



Turun yliopisto
University of Turku

KANSAINVÄLINEN ILMASTOSOPIMUS PELITEORIAN NÄKÖKULMASTA TARKASTELTUNA

Kansantaloustieteen pro gradu -tutkielma

Laatija:

Anne Koivisto

Ohjaajat:

Professori Hannu Salonen

KTT Juha Virrankoski

30.10.2012

Turku



Turun kauppakorkeakoulu • Turku School of Economics

1	JOHDANTO	5
	1.1 Tutkielman kulku	5
	1.2 Tutkimuskysymykset ja aiheen rajaus.....	8
2	ILMASTONMUUTOS	10
3	IPCC	14
4	KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEEN TÄHTÄÄVÄT KANSAINVÄLISET ILMASTOSOPIMUKSET	16
	4.1 YK:n ilmastopimus.....	16
	4.2 Montrealin pöytäkirja.....	18
	4.3 Kioton pöytäkirja.....	21
	4.3.1 Sopimusneuvottelut.....	24
	4.3.2 Toisen velvoitekauden neuvottelujen kulku	25
5	ILMASTOPOLITIikka PELITEORIAN NÄKÖKULMASTA	30
	5.1 Julkinen hyödyke.....	31
	5.2 Normaalimuodon pelit.....	32
	5.3 Päästövähennysten tulevaisuuden hyötyjen diskonttaus	35
	5.4 Äärellisesti toistetut pelit.....	38
	5.5 Ekstensiivisenmuodon peli ja osapelitäydellinen tasapaino	40
	5.6 Ehdollinen yhteistyö.....	41
	5.7 Maine ja epätäydellinen informaatio.....	42
	5.8 Äärettömästi toistetut pelit	44
	5.9 Jatkuvan strategian peli	46
	5.10 Yhteistyön saavuttamisen ongelmia.....	48
	5.11 Self-enforcing -sopimus	49
	5.12 Yhteenvedo	52
6	ULTIMAATUM -NEUVOTTELUPELI JA KOALITIOTEORIA	54
	6.1 Oikeudenmukaisuus	55
	6.2 Molemminpuolisen käyttäytymisen vaikutus.....	57
	6.3 Koalitioteoria.....	58
	6.4 γ -ydin.....	59
	6.5 Luvun yhteenvedo	61
7	IMPLEMENTAATIOTEORIA	62
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	69

LÄHTEET.....	73
--------------	----

Liitteet

LIITE 1.....	77
--------------	----

Kuvat

Kuva 1	Kasvihuoneilmiö (Ilmastonmuutos lyhyesti)	10
--------	---	----

Kuva 2:	Maapallon keskilämpötilan muutokset havaintotietojen perusteella (Ilmastonmuutos).....	11
---------	---	----

Taulukot

Taulukko 1	Vangin ongelma, 2 osallistujan peli (Sandler 2004, 21).....	33
------------	---	----

Taulukko 2	Vangin ongelma, 8 osallistujan peli (Sandler 2004, 23).....	34
------------	---	----

Taulukko 3	Vangin ongelma, äärellisesti toistettu peli (Sandler 2004, 21).....	39
------------	---	----

Taulukko 4	Vangin ongelma, ehdollinen yhteistyö (Finus 2001, 44).....	42
------------	--	----

1 JOHDANTO

Tällä hetkellä hiilidioksidipitoisuus ilmakehässä on noussut korkeimmalle tasolleen 650 000 vuoteen ja samaan aikaan maapallon keskilämpötila on noussut viimeksi kuluneen 50 vuoden aikana 0,5–0,8 asteella. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kohoamisen epäillään olevan syynä edellä mainitulle maapallon keskilämpötilan kohoamiselle. Hiilidioksidipäästöjen määrä ilmakehässä on edelleen nousussa, johtuen osaksi mm. kehitysmaiden taloudellisen toiminnan lisääntymisestä sekä niiden käyttämästä runsaspäästöisestä teknologiasta. Koska kasvihuonekaasupäästöjen määrä lisääntyy jatkuvasti ilmakehässä ja kumuloituvat siihen, näyttäisi maapallon keskilämpötila jatkavan kohoamistaan.

Tämän vuoksi on kansainvälisellä tasolla ryhdytty toimiin kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamiseksi. Ensimmäinen askel päästöjen vähentämiseksi on ollut YK:n ilmastopöytäkirja, jonka päästövähennys-suositusten noudattaminen on perustunut kunkin ilmastopöytäkirjan ratifioineen maan vapaaehtoisuuteen. Seuraavaksi luotiin ilmastopöytäkirjan alaisuuteen kuuluva Kioton pöytäkirja. Siinä määritellään sitovat päästövähennykset Kioton pöytäkirjan ratifioinneille maille.

Kaikki maat kattava kansainvälinen kasvihuonekaasuja koskeva ilmastopöytäkirja on mittakaavaltaan valtava ja samoin siihen liittyvät vaatimukset. Nykyinen, laajin sitova sopimus, Kioton pöytäkirja kattaa n. 30 % kaikista hiilidioksidipäästöistä.

Kioton pöytäkirjan ensimmäinen velvoitekausi päättyy vuonna 2012 ja toisen velvoitekauden neuvottelut ovat olleet käynnissä jo vuodesta 2004. Kioton pöytäkirjan toisen velvoitekauden tai sille vaihtoehdona esitettyä kokonaan uutta ilmastopöytäkirjasta koskevia neuvotteluja ovat leimanneet maiden väliset eturistiriidat.

1.1 Tutkielman kulku

Tämä tutkielma on kirjallisuuskatsaus. Voimassa olevien sopimusten selvittämiseksi on pääasiassa käytetty YK:n ilmastopöytäkirjan, Suomen ympäristöministeriön ja ilmasto.org:n internetkotsisivuja. Samat lähteet toistuvat neuvottelujen kulun tarkastelussa. Peliteoreettisessa osiossa on käytetty pohjana Woodsin ilmastomuutokseen liittyvää peliteoreettista työpöytäkirjaa vuodelta 2010, lisänä ovat

myös Finus (2001) sekä Barrett (2005). Tutkimusosioissa olevat tutkimukset on esitelty pääasiassa tutkijoittain. Tarvittavia lisäyksiä asian syventämiseksi on tuotu myös muista lähteistä.

Luvussa kaksi luodaan lyhyt katsaus kasvihuoneilmiöön joka mahdollistaa elämän maapallolla ja selvitetään, mitä ominaisuuksia kasvihuonekaasuilla on. Sen lisäksi selvitetään luonnontieteellisten tutkimusten perusteella, miten kasvihuonekaasupäästöt näyttävät vaikuttavan kasvihuoneilmiöön, maapallon keskilämpötilaan ja mitä muutoksia maapallon keskilämpötilan nousu on jo aiheuttanut luonnossa sekä minkälaisia seurauksia keskilämpötilan nousu tulevaisuudessa mahdollisesti aiheuttaa. Tästä luvusta löytyvät myös perustelut sille, miksi maapallon keskilämpötilan nousu näyttäisi olevan ihmisen toiminnan tulosta.

Luvussa kolme tarkastellaan Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) toimintaa ja työryhmien vastuita. Tämä ilmastotieteen asiantuntijoista koostettu elin julkaisee arviointiraportteja, joita käytetään ilmastopolitiikan tarvittavan tason selvittämiseksi.

Voimassa olevat kasvihuonekaasujen vähentämiseen tähtäävät kansainväliset ilmastosopimukset esitellään luvussa neljä. Ensimmäisenä otetaan tarkastelun alle YK:n ilmastosopimus. Luodaan katsaus sen syntyhistoriaan ja solmimiseen liittyneistä sopimusneuvotteluista. YK ilmastosopimus ei ole laillisesti sitova ja sen velvoitteiden noudattaminen perustuu vapaaehtoisuuteen.

Toisena tarkastelun kohteena on Montrealin pöytäkirja, joka on sitova kansainvälinen ilmastosopimus ja koskee CFC-yhdisteitä, joka luetaan kasvihuonekaasuihin. Sopimuksen tarkoituksena on suojella ilmakehän otsonikerrosta. Montrealin pöytäkirja on otettu tutkielmaan mukaan, koska sitä käytettiin esimerkkinä, kun luotiin Kioton pöytäkirja. Montrealin pöytäkirjan esimerkki myös osoittaa, että on ollut mahdollista luoda toimiva kansainvälinen sopimus, vaikka tieteellistä varmuutta kaasun vaikutuksista otsonikerrokseen ei ollut. Sama epävarmuus liittyy muiden kasvihuonepäästöjen suotavaan tasoon sekä niiden todellisiin vaikutuksiin ilmakehään.

Kolmanneksi esitetään Kioton pöytäkirja, joka on tällä hetkellä ainut sitova kansainvälinen hiilidioksidipäästöjä koskeva ilmastosopimus. Kioton pöytäkirja on osa YK:n ilmastosopimusta. Pöytäkirjan sisältö ja sen syntyyn liittyvät neuvottelut esitetään ensimmäisessä alaluvussa pääpiirteittäin. Sopimuksen ensimmäinen velvoitekausi päättyy vuonna 2012, joten toisessa alaluvussa luodaan katsaus toisen

velvoitekauden sopimusneuvotteluihin. Neuvottelujen kulku on otettu tähän tutkielmaan mukaan osoittamaan, kuinka sopimusneuvottelut vaikuttavat sopimuksen syntyyn ja lopputulokseen. Neuvottelut paljastavat myös osapuolten strategista käyttäytymistä.

Luku viisi aloittaa peliteoreettisen osuuden. Siinä esitetään, kuinka peliteorian avulla voidaan tarkastella kansainvälistä yhteistyötä ja siihen liittyviä ongelmia. Luku selvittää tutkielman kannalta tärkeitä käsitteitä. Näitä ovat: ulkoisvaikutukset, self-enforcing -sopimus, pareto-optimalisuus ja sosiaalinen optimi. Luvussa käsitellään myös julkinen hyödyke, jonka erityispiirteisiin kiteytyvät kansainvälisen ilmastopolitiikan ongelmat, joista tärkein on vapaamatkustajuus. Tästä aiheesta siirrytään eri tyyppisiin peleihin, joilla kansainvälistä ilmastopolitiikkaa voidaan tutkia. Luvun pääasia liittyy vapaamatkustajuuden ehkäisyyn. Tässä luvussa erityyppisten pelien avulla tutkitaan, voidaanko vapaamatkustajuutta ehkäistä tai mahdollisesti poistaa kokonaisuudessaan?

Luvussa kuusi käsitellään ultimatum-neuvottelupeliä ja koalitioteoriaa. Ultimatum-neuvottelupeli paljastaa muita pelimuotoja paremmin ihmisten välisen vuorovaikutuksen. Sen avulla on tehty monia empiirisiä tutkimuksia ihmisten käyttäytymisestä ympäri maailman. Useat näistä tutkimuksista ovat tuottaneet tuloksia jotka ovat ristiriidassa puhtaasti teoriapohjalta tehtyjen tutkimustulosten kanssa. Empiiriset tutkimukset paljastavat, kuinka suuri paino käytännössä annetaan sopimuksen oikeudenmukaisuudelle. Luvussa määritellään lisäksi käyttäytymisen molemminpuolisuuden käsite ja molemminpuolisen käyttäytymisen vaikutus vapaamatkustajuuteen.

Koalitioteoria tutkii nimensä mukaisesti yhteistyön muodostumista koalitioissa. Tällä on merkitystä kansainvälisessä ilmastopolitiikassa, sillä maat todellisuudessa muodostavat keskenään koalitioita. Koalitiopelissä tutkitaan maiden muodostamien koalitioiden välistä vuorovaikutusta. Luvussa esitetään γ -ydinmalli, jolla tutkitaan voidaanko mallin avulla saavuttaa sosiaalisesti optimaaliset päästövähennykset.

Luku seitsemän käsittelee implementaatioteoriaa. Tässä luvussa käydään ensin yksinkertainen malli julkisen hyödykkeen tuottamisesta ja toinen tutkii kansainvälistä päästöjä vähennyssopimusta. Kyseessä on kolmen osapelin peli joka ratkaistaan käänteisellä induktiolla. Tämä tutkimus on erittäin mielenkiintoinen sen vuoksi, että siinä esiintyy lisäksi päästökauppa, joka on yksi Kioton sopimuksen elementti.

Luvussa kahdeksan esitetään johtopäätökset sekä vastaukset tutkimuskysymyksiin. Koska tutkielma on laadittu rajatusti ja mukaan on otettu vain osa suuresta määrästä peliteoreettisista tutkimuksista, joita kansainvälisestä ilmastopolitiikasta ja -sopimuksista on tehty, on suotavaa, että tutkielman johtopäätökset nähdään tässä rajatussa kontekstissa.

1.2 Tutkimuskysymykset ja aiheen rajaus

Tämä tutkielma käsittelee kansainväliseen ilmastopimukseen ja sen luomiseen liittyviä ongelmia. Ongelmista vakavin on vapaamatkustajuus, joka pitkälti kulminoituu julkisen hyödykkeen ominaisuuksiin ja valtioiden suvereeniteettiin. Näkökulma kansainvälisen ilmastopimuksen ongelmakohtiin on pyritty pitämään puhtaasti *peliteoreettisena*.

Tutkielma ei siis ota kantaa moraalisiin tai eettisiin kysymyksiin. Näitä aiheita sivutaan ainoastaan sopimuksen oikeudenmukaisuuskysymyksen osalta, koska se näyttäisi vaikuttavan merkittävästi sopimukseen sitoutumiseen. Tarkastelun ulkopuolelle jää myös luonnontieteellinen näkemys siitä, onko ilmastonmuutos todellinen uhka. Luonnontieteellisiä aineistoa esitetään ilmastonmuutoksesta niiltä osin, kun on tarpeellista perustella, miksi kansainvälisiin ilmastopimushankkeisiin on ylipäätään ryhdytty.

Tässä tutkielmassa tutkitaan peliteorian keinoin, onko vapaamatkustajuus kansainvälisen ilmastopimuksen puitteissa mahdollista välttää ja millaisin työkaluin yhteistyön mahdollisuutta voidaan lisätä, vai voidaanko? Lisäksi tutkimuksen alle otetaan globaalit sosiaalisesti optimaaliset päästövähennystasot. Onko mahdollista erilaisten maiden päästä optimaalisiin päästövähennystasoihin, kun ne on tehtävä vapaaehtoisesti. Tutkielmassa etsitään myös viitteitä sille, minkälaisia ominaisuuksia sopimuksella tulee olla, jotta maat sitoutuisivat sopimukseen ja vapaamatkustajuusongelma vältettäisiin.

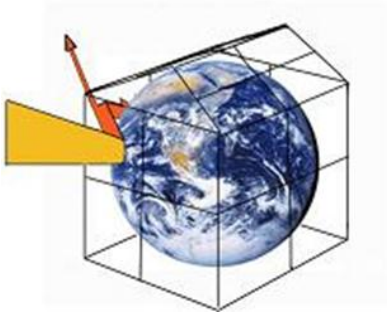
Tämän tutkielman ydinkysymyksiä ovat: i) onko Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä velvoitekaudella saavutettu yhteistyötä vai onko vapaamatkustajuus ollut dominoiva strategia? ii) voidaanko saada aikaan yksi, kaikkia maita sitova kansainvälinen ilmastopimus sekä iii) miten sopimus tulisi lähtökohtaisesti luoda ja millaiseen

sopimusmuotoon olisi neuvotteluissa syytä panostaa, jotta saataisiin aikaan tehokas, globaalit sosiaalisesti optimaaliset päästövähennystasot saavuttava sitova kansainvälinen ilmastopimus?

2 ILMASTONMUUTOS

Ihmiskunta tuottaa nykyään valtavan määrän niin kutsuttuja kasvihuonekaasuja, jotka lasketaan ilmakehään. Niinpä ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet ovat nousseet korkeimmalle tasolleen 650 000 vuoteen (Ilmastonmuutos lyhyesti). Tunnettuja kasvihuonekaasuja on lukuisia, mutta tällä hetkellä valtaosa ilmakehään päästettävistä kaasuista koostuu hiilidioksidista (CO_2), metaanista (CH_4) ja typpioksiduulista (N_2O) (Ilmastonmuutos lyhyesti).

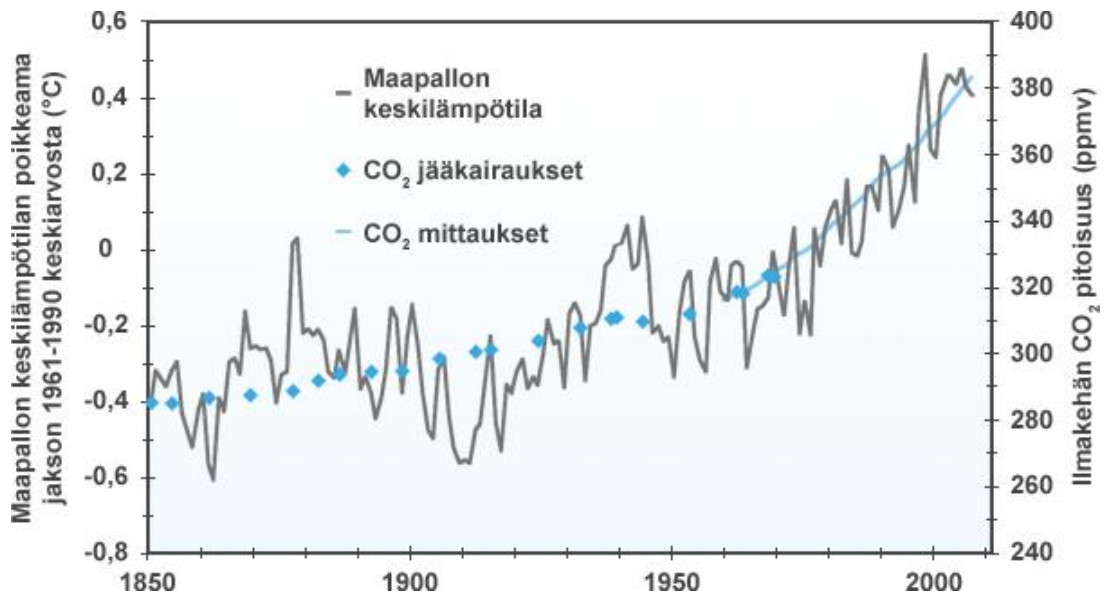
Ongelmallista asiassa on se, että kasvihuonekaasujen epäillään lisäävän maapallolla vallitsevaa ns. kasvihuoneilmiötä. Kasvihuoneilmiö on luonnollinen prosessi, joka mahdollistaa suotuisat elinolosuhteet maapallolla. Maapallon ilmakehä koostuu useista erilaisista kaasuista ja osa näistä kaasuista aiheuttavat kasvihuoneilmiön. Kasvihuoneilmiössä ilmakehässä olevat kasvihuonekaasut päästävät auringonvalon läpi, joka maahan saavuttuaan muuttuu lämpösäteilyksi. Tämä lämpösäteily pyrkii kuitenkin siirtymään takaisin ylöspäin avaruuteen, jolloin kasvihuonekaasut estävät osittain lämmön karkaamisen ja tällöin osa muodostuneesta lämpösäteilystä jää maapallolle. Näin nämä kaasut toimivat kuten lasiset seinät ja katto kasvihuoneessa, kuten alla olevassa kuvassa havainnollistetaan (ilmastonmuutos lyhyesti).



Kuva 1 Kasvihuoneilmiö (Ilmastonmuutos lyhyesti)

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuustaso on kohonnut 1700-luvun lopusta lähtien, jolloin teollistuminen pääsi toden teolla vauhtiin, mutta hiilidioksidipitoisuustasot ilmakehässä ovat lisääntyneet enenevässä määrin 1975 vuoden jälkeen. Hiilidioksidi määrän kohoamisen ja maapallon keskilämpötilan nousun välillä on havaittu olevan

korrelaatiota, jota havainnollistetaan alla olevassa kuvassa (Ilmastonmuutos).



