Tilastokeskus 2005a. Kasvihuonekaasupäästöt 1990-2003.

http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/2003/khki_2003_2005-04-19_kuv_002.html

(päivitetty 19.4.2005) viitattu 11.7.05

Tilastokeskus 2005b. Kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain v. 2003 (%).

http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/2003/khki_2003_2005-04-19_kuv_001.html

(päivitetty 19.4.2005) viitattu 8.7.05

Tilastokeskus 2005c. Kasvihuonekaasujen päästötrendi 1990–2003 suhteessa Kioton pöytäkirjan päästötavoitteeseen (vuoden 1990 päästötaso).

http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/2003/khki_2003_2005-04-19_kuv_004.html

(päivitetty 19.4.2005) viitattu 10.7.05

Tilastokeskus 2005d. Kasvihuonekaasut – Kansallinen järjestelmä.

http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_kansallinen_seurantajarjestelma.html

(päivitetty 30.6.05) viitattu 8.7.05

Tilastokeskus 2005e. Ympäristö ja luonnonvarat. <http://www.tilastokeskus.fi/til/khki/index.html>

(päivitetty 20.6.2005) viitattu 7.9.05

Tomek, W. G. & Robinson, K. L. 1990. Agricultural Product Prices (third edition). New York, Cornell University Press. 360 p.

UNFCCC 2001. Finland's Third National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ministry of Environment.

UNFCCC 2005a. Status of Ratification.

http://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php, vii-

tattu 19.4.05

UNFCCC 2005b. ISSUES-MECHANISMS. http://unfccc.int/kyoto_mechanisms/items/1673.php,

viitattu 19.4.05

UNFCCC 2005c. NATIONAL COMMUNICATION PROCESS.

http://unfccc.int/national_reports/items/1408.php, viitattu 19.4.05

Varian, H. R. 1984. Microeconomic Analysis (second edition). Lontoo, W.W. Norton & Company Ltd. 348 p.

Weart, S. R. 2003. The Discovery of Global Warming. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press. 228 p.

Welsch, H. 1993. An Equilibrium Framework for Global Pollution Problems. Journal of Environmental Economics and Management 25: 64-79.

Wossink, G. A. A., Oude Lansink, A. G. J. M. & Struik, P. C. 2001. Non-separability and Heterogeneity in Integrated Agronomic-economic Analysis of Non-point Source Pollution. *Ecological Economics* 38: 345-357.

Yrjölä, T. & Kola, J. 2001. Cost-benefit Analysis of Multifunctional Agriculture in Finland. *Agricultural and Food Science in Finland* 10: 295-307.