Kuva 2: Maapallon keskilämpötilan muutokset havaintotietojen perusteella (Ilmastonmuutos)

Kuvan yhtenäinen käyrä esittää maapallon keskilämpötilan poikkeamia jakson 1961–1990 keskiarvosta. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksien kuvaajaa on merkitty sekä neliöillä että yhtenäisellä käyrällä. Etelämantereen jäätikkökairauksista analysoidut hiilidioksidipitoisuudet on merkitty neliöillä. Vastaavasti suoraan ilmakehästä mitattuja pitoisuuksia kuvaa yhtenäinen käyrä. (Ilmastonmuutos.)

Hansen, Sato, Ruedy, Lo, Lea ja Medina-Elizade (2006) antavat tutkimuksessaan selkeän kuvan maapallon pintakerroksen lämpötilan muutoksista viimeisen sadan vuoden aikana. Hansen ym. (2006) tutkimuksen mukaan, ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden lisääntymisen seurauksena maapallon pintakerroksen lämpötila on kohonnut ~ 0.2 °C per vuosikymmen viimeisen 30 vuoden aikana. Lämpötila on siis noussut $0,6$ °C viimeisen 30 vuoden aikana ja viimeisen vuosisadan aikana lämpötila on kohonnut yhteensä 0.8 °C. Näin ollen, lämpötilan nousu on ollut hidasta viimeisen sadan vuoden aikana, aina vuoteen 1975, jonka jälkeen on seurannut nopea lämpötilan kasvu vuosikymmenittäin. (Hansen ym. 2006.)

Lisäksi Hansen ym. (2006) raportoivat luonnossa tapahtuneista muutoksista mm. seuraavanlaisia seikkoja. Heidän mukaansa lämpötilan muutoksen seurauksena 1700 biologista lajia on siirtynyt 6 km per vuosikymmen maapallon napoja kohti ja Alppien

vuoristoalueella muuttoliike on ollut vertikaalista 6 m per vuosikymmen 20:nneen vuosisadan toisella puoliskolla (Hansen ym. 2006).

Ennustettu todennäköinen lämpötilan nousu olisi 2–3 °C vuoteen 2100 mennessä, jos kasvihuonepäästöjen määrä pysyisi vuoden 2006 tasolla (Hansen, ym. 2006), koska hiilidioksidipäästöjen ominaisuuksiin kuuluu, että ne kumuloituvat ilmakehään ja siksi ne aiheuttavat muutoksia viiveellä. Wigleyn (2005) mukaan ilmakehään lasketut hiilidioksidipäästöt ovat jo nykyisellään aiheuttaneet muutoksia ilmakehän rakenteeseen ja säteilyn lisääntymiseen maapallolla. Tällä hetkellä ilmakehässä jo olemassa olevat päästömäärät aiheuttavat ilmastonmuutoksen jatkumisen vuosikymmeniä ja lisäävät siten muutoksia tulevaisuudessa ilmakehään. Johtuen kumuloitumisesta, näyttäisi siltä, että jos kasvihuonepäästöt lopetettaisiin nyt kokonaan, ilmasto lämpenisi vielä joka tapauksessa noin 0,5–1 °C. (Wigley 2005.)

Muutosvauhti on hidlas. Osaltaan siihen vaikuttavat kasvihuonekaasujen sitoutuminen luontoon. Esimerkiksi vuonna 2000 ilmakehään laskettujen päästöjen aiheuttamasta maapallon lämpenemisestä puolet ilmenee vuonna 2015, lopusta vaikutuksesta ¾ osaa tulee näkyviin 2030 ja niin edelleen (Newell, Pizer, Esources, 2001). Osa päästöistä sitoutuu luontoon, mm. meriin, hilliten lämpenemisprosessia. Siten puolet vuoden 2000 päästöistä, on absorboitunut vuoteen 2080 mennessä, ¾ osaa on poistunut ilmakehästä vuoteen 2160 ja niin edelleen. (Newell ym. 2001.)

Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin (2007) (Intergovernmental Panel on climate change, IPCC) (toiminta ks. luku 3) julkaisussa ennustettiin, että ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden tuplaantuminen esiteolliseen tasoon nähden, nostaisi maapallon keskilämpötilaa 1,5–4,5 °C (Averyt, Chen, Manning, Marquis, Miller, Qin ja Tignor 2007)

Ilmastonmuutokseen, sen suuruuteen ja sitä kautta sen todellisiin vaikutuksiin liittyy suuri epävarmuus. Kun tähän epävarmuuteen lisätään vielä ilmastoon vaikuttavat luonnolliset, ihmisestä riippumattomat tekijät, käy maapallon keskilämpötilan nousun ennustaminen entistäkin ongelmallisemmaksi.

Näistä luonnollisista tekijöistä merkittävin on aurinko (Avery ym. 2007). Sen säteilyn voimakkuuden vaihtelut liittyvät useisiin erilaisiin luonnollisiin sykleihin. Auringonsäteilyn voimakkuus muuttuu mm. aurinkopilkkujaksojen aikana. Myös maan kiertoradan muutokset sekä tulivuoren purkaukset ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat ilmastoon maailmanlaajuisesti. Nämä edellä mainitut tekijät ovat viime

vuosikymmeninä vaikuttaneet ilmaston lämpenemiseen. Toisaalta on myös monia luonnollisia tekijöitä, jotka ovat viime vuosikymmeinä viilentäneet ilmastoa. (Avery ym. 2007.)

Ilmaston lämpenemistä pidetään kuitenkin pääosin ihmisten toiminnan seurauksena. Auringon osuutta ilmastonmuutoksessa rajataan seuraavalla seikalla: jos auringon säteilyn voimistuminen olisi maapallon lämpenemisen ainoa syy, lämpenisi sekä alalämpö- että yläilmakehä. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että alalämpö- on lämmennyt mutta yläilmakehä on vastaavasti viilentynyt. Tämä ilmiö selittyy kasvihuonekaasujen lisääntymisellä. Tällöin maahan tullut lämpö jää alalämpöä lämmittämään, koska lisääntynyt kaasumäärä vähentää lämpösäteilyn siirtymistä yläilmakehään. (Auringon lähettämän säteilyn vaihtelut ja ilmastonmuutos.)

Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin tuottaman raportin (2007) kanta ilmaston lämpenemiseen on se, että maapallon keskilämpötila ei saisi lämmetä enempää kuin 2 °C, jotta seurukset maapallolle ja ihmiskunnalle olisivat kohtuulliset (Canziani, Hanson, van der Linden, Palutikof ja Parry 2007.), eivätkä aiheuttaisi sen suuruusluokan katastrofeja, joista olisi mahdotonta selviytyä.

Raportin ennusteet pitävät jopa yli 6 °C keskilämpötilan kohoamista erittäin todennäköisenä, jos päästöjen kasvu jatkuu ja lämpenemisen seurauksena ikijäätiköt sulavat, jolloin jään alla oleva maaperän hiilidioksidi ja metaani vapautuvat ilmakehään. Tällaisen nousun seurauksena suuria osia maapallon viljelyalasta tulisi viljelykelvottomaksi. Tämä yhdistettynä ilmaston lämpenemisestä johtuvaan vesipulaan ajaisi laajat ihmismassat liikkeelle. Tällainen liikehdintä horjuttaisi koko maailman tasapainoa, eikä sen seuraksia voi edeltä ennustaa. (Canziani ym. 2007.)

Maapallon keskilämpötilan nousu 6 °C vallitsevasta tasosta, on ihmiskunnan kokemusten ulkopuolella, joten ihmiskunnan selviytymisen ennustaminen sellaisissa olosuhteissa, on todellisuudessa äärimmäisen vaikeaa. Jotta ilmastonmuutoksen taso jäisi mainittuun 2 °C, pitäisi kasvihuonepäästöjä vähentää 50–85 % vuoden 2000 tasosta vuoteen 2050 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttaminen vaatii kaikkien maiden osallistumista päästöjen vähentämiseen, pelkästään teollisuusmaiden päästövähennykset eivät riitä. (Canziani ym. 2007.) Mukaan tarvitaan kehitysmaat ja ehdottomasti nopeasti kehittyvät taloudet kuten Brasilia, Intia ja Kiina.

3 IPCC

Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli eli IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) perustettiin YK:n ympäristöohjelma UNEP:n (United Nations Environment Programme) ja World Meteorological Organization eli WMO:n toimesta vuonna 1988 (Hester & Harsson 2002, 2).

IPCC:n tehtävänä on julkaista kattavaa ja puolueetonta tietoa ilmastonmuutoksesta. Se on tieteellinen elin, joka ei itse tuota tutkimuksia, vaan sen tehtävänä on koota maailmanlaajuisesti eri tahojen tuottamia tutkimuksia (Organization).

IPCC arvioi ja todentaa tieteellisiä, teknologisia sekä sosio-ekonomisia tutkimustuloksia, jotka antavat viimeisintä tietoa ilmastonmuutoksesta. Raportit ovat poliittisesti neutraaleja ja pyrkivät antamaan asiallista ja todennettua tietoa poliittisille päättäjille. Näiden raporttien tarkoituksena on pitää poliittiset päättäjät ajan tasalla ilmastonmuutoksen suhteen. Niistä saatavaa tietoa hyödynnetään, kun etsitään kansainvälisen ilmastopoliitiikan sopivaa tasoa ja keinoja sen saavuttamiseksi. (Organization.)

IPCC:n toimintaan voivat ottaa osaa kaikki YK:n ja WMO:n jäsenmaat. Tällä hetkellä IPCC:n jäsenmaita on 194. Näiden maiden hallitukset voivat osallistua IPCC:n tarkastusprosesseihin sekä täysistuntoihin, joissa tehdään päätökset IPCC:n työohjelmasta ja alla eriteltyjen työryhmien tuottamat julkaisuraportit hyväksytään. (Organization.) Näiden työryhmien kokoamista tutkimustuloksista kerätty tieto kootaan julkaisuiksi, säännöllisin väliajoin julkistettaviksi laajoiksi arviointiraportteiksi, jotka ovat eritelty työryhmien mukaan ja joista jokaisen työryhmän yhteenveto julkaistaan erillisinä raportteina (Hester ja Harrson 2002, 3). Täysistunnoissa valitaan myös IPCC:n ministeriön jäsenet, mukaan lukien puheenjohtaja. IPCC:n toiminta on jaettu seuraaviin 4:ään työryhmään (Organization):

- Työryhmän I:n tehtävänä on koota ja arvioida erilaisia luonnontieteellisiä tutkimustuloksia. Nämä tutkimukset käsittelevät muun muassa: kasvihuonekaasupitoisuuksien muutoksia ilmakehässä, näiden kaasujen aiheuttamia ilman, maanpinnan ja merien lämpötilojen, sademäärien, jäätiköiden ja jääpeitteiden sekä merenpintojen tasomuutoksia. Työryhmä sisällyttää aineistoon myös historiallisen ja esihistoriallinen näkökulman ilmastonmuutokseen.

- Työryhmä II keskittyy ilmastonmuutoksen aiheuttamiin sosio-ekonomisten ongelmien ja luonnon systeemien haavoittuvuuden arviointeihin. Työryhmän tehtävänä on kerätä tietoa ilmastonmuutoksen sekä positiivisista että negatiivisista seurauksista. Se myös huomioi relaatiot luonnon haavoittuvuuden, yhteensovittamisen ja kestävän kehityksen välillä.
- Työryhmä III arvioi ja etsii erilaisia keinoja, joilla vähennettäisiin ilmastonmuutosta sekä estettäisiin kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi työryhmän tehtävänä on löytää keinoja, joilla päästöjä voidaan poistaa ilmakehästä. Raporteissa huomioidaan myös ilmastonmuutoksen aiheuttamia pitkän ja lyhyen aikavälin taloudellisia vaikutuksia. Työryhmän aihepiiri kattaa energian tuotannon, kuljetukset, rakentamisen, maatalouden, metsänhoidon ja jätehuollon. Työryhmän tehtävänä on myös analysoida päästövähennyksistä koituvia kustannuksia ja hyötyjä.
- Task Force on National Greenhouse Gas Inventories eli TFI on neljäs työryhmä joka valvoo IPCC:n National Greenhouse Gas Inventories -ohjelmaa. TFI:n tehtävänä on kehittää kansainvälisesti hyväksytyjä mekanismeja ja ohjelmistoja, joilla voidaan laskea, mitata ja raportoida kansallisia kasvihuonepäästöjä sekä niiden poistoja.

4 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISEEN TÄHTÄÄVÄT KANSAINVÄLISET ILMASTOSOPIMUKSET

4.1 YK:n ilmastopimus

Maailman ensimmäinen ilmastokonferenssi järjestettiin UNEP:n ja WMO:n toimesta Genevessä vuonna 1979. Konferenssin pääaiheena oli ilmakehän hiilidioksidipitoisuustason nousu ja sen vaikutukset kasvihuoneilmistöön. Konferenssin jälkeisinä vuosina ilmastonmuutosta käsiteltiin useita vuosia pelkästään tieteellisissä kokoontumisissa. (Ilmastokokoukset.)

YK järjesti puoli-poliittisen konferenssin Torontossa vuonna 1988. Konferenssissa ehdotettiin ensimmäiseksi askeleeksi ilmastonmuutosta vastaan, että hiilidioksidipäästöjä olisi vähennettävä 20 prosenttia vuoden 1988 tasosta vuoteen 2005 mennessä (Barrett 2005, 366–367). Barrettin (2005, 366–367) mukaan vähennys-suositukselle ei ollut minkäänlaista tieteellistä pohjaa, jolla sitä olisi voinut perustella. Tämä tavoitepäästövähennys nimettiin isäntäkaupungin mukaan ja tunnetaan yleisesti englanninkielisellä nimellä Toronto target.

IPCC:n (1990) ensimmäisen julkaisun jälkeen, useat maat ilmasivat halunsa hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen Toronton konferenssin suositusten mukaisesti. Esimerkiksi Itävalta, Tanska, Italia ja Luxembourg lupasivat Toronton mukaisia vähennyksiä. Uusi Seelanti asetti tavoitteekseen saavuttaa 20 prosentin vähennykset jo vuoteen 2000 mennessä. Suomi, Sveitsin ja Yhdistyneen Kunigaskunnan kanssa ilmoittivat tavoitteekseen stabilisoida päästönsä vuoden 1990 tasolle vuoteen 2000 mennessä ja osa maista ei asettanut mitään erityisiä tavoitteita. (Barrett 2005, 367–368.)

Yhdysvallat ei asettanut tässä vaiheessa minkäänlaisia päästövähennystavoitteita ja joutui sen vuoksi ankaran kritiikin kohteeksi, erityisesti eurooppalaisten poliitikkojen taholta (Barrett 2005, 368). Silloisen Yhdysvaltain presidentti Bushin hallinto tutki päästövähennystavoitteita ja tuli siihen johtopäätökseen, että päästövähennystavoitteet palvelivat huonosti valtioiden hyötyjä. Presidentin taloudellinen neuvosto (The President's Council of Economic Advisers) laski, että jos Toronton tavoitteet laajennettaisiin vuoteen 2100, tulisivat vähennykset maksamaan Yhdysvalloille 800 miljardista dollarista aina 3,6 biljoonaan dollariin. Kustannukset olisivat täten 35–150

kertaa suurempia kuin Montrealin pöytäkirjan velvoitteiden mukaiset kokonaiskustannukset. Presidentin taloudellisen neuvoston mielestä kaavailtujen päästövähennysten hyödyt eivät kohdanneet niistä aiheutuvia kustannuksia. Niinpä se suositteli lisäämään tietoa ilmastonmuutoksesta ja sen vaikutuksista, jotta asian pohjaksi voitaisiin rakentaa poliittinen perusta. ”Ennen kuin tälläinen (poliittinen)perusta on luotu, ei ole minkäänlaista oikeutta säilyttää taloudelle kasvihuonepäästöjen vähennyksistä koituvia kustannuksia”: oli neuvoston julkilausuma. (Barrett 2005, 368.)

Genevessä järjestettiin samana vuonna (1990) järjestyksessä toinen kansainvälinen ilmastokonferenssi. Tällöin paikalla oli myös osaanottajamaiden ministeritasoiset poliittiset edustukset ja niinpä 137 osallistujamaata sopivat kansainvälisen ilmastosopimuksen neuvotteluiden aloittamisesta (ilmasto.org). Samalla perustettiin hallitustenvälinen ilmastonmuutoskomitea INC (Intergovernmental Negotiating Committee on Climate Change) valmistelemaan ilmastosopimusta, joka oli tarkoitus hyväksyä tulevassa Rion kokouksessa 1992 (Ilmastonmuutos lyhyesti).

Ilmastosopimus oli vuoden 1992 Rion kokouksen pääteema ja paineet sopimuksen aikaansaamiseksi olivat suuret (Ilmastonmuutos lyhyesti). INC kokoontui ennen Rion kokousta 5 kertaa ja viimeinen kokous, joka pidettiin vain kuukautta ennen Rioa, jouduttiin jakamaan kahteen osaan, koska yhteisymmärrystä ei saavutettu (Ilmastonmuutos lyhyesti).

Sopimuksen valmistelujen suurimmat kiistat käytiin teollisuusmaita sitovista päästövähennyksistä sekä saastuttaja maksaa -periaatteesta ja sen soveltamisesta käytäntöön (ilmasto.org). Sopimuksesta tehtiin lopulta kompromissiratkaisu, joka oli huomattavasti laveampi kuin alunperin muotoiltu sopimusluonnos (Ilmastonmuutos lyhyesti). Siitä oli poistettu Yhdysvaltojen vaatimuksesta kaikki yksityiskohdat, jotka viittasivat kasvihuonekaasupäästöjen sallittuihin määriin tai päästövähennysten aikatauluihin. Myöskin vuoden 1989 YK:n yleiskokouksen päätöksessä ollut tekstiosio, jossa mainittiin teollisuusmaiden vastuu historiallisten kasvihuonepäästöjen tuottajina sekä niiden päävastuullisina, poistettiin samasta syystä. (Ilmastonmuutos lyhyesti.)

Rion kokouksen lopputuloksena hyväksyttiin YK:n ilmastosopimus (United Nation Framework Convention on Climate Change, UNFCCC). Se astui voimaan vuonna 1994 ja 2005 syksyllä sen oli ratifioinut 189 maata. Sopimuksen tavoitteena oli, että teollisuusmaiden kasvihuonepäästöt stabilisoitaisiin vuoden 1990 tasolle vuoteen 2000 mennessä. Tämä määritellään artiklassa 4.2. (ilmastonmuutos lyhyesti.) Sopimuksen

noudattaminen perustuu vapaaehtoisuuteen, joten se ei ole laillisesti sitova. Tästä syystä monet maat eivät noudata sopimusta. Kehitysmaiden velvollisuudeksi jäi ainoastaan raportoida hiilidioksidipäästöistään, ei vähentää niitä. (Ilmastonmuutos lyhyesti.)

YK:n ilmastopöytäkirjan ylintä päätäntävaltaa edustaa osapuolikonferenssi (Conference of Parties, COP), joka kokoontuu vuosittain ja näihin kokouksiin osallisuvat myös sopimuksen allekirjoittaneiden maiden edustustot (Ilmastonmuutos lyhyesti).

4.2 Montrealin pöytäkirja

Montrealin pöytäkirjan alku juontaa juurensa aina vuoteen 1974, jolloin kaksi Kalifornian Yliopiston kemistiä, Mario Molina ja Sherwood Rowland julkaisivat tieteellisen tutkimuksen, jossa esitettiin, että stratosfäärinen otsonikerros voi tuhoutua kloorifluorihilivedyn eli CFC-yhdisteen vapautumisesta ilmakehään (Barrett 2005, 222).

CFC-yhdiste lukeutuu kasvihuonekaasuihin ja se on kehitetty vuonna 1928. CFC-yhdistettä käytettiin yleisesti mm. aerosoleissa, jääkaapeissa, eristeenä, styroksissa ja liottimena. Kemikaalina sillä on monia erinomaisia ominaisuuksia. Se on erittäin stabiili, myrkytön, syövyttämätön, palamaton ja edullinen tuottaa. (Barrett 2005, 222.)

Molinan ja Rowlandin tutkimustuloksesta lähti aloite, joka johti lopulta vuonna 1985 ns. Wienin sopimukseen, joka on CFC-yhdisteiden käyttöä rajoittava kansainvälinen aiesopimus. Benedick (1998, 45) pitää Wienin sopimusta huomattavana saavutuksena, koska se oli ensimmäinen ympäristönsuojelun tehtiin ennaltaehkäisy tarkoituksessa (Benedick 1998, 45) ilman, että CFC-yhdisteiden vaikutuksesta otsonikerrokseen oli varmaa tieteellistä näyttöä. Wienissä Yhdysvallat ehdotti lisäksi, että UNEP avaisi diplomaattiset neuvottelut, joiden päämääränä olisi saada aikaan CFC-yhdisteiden käyttöä rajoittava sitova sopimus. Sitä ennen UNEP sai tehtäväkseen perustaa työryhmän, joka tehtävän olisi kerätä lisää tietoa otsonikerrokseen ja sen vaurioitumiseen liittyvistä tekijöistä. Lisäksi työryhmän tehtävänä oli tutkia rajoitustoimenpiteiden sekä kustannuksia että niiden tehokkuutta. (Benedick 1998, 45.)

Vuonna 1987 allekirjoitettiin Montrealin pöytäkirja, joka on sitova kansainvälinen sopimus otsonikerrosta vahingoittavien aineiden käytön ja valmistuksen rajoittamiseksi. Sopimus astui voimaan 1989. (The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer.) Tämän sopimuksen allekirjoitti ainoastaan 24 maata ja Euroopan komissio. Sopimus kattoi 83 prosenttia CFC-yhdisteiden maailmanlaajuisesta kulutuksesta (Barrett 2005, 227). Samassa yhteydessä määrättiin sopimukselle hallinnointielin, Conferences of the Parties eli COP, joka kokoontuu aina parin vuoden välein (The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer).

Montrealin pöytäkirjan täytäntöönpano osoitti, että toimiva kansainvälinen ilmastopopimus on mahdollista toteuttaa, vaikka ilmiön syitä ei pystyttäisi tieteellisesti varmuudella osoittamaan (Ilmastopopimukset). Nimenomaan tämän edellä mainitun seikan vuoksi Montrealin pöytäkirja valittiin kasvihuonekaasupäästöjä rajoittavan Kioton pöytäkirjan malliksi sekä Benedickin (1998, 45) aiemmin mainitseman syyn, jonka mukaan Montrealin sopimus tehtiin otsonikerroksen suojelemiseksi ennaltaehkäisevästi.

Alunperin sopimus määritteli, että CFC-yhdisteiden tuotanto tulee rajoittaa 50 %:n vuoden 1986 tasosta vuoteen 1999 mennessä (The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer).

Pöytäkirjaa on tarkistettu ja muutettu sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen neljä kertaa. Ensimmäiset muutokset tehtiin Lontoossa 1990, jossa tehtiin päätös CFC-yhdistelmien käytön lopettamisesta kokonaan. (Smith 2010.) Sen jälkeen vuonna 1992 vuorossa oli Kööpenhamina, jota seurasivat Wien 1995, Montreal 1997 ja Beking 1999. Montrealin pöytäkirja on sittemmin tullut maailman ensimmäiseksi ympäristösopimukseksi, jonka kaikki maat ovat allekirjoittaneet. (Montrealin pöytäkirja.)

Pöytäkirjan ajanmukaisuudesta huolehtii kolme asiantuntijapaneelia, tieteellinen paneeli, ympäristövaikutusten paneeli ja tieteellis-taloudellinen paneeli. Nämä organisaatiot keräävät tietoa mm. uusista potentiaalisista otsonikerrosta heikentävistä aineista ja otsonikerroksen tilasta. Näihin tietoihin perustuvat sopimuksen päivitykset, jotka johtavat mahdollisiin uusiin rajoituksiin sekä pitävät sopimuksen ajantasalla tieteelliseen ja tekniseen kehitykseen nähden. (Montrealin pöytäkirja.)

Montrealin pöytäkirja sisältää myös kaupankäynnin rajoituksia. CFC-yhdisteiden tuonti ja vienti kiellettiin tietyin ehdoin. Sopimuksen solmimisen yhteydessä

perustettiin myös rahasto Global Environmental Facility eli GEF, jonka tarkoituksena on auttaa kehitysmaita selviämään taloudellisesti sopimuksen vähennystavoitteista, vaikka sopimus ei velvoittanutkaan kehitysmaita heti vähennyksiin, vaan niille annettiin 10 vuoden siirtymäaika aina vuoteen 2009. (The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer.)

Vuosi 2010 oli merkityksellinen sopimukselle, sillä CFC-yhdisteiden valmistus ja kulutus tuli maailmanlaajuisesti kielletyksi, ainoastaan erittäin kriittiset ja välttämättömät käyttötarkoitukset sallitaan (Montrealin pöytäkirja).

Yhdysvallat on ollut avainasemassa Montrealin Pöytäkirjan synnyssä ja se toimi yhteistyössä UNEP:n kanssa. Smithin (2010) mukaan kyseessä oli harvinainen yhdistelmä eturivin tutkijoiden ja politiikantekijöiden yhteistoimintaa (Smith 2010).

Sopimus muokattiin jo alunperin siten, että painotettiin laatua ennen määrää. Barrett:n (2005, 292) mielestä tämä tarkoittaa sitä, että pyrittiin 'kapeaan, mutta syvään' (engl. 'narrow but deep') sopimukseen, jossa ensisijaisena lähtökohtana ei ollut se, että kaikki maat tulisivat sopimuksen piiriin vaan, että sopimuksen ratifioineiden maiden välinen yhteistyö olisi tiivistä ja sopimusta noudatettaisiin. 'Leveä mutta ohut' -sopimustyyppi (engl. 'broad but shallow') edustaa vastaavasti ns. konsensus-sopimusta ja on 'kapean mutta syvän' -sopimuksen vastakohta (Barrett 2005, 292–293).

Johtuen USA:n liittovaltiojärjestelmästä, jossa sopimusten hyväksyntä on pitkälinen prosessi, hankittiin jo ennen sopimusaikaa eteenpäin viemistä kansainväliselle tasolle, sopimukselle Yhdysvaltojen kongressin tuki. UNEP:n sittemmin avattua sopimusneuvottelut, olivat neuvotteluiden ongelmat pitkälti samanlaiset kuin myöhemmin Kioton pöytäkirjan kohdalla. Kehitys- ja kehittyvätmaat pitivät kaavailtua sopimusta epäoikeudenmukaisena. He argumentoivat yhtäläisillä oikeuksilla taloudelliseen ja tieteelliseen kehitykseen kuin teollisuusmailla oli ollut. Kehitysmaiden mielestä sopimus rajoitti heidän taloudellisen kehityksen mahdollisuuksia ja tekisi sen kalliimmaksi kuin teollisuusmaiden kehityksen aikoinaan. Tämän vuoksi oli kehitysmaiden mielestä oikeudenmukaista, että teollisuusmaat kompensoisivat ne kustannukset kehitysmailla, jotka aiheutuvat CFC-yhdisteiden käytön luopumisesta. Kyseisen ongelman liennyttämiseksi perustettiin Lontoon kokouksessa GEF-rahasto, joka avustaa kehitys- ja kehittyviä maita heidän siirtymisprosessissaan. Rahaston arvo alunperin oli hieman yli 200 milj. \$, josta Yhdysvaltojen rahoitusosuus oli 25 %. Vuosina 1991–2005 rahaston arvo on noussut 2,1 mrd. \$:n. Rahasto jakaa noin 150

milj. \$ vuosittain avustuksina. (Montrealin pöytäkirja.). Tämän rahaston perustamisen myötä sekä Kiina että Intia saatiin mukaan sopimukseen (Smith, 2010).

4.3 Kioton pöytäkirja

YK:n ilmastopöytäkirjasta täydennettiin Kiotossa 1997 hyväksytyssä ns. Kioton pöytäkirjassa, joka on laillisesti sitova kansainvälinen ilmastopöytäkirja. Pöytäkirja tuli voimaan 16.02.2005 ja mm. EU ratifioi sen 31.05.2002. (Kioton pöytäkirja.) Kioton pöytäkirja on YK:n ilmastopöytäkirjan alainen ja sen ylin päättävä elin on osapuolikokous (Conference of Parties serving as the Meeting of the Parties, COP/MOP), jolle luovutettiin toimivaltuudet kun sopimus sai lainvoiman (Yamin 2005, 1).

Kioton pöytäkirja asettaa sitovat päästöraajat 37:lle teollisuusvaltiolle sekä EU:lle. Pöytäkirja koskee kuutta kasvihuonekaasua, jotka ovat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihiiilivedyt, perfluorihiiilivedyt ja rikkiheksafluoridi. (Kioton pöytäkirja.)

Teollisuusmaiden on vähennettävä hiilidioksidipäästöjään yhteensä 5,2 % vuoden 1990 tasoon verattuna. Ensimmäinen velvoitekausi, jolloin päästövähennykset on saavutettava, kattaa vuodet 2008–2012. Pöytäkirja sisältää sanktiot valtioille, jotka eivät saavuta tavoitteitaan. Vähennystavoitteissa epäonnistuneiden maiden on seuraavalla velvoitekaudella vähennettävä edellisen kauden puuttuvat päästövähennykset sekä lisäksi niiden on tehtävä 20 %:n ylimääräiset päästövähennykset. Sanktioon sisältyy myös kieltä osallistua päästökauppaan seuraavalla velvoitekaudella. (Kioton pöytäkirja.)

Teollisuusmaista Yhdysvallat ja Australia jättivät pöytäkirjan ratifioimatta. Myös toisen velvoitekauden alku, kesto ja päästövähennysmäärät jätettiin tässä vaiheessa neuvottelujen ulkopuolelle. Neuvottelut toisesta velvoitekaudesta oli tarkoitus aloittaa mahdollisimman pikaisesti. (Kioton pöytäkirja.)

Kioton pöytäkirja ei sisällä päästövähennysvelvoitteita kehitysmailla. Kehitysmaat ovat kuitenkin velvollisia noudattamaan YK:n ilmastopöytäkirjan määrittelemiä toimia, kuten esimerkiksi velvollisuutta laatia sekä toteuttaa ilmastomuutosta hillitseviä ohjelmia. (Kansainvälinen ilmastopolitiikka: Kioton pöytäkirja.)

Kioton pöytäkirjan saaminen hyväksyttävään muotoon joustomekanismeineen kesti likimain kuusi vuotta. Pöytäkirja käsittää kolme eri mekanismia: päästökaupan (Emission trading, ET), puhtaan kehityksen mekanismi (Clean Development Mechanism, CDM) ja yhteistoteutus (Joint Implement, JI). Joustomekanismeihin liittyneet sopimusongelmat ratkaistiin lopulta Bonnissa kesäkuussa 2001, jolloin pidettiin COP6:n toinen osa ja ratkaisusta muotoiltiin yksityiskohtainen teksti hyväksyttäväksi seuraavan vuoden Marrakeshin COP7 kokoukseen. Kokonaisuudessaan sopimusta jouduttiin vielä hiomaan myöhemmin eri COP:n kokouksissa ennen kuin se oli valmis Liitteen I maiden hyväksyttäväksi (ks. liite 1). (Yamin 2005, 1–2.)

Tällä hetkellä pöytäkirjan on ratifioinut 192 sopimusosapuolta, joista viimeisimpänä teollisuusmaista on Australia, joka ratifioi sopimuksen joulukuussa 2007 ja sopimus astui voimaan maaliskuussa 2008 (Status of ratification of the Kyoto Protocol). Teollisuusmaiden suurin hiilidioksidipäästöjen tuottajamaa Yhdysvallat ei ole tähän päivään mennessä ratifioinut sopimusta.

Sopimuksen velvoitteet on jaettu maittain kolmeen osaan. Liitteen I (Annex I, ks. liite 1) maihin kuuluvat ne, jotka olivat OECD:n jäseniä vuonna 1992 sekä lisäksi siirtymätalousmaita kuten Venäjä, Baltian maat sekä useita keski- ja itä-euroopan maita. (Parties & Obsevers.)

Liite II (Annex II) koostuu pelkästään teollisuusmaista, jotka sopimuksessa veloitetaan auttamaan kehitysmaita taloudellisesti heidän pyrkimyksissään leikata kasvihuonekaasupäästöjään sekä lisätä kehitysmaiden kykyä selviytyä ilmastonmuutoksen mahdollisista negatiivisista vaikutuksista. (Parties & Obsevers.)

Non-Annex I sisältää ne kehitysmaat, jotka ovat erityisen alttiita kärsimään eniten ilmastonmuutoksesta sekä ne maat, jotka muutoin ovat haavoittuvassa asemassa ilmastonmuutoksen toteutuessa. Näihin maihin lukeutuu esimerkiksi merenpinnan tasolla sijaitsevat matalat alueet sekä aavikoitumisesta että kuivuudesta kärsivät maat. (Parties & Obsevers.)

Euroopan Unioniin kuului tuolloin 15 jäsenmaata, joille kullekin oli Kioton pöytäkirjassa määritelty päästövähennykset. EU otti käyttöön ns. taakanjakosopimuksen, jossa maiden yhteenlaskettujen päästövähennysten määrä muodosti ns. kuplan, johon jäsenmaat kuuluivat ja sitovat päästövähennykset jaettiin uudelleen jäsenmaiden kesken. Tämä sallii köyhien Euroopan jäsenmaiden

mahdollisuuden kasvattaa päästöjään, koska Keski-Euroopan valtiot vähentävät samassa suhteessa enemmän päästöjään. Kupla-metodin käyttö ei ole EU:n etuoikeus, vaan kaikki maat ovat vapaita muodostamaan keskenään kuplia. (Ilmastonmuutos lyhyesti.)

Ne EU:n uudet jäsenvaltiot, jotka ovat siirtymätalouksia, ovat saaneet runsaasti ylimääräisiä päästöoikeuksia, koska niillä oli vertailuvuodeksi valittuna aikana käytössään tehotonta ja runsaspäästöistä teknologiaa. Näitä päästöoikeuksia, jotka on saatu ilman päästövähennysvelvoitteita, kutsutaan kuumaksi ilmaksi (engl. hot air). (Ilmastonmuutos lyhyesti.)

Kehitysmaille ei asetettu päästövähennysvelvoitteita, mutta niiden on Kioton pöytäkirjan mukaan valmistauduttava myöhemmässä vaiheessa asetettaviin velvoitteisiin. Päästövähennykset koskevat vain niitä maita jotka vuonna 1992 olivat OECD:n jäseniä tai siirtymätalousmaita. Täten monet rikkaat valtiot, kuten Kuwait ja Saudi-Arabia luokitellaan kehitysmaaksi. (Ilmastonmuutos lyhyesti.)

Kioton pöytäkirjan allekirjoitusvaiheessa monet yksityiskohdat olivat vielä sopimatta. Keskenäisiä sopimuskohtia olivat mm. sopimuksen perusmekanismeihin kuuluvien joustomekanismien ja nielujen käyttö, sopeuttamistoimet ja Kioton toisen velvoitekauden neuvottelujen aloittaminen. Jatkoneuvotteluja käytiin vielä Bonnissa 2001, jossa tärkeimmät kiistakysymykset saatiin viimein ratkottua. (Ilmastonmuutos lyhyesti.) Tässä vaiheessa USA vetäytyi neuvotteluista Presidentti G.W. Bushin johdolla (Barrett 2005, 371). Lopulta Marrakeshissa vuonna 2002 järjestetyssä konferenssissa kesken jääneet kiista-asiat saatiin päätökseen ja muutettiin sopimustekstiksi (Ilmastonmuutos lyhyesti).

Kioton pöytäkirja on vaativa ympäristösopimus laajuudessaan. Tavoitteeksi asetetut päästövähennykset eivät kohtaa päästöleikkausten todellista tarvetta, jotta tavoitteeksi asettu enintään 2 °C:n keskilämpötilan nousu saavutettaisiin (Ilmastonmuutos lyhyesti). Kioton pöytäkirjan päästöt kattavat vähemmän kuin 30 % maailmanlaajuisista kasvihuonekaasuista (Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Durbainin Ilmasto-istunnot, Etelä-Afrikka 28.11.–9.12.2011).

4.3.1 Sopimusneuvottelut

Valmistautuminen kansainvälisiin sopimusneuvotteluihin sekä niiden läpivieminen on pitkälinen ja monimutkainen prosessi. Jo pelkkä neuvottelujen mittakaava tekee asiasta haasteellisen. Esimerkiksi COP16:n kokoukseen Cancunissa, Meksikossa vuonna 2010 osallistui noin 12 000 osaanottajaa. Valtioiden edustajia oli 5200, YK-järjestelmän edustajia oli 5400, kansainvälisten- että kansalaisjärjestöjen edustajia sekä akkreditoituja tiedotusvälineiden edustajia oli yhteensä 1270 (Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Cancunin Ilmasto-istunnot, Meksiko, 28.10.-10.12.2010).

Sopimusneuvotteluihin vaikuttavat monet maiden sisäisiin prosesseihin ja lainsäädäntöön liittyvät seikat. Täten neuvottelut eivät muodosta minkäänlaista yhtenäistä kaavaa, eivätkä maiden sisäiset neuvottelut, jotka valmistavat valtiot kansainvälisiin neuvotteluihin, ole lineaarisesti eteneviä (Barrett 2005, 139). Kuitenkin näillä etukäteisprosesseilla on suuri merkitys sille, millainen kansainvälisestä sopimuksesta lopulta muodostuu. Barrett (2005, 139) osoittaa, että kansainvälisen sopimusprosessin kulminaatiopisteinä voidaan pitää seuraavia kohtia: esi-neuvottelut, varsinainen sopimusneuvottelu, ratifiointi, sopimuksen voimaan saattaminen ja mahdollinen uudelleen neuvottelu.

Esineuvotteluissa haetaan sopivaa neuvottelutasoa, jossa kaikki neuvotteluihin osallistuvat valtiot tuovat neuvottelupöytänsä oman näkökantansa sopimuksen sisällöstä. Esimerkiksi Kioton esineuvotteluissa Australia vaati nostoa omille päästöilleen (Barrett 2005, 139). Vastaavasti EU vaati suuria leikkauksia globaaleihin hiilidioksidipäästöihin ja USA puolestaan oli päästöjen sen hetkiselletasolle pysäyttämisen kannalla. Tällaiset neuvottelut ovat politikointia ja kaupankäyntiä, joissa jokainen pyrkii saamaan omalta kannaltaan mahdollisimman edullisen lähtökohdan lopulliseen sopimukseen nähden. Lopputuloksena Kioton pöytäkirjan neuvotteluissa oli, että EU hyväksyi huomattavasti pienemmät päästöjen leikkaukset kuin se alunperin vaati ja USA taipui leikkauksiin päästöjen stabilisoinnin sijaan. Australia sai mitä halusi, eli luvan päästötasojensa nostamiseen. (Barrett 2005, 139.) USA ei ole koskaan ratifioinut Kioton sopimusta. Presidentti Clinton allekirjoitti esisopimuksen, mutta presidentti Bushin hallinto ei enää suostunut pöytäkirjan ratifiointiin (Barrett 2005, 370–371).

EU:n sisällä joudutaan käymään pitkälinen prosessi valmisteluja ja neuvotteluja sekä hyväksymistoimia, ennen kuin EU:n edustajat voivat asettua kansainväliseen

neuvottelupöytä (Barrett 2005, 137). Koska kaikki EU:n maat ovat itsenäisiä valtioita, on jokaisen maan hyväksyttävä se yhteinen tavoite, jolla siirrytään eteenpäin neuvotteluissa kansainväliselle tasolle.

4.3.2 Toisen velvoitekauden neuvottelujen kulku

Kioton pöytäkirjan toinen velvoitekausi on ollut osapuolikonferenssin asialistalla jo vuodesta 2004, jolloin COP10 kokoontui Buenos Airesissa. Tuolloin varmistui Venäjän ratifiointipäätös. Tämän toivottiin edistävän ilmastopimuksen jatkoneuvotteluja. Venäjän päätöksestä huolimatta, COP10 neuvottelut ajautuivat lähes umpikujaan. (Ilmastokokoukset.)

Euroopan Unioni esitti tuolloin, että Kioton toisen velvoitekauden neuvottelut aloitettaisiin jo seuraavan vuoden kokouksessa, mutta Yhdysvallat tyrmäsi esityksen. Vaikka Yhdysvallat ei ole ratifioinut Kioton pöytäkirjaa, on se oikeutettu osallistumaan osapuolikonferensseihin, koska se on allekirjoittanut YK:n ilmastopimuksen. Neuvotteluissa edettiin kehitysmaiden sopeuttamisohjelman osalta, josta päästiin yksimielisyyteen. (Ilmastokokoukset.)

COP11 kokoontui Montrealissa vuonna 2005. Neuvottelut polarisoituivat Yhdysvallat vs. kehitysmaat asetteluun. Kehitysmaalle oli tarkoitus määrittää sitovat päästöraajat Kioton pöytäkirjan toiselle velvoitekaudelle. Kehitysmaat vastustivat vaatimusta ja käyttivät argumenttina sitä, että maailman suurin päästöjen tuottajamaa Yhdysvallat, ei rajoita päästöjään. Yhdysvallat puolestaan ilmoitti, etteivät he aio rajoittaa päästöjään, jos kehitysmaita ei saada mukaan. (Ilmastokokoukset.)

COP13 kokoontui Baliin 2007, jossa Australia ilmoitti ratifioineensa Kioton pöytäkirjan. Tällöin Yhdysvallat jäi ainoaksi teollisuusmaaksi, joka oli jättäytynyt sopimuksen ulkopuolelle. Baliin EU, usean muun teollisuusmaan kanssa, ehdottivat teollisuusmaalle kollektiiviseksi päästövähennystavoitteeksi tulevalle velvoitekaudelle 25–40 % vuoden 1990 tasosta, vuoteen 2020 mennessä. Japani ja Yhdysvallat torjuivat tavoitteen liian suurena. (Ilmastokokoukset.)

Neuvottelujen suurin kiista kokonaisuudessaan koski kehitysmaiden roolia tulevassa ilmastopimuksessa. Teollisuusmaat yhdessä vaativat, että kehitysmaiden päästövähennyksien pitäisi olla mitattavia, raportoitavia ja todennettavia. Kehitysmaat

esittivät vastavaatimuksen, jossa teollisuusmaiden taloudellinen tuki kehitysmailla tulisi täyttää samat kriteerit. Lopulta edellä mainittu lauselema kirjattiin neuvottelujen tuloksiin. (Ilmastokokoukset.)

Lisäksi tulevan ilmastopimuksen neuvottelut jaettiin kahteen raiteeseen. Ensimmäinen raide on AWG-LCA -työryhmä (Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention) johon kuuluvat kaikki YK:n ilmastopimuksen osaanottajat, mukaan lukien Yhdysvallat. Tämän ryhmän päästövähennystavoitteeksi merkittiin 10–40 %. Toinen raide on AWG-KP -työryhmä (the Ad Hoc Working Group on further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol), jossa edustettuina ovat kaikki Kioton Pöytäkirjan ratifioineet maat. (Neuvotteluprosessi.) Tämä neuvottelusopimus muodosti Balin tiekartan, joka koostuu kolmesta elementistä (Neuvotteluprosessi):

- Muodostettiin virallinen neuvotteluryhmä (Decision 1/CP.13, Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention), myös Yhdysvallat kuuluu tähän neuvotteluryhmään.
- Neuvotteluryhmä (Ad Hoc Working Group on Further Commitments for Annex I Parties Under the Kyoto Protocol, AWG) Kioton pöytäkirjan ratifioineille teollisuusmailla vuoden 2012 jälkeisistä päästövähennyksistä.
- Kioton pöytäkirjan arviointia koskeva päätös (Artikla 9). Arvioinnin perusteella voidaan uutta sopimusta uudistaa ja parannella tarpeen mukaan.

Balin kokouksen merkittävin saavutus oli päästötavoitteiden kirjaaminen päätöksiin (Ilmastokokoukset).

COP14 järjestettiin Poznańssa. Siellä neuvottelut eivät juurikaan edenneet, vaan juutuivat pitkälti kehitysmaat vs. teollisuusvaltiot problematiikkaan. Kehitysmaat painottivat edelleen, että päävastuu ilmaston tämän hetkisistä muutoksista on teollisuusmailla ja kehitysmaiden päästöt per asukas ovat edelleen vaatimattomat verrattuna teollisuusmaihin. Teollisuusmaat puolestaan painottivat, että vaikka he pudottaisivat hiilidioksidipäästöt nolnaan, ei se riittäisi pysäyttämään ilmastonmuutosta, jos kehitysmaat jatkavat päästöjensä lisäämistä. (Tynkkynen 2008.)

Lisäksi kokouksessa esitettiin useita selvityksiä kehitysmaiden vähähiilistä energiamahdollisuuksista. Näiden selvitysten mukaan, kehitysmaiden on mahdollista rajoittaa päästöjään kohtuullisin kustannuksin, mutta tarvitsevat siihen rikkailta mailta tukea. (Tynkkynen 2008.)

Intian tutkimuslaitos, The Energy and Resources Institute (TERI), nosti esiin, että Intian energian kulutus ja sen vuoksi myös päästöt nousisivat 30 vuodessa 8 kertaiseksi. Nämä päästöt voitaisiin oikeilla toimilla vähentää neljäsosaan. Aurinko voisi olla tärkein energianlähde vuoteen 2030 mennessä ja siitä saatava kapasiteetti olisi 700 000 megawattia. Jotta tämä saataisiin toteutettua, Intia tarvitsisi ulkopuolista rahoitusta 20 mrd. \$ vuodessa. (Tynkkynen 2008.)

Aasian kehityspankki ADB puolestaan esitti selvityksen Kaakkois-Aasian vähähiilistä mahdollisuuksista. Selvityksessä todettiin, että puolet tarvittavista päästövähennyksistä voitaisiin hoitaa negatiivisin kustannuksin. (Tynkkynen 2008.)

Meksikon selvityksen mukaan, Meksikon hiilidioksidipäästöt tulevat kasvamaan puolella nykytasoon verrattuna. Päästömäärän kasvu voitaisiin kuitenkin puolittaa ja puolet Meksikon sähkötuotannosta voitaisiin kattaa vuoteen 2030 mennessä uusiutuvilla energialähteillä. Esitetyt toimet jopa kasvattaisivat taloutta ja lisäisivät työpaikkoja. (Tynkkynen, 2008.)

Bonnissa järjestettiin vuonna 2009 YK:n ilmastokokous, jossa oli tarkoitus valmistella sopimus pohja saman vuoden tärkeään COP15:nnen Kööpenhaminan kokoukseen. Erimielisyyksistä johtuen, virallinen sopimusluonnos jäi muodostamatta. Tulevan sopimuksen tärkeimmät kysymykset jäivät edellen avoimiksi, kuten: teollisuusmaiden päästövähennykset, kuinka suurta tukea tarjottaisiin sopeutumistoimiin, puhtaaseen teknologiaan ja kuinka tuki ohjattaisiin tarvittaviin kohteisiin. Kokouksen tulokset jäivät odotuksiin nähden vaisuiksi. (Kosonen 2009.)

COP15 kokoontui Kööpenhaminassa. Kööpenhaminan kokoukselta odotettiin ennakkoon paljon, mutta se päättyi lähes sekasortoon. Kuvaavaa oli, että maat eivät pääseet yksimielisyyteen edes siitä, mitä neuvotteluissa oli sovittu. Lopulta Kööpenhaminan teksti todettiin (engl. the Conference of the Parties takes note of). Tämä tarkoittaa sitä, että kokouksen tuloksista ei päästy yksimielisyyteen eikä teksti ole sitova. (Tynkkynen 2009.) Teksti joka otettiin huomioon, sisälsi mm. seuraavia asioita (Tynkkynen 2009): maapallon keskilämpötilan nousun rajoittaminen 2 °C:een, mahdollisuus suurentaa tavoitetta 1,5 °C:een, teollisuusmaille määrälliset

päästötavoitteet vuoteen 2020, kehitysmaita tuetaan lähivuosina 10 mrd \$:lla, joka nostetaan vuoteen 2020 mennessä 100 mrd \$:iin sekä päätös seuraavasta ilmastokokouksesta vuoden päästä

Durbainin ilmastokokous COP16, järjestettiin marras- joulukuun vaihteessa 2011, jossa toisen velvoitekauden neuvottelut jatkuivat edelleen, vuonna 2007 laaditun Balin tiekartan mukaan. (Neuvotteluprosessi.)

AWG-KP-työryhmän neuvottelumandaatti määritteli Kioton pöytäkirjan 3.9 artiklassa ja sen toimenkuva on Balilla määrättyä ryhmää kapeampi. AWG-KP-työryhmän tehtävänä on neuvotella uusista päästövähennysvelvoitteista ainoastaan teollisuusmaille. (Neuvotteluprosessi.)

Kaikki osapuolet kattava AWG LCA-työryhmä on saanut tehtäväkseen neuvotella tulevasta ilmastopimuksesta viidessä seuraavassa asiakohdassa (Neuvotteluprosessi):
 i) luoda yhteinen visio yhteistyötavoitteista ja periaatteista, esim. lämpötilan rajausta ja pitkän aikavälin yhteiset päästövähennykset ii) maiden päästövähennysten suuruusluokka, mittaus, raportointi ja verifiointi sekä trooppisten metsien suojeleminen iii) sopeutumistoimet joilla ilmastonmuutokseen sopeudutaan, tämä kohta koskee erityisesti kehitysmaita iv) kuinka teollisuusmaat rahoittavat kehitysmaita v) köyhimpien maiden teknologian saatavuus.

Tarkoituksena on, että kaksi yllämainittua neuvotteluraidetta yhdistyvät lopulta, jotta saavutetaan yksi, kaikkia sitova kansainvälinen ilmastopimus. Miten se tapahtuu, siitä mailla on eriävät näkemykset. EU, Australia ja Japani kannattavat yhtä uutta pöytäkirjaa, jonka pohjana on sekä Kioton pöytäkirjan että Balilla sovittuja elementtejä. Kehitysmaat sen sijaan ajavat ratkaisua, jossa Kioton pöytäkirja pysyy itsenäisenä ja rinnalle solmittaisiin uusi pöytäkirja tai vaihtoehtoisesti osapuolikokouksien erillisiä päätöksiä. Lisäksi tulevan mahdollisen sopimuksen laillinen muoto on edelleen avoinna. (Neuvotteluprosessi.)

Durbainin ilmastokokouksessa COP16:nnessa neuvoteltiin tulevan ilmastopimusten perusteista. Lopputuloksena neuvotteluista saatiin päätös uudesta tiekartasta, jonka avulla on tarkoitus saavuttaa maailmanlaajuinen ilmastopimus Kioton pöytäkirjan toisen velvoitekauden vastineeksi. Lisäksi sovittiin tulevasta päästövähennystasosta, mutta ne jäivät vielä kauas tasosta, jolla maapallon keskilämpötilan nousu saataisiin pysäytettyä 2^o:een. Durbainissa neuvotellun sopimuksen perusteet koostuvat 3 osasta: tiekartta maailmanlaajuiseen

ilmastosopimukseen, Kioton pöytäkirjan toinen velvoitekausi ja Cancunissa vuonna 2010 tehtyjen päätösten toimeenpano ja tarkentaminen. (Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Durbainin Ilmasto-istunnot, Etelä-Afrikka 28.11.–9.12.2011.)

Tiekartan perustana on, että vuonna 2012 tehtäisiin sellaisia päätöksiä, joilla LCA-raiteen neuvottelut saataisiin päätökseen, jolloin käynnistettäisiin uusi neuvotteluraide uuden pöytäkirjan, muun oikeudellisen instrumentin (engl. another legal instrument) tai sellaisen sovitun lopputuloksen aikaan saamiseksi, jolla olisi oikeudellista vaikutusta (engl. agreed outcome with legal force). Tässä sopimuksessa kaikki osapuolet olisivat mukana (Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Durbainin Ilmasto-istunnot, Etelä-Afrikka 28.11.–9.12.2011.) Toisin sanoen, neuvotteluraiteet yhdistyisivät.

Uuden sopimuksen neuvottelut käynnistyivät heti ja tavoitteeksi on saattaa neuvottelut päätökseen viimeistään vuonna 2015, jolloin sopimus astuisi voimaan vuonna 2020 (Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Durbainin Ilmasto-istunnot, Etelä-Afrikka 28.11.–9.12.2011).

Kioton pöytäkirjan toinen velvoitekausi alkaa 01.01.2013 ja kestää joko 5 tai 8 vuotta. Velvoitekauden pituudesta päätetään vuoden 2012 lopulla järjestettävässä Dohan kokouksessa. Toiselle velvoitekaudelle on ilmoittautunut EU:n lisäksi 11 muuta maata. Ensimmäisellä velvoitekaudella mukana olleet Venäjä, Japani ja Kanada ilmoittivat jättäytyvänsä pois toiselta velvoitekaudelta. (Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Durbainin Ilmasto-istunnot, Etelä-Afrikka 28.11.–9.12.2011.)

Dohanssa tehdyn päätöksen (1/CMP.7) mukaan, Annex I-maiden päästövähennykset tulisi saattaa tasolle 25–40 % vuoden 1990 tason alle, vuoteen 2020 mennessä. Näistä päästötasoista on tarkoitus päättää vuoden 2012 kokouksessa. (Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Durbainin Ilmasto-istunnot, Etelä-Afrikka 28.11.–9.12.2011.)

Edellä esitelty neuvottelujen kulku havainnollistaa, kuinka moniongelmaiset kansainväliset ilmastopimusneuvottelut ovat ja minkälaisia ristiriitoja asiaan sisältyy. Se myös osoittaa kuinka kaukana yhden, kaikki maat kattavan sopimuksen solmimisesta ollaan.

5 ILMASTOPOLITIikka PELITEORIAN NÄKÖKULMASTA

Diplomacy resembles chess. Each player must make his key moves in such a way as to anticipate the moves of his opponent. In the game of diplomacy, self-interest is the only sound basis on which to predict the reactions of the other nation. (Bailey 1968, Barrettin 2005, 49 mukaan.)

Peliteorian avulla voidaan analysoida eri toimijoiden välisiä vuorovaikutuksia sekä muodostaa olettamuksia toimijoiden käyttäytymisestä ja niiden tuottamasta lopputuloksesta. Tämän vuoksi peliteoria on käyttökelpoinen metodi ympäristöongelmien tarkasteluun ja analysointiin. Peliteorian avulla voidaan tutkia, kuinka luoda kansainvälinen yhteistyö ilmastonmuutosta vastaan ja välttää yhteistyöhön liittyvät sudenkuopat, joista yksi merkittävin on vapaamatkustajuus (Finus 2001, 1–2).

Taloudellisesta toiminnasta saattaa aiheutua ympäristöön vaikuttavia ulkoisvaikutuksia, jotka ilmenevät joko positiivisina lopputuloksina tai aiheuttavat negatiivisiä vaikutuksia ympäristössä. Positiivisina ulkoisvaikutuksina voidaan pitää esimerkiksi voimalaitosten lauhdevedet, joita voidaan käyttää kalan kasvatukseen. Ympäristöongelmia, esimerkiksi saastumista, aiheuttavat nimenomaan negatiiviset ulkoisvaikutukset.

Maiden rajat ylittävät kansainväliset päästöt aiheuttavat negatiivisia ulkoisvaikutuksia paitsi aiheuttajamaalle itselleen, myös niihin maihin, joihin päästöt vaikuttavat joko suoraan tai välillisesti (Romp 1997, 211). Siten on ilmeistä, että monien maiden väliset riippuvuussuhteet ovat vahvat ja niiden strategiset näkökohdat nousevat esille (Finus 2001, 1).

Kyse on negatiivisten ulkoisvaikutusten aiheuttamista ongelmista, niiden kustannuksista ja kustannusten jaosta. Ympäristöä vaurioittavissa ulkoisvaikutuksissa on kansainvälisesti yleisesti vallalla saastuttaja maksaa -periaate (Romp 1997, 218). Negatiivisten ulkoisvaikutuksien tuottajaa ja ulkoisvaikutuksen seurauksia ei voi kuitenkaan aina yksiselitteisesti osoittaa. Barrett (1994) painottaa, että koska itsenäisiä, suvereeniteetin omaavia maita ei voida määrätä yhteistyöhön, sellaista pakottavaa ylikansallista instituutiota ei ole olemassa, on valtioiden vapaaehtoisesti solmittava mahdolliset yhteistyösopimukset, jolloin kansainvälisen sopimuksen on oltava ns.

itsensä vahvistava, self-enforcing -sopimus. Tällöin sopimus on niin hyvin laadittu, ettei kenelläkään sopimuksen osapuolista ole syytä rikkoa sitä.

Lisäksi mielenkiinto ympäristöön liittyvissä ongelmissa kohdistuu siihen, kuinka eri maat voivat keskenään tehdä yhteistyötä ja solmia sopimuksen, joka tuottaa pareto-
tehokkaan tuloksen (Romp 1997, 212). Pareto-tehokas tai Pareto-optimaalisuus tarkoittaa tilannetta, jossa kenenkään osapuolen tilannetta ei voi parantaa huonontamatta jonkun toisen asemaa. Vastaavasti yhteistyö-ratkaisuksi kutsutaan sellaista lopputulosta, joka parantaa eri osapuolien hyvinvointia verrattuna ei-yhteistyöhön (Finus 2001, 11). Ratkaisua kutsutaan täydeksi yhteistyöksi tai sosiaalisesti optimiksi, jos osapuolten solmima ympäristösopimus maksimoi kokonaishyvinvoinnin globaalin rationaalisuuden strategian mukaisesti (Finus 2001, 11).

Jos tarkastellaan kansainvälisiä ympäristösopimuksia ei-kooperatiivisten pelien (engl. non-cooperative game) avulla, voidaan analysoida sellaisia aiheita kuten: millaisin ehdoin maat haluavat tehdä yhteistyötä tai miten eri maat voidaan houkutella allekirjoittamaan sopimus, joka on vastoin heidän etuaan (Romp 1997, 212). Romp (1997, 212) korostaa, että ei-kooperatiivisten pelien näkökulmasta tarkasteltuna, maa osallistuu kansainväliseen sopimukseen vain siten, että se nähdään toimijana, joka ajaa puhtaasti omia etujaan.

5.1 Julkinen hyödyke

Puhdas julkinen hyödyke on ei-kilpailullinen ja sen ulkopuolelle ei voida sulkea ketään. Ei-kilpailullisuus tarkoittaa sitä, että yksilö voi käyttää yksikön hyödykettä ilman että se vähentää toisten mahdollisuutta käyttää samaa yksikköä. Toisin sanoen, julkisen hyödykkeen käytön ulkopuolelle ei voi sulkea ketään. (Sandler 2004, 17.)

Ilma jota hengitämme, on julkinen hyödyke. Sen ei-kilpailulliseen luonteeseen kuuluu, että yksilö voi hengittää ilmaa yhden yksikön verran, eikä se vähennä toisen yksilön mahdollisuutta hengittää. (Sandler 2004, 17.)

Lisäksi julkisen hyödykkeen ominaisuuksiin kuuluu, että käyttäjämäärän lisääntyminen ei kasvata sen marginaalikustannuksia. Tästä voi koitua hyödykkeen tuottajille hyvinvointitappio. Julkisen hyödykkeen ei-kilpailullisuuteen voi myös liittyä markkinoiden epäonnistuminen (Sandler 2004, 47.)

Ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuuden vähentäminen tuottaa ei-kilpailullista hyötyä. Siitä hyödystä nauttivat kaikki, myös ne, jotka eivät ole osallistuneet pitoisuuksien vähentämiseen. Koska ketään ei voida jättää puhtaamman ilman nauttimisen ulkopuolelle, se voi johtaa siihen, että kaikki odottavat muiden huolehtivan ilman kasvihuonekaasupitoisuuksien vähentämisestä ja niistä koituvista kustannuksista. Toisin sanoen, he valitsevat vapaamatkustajuuden. (Sandler 2004, 17–18)

5.2 Normaalimuodon pelit

Normaalimuodon peli mallintaa päätöksentekijöiden välisestä vuorovaikutusta. Jokaisella peliin osallistuvalla pelaajalla on joukko mahdollisia valintoja. Malli paljastaa pelaajien välisen vuorovaikutuksen siten, että jokaisen pelaajan valinta pelissä vaikuttaa toiseen pelaajaan. (Osborne 2004, 13.) Normaalimuodonpeleistä vangen ongelma on yksinkertainen tapa esittää kansainvälisten ympäristösopimusten solmimiseen liittyviä ongelmia, erityisesti vapaamatkustajuutta (Finus 2001, 22).

Normaalimuodon pelissä pelaajat toimivat toisistaan riippumattomasti. Pelissä pelaajat tekevät yhtäaikaan päätöksensä ja ainutkertaisena, yhden periodin aikana (engl. one-shot game). Tällöin peli on luonteeltaan staattinen eikä siinä ole huomioitu aikadimensiota (Finus 2001, 21). Pelin osapuolten oletetaan tekevän päätöksensä heidän yksilöllisten rationaalisten preferenssiensä mukaan. Normaalimuodon peliä voidaan pelata myös toistetusti, usean periodin pelinä. Tähän pelimuotoon palataan myöhemmin toistettujen pelien yhteydessä

Sandler (2004) esittää kirjassaan kaksi esimerkkiä vangen ongelma -pelistä, jotka paljastavat vapaamatkustajuuskannustimen olemassaolon ja vahvuuden. Molemmissa esimerkeissä pelaajaosapuolina toimivat maat. Ensimmäinen esimerkki on kahden pelaajan peli, jossa on kyseessä julkisen hyödykkeen tuottaminen. Jälkimmäisessä pelissä havannollistetaan maiden sitoutumista kasvihuonepäästöjen vähentämiseen. (Sandler 2004, 20–25.)

Ensimmäisen pelin valinnat ovat: tuotetaan yksi yksikkö julkista hyödykettä tai hyödykettä ei tuoteta. Jotta valituille strategiakombinaatioille saadaan pelissä lopputulos, on lisäksi määriteltävä hyödykkeen tuottamisesta koituvat tuotot ja

kustannukset. Oletetaan, että hyödykkeen yhden yksikön tuottamisesta koituu (Sandler 2004, 20–25.)

- hyötyä 6 yksikköä
- kustannuksia 8 yksikköä

Hyödyt ja kustannukset ovat samat molemmille pelaajille, johtuen julkisen hyödykkeen ei-kilpailullisesta luonteesta (Sandler 2004, 20–25). Peli esitetään taulukossa yksi, 2×2 matriisina ja pelaajina toimivat maat A ja B.

Taulukko 1 Vangin ongelma, 2 osallistujan peli (Sandler 2004, 21)

		B	
		ei tuota	tuottaa
A	ei tuota	0,0	6,-2
	tuottaa	-2,6	4,4

Pelissä on neljä mahdollista eri lopputulosta riippuen osapuolten ratkaisuksista (Sandler 2004, 20–25)

A ja B, kumpikaan ei tuota. Hyödyt ja kustannukset ovat 0

A ei tuota, jolloin A hyötyy 6 yksikköä ja B tuottaa, jonka hyöty on $-2 (= 6 - 8)$

A tuottaa, tällöin A:n hyöty on $-2 (= 6 - 8)$ ja B ei tuota, jolloin se saa hyödyksi 6

A ja B tuottavat, hyöty molemmille on $4 (= 2 * 6 - 8)$

Koska kyseessä on julkinen hyödyke, josta myös vapaamatkustava osapuoli pääsee nauttimaan, on kummankin dominoiva strategia pelissä vapaamatkustajuus, vaikka molemmat osapuolet hyötyisivät hyödykkeen tuottamisesta (4). Strategiaa, joka tuottaa parhaimman tuloksen, riippumatta muiden pelaajien valinnoista, sanotaan dominoivaksi strategiaksi. Esimerkin Nash tasapaino, jossa kumpikaan pelaajista ei muuta yksipuolisesti strategiaansa, on valinta, jossa kumpikaan ei tuota hyödykettä (0,0). (Sandler 2004, 20–25.)

Toinen esimerkki laajentaa vangin ongelman n-pelaajan peliin ($n = 8$). Kyseessä on sitoutuminen kasvihuonekaasujen vähentämiseen. Osallistujamaat ovat identtisiä

valtioita joilla on esimerkissä valittavana 2 strategiaa, jotka ovat: maa vähentää kasvihuonepäästöjä 10% tai päästöjä ei vähennetä, jolloin valintojen tuotot ja kustannukset ovat (Sandler 2004, 20–25.):

- hyödyt 6 yksikköä
- kustannukset 8 yksikköä

Taulukossa 2 esitetään peli matriisimuodossa. Sarakkeet ilmaisevat 7 pelaajamaan strategiavalintoja. Rivit kuvaavat valtion i saamia hyötyjä valitulla strategialla.

Taulukko 2 Vangin ongelma, 8 osallistujan peli (Sandler 2004, 23)

	muut valtiot kuin i jotka vähentävät päästöjä							
	0	1	2	3	4	5	6	7
valtio i ei vähennä	0	6	12	18	24	30	36	42
valtio i vähentää	-2	4	10	16	22	28	34	40

Valittujen strategioiden lopputulos on esitetty soluissa. Päällimmäinen rivi osoittaa valtion i saamaa hyötyä, kun se itse vapaamatkustaa ja muut vähentävät päästöjään. Ensimmäisen solun tulos (0) on tilanne, jossa kukaan ei vähennä päästöjään. Jokainen valtio, joka rajoittaa päästöjään 10 %, antaa valtiolle i hyödyn 6. Lisäksi valtio i saa hyödyn 6 tilanteessa, jossa toinen valtio leikkaa kasvihuonepäästöjä ja 12 kun kaksi valtiota rajoittaa sovitus päästöjään jne. (Sandler 2004, 20–25.)

Alemmalla rivillä esitetään tulokset, kun valtio i leikkaa omia päästöjään 10 % ja toiset valtiot joko leikkaavat tai ovat leikkaamatta päästöjään. Jos valtio i vähentää päästöjään yksin, on sen nettotulos -2 ($= 6 - 8$). Jos toinen valtio myös vähentää päästöjään niin valtio i nauttii hyödystä 4 ($= 2 * 6 - 8$) jne. (Sandler 2004, 20–25.)

Valtiolle i dominoiva strategia on olla vähentämättä päästöjään. Jos jokainen pelin valtio valitsee dominoivan strategian, päädytään Nash tasapainoon (0). (Sandler 2004, 20–25.)

Kaikki osallistujamaat hyötyisivät eniten, jos he vähentäisivät päästöjä. Tällöin jokainen saavuttaisi hyödyn 40 ja kokonaistulokseksi tulisi 320. Edellä mainittu valinta tuottaa tilanteen, jota kutsutaan sosiaalisesti optimiksi. (Sandler 2004, 20–25.)

Yhden valtion vapaamatkustaessa, olisi vapaamatkustajan tuotto 42 ja 7 muuta valtiota saisivat tuoton 34 kukin, kokonaishyödyn jäädessä 280:een. Todennäköisin

lopputulos pelissä on, että kaikki vapaamatkustavat, sillä jokainen pelaaja tavoittelee 42:n tuottoa. Kukaan ei siis vähennä päästöjään. (Sandler 2004, 20–25.)

5.3 Päästövähennysten tulevaisuuden hyötyjen diskonttaus

Kansainvälisiä ilmastopöytäsoitteluja on käyty jo vuosia. Tällöin voidaan mahdollisesti saada toistettujen pelien avulla totuudenmukaisempi kuva meneillään olevasta neuvotteluprosessista. Toistetuissa peleissä informaatio voi olla joko täydellistä tai epätäydellistä. Lisäksi on huomioitava, että ajankulumisen myötä, eri ajankohtana saatavat hyödyt tulisi jotenkin yhteismitallistaa, koska tulevaisuuden tuotot eivät ole samanarvoisia tämän päivän tuottojen kanssa. Jotta tässä hetkessä ja tulevaisuudessa saatavat tuotot olisivat vertailukelpoisia keskenään, täytyy tulevien tuottojen nykyarvo arvioida. Tämä tapahtuu diskonttauksella, jossa diskonttokoron avulla eri ajankohtien hyödyt yhteismitallistetaan. Kansainvälisessä ilmastopolitiikassa tulevaisuudessa realisoituvat hyödyt vaikuttavat luonnollisesti niihin ratkaisuihin, joita valtiot sitoutuvat tekemään nykyhetkessä, koska kustannukset realioituvat heti, kun päästövähennyksiä tehdään.

Diskonttokorko nousee ratkaisevan tärkeäksi tekijäksi silloin, kun estimoidaan hiilidioksidipäästöjen sosiaalistakustannusta, indikaattoria ilmastonmuutoksen vakavuudelle ja ilmastopolitiikan sopivalle tasolle (Anthoff, Tol ja Yohe 2010).

Anthoff, Tol ja Yohe (2010) perehtyvät asiaan tutkimuksessaan *Discounting for Climate Change*. He perustavat laskelmansa alla esitettyyn Ramseyyn yhtälöön, jossa diskonttoarvolla on kolme komponenttia: aikapreferenssiaste, suhteellinen riskiaversio ja kulutuksen kasvuaste henkeä kohti.

$$r = \tilde{n} + \zeta g$$

jossa r on diskonttokorko, \tilde{n} on aikapreferenssiaste, ζ on kulutuksen rajahyödynjousto ja g on kulutuksen kasvuaste henkeä kohti. (Anthoff ym. 2010.)

Aikapreferenssiaste \tilde{n} esittää ilmastonmuutoksen aikaskaalan. Kulutuksen rajahyödynjousto ζ osoittaa tulojen nousun rajahyödyn alenemisen asteen. Se voi myös osoittaa kuinka paljon lisähyötyä rikas henkilö saa yhdestä eurosta suhteessa köyhän henkilön yhteen lisäeuroon. Sen vuoksi ζ :n ajatellaan olevan epäoikeudenmukaisuusaversion parametri, jonka vaikutus näkyy alla olevassa yhtälössä:

$$D_w = \sum_c \left(\frac{y_w}{y_c} \right)^\zeta D_c$$

jossa D_w on ilmastonmuutoksen kokonaisvaikutukset, D_c kertoo ilmastonmuutoksen rahallisista vaikutuksista maahan c , y_w on kaikkien tulojen keskiarvo henkeä kohti ja y_c on maan c keskiarvo tulot per henkilö. Tällöin, jos $\zeta = 0$, on ilmastonmuutoksen globaali vaikutus kansallisten vaikutusten painottamaton summa. Vastaavasti, jos $\zeta > 0$, ilmastonmuutoksen vaikutukset saavat suuremman painon köyhiin maihin kuin rikkaisiin maihin. (Anthoff ym. 2010.)

Tutkimuksessa Anthoff ym. (2010) käyttivät FUND-mallia. FUND on integroitu malli, joka sisältää yksinkertaiset esitykset demografiasta, taloudesta, energiasta, päästöistä ja 16 eri alueen päästövähennyksistä. Lisäksi se sisältää päästöjen kiertokulkua, säteilyn voimakkuutta, sään sekä merien pinnan nousua kuvaavaa tietoa. (Anthoff ym. 2010.)

Lopputuloksiksi tutkijat kirjaavat seuraavanlaisia huomioita. Riippuen oletuksista, voidaan saada korkea tai matala estimaatti hiilidioksidipäästöjen sosiaaliselle kustannukselle. Estimaatti voi olla jopa syvästi negatiivinen. Toisaalta, esimerkiksi alhaisella diskonttokorolla hiilidioksidin sosiaalinen kustannus on sattumanvarainen. Tämä sen vuoksi, että estimaatti ei konvergoitu kun aikahorisontti laajenee, jolloin oletukset kaukaisesta tulevaisuudesta dominoivat tulosta. Syynä tähän on se, että kaukaiseen tulevisuuteen liittyviä oletuksia ohjaa suuri epävarmuus, jolloin tulokset ovat sattumanvaraisia. Lisäksi tutkijat huomasivat, että tulojousto ilmastonmuutoksen kokonaisvaikutuksessa on luultavasti negatiivinen. Tämän seurauksena efektiivinen diskonttokorko vaikuttaa enemmän kuin todellinen diskonttokorko (Anthoff ym. 2010)

Toisenlaista lähestymistapaa tulevaisuuden tuottojen nykyarvottamiseen käyttävät Newell ja Pizer (2001) tutkimuksessaan, jossa he diskonttaavat päästövähennysten hyötyjä tulevaisuudessa ja tarkastelevat kuinka paljon epävarmuus vaikuttaa arvoon (Newell ja Pizer 2001). Olennaista tulevaisuuden tuottojen tai mahdollisten hyötyjen nykyarvolaskennassa on diskonttokoron valinta. Varsin yleisiä tapoja on valita esimerkiksi markkinakorko tai yleinen inflaatiouauhti ja pitää valittu korko kiinteänä yli ajan.

Newell ja Pizer lähtevät tutkimuksessaan oletuksesta, että koska ilmastonmuutosten vaikutusten arvioidaan ulottuvan aina 400 vuotta tästä eteenpäin, on erittäin

todennäköistä, että valitun diskonttokoron kurssi tulee vaihtelevaan tuona aikana, eikä se näin ollen pysyisi kiinteänä. (Newell ja Pizer 2001.)

Tutkijat laskivat pitkän ajan USA:n valtionobligaatioiden pitkänajan keskimääräisen pääoman tuottoosenttiin, jolloin diskonttokoron lähtöarvoksi valittiin 4 %. Tutkimuksessa estimoitiiin koron vaihtelun epävarmuutta menneisyydessä ja tätä varten tutkijat perehtyivät valtionobligaatioiden kurssin vaihteluun aina vuodesta 1800 lähtien. Näin saadusta datasta he simuloivat tulevaisuuden korkotason mahdollisen vaihtelun. Diskonttotekijä voidaan esittää kuten alla olevassa (vasemman puoleisessa) yhtälössä silloin, kun se vaihtelee ajassa.

$$\hat{a}_t = \frac{\hat{a}_{t-1}}{1 + r_t} \Rightarrow r_t = \frac{\hat{a}_{t-1}}{\hat{a}_t} - 1$$

oikeanpuoleinen yhtälö esittää koron. Yhtälöissä \hat{a} on diskonttotekijä, r on korko ja t on aika. (Newell & Pizer 2001.)

Päästövähennyshyötyjen laskemisessa on käytetty DICE-mallia (the Dynamic Integrated Climate Economy). Malli sisältää ilmastonmuutoksen kannalta olennaisia tekijöitä, kuten mm. globaalista taloudesta ja ilmakehästä. DICE on rakennettu siten, että yksittäinen kuluttaja edustaa maailman väestöä. Siinä on lisäksi yksi tuottajasektori, joka edustaa globaalista taloudellista toimintaa, työvoiman käyttöä ja pääomaa. Tämä tuottaja tuottaa yhden hyödykkeen, osin kulutettavaksi ja osaksi kuluttajan investointeihin jokaisena periodina. Mallin korko on 4 %, joka johtaa kuluttajan tasapainottamaan nykyistä ja tulevaa kulutustaan investointien avulla. DICE malliin on asetettu myös oletukset väestönkasvusta ja teknologian kehityksestä. Malli huomio myös kasvihuonepäästöt, niiden kumuloitumisen ilmakehään sekä päästöjen vaikutukset maapallon keskilämpötilan nousuun. Koska kasvihuonepäästöt, pääasiassa hiilidioksidipäästöt, ovat suoraa seurausta taloudellisesta toiminnasta, ne esitetään suhteellisenä osuutena tuotannosta. DICE-malli olettaa, että globaalinen lämpenemisen aiheuttamat vauriot ovat suhteellinen osuus lämpötilan muutoksen neliöstä, kerrottuna globaalilla tuotannolla. Yhtälö on

$$D = c \times T^2 \times Y$$

jossa T on lämpötilan muutos, Y on kansantalouden tuotto ja c on vakio joka on yhtäkuin $1.33 \% \div (3 \text{ }^\circ\text{C})^2$. Tämä tarkoittaa, että 3 asteen nousu aiheuttaa 1.33 % häviön globaalista taloudellisesta tuotosta. (Newell & Pizer 2001.)

Tutkijat lähestyivät aihetta kahdesta näkökulmasta. Ensimmäiseksi he pitivät diskonttotekijän vakiona yli ajan. Toisen lähestymistavan alkukurssi on kiinteä, mutta sen jälkeen kurssi seuraa satunnaiskulkua. Kun tutkimuksen alkuoletuksena pidettiin pitkän ajan USA:n valtion obligaatioiden tuottokurssia, mutta tulevaisuuden kurssi seurasi datasta estimoitua satunnaiskulkua, saatiin tulokseksi, että diskonttotekijä oli 400 vuoden jälkeen tällä tavoin estimoituna yli 40 000 kertaa korkeampi, verrattuna siihen, kuin jos koron oletettiin pysyvän kiinteänä koko tämän ajan. (Newell & Pizer 2001.)

Ilmastonmuutoksen vaikutuksiin kiinteän ja toisaalta epävarmuuteen liittyvän diskonttoarvon ero oli myös suuri. Haittojen odotettu nykyarvo vuoden 2000 päästöille oli yli 80 prosenttia korkeampi silloin kun tulevaisuuden korkokurssiin oli liitetty epävarmuus. (Newell & Pizer 2001.)

Ongelmaksi diskonttoparametrin estimoinnissa muodostuu ilmastonmuutokseen liittyvä suuri epävarmuus. Tämä liittyy ilmastonmuutoksen ydinkysymyksiin. Ei tiedetä, kuinka paljon todellisuudessa päästöjä tulisi vähentää ja mikä on kasvihuonekaasujen todelliset vaikutukset tulevaisuudessa. Myös se, kuinka diskonttoparametri tulisi ylipäätään estimoida, on epäselvää ja lisäksi voidaan miettiä, onko se ylipäätään sovelias mittari ilmastonmuutoksen haitoille ja hyödyille. Viimeksi mainittuun asiaan ei tämän tutkielman puitteissa oteta kantaa. Diskonttoarvo kuitenkin nähdään tärkeänä mittarina kasvihuonekaasujen sosiaalisillekustannuksille, jonka avulla voidaan mitata paitsi ilmastonmuutoksen vakavuutta sekä osoittaa ilmastopolitiikan sopivaa tasoa.

5.4 Äärellisesti toistetut pelit

Toistetut pelit jaetaan äärellisiin ja äärettömästi toistettuihin peleihin. Äärellisesti toistetussa pelissä pelin päättymisajankohta on tiedossa. Vastaavasti äärettömästi toistettuja pelejä voidaan toistaa, nimensä mukaisesti, loputtomiin (Finus 2001, 63). Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuksien alentamiseen tähtäävää ilmastopolitiikkaa on mahdollista tutkia sekä normaalimuodon- että toistettuina peleinä. Tämä sen vuoksi, että kasvihuonekaasupäästöt on jatkuvasti meneillään oleva prosessi sekä neuvottelut asian tiimoilta ovat toistuvia. (Wood 2010)

Toistettu peli voidaan siis esittää normaalimuodon pelinä, jolloin periodeja toistetaan peräkkäin ja aika on diskreetti. Jos normaalimuodon peliä toistetaan äärellisesti, se voidaan ratkaista käyttämällä käänteistä induktiota. Tällöin pelin viimeisen periodin tulos tutkitaan ensimmäiseksi. Sen jälkeen ratkaistaan edellinen siirto ja niin edelleen, kunnes kaikki osapelit on käyty läpi, ensimmäiseen periodiin asti. Asia havainnollistuu alla olevasta esimerkistä, jossa toistetaan vangin ongelmaa N kertaa ($N < \infty$). Kyseessä on peli jossa maat A ja B valitsevat kahdesta strategiasta, joko vähentää 10 % kasvihuonepäästöjään tai eivät vähennä lainkaan. Pelin tuotot ja kustannukset on lainattu yhden periodin pelistä, joka on esitelty luvussa 5.2.

Taulukko 3 Vangin ongelma, äärellisesti toistettu peli (Sandler 2004, 21)

		B	
		ei vähennä	vähentää
A	ei vähennä	0,0	6,-2
	vähentää	-2,6	4,4

Käänteistä induktiota käyttämällä ratkaistaan ensimmäisenä pelin viimeinen periodi N , jossa molemmat vapaamatkustavat, eli valitsevat ei vähennä, samoin kuin yhden periodin pelissä, riippumatta siitä, mitä aiemmilla periodeilla on tapahtunut. Edellisellä periodilla $N - 1$, pelaajat tietävät, että vapaamatkustavat viimeisellä periodilla N , joten he valitsevat vapaamatkustuksen myös periodilla $N - 1$. Pelaajat siis vapaamatkustavat jokaisella periodilla silloin kun pelataan ilman ehtoja, tällöin yhteistyötä ei tapahdu vapaamatkustajusinsentiivin johdosta (Finus, 2001, s. 42).

Äärellisissä peleissä voidaan saavuttaa yhteistyötä siinä tapauksessa, kun ei ole tiedossa milloin peli päättyy, tällöin peli voidaan rinnastaa äärettömästi toistettuun peliin (Romp 1997, 220).

5.5 Ekstensiivisenmuodon peli ja osapelitäydellinen tasapaino

Normaalimuodon peli ei tuo esille päätöksenteon peräkkäisyyttä. Siinä päätökset tehdään yhtäaikaan, vaikka normaalimuodon peliä pelattaisiinkin toistuvasti. Ekstensiivisen muodon peli sen sijaan tuo esille peräkkäin tehtyjen päätösten strategiat. (Wood 2010.)

Koska siirrot ovat peräkkäisiä ja seuraava siirtäjä tekee päätöksensä nähtyään edellisen pelaajan siirrot, voi pelissä vallita täydellinen informaatio. Ekstensiivisen muodon peli esitetään usein pelipuuna. Jokaisessa pelipuun solmussa, lukuunottamatta päätössolmua, yksi pelin pelaajista tekee päätöksen joka määrittää sen, mikä solmu on seuraava. Jokainen solmukohta, jossa pelaaja tekee päätöksen, aloittaa ns. osapelin. Jo pelatut osapelit muodostavat historian. Päätössolmu, joka on pelin viimeinen siirto, määrää pelin tuloksen. (Romp 1997, 10–12.)

Usein ekstensiivisen muodon pelissä esiintyy monia Nash tasapainoja. Yleensä näihin tasapainoihin liittyy epäuskottavia rangaistuksia tai lupauksia joita ei voida todellisuudessa toteuttaa (Romp 1997, 31). Jotta ekstensiivisen muodon pelistä saadaan muodostettua lopputulos, on pelissä saavutettava osapelitäydellinen tasapaino jokaisessa pelin osapelissä.

Osapelitäydellinen tasapaino selvitetään käänteisellä induktiolla. Osapelitäydellistä tasapainoa varten viimeisin osapeli lasketaan ensin. Sen jälkeen otetaan nämä siirrot annettuina ja lasketaan edeltävän osapelin tasapaino. Osapelitäydellisen tasapainon avulla voidaan tutkia erilaisia strategiamahdollisuuksia ja pyrkiä luomaan sellainen neuvottelustrategia joka lopputuloksena on yhteistyö. (Wood 2010)

Osapelitäydellinen tasapaino on strategiakombinaatio s^* , joka muodostaa Nash tasapainon pelin jokaisessa osapelissä. Formaalisesti ilmaistuna: jokainen pelaaja $i \in N$ sekä pelaaja i jolla on strategia s_i ,

$$\pi_i(O_h(s^*)) \geq \pi_i(O_h(s_i, s_{-i}^*))$$

missä π_i on tuottofunktio, $O_h(s)$ on päätöshistoria, joka koostuu osapelien historiasta h , joka on seurausta h :n jälkeen pelatuista strategioista s ja s_{-i} on kaikkien muiden pelaajien strategiat. (Wood 2010.)

Osapelitäydellisen tasapainon tarkastelu auttaa ymmärtämään strategioita, mutta sillä on rajoituksensa kun tarkastellaan ihmisten käyttäytymistä. Ultimaatum -peli paljastaa

paremmin ihmsten välisen vuorovaikutuksen. (Wood 2010.) Ultimaatum -peli käsitellään luvussa 6.

5.6 Ehdollinen yhteistyö

Finus (2001, 42–44) tutkii, voidaanko yhteistyön mahdollisuutta kasvattaa lisäämällä toistuvaan peliin ehtoja ja rangaistuksia. Tällöin kyseessä on ehdollinen yhteistyö (Finus 2001, 42–44). Koska pelit jatkuvat, niihin voidaan lisätä ehtoja, uhkia ja rangaistuksia, joilla stabiilin yhteistyön todennäköisyys kasvaa (Finus 2001, 42). Kyseessä on tuolloin ehdollinen yhteistyö, koska ehdotonta yhteistyötä ei voida saavuttaa silloin kun vapaamatkustajuuskannustin on läsnä.

Jotta ehdollinen yhteistyö olisi saavutettavissa, on ehtojen täytettävä kaksi vaatimusta: ensimmäiseksi, ehtojen noudattaminen on oltava tarkastettavissa ja toiseksi, jos sovittua strategiaa rikotaan tai sitä ei noudateta, voidaan pelaajaa rangaista, jolloin rangaistuksen on oltava sekä riittävän ankara että uskottava. Silloin on oltava kannattavampaa noudattaa sopimusta kuin vapaamatkustaa. (Finus 2001, 42–44)

On luonnollista ajatella, että mitä ankarampi rangaistus sopimuksen rikkomisesta seuraa, sen tehokkaammin se estää vapaamatkustajuutta. Rangaistuksen luonne on siten merkityksellinen. Nimittäin, jos rangaistus vaikuttaa tappiollisesti myös rangaistuksen toimeenpanijaan, vaikuttaa se rangaistuksen uskottavuuteen. (Finus 2001, 42.)

Toistettujen pelien aikadimensio on joko diskreetti tai jatkuva. Diskreetti aika nähdään periodeina ($t = 0, 1, 2, \dots, T$). Ajan periodisuudella on kaksi pelin kulkuun vaikuttavaa implikaatiota. Jos joku pelin osallinen rikko ehtoja, voidaan pelaajaa rangaista aikaisintaan seuraavalla periodilla, tällöin ehtojen rikkoja ehtii saada vapaamatkustajuudesta koituvan hyödyn kuluvan periodin aikana. Tämä seikka lisää vapaamatkustajuusinsentiiviä. Kuinka paljon se lisää sitä, riippuu hyödyn ja rangaistuksen välisestä suhteesta. Vastaavasti jatkuvan ajan peleissä rangaistus voidaan antaa heti, kun sopimusriike on havaittu. Tämä seikka kasvattaa yhteistyön mahdollisuutta. (Finus 2001, 14.)

Alla olevalla chicken game -pelin matriisilla havainnollistetaan rangaistuksen uskottavuutta. Pelin osapuolina on kaksi maata, jossa maa 1 pelaa riviä ja maa 2 saraketta. Pelin tuottoja ei diskontata ja siinä käytetään ainoastaan puhtaita strategioita.

Puhtaalla strategialla tarkoitetaan sitä, että pelaaja valitsee strategia kombinaatiostaan yhden tietyn strategian. (Finus 2001, 42–44.) Maa 1 aloittaa pelin tekemällä ensimmäisen siirron ja maa 2 jatkaa sen jälkeen. Maa 1:n strategiat ovat $S_1 = \{s_{11}, s_{12}\}$

- s_{11} maa investoi päästövähennysteknologiaan
- s_{12} maa ei investoi päästövähennysteknologiaan

Maa 2:n strategiat ovat $S_2 = \{s_{21}, \dots, s_{24}\}$

- s_{21} investoidaan ehdolla, että maa 1 investoi ja ei investoida jos maa 1 ei investoi
- s_{22} ei investoida jos maa 1 investoi ja investoidaan jos maa 1 ei investoi
- s_{23} investoidaan jos maa 1 investoi ja investoidaan jos maa 1 ei investoi
- s_{24} ei investoida jos maa 1 investoi ja ei investoida jos maa 1 ei investoi

Maa 2:n strategia riippuu siis maa 1 strategiasta.

Taulukko 4 Vangin ongelma, ehdollinen yhteistyö (Finus 2001, 44)

	s_{21} $a_2 a_1; na_2 na_1$	s_{22} $na_2 a_1; a_2 na_1$	s_{23} $a_2 a_1; a_2 na_1$	s_{24} $na_2 a_1; na_2 na_1$
s_{11} $= a_1$	4.6 4.6	2.2 5.2	4.6 4.6	2.2 5.2
s_{12} $= na_1$	2 2	5.2 2.2	5.2 2.2	2 2

Matriisissa Nash tasapaino on lihavoitu ja niitä esiintyy kaksi: $S^N = \{s^{N(1)} = (s_{12}, s_{22}), s^{N(2)} = (s_{11}, s_{24})\}$. Kuitenkin jälkimmäisen tasapainon tuottava strategia ei ole uskottava. (Finus 2001, 42–44.) Tällöin maa 2:n strategian on, ettei se investoi, riippumatta siitä mitä maa 1 tekee (Finus 2001, 42–44) ja maa 1 investointi strategiallaan antaa mahdollisuuden tähän uhkaan. Maa 2:n paras vastaus olisi kuitenkin strategiavalinta a_2 (Finus 2001, 42–44).

5.7 Maine ja epätäydellinen informaatio

Kreps, Milgrom, Roberts ja Wilson (1982) ovat tutkineet maineen ja epätäydellisen informaation vaikutusta äärellisesti toistettuun vangin ongelmaan, koska useat empiiriset

tutkimukset ovat osoittaneet, että äärellisesti toistetussa vangin ongelmassa pelaajat pelaavat yhteistyötä ainakin jonkin aikaa jossakin pelin vaiheessa ja päätyvät suurempaan lopputulokseen kuin Nash tasapainossa (Kreps ym. 1982).

Kreps ym. (1982) halusivat selvittää, voiko teorian ja empirian välisen ristiriidan ratkaista käyttämällä rationaalisten ja omaa hyötyä maksimoivien oletuksien ollessa voimassa. Näiden edellä mainittujen oletusten lisäksi otettiin mukaan, kuten tutkijat ilmaisevat, 'pieni määrä, oikeanlaista' epätäydellistä informaatiota. Tutkijat epäilivät, että epätäydellisen informaation täytyy lisätä merkitsevästi yhteistyöstrategian osuutta tasapainossa ja lisäksi myös muunlainen asymmetria pelaajien välillä voisi kasvattaa yhteistyön osuutta. (Kreps ym. 1982.)

Sekventiaalisten siirtojen pelissä on saavutettava osapelitäydellinen tasapaino jokaisessa osapelissä. Jotta tällainen osapelitäydellinen tasapaino saavutetaan, silloin kun pelissä vallitsee epätäydellinen informaatio, täytyy pelin jokaisen siirron olla optimaalinen strategia. Tämä strategia edustaa pelaajan uskomusta siitä, kuinka peli tulee jatkossa kehittymään. Krepsin ym. (1982) mukaan, on jokaisessa sekventiaalisessa tasapainossa niiden siirtojen määrä, jossa jompikumpi pelaaja petkuttaa, sidottu vakioon, joka on riippuvainen todennäköisyydestä q , mutta riippumaton N :stä (N on viimeinen peli, ks. luku 5.4). Jos osapelitäydelliset tasapainot eivät ole Pareto-dominoitu millään muulla sekventiaalisella tasapainolla, niin pelissä esiintyy yhteistyötä kaikissa muissa vaiheissa paitsi viimeisissä. Näin ollen saavutetaan osittaista yhteistyötä. Yhteistyötä tehdään siis niin kauan kuin pelin viimeiset siirrot ovat kyseessä. Pelin ollessa ääretön tai pelin viimeisestä siirrosta ei ole tietoa, pelataan yhteistyötä läpi pelin. (Kreps ym. 1982.)

Seabright (1993, 118–119) esittää, että toistettu peli voi ylläpitää yhteistyökuviota sen vuoksi, että yksilöt pelkäävät valita pelissä väärin, sillä seurauksella, että he menettävät yhteistyön hyödyt tulevaisuudessa. Hänen mukaansa yhteistyön onnistumisen ehtona on, että ainakin yksi kolmesta seuraavasta oletuksesta on voimassa (Seabright 1993, 118–119):

1. Tulevaisuuden hyödyn täytyy olla riittävän suuri, jotta se ylittää pelaajien välittömän hyödyn niin, ettei kenenkään pelaajan kannata riskeerata yhteistyötä.

2. Muilla pelaajilla tulee olla riittävät keinot rangaista pelaajaa joka ei tee yhteistyötä jossakin pelin vaiheessa ja niitä keinoja tulee olla myös valmis käyttämään.
3. Yhteistyön hyötyjen tulevaisuudessa tulee olla riittävän todennäköiset ja suuret, jotta se johtaa yhteistyöhön nykyisyydessä. Pelkkä tietoisuus pelin toistettavuudesta ei riitä pitämään yhteistyötä houkuttelevana.

5.8 Äärettömästi toistetut pelit

Äärettömästi toistetut pelit voidaan määritellä kahdella tavalla. Joko niin, että peliä toistetaan äärettömän monta kertaa, jolloin peliä kutsutaan superpeliksi tai peli on äärellisesti toistettu, mutta pelin loppumisesta ei ole varmuutta (Finus 2001, 63).

Finusin (2001, 63) mielestä voidaan superpeliä pitää soveliaana approksimaationa kansainvälisissä ympäristösopimuksissa, siitä huolimatta, että sopimuksen solmijoilla on rajallinen elämän pituus. Tämä sen vuoksi, että useimmissa ympäristösopimuksissa ei rajata sopimuksen voimassaoloaikaa, jonka vuoksi valtioiden päättäjiä sitovat heidän edeltäjiensä hyväksymät sopimukset (Finus 2001, 63).

Toisin kuin äärellisesti toistetuissa peleissä, voidaan äärettömillä toistoilla saada mikä tahansa joukkoon kuuluva, kunkin toimijan yksilöllinen ja rationaalinen lopputulos (engl. pay-off) kuulumaan osapelitäydellisten Nash tasapainojen joukkoon, edellyttäen, että yksilöt ovat riittävän huolissaan tulevaisuuden tuotoista (Romp 1997, 220). Yksilöiden rationaalisuusehto edellyttää tässä tapauksessa sitä, että jokainen yksilö saavuttaa vähintään hyvinvoinnin maximin-tason, joka on vähimmäistuotto jonka pelaaja voi taata itselleen toimimalla rationaalisesti. Tällöin sellaisten strategiakombinaatioiden määrä nousee huomattavasti, joilla voidaan ylläpitää uskottavaa tasapainoa. Tämä pätee erityisesti silloin, kun pelaajina toimivat maat ovat sopineet uhkastrategiasta, jolla voidaan ylläpitää kansainvälistä yhteistyötä, sillä edellytyksellä, että maat eivät diskonttaa liian paljon tulevaisuutta. (Romp 1997, 220.) Uhkastrategiassa jokainen pelin jäsen valitsee yhteistyöstrategian pelin nykyisellä periodilla siinä tapauksessa, jos kaikki muut ovat pelanneet yhteistyötä aikaisemmilla periodeilla. Jos yksikään pelaajista poikkeaa yhteistyöstrategiasta, silloin muiden

vastaus on pelata Nash tasapainoa loputtomiin. Tämä luonnollisesti vaatii täydellistä informaatiota, jotta muut näkevät vapaamatkustuksen. (Pecorino 1999.)

Pecorino (1999) on tutkinut kuinka yhteistyötä voidaan pitää yllä toistetussa pelissä ja onko osallistujien määrän lisääntymisellä vaikutusta siihen, silloin kun kyseessä on julkinen hyödyke. Pecorinon (1999) mukaan diskonttotekijä nousee ratkaisevaksi tekijäksi. Diskonttotekijälle on löydettävissä taso, jolla yhteistyötä voidaan pitää yllä ja vapaamatkustajuus välttää (Pecorino 1999).

Tutkimuksessaan Pecorino (1999) lähtee olettamuksesta, että kaikki pelin yksilöt ovat identtisiä ja siinä analysoidaan ainoastaan symmetristä tasapainoa. Tutkimuksessa on kyseessä yhteistyö äärettömästi toistetussa pelissä, jota tuetaan uhkastrategialla. (Pecorino 1999.)

Tutkimuksessa yhteistyön pelaaminen tuottaa π^C ja jos ei pelata yhteistyötä, tuotto on π^N . Vastaavasti yhteistyöstä poikkeamisesta saatavaa tuottoa merkitään π^D . Yhteistyön rikkova pelaaja ansaitsee yhdellä periodilla π^D ja seuraavissa peleissä π^N . Jos tuotto π^N on suurempi kuin yhteistyötuoton π^C , ei yhteistyötä voida ylläpitää. (Pecorino 1999.)

Välttämätön ehto yhteistyön saavuttamiseksi läpi kaikkien periodien on

$$\pi^D + \sum_{t=1}^{\infty} \delta^t \pi^N \leq \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t \pi^C,$$

jossa δ on diskonttotekijä. Muutetaan yllä oleva epäyhtälö muotoon

$$\pi^D + \sum_{t=1}^{\infty} \delta^t \pi^N = \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t \pi^C$$

ja ratkaistaan diskonttotekijän δ kriittinen arvo δ^* . Kaikilla $\delta \geq \delta^*$, yhteistyö voidaan saavuttaa, vastaavasti silloin kun $\delta < \delta^*$, valitulla uhkastrategialla yhteistyötä ei saada pidettyä yllä. Ratkaistaan δ^* , jolloin saadaan

$$\delta^* = \frac{\pi^N - \pi^C}{\pi^D - \pi^N}.$$

Koska $\pi^D \geq \pi^C \geq \pi^N$, on $\delta^* \leq 1$. Yhteistyön ylläpitämisen vaikeutta, silloin kun ryhmän koko n kasvaa, mitataan δ^* arvolla. Jos $\delta^* \rightarrow 1^1$ ja $n \rightarrow \infty$ on yhteistyö Pecorinon (1999) mukaan mahdoton ylläpitää. Toisaalta, jos δ^* arvo on vähemmän kuin 1, samalla kun n kasvaa suureksi, voidaan diskonttoparametrille löytää arvo, jolla yhteistyötä pystytään ylläpitämään, vaikka ryhmän koko kasvaisi äärettömän suureksi. (Pecorino 1999.)

5.9 Jatkuvan strategian peli

Finus (2002) on tutkinut jatkuvan strategian kansainvälistä peliä, jossa kukin maa valitsee kuinka paljon tuottaa päästöjä. Tutkimus koskee rajat ylittäviä päästöjä, kuten kasvihuonekaasuja tai otsonikerrosta tuhoavia kaasuja, joiden vahinkojen vaikutus koostuu kaikkien maiden päästöjen kokonaismäärästä (Wood 2010).

Pelissä on N maata, $i \in I = \{1, \dots, N\}$ ja maan i päästöt ovat e_i sekä sen hyöty on u_i ,

$$u_i = \hat{a}_i(e_i) - \phi_i \left(\sum_{j=1}^N e_j \right) \quad [5.1]$$

jossa \hat{a}_i osoittaa päästöjen hyötyfunktioita ja derivaatta on aidosti positiivinen ($\hat{a}'_i > 0$) ja toinen derivaatta on negatiivinen ($\hat{a}''_i \leq 0$). ϕ_i osoittaa maiden päästöjen haittafunktioita ja oletetaan, että niiden derivaatat ovat aidosti positiivisia ($\phi'_i > 0$) sekä toinen derivaatta on positiivinen ($\phi''_i \geq 0$). Toisin sanoen, päästöjen rajahyödyt laskevat päästöjen määrän lisääntyessä, mutta rajahaitat kasvavat. (Finus 2002; Wood 2010.)

Päästöt tuottavat hyötyä maille epäsuorasti tuotannon panosten kautta ja hyödykkeiden kulutuksesta. Toisaalta hyötyfunktio voidaan nähdä päästöjen alentamisen vaihtoehtoiskustannuksena kullekin maalle, joissa alhaiset päästöt merkitsevät korkeampia vaihtoehtoiskustannuksia. (Finus 2002; Wood 2010.)

Kustannukset eivät kuitenkaan jää pelkästään päästöjen tuottajamaan kannettavaksi, koska maan i päästöt e_i aiheuttavat ympäristöhaittoja myös toisissa maissa. Tästä

¹ Tällöin tulevaisuuden tuottoja ei diskontata

syystä päästöjen vahingot riippuvat kokonaispäästöistä, $\sum e_j$. Yhtälö [5.1] osoittaa globaaleja päästöjä. Jos maat eivät toimi yhteistyössä, ne maksimoivat jokainen omia päästöjään e_i , ottaen huomioon päästöjen haitat vain omalle maalleen, eivät niiden vaikutusta muille maille

$$\max_{e_i} u_i = \hat{a}_i(e_i) - \phi_i \left(\sum_{j=1}^N e_j \right) \Leftrightarrow \hat{a}'_i(e_i) = \phi'_i \left(\sum_{j=1}^N e_j \right) \text{ kaikille } i \in I \quad [5.2]$$

Yhtälön [5.2] nuolen oikea puoli osoittaa maiden optimaalista ehtoa: maan i päästöjen rajavaihtoehtoiskustannukset ovat yhtäkuin rajahaitat kyseisessä maassa. Tämä ehto määrittää epäsuorasti maan reaktiofunktion. Kirjoitetaan reaktiofunktio muotoon $e_i = r_i(e_{-i})$, jossa e_{-i} ovat muiden maiden päästöt kuin maan i . Siitä seuraa myös kun $j \neq i$,

$$\frac{dr_i}{de_j} = \frac{\phi''_i}{\hat{a}''_i - \phi''_i} \quad [5.3]$$

Koska $\phi'' \geq 0$ ja $\hat{a}''_i \leq 0$, seuraa [5.3]:sta, että jos maa j vähentää päästöjään verrattuna Nashin tasapainoon, niin silloin maan i paras vastaus on lisätä päästöjään. (Wood 2010; Finus 2002.)

Tasapainossa päästöjen vähentämisen rajavaihtoehtoiskustannukset ovat samat kuin kaikkien muiden maiden rajahaittojen summa. Tämä pätee silloin, kun ehtona on kustannustehokkuus. Sosiaalinen tai optimaalinen päästövektori $e^S = (e_1^S, \dots, e_N^S)$ antaa korkeimman kokonaishyvinnin ja on siksi rationaalinen koko ryhmälle. Tästä seuraa, että täydellinen yhteistyö lisää kokonaishyvintä, jolloin päästöt ovat alhaisemmat kuin Nash tasapainossa. (Finus 2002.)

Täydellisen yhteistyön ja ei-yhteistyön välille saadaan osittaista yhteistyötä, mutta päästövähennykset ovat vaatimattomammat kuin täydellisessä yhteistyössä. Kokonaispäästöt ovat yleisesti korkeammat kuin sosiaalisessa optimissa, mutta alhaisemmat kuin Nash tasapainossa. (Finus 2002.)

5.10 Yhteistyön saavuttamisen ongelmia

Finus (2002) esittää 3 syytä, jotka vaikeuttavat yhteistyön saavuttamista. Ensimmäinen niistä on sellaisen ylikansallisen instituution puuttuminen, joka voisi pakottaa maat yhteistyöhön. Kansainvälinen laki, vaikkakin se toimii hyvien käytänteiden oppaana, ei ole sitova eikä pakottava. Kansainvälinen tuomioistuin voi toimia vain, jos osapuolet hyväksyvät avoimen oikeudenkäynnin. Todellisuudessa sillä ei ole täytäntöönpano valtaa. Tämän vuoksi kansainvälinen ympäristösopimus tulee hyväksyä vapaaehtoisesti. Eri osapuolten on hyväksyttävä ja luotava sopimus yksimielisesti ja lisäksi jokaisen sopimuksen osapuolen tulee huolehtia täytäntöönpanosta itse. (Finus 2002.)

Toinen syy on yksilöiden rationalisuus. Vaikka globaali hyvinvointi lisääntyy yhteistyön kautta, voi yksittäisen maan hyvinvointi silti laskea verrattuna aikaan ennen yhteistyötä, jos hyvinvointifunktiot eri mailla ovat erilaiset. Tämä pätee täyteen yhteistyöhön ja voi päteä myös osittaiseen yhteistyöhön. Rationaalisuuden vaatimus rikkoontuu, jos maalla on suhteellisen alhaiset päästöjen alentamisen vaihtoehtoiskustannukset ja se antaa vähemmän arvoa ympäristöhaitoille kuin muut maat. Tällainen maa hyötyy suhteellisesti vähemmän muihin maihin verrattuna yhteistyöstä. (Finus 2002.)

Kolmas syy on vapaamatkustajuus, jonka Finus (2002) jakaa kahteen eri tyyppiin. Ensimmäisessä vapaamatkustajuus määritellään siten, että maa jättäytyy sopimuksen ulkopuolelle ja hyötyy sopimuksen solmineiden maiden päästövähennyksistä. Toisessa vapaamatkustajuuden muodossa maat liittyvät sopimuksen, mutta eivät noudata sitä. (Finus 2002.)

Maiden hyväksyessä päästötasovektoriksi $e^* = (e_1^*, \dots, e_N^*)$, kun $e^* < e_i^N$ kaikille $i \in I$, silloin yhtälö

$$e_i(e_{-i}^*) - e_i' > 0 \text{ kaikille } i \in I, \frac{\partial(e_i(e_{-i}^*) - e_i')}{\partial e_i^*} < 0 \wedge \frac{\partial(e_i(e_{-i}^*) - e_{-i}')}{\partial e_{-i}^*} < 0$$

pitää. Tällöin vapaamatkustajuus lisääntyy, mitä alhaisemmat oman ja naapurimaiden päästöt ovat. Tässä tapauksessa vapaamatkustajuus voidaan osittaisessa tai täydellisessä yhteistyössä poistaa vain jos päästöjenvähennys -sopimukseen on sisällytetty riittävät rangaistukset sopimuksen rikkomisesta. (Finus 2002.)

Koska kansainvälinen päästövähennys -sopimus on solmittava vapaaehtoisesti, vaaditaan tämän vuoksi sopimukseen pääsemiseksi konsensusta neuvottelevien maiden välillä. Kansainvälisissä ilmastopimus neuvotteluissa yleisimmin ristiriitoja tuottavat seuraavat seikat: päästövähennyksien laajuus, päästövähennysten jakaminen sopimusosapuolten kesken, mahdollisten kompensatiomaksujen suuruus sekä kuka maksaa kompensatiota ja kuka on oikeutettu sitä saamaan. (Finus 2002.)

5.11 Self-enforcing -sopimus

Kansainvälinen ympäristösopimus on tasapainossa, jos sopimus on muovattu sellaiseen muotoon, että täyttää self-enforcing -sopimukselle asetetut vaatimukset. Self-enforcing -sopimus tarkoittaa käytännössä sitä, ettei yksikään sopimuksen hyväksynyt osapuoli hyödy sopimuksesta irtautumisesta ja yksikään sellainen osapuoli joka ei kuulu sopimuksen piiriin, hyötyisi siihen liittymisestä. Toisin sanoen, sopimukseen kuuluvien osapuolien kollektiivinen hyöty ei kasva muuttamalla sopimusehtoja, silloin kun osanottajien määrä ja sopimuksen ulkopuolisten maiden päätökset otetaan annettuna. (Barrett 1994; 2005, 63–64.)

Barrett (1994) on tutkinut self-enforcing -sopimusten ominaisuuksia kahden eri mallin kautta. Ensimmäisessä malli on määritelty siten, että endogeenisiksi tekijöiksi on otettu sopimuksen allekirjoittaneiden lukumäärä, sopimuksen ehdot ja sopimukseen kuulumattomien maiden teot. Mallissa oletetaan, että sopimusmaat maksimoivat kollektiivista nettohyötyään sekä lisäoletuksina on seuraavat: (i) maat ovat identtisiä keskenään (ii) jokaisen maan nettohyötyfunktiot ovat tiedettyjä ja kaikki ovat niistä tietoisia (iii) valitut instrumentit ovat käytettävissä ainoastaan päästöjen vähentämiseen (iv) päästötasot ovat välittömästi havaittavissa ja mitattavissa ilman kuluja (v) päästöt eivät kumuloidu ympäristöön (vi) kustannusfunktiot ovat riippumattomia. Mallin avulla pyritään selvittämään, kuinka sopimusmaiden sopimuksen täytäntöönpano vaikuttaa sopimuksen ulkopuolisten toimijoiden valintoihin. Vastaavasti jälkimmäinen osapuoli olettaa, ettei heidän valinnoillaan ole vaikutusta sopimuksen piirissä oleviin maihin. Sopimusta ylläpitäväksi mekanismiksi on valittu seuraavanlainen strategia: kun maa liittyy sopimukseen, muut sopimusmaat laskevat päästötasojaan ja vastaavasti, jos maa vetäytyy sopimuksesta, jäljelle jäävät maat lisäävät päästöjään. Strategiasta saatava

palkinto ja rangaistus ovat uskottavia, koska sopimusmaat oletuksen mukaan maksimoivat kollektiivista nettohyötyä. (Barrett 1994.)

Mallin oletuksen mukaan maailma koostuu maista $i = \{1, \dots, N\}$, joista jokainen tuottaa ympäristöä vaurioittavia päästöjä. Maan i päästövähennysten hyödyt riippuvat kokonaispäästövähennyksistä

$$B_i(Q) = b \left(aQ - \frac{Q^2}{2} \right) / N, \quad [5.4]$$

missä $B_i(Q)$ on i :n päästövähennyshyöty, a ja b ovat positiivisia parametreja ja Q on globaali päästövähennys ($Q = \sum q_i$). Yhtälön [5.4] mukaan, päästövähennysten ensimmäisen yksikön rajahyöty maalle i on ab/N . Parametri b on globaalin rajahyötyfunktion kulmakerroin. (Barrett 1994.)

Jokaisen maan päästövähennyskustannusten oletetaan riippuvan kunkin maan omista päästövähennystasoista. Maan i oletettu päästövähennyskustannusfunktio on:

$$C_i(q_i) = \frac{cq_i^2}{2}, \quad [5.5]$$

jossa parametri c kuvaa kunkin maan rajapäästövähennysten kustannuskäyrän kulmakerrointa. (Barrett 1994.)

Kun päästövähennyshyödyistä vähennetään niistä aiheutuvat kustannukset, saadaan maan i nettohyödyksi

$$u_i = B_i(Q) - C_i(q_i). \quad [5.6]$$

Koska maat ovat identtisiä, saadaan globaalisti optimaaliset päästövähennykset maksimoimalla kaikkien maiden yhteenlaskettujen nettohyötyfunktioiden summa ($\Pi = \sum_i u_i$). Täyden yhteistyön tulos löydetään siten, että valitaan Q joka maksimoi Π . Ratkaisu vaatii sen, että asetetaan jokaisen maan päästövähennysten rajakustannukset yhtäsuureksi globaalien päästövähennysrajahyötyjen kanssa. Tällöin saadaan täyden yhteistyön päästövähennystasoiksi

$$Q_c = \frac{aN}{N + \tilde{a}}, \quad q_c = \frac{a}{n + \tilde{a}} \quad [5.7]$$

jossa Q_c on globaali päästövähennys ja q_c on yksittäisen maan päästövähennys ja $\tilde{a} \equiv \frac{c}{b}$.

(Barrett 1994.)

Ei-kooperatiiviset päästövähennystasot ovat

$$Q_0 = \frac{a}{1 + \tilde{a}}, q_0 = \frac{a}{N(1 + \tilde{a})}, \quad [5.8]$$

joten $Q_c > Q_0$, jolloin maat hyötyvät täydestä yhteistyöstä, mutta mikään maa ei valitse q_c yksipuolisesti. (Barrett 1994.)

Seuraavaksi oletetaan, että n määrä maita neuvottelevat ilmastopimuksesta. Sopimuksen allekirjoittaneiden määrä, sopimuksen ehdot ja ei-allekirjoittaneiden maiden päästövähennystasot päätetään yhteisesti. Lisäksi oletetaan, että ne maat, jotka eivät ole sopimusta allekirjoittaneet, ottavat päästövähennystasot annettuna. (Barrett 1994.)

Merkitään α :lla sopimuksen allekirjoittaneiden maiden suhteellista osuutta maiden kokonaismäärästä, niin silloin αN ilmaisee sopimuksen allekirjoittaneiden määrän ja $(1 - \alpha)N$ on niiden maiden määrä jotka eivät ole allekirjoittaneet sopimusta. Olkoon $Q_n (= (1 - \alpha)Nq_n)$ kaikkien ei-allekirjoittaneiden maiden päästövähennykset ja q_n on yksittäisen ei-allekirjoittaneen maan päästövähennystaso. Koska kaikki ne maat, jotka eivät ole allekirjoittaneet sopimusta ovat identtisiä niin heidän reaktiofunktionsa on

$$Q_n(\alpha, Q_s) = \frac{(1 - \alpha)(a - Q_s)}{\tilde{a} + 1 - \alpha}. \quad [5.9]$$

Allekirjoittaneiden maiden oletetaan valitsevan Q_s joka maksimoi heidän yhteiset nettohyödyt ja q_s on kaikissa sopimuksen allekirjoittaneissa maissa identtinen. Ratkaisu on

$$Q_s^*(\alpha) = \frac{\alpha a^2 N \tilde{a}}{[(\tilde{a} + 1 - \alpha)^2 + \alpha^2 N \tilde{a}]} \quad [5.10]$$

ja kun sijoitetaan [5.10] yhtälöön [5.9] saadaan

$$Q_n^*(\alpha) = \frac{a(1 - \alpha)(\tilde{a} + 1 - \alpha)}{[(\tilde{a} + 1 - \alpha)^2 + \alpha N \tilde{a}]},$$

siten täydessä yhteistyössä $\alpha = 1$ ja toimimalla ei-kooperatiivisesti $\alpha = 0$. (Barrett 1994.)

Ainoastaan sopimus joka on stabiili, voi olla self-enforcing -sopimus. Sopimus on stabiili, jos u_s on jokaisen sopimuksen allekirjoittaneen nettohyöty ja u_n on nettohyöty jokaiselle, joka ei kuulu sopimukseen, niin

$$u_n \left(\alpha - \frac{1}{N} \right) \leq u_s(\alpha) \text{ ja } u_n(\alpha) \geq u_s \left(\alpha + \frac{1}{N} \right), \quad [5.11]$$

eikä yksikään sopimuksen allekirjoittanut maa halua irtautua sopimuksesta. Yksittäisten maiden vetäytyminen aiheuttaisi päästötaso nousun, ja vaikka samalla kustannukset pienenisivät, heikentäisi sopimusrikko sopimusta, jolloin saavutettu kustannussäästö ei korvaisi menetettyä hyötyä. (Barrett 1994.)

Barrett (1994) kuitenkin painottaa, että riippuen mallin funktioiden spesifikaatiosta ja parametrien arvoista, ei palkkion ja rangaistuksen suuruus ole ehkä riittävän suuri ylläpitämään self-enforcing -sopimusta jos sopimusmaita on paljon. Tällöin koko self-enforcing -sopimusta ei mahdollisesti synny ollenkaan tai se voi olla voimassa vain silloin, kun sopimusosapuolia on maksimissaan kolme. On myös mahdollista, että parametriarvoista riippuen, self-enforcing -sopimus voidaan saavuttaa vain niiden maiden kesken, jotka jakavat käytettävän resurssin. (Barrett 1994)

Toinen malli esittää sopimuksen äärettömästi toistettuna pelinä. Verrattuna ensimmäiseen malliin, tässä voidaan lisätä mukaan uskottavat rangaistukset. Rajoituksena on kuitenkin se, että sopimusmaiden lukumäärää, sopimusehtoja ja sopimukseen kuulumattomien maiden tekoja ei voida ratkaista endogeenisesti. Mallin vahvuudeksi Barrett (1994) ilmoittaa sen, että sen avulla voidaan saada selville maksimi määrä sopimusmaita, joiden kesken on mahdollista ylläpitää täyttä yhteistyötä. (Barrett 1994.)

Barrett (1994) saa molemmista yllä mainituista malleista yhteisen tuloksen. Tutkimuksen johtopäätös on, että ympäristösopimuksella voidaan saavuttaa laaja yhteistyö, mutta ainoastaan silloin, kun täyden yhteistyön ja ei-yhteistyön globaalisesti saavutettavat nettohyötyjen erot ovat pienet. Jos erot ovat suuret, täyttä yhteistyötä ei self-enforcing -sopimuksella voida saavuttaa, silloin kun sopimukseen osallistujia on paljon. (Barrett 1994.)

5.12 Yhteenveto

Yllä olevien esimerkkien perusteella voidaan päätellä, julkisen hyödykkeen ollessa kyseessä, että normaalimuodon pelissä vapaamatkustajuus on dominoiva strategia ja sosiaalinen optimi jää saavuttamatta.

Jos kansainvälisen ympäristösopimuksen solmista tarkastellaan yhden periodin pelinä, voidaan päätellä, että sopimus voidaan solmia, mutta kukaan osallistujista ei

todennäköisesti noudata sitä. Samoin osallistujamaiden lukumäärällä ei ole vaikutusta lopputulokseen.

Toistetuista peleistä kansainvälisen ympäristösopimuksen puitteissa voidaan todeta seuraavaa: äärellisesti toistettujen pelien avulla ei voida saavuttaa yhteistyötä. Epätäydellinen informaatio lisää osittaisen yhteistyön todennäköisyyttä. Näin saavutettava kansainvälinen ilmastopimus tuottaisi vähemmän päästöjä kuin Nash tasapaino, mutta optimi jää kuitenkin saavuttamatta.

Äärettömästi toistetuissa peleissä uhkastrategia tuottaa yhteistyötä, varsinkin silloin kun diskonttoparametrin arvo on optimaalinen. Yhteistyön saavuttamista lisäävät myös uskottavat rangaistukset vapaamatkustajuudesta. Jotta kansainvälisestä ympäristösopimuksesta saadaan self -enforcing, on siihen sisällytettävä uskottavat rangaistukset, jotka mitätöivät vapaamatkustajuudesta aiheutuvan hyödyn.

6 ULTIMAATUM -NEUVOTTELUPELI JA KOALITIOTEORIA

Ultimaatum -neuvottelupeli on äärellinen peli, jossa tehdään peräkkäisiä tarjouksia toiselle osapuolelle ja tällöin pelissä vallitsee täydellinen informaatio. Ultimaatum -neuvottelupeli paljastaa muita pelimuotoja paremmin käyttäytymisen strategioita. (Wood 2010.)

Pelin kulkua havainnollistetaan seuraavalla esimerkillä: pelissä on osallisina kaksi pelaajaa, ehdottaja ja hyväksyjä, jotka neuvottelevat 10 \$ suuruisesta summasta. Kyseinen summa edustaa onnistuneesta neuvottelusta saatua rahallista arvoa, joka menetetään jos jakosopimuksesta ei päästä yksimielisyyteen. Ehdottaja ehdottaa summaa x vastaajalle, jolloin ehdottajalle itselleen jää $10 \$ - x$. Vastaaja joko hyväksyy tai hylkää tarjouksen. Hyväksytyin tarjouksen myötä pelaajat saavat $(10 \$ - x, x)$, muutoin $(0,0)$. (Wood 2010.)

Koska peli on äärellinen, on siinä mahdollista löytää osapelitäydellinen tasapaino käänteisellä induktiolla. Tarjoukseen, jossa $x > 0$, on vastaajan optimaalinen vastaus hyväksyä tarjous. Osapelissä, jossa tarjoajan tarjous on $x = 0$, vastaaja on indiferentti sen suhteen, hyväksyykö vai hylkääkö tarjouksen. (Wood 2010.)

Vastaajalla on kaksi tasapainostrategiaa. Joko hyväksyä kaikki tarjoukset (mukaan lukien $x = 0$), tai hyväksyä kaikki tarjoukset paitsi $x = 0$. Vastaavasti tarjoajan mahdollista osapelitäydellistä strategiaa voidaan kuvata seuraavasti: i) jos tarjoaja tietää, että vastaaja hyväksyy kaikki tarjoukset, on tarjoajan optimaalinen strategia tarjota $x = 0$ ja siten saada itselleen koko 10 \$. ii) jos vastaaja hyväksyy kaikki tarjoukset paitsi $x = 0$, niin tällöin tarjoajan optimaalinen strategia on tarjota $x > 0$, jolloin tarjoaja saa $10 \$ - x$. Molemmat yllämainitut vaihtoehdot ovat osapelitäydellisen tasapainon tuottavia strategioita, mutta jos tarjoaja on tietoinen siitä, että vastaaja hyväksyy vain $x > 0$, niin silloin tämä on pelin ainut osapelitäydellinen tasapaino. Pelin Nash tasapaino löytyy seuraavasti: Tarjoaja tarjoaa summan x väliltä $[0,10]$, jolloin vastaaja valitsee funktion

$$f : [0,10] \rightarrow \{\text{hyväksyy}, \text{ei hyväksy}\}.$$

Strategiakombinaatio (x, f) on Nash tasapaino jos $f(x) = \text{hyväksyy}$, sekä ei ole olemassa sellaista $y < x$, siten että $f(y) = \text{hyväksyy}$. Tarjoaja ei halua laskea tarjoustaan, koska vastaaja hylkäisi sen ja vastaaja ei halua hyljätä tarjousta, koska muuten se ei saisi mitään. Toinen Nash tasapaino on kombinaatio $x = 0$ ja $f(x) =$

hylkää kaikille x . Nash tasapainoja on siis useita, kutakin x :ää kohti yksi. Siksi tässä yhteydessä Nash tasapaino on heikompi, kuin osapelitäydellinen tasapaino (Wood 2010.)

Güth, Schmittberger ja Swarze (1982) ovat esittäneet ultimaatum -neuvottelupelin, joka tutkii konfliktia itsekkyyden, strategisen käyttäytymisen ja oikeudenmukaisuuden näkemyksen kanssa. Güth ym. (1982) päätyivät tulokseen, että todellisessa elämässä neuvottelupelin kulku ei saa niin äärimmäistä muotoa kuin teoria antaa ymmärtää, vaan pelin tarjoava osapuoli usein pyrkii tarjouksissaan siihen, mitä pitää reiluna ja oikeudenmukaisena jakona. Vastaavasti vastapuoli ei epäröi käyttää kostoja, jos tarjous on heidän mielestään epäreilu. Empiirisissä kokeissa on havaittu, että ensimmäinen pelaaja tarjoaa yleensä merkitsevästi enemmän hyötyä toiselle pelaajalle kuin osapelitäydellisessä tasapainossa ja vastapuoli ei yleensä hyväksy tarjouksia, joka on alle 30 % kokonaissummasta. (Güth ym. 1982.) Lisäksi empiirisissä tutkimuksissa on todettu että tarjous on harvoin alle 20 % kokonaispotista, eikä se yleensä ylitä 50:tä %. Nämä ovat yleisiä tuloksia ympäri maailman tehdyissä toisistaan riippumattomissa kokeissa, mm. Indonesiassa, Venäjällä, Japanissa, Israelissa, USA:ssa sekä useissa euroopan maissa. (Fehr ja Gächter 2000.)

Oikeudenmukaista lopputulosta voidaan tutkia usealla eri tavalla. Kakun jako on yksi tällainen. Jos pelaajia on n kappaletta ja he jakavat kakun, niin silloin lopputulos on suhteellinen jos jokainen pelaaja saa $1/n$ kokoisen palan kakusta. Tulos on oikeudenmukainen (engl. envy-free) jos kukaan pelaajista ei pidä toisen saamaa palaa enemmän haluttavana kuin omaansa. (Wood 2010.)

6.1 Oikeudenmukaisuus

Vapaamatkustajuusongelma, ainakin jossakin määrin, näyttäisi teoreettisesti tarkasteltuna ratkeavan uskottavilla rangaistuksilla toistetuissa peleissä. Barrett (2005, 293–303) sen sijaan kritisoi rangaistusten todellisia vaikutuksia ja pitää sopimusten oikeudenmukaisuutta ratkaisevana, jotta sopimukset johtaisivat yhteistyöhön ja sen pysyvyyteen. Barrettin mielestä oikeudenmukaisuus on kansainvälisten ympäristösopimusten ydin. Barrett (2005, 293–303) heikentää rangaistusten uskottavuusvaatimusta ja lisää oikeudenmukaisuuden. Hänen mukaansa, vaikka

rangaistusten uskottavuusvaatimusta lievennettäisiin, ei se välttämättä auta ylläpitämään sopimusta. Sen sijaan pelaajien tulee päättää, onko sopimus 'leveä, mutta ohut' (engl. 'broad but shallow'), vai 'kapea, mutta syvä' ('narrow but deep'). 'Leveä, mutta ohut' - ilmaus pitää sisällään sopimusmuodon, jossa pyritään siihen, että kaikki maat osallistuvat sopimukseen, mutta tuolloin sopimuksen laatu heikkenee ja saadaan aikaiseksi ns. konsensus-sopimus. 'Kapea, mutta syvä' -sopimustyyppi vastaavasti ei edes lähtökohtaisesti pyri kaikkien maiden mukaan tuloon, vaan sopimuksen laatu on tärkein tekijä. (Barrett 2005, 293–303.)

Barrettin (2005, 293–303) mukaan, jos maat voisivat valita päästöjen vähennystasot, jotka maksimoivat heidän yhteistä tuottoaan ja samanaikaisesti huolehtia siitä, että kaikki maat osallistuvat yhteistyöhön, silloin sopimus saadaan aina pidettyä täydellä yhteistyöllä. Todellisuudessa, jos halutaan saavuttaa self-enforcing -sopimus, molempia yllämainittuja asioita ei voida saada. Joko sopimuksen piiriin ei saada kaikkia maita tai sitten osallistujien täytyy hyväksyä sellaiset päästöjen vähentämistasot, jotka eivät ole lähelläkään tasoa joka maksimoisi heidän yhteiset tuotot. (Barrett 2005, 293–303.)

Barrettin (2005, 293–303) mielestä ultimaatumpeli, jossa otetetaan huomioon oikeudenmukaisuus, kumoaa osapelitäydellisen tasapainon vaatimuksen. Ultimaatumpelin teoria esittää, että rangaistuksen uhka ei ole uskottava, jos tarjous kattaa esim. 40 prosenttia kokonaispotista. Empiirinen aineisto kuitenkin osoittaa, että uhka on uskottava. Näyttäisi siltä, että sopimuksesta saadaan helpommin self-enforcing, kun sopimusosapuolet pitävät sopimusta oikeudenmukaisena. (Barrett 2005, 293–303.)

Ilmastopopimusneuvotteluissa näkyy selvästi oikeudenmukaisuuden tärkeys. Vertailun vuoksi alla on IPCC:n 1996 julkaiseman II:n arviointiraportin yhteenveto päästömääristä per capita. Koko maailmanlaajuisesti päästöt ovat n. 1 tkg/hlö/vuosi (tuhatta kiloa per henkilö per vuosi). Yhdysvalloissa päästö ovat 5 tkg/hlö/vuosi, Japanissa ja Länsi-Euroopan maissa päästöt sijoittuvat 2–5:een tkg/hlö/vuosi. Kehitysmaissa päästöt ovat noin 0,6 tkg/hlö/vuosi ja useammassa kuin 50 kehitysmaassa päästöt jäävät alle 0,2 tkg/hlö/vuosi. Jos kasvihuonepäästöt halutaan pitää tasolla joka on kaksinkertainen esiteolliseen aikaan verrattuna, olisi vuosittaiset päästöt pidettävä 0,3 tkg/hlö/vuosi. Laskennassa käytetty maailman kokonaispopulaatio olisi tällöin 10 miljardia henkilöä. (toim. Bruce, Lee, Haites 1996, 95–96.) Tällä hetkellä maailman kokonaisväestö on noin 7 miljardia henkilöä.

6.2 Molemminpuolisen käyttäytymisen vaikutus

Fehr ja Gächter (2000) tutkivat, miten käyttäytymisen molemminpuolisuus vaikuttaa vapaamatkustajuuteen. He tekevät tutkimuksessaan selvän eron toiminnan molemminpuolisuudessa (eng. reciprocity), verrattuna yhteistyöhön (engl. cooperative) tai kostokäyttäytymiseen (engl. retaliatory). Kaksi viimeksi mainittua toimintaa kumpuavat toimijoiden tulevaisuuden hyötyjen odotuksista. Molemminpuolinen toiminta on toimijan vastaus ystävälliseen tai vihamieliseen toimintaan, vaikka suoranaista hyötyä ei olisi odotettavissa. Molemminpuolinen käyttäytyminen ei tarkoita samaa kuin altruistinen käyttäytyminen. (Fehr ja Gächter 2000.)

Tutkijat osoittavat työssään, että useimmat ihmiset eivät toimi puhtaasti oman hyödyn maksimoinnin ohjaamina, kuten peliteorian perusoletuksiin kuuluu. Näyttäisi siltä, että ihmiset vastaavat ystävälliseen toimintaan useimmiten vielä ystävällisemmin ja ovat yhteistyö haluisia. Vihamielinen toiminta saa vastineekseen vihamielistä toimintaa, joka voi olla ilkeää tai jopa brutaalia. Vapaamatkustajuuteen myös vastataan rangaistuksilla, jos sellainen on mahdollista, ja rangaistus annetaan vaikka rankaisija kärsisi rangaistuksesta itsekin. (Fehr ja Gächter 2000.)

Tutkijat päätyvät julkisen hyödykkeen tapauksessa lopputulokseen, että ihmiset ovat valmiita osallistumaan hyödykkeen tuottamiseen, jos muutkin toimijat tekevät niin. Toisaalta, osa toimijoista on aina oman hyödyn maksimojioita ja osa on molemminpuolisen toiminnan edustajia. Jos vapaamatkustajuudesta ei voida rangaista, johtaa se siihen, että kaikki toimijat vapaamatkustavat. Oman edun tavoittelijat vapaamatkustavat, koska se tuottaa suurimman hyödyn, vastaavasti molemminpuolisen toiminnan edustajat vapaamatkustavat, koska muutkin tekevät niin. (Fehr ja Gächter 2000.)

Pelin kulku muuttuu, jos tutkimukseen lisätään mahdollisuus rangaista vapaamatkustajuudesta. Jos rankaisu on haitallinen myös rankaisijalle, ei hyödyn maksimoija rankaise koskaan ja jos kaikki toimijat edustavat tätä linjaa, ei rangaistus ole uskottava. Mutta, jos osa toimijoista edustaa molemminpuolisen toiminnan linjaa, ovat he valmiita rankaisemaan vapaamatkustajuudesta ja oman hyödyn maksimoijat osallistuvat julkisen hyödykkeen tuottamiseen, koska he haluavat välttää rangaistuksen. (Fehr ja Gächter 2000.)

6.3 Koalitioteoria

Koalitiopelissä pelaajat, tässä tapauksessa maat, muodostavat ryhmiä eli koalitioita. Teoria pyrkii mallintamaan näiden pelaajaryhmien välistä vuorovaikutusta. Koalitio, joka sisältää kaikki pelaajat, kutsutaan suureksi koalitoksi (engl. grand coalition). (Osborne 2004, 239.) Suuren koalition stabiilisuutta tutkitaan ytimen avulla. (Wood 2010.)

Kansainvälisen ilmastopöytäkirjan puitteissa voidaan koalitioteorian avulla tarkastella, saavutetaanko maiden välistä yhteistyötä paremmin suurkoalition avulla vai onko yhteistyö todennäköisempää pienemmissä koalitio-muodostelmissa. Näitä eri asetelmia voidaan tutkia joko kooperatiivisen tai ei-kooperatiivisen peliteorian näkökulmasta. (Wood 2010.)

Finus (2001, 219) painottaa, että koalitiomallien muodostuksessa on useita haasteita. Silloin, kun osallistujia on paljon, mahdollisten koalitioiden määrä nousee suureksi. Esimerkiksi voi olla koalitio, joka on mukana sopimuksessa ja toinen koalitio, joka ei kuulu sopimuksen piiriin ja samaan aikaan voi esiintyä useita eri koalitioita. Lisäksi maa voi kuulua useampaan koalitioon. Myös sopimuksen piirissä olevat voivat muodostaa alaryhmiä niiden maiden kanssa joilla on samat tavoitteet. Maat, jotka eivät koe ilmastonmuutosta suurena uhkana, eivätkä täten kannata kunnianhimoisia päästöjen vähennyksiä, voivat muodostaa koalition, jossa he puolustavat päästöoikeuksiaan ryhmänä. (Finus 2001, 219.)

Päätös, mihin koalitioon maa liittyy, riippuu monista eri asioista ja monimutkaistaa mallin kokoamista. Se mihin koalitioon maa päättää liittyä, riippuu mm. koalitioiden päästövelvoitteista, jossa on punnittava myös muiden koalitioiden tai yksittäisten toimijoiden toimet sekä mahdollisista siirtojärjestelmistä (Finus 2001, 219).

Barrett (2005, 140) esittää, että todellisuudessa maat muodostavat koalitioita kansainvälisissä neuvotteluissa. Esimerkiksi, neuvoteltaessa Montrealin pöytäkirjasta, koalitioita muodostui runsaasti, mm. Yhdysvallat tiimiytyi Kanadan, Suomen, Norjan, Ruotsin ja Sveitsin kanssa, muodostaen ns. Toronto-ryhmän. Sateenvarjo-ryhmä taas koostui Australiasta, Kanadasta, Japanista, Uudesta Seelannista, Norjasta, Venäjältä, Ukrainasta ja Yhdysvalloista. Ympäristön koskemattomuus -ryhmä koostui Meksikosta, Etelä – Koreasta ja Sveitsistä. Pienet saarivaltiot muodostivat nimeään kantavan ryhmän. Muut koalitiot koostuivat Vähemmän kehittyneistä maista (engl.

Less Developed Countries, (LDC)), pitäen sisällään sellaiset maat kuin Kiina, Pienet kehittyvät saaret (engl. The Small Island Developing States (SIDS)) ja OPEC. (Barrett 2005, 140.)

Wood (2010) määrittää siirrettävän hyödyn (engl. transferable utility, TU-game) sisältävän kooperatiivisen koalitiopelin ytimen, jolla voidaan tutkia suurkoalition stabiilisuutta seuraavasti: olkoon N , joka koostuu n -pelaajien joukosta. Osa n -pelaajien joukosta muodostavat koalition. Merkitään tätä N :n osajoukkoa S :llä. Karakteristinen funktio v osoittaa reaalityön jokaiselle koalitiolle. N :n tuottovektori on n -ulotteinen reaalivektori $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_n)$ ja merkitään $\pi(S) = \sum_{i \in S} \pi_i$, kaikille koalitiolle $S \subseteq N$. Pelaajien joukkoa N ja karakteristista funktiota v merkitään (N, v) , jonka ydin määritellään seuraavasti:

$$\{C(N, v) = \{\pi: \pi(N) = v(N) \text{ ja } \pi(S) \geq v(S) \text{ kaikille } S \subseteq N\},$$

ydin on mahdollisten tuottovektorien joukko, joille pätee se, että mikään koalitio ei voi irtautua suurkoalitiosta ilman, että irtautuneen koalition jäsenten tuotto paranisi irtautumisen johdosta. Ydin, joka on joukko, on aina olemassa, mutta se voi olla tyhjä joukko. (Osborne 2004, 241–243; Wood 2010.)

6.4 γ -ydin

Chander ja Tulkens (1997) esittävät tutkimuksessaan kooperatiivisen pelin γ -ytimen. He osoittavat, että mallilla voidaan saavuttaa sosiaalisesti optimaalinen päästoleikkaus (Chander ja Tulkens 1997; Wood 2010).

Olkoon $\pi_i(e^S, e^{N \setminus S})$ maan i tuotto koalitiossa S ja jonka päästöt ovat e^S sekä muiden maiden päästöt ovat $e^{N \setminus S}$. Oletetaan, että jokainen maa, joka ei kuulu koalitioon S , merkitään niitä maita $N \setminus S$, maksimoivat yksilöllisiä tuottojaan, kun taas vastaavasti koalitioon S kuuluvat maat maksimoivat koalition yhteistä etua. Uhkastrategiana on koalition hajoaminen ja maat toimivat sen jälkeen yksin. S koalition γ -karakteristinen funktio on S :n jokaisen jäsenen summattu hyöty olettaen, että $N \setminus S$:n jäsenet eivät toimi yhteistyössä. (Chander ja Tulkens 1997; Wood 2010.) Tällöin saadaan (Chander ja Tulkens 1997; Wood 2010):

$$v_\gamma(S) = \sum_{i \in S} \pi_i(e^S, e^{N \setminus S}).$$

TU-peliin (engl. TU-game) liittyvä ydin voidaan nähdä mahdollisten tuottojen vektoreina suuressa koalitiossa oleville maille, jossa yksikään koalitio ei hyödy jos suuri koalitio hajoaa yksilöiksi, kun mikä tahansa koalitio eroaa siitä. Tuotot riippuvat sekä maan päästöistä että siirrettävien hyötyjen t_i maksuista maalle i , jossa pätee $\sum_{i \in N} t_i = 0$. Näin maan i kokonaistuotto on (Chander ja Tulkens 1997; Wood 2010)

$$\pi_i = \beta_i(e_i) - \phi_i \left(\sum_{j \in N} e_j \right) + t_i.$$

Chander ja Tulkens (1997) näyttävät, että γ - ydin ei ole tyhjä joukko rakentamalla tuottovektorin, joka sisältyy ytimeen. Olkoon \hat{e}_i maan i päästöt Nash tasapainossa ja e^* sen päästöt sosiaalisessa optimissa. Tällöin t_i saa arvot

$$t_i = (\beta_i(\hat{e}_i) - \beta_i(e_i^*)) - \frac{\phi_i'(\sum_{j \in N} e_j^*)}{\sum_{k \in N} \phi_k'(\sum_{j \in N} e_j^*)} \left(\sum_{k \in N} \beta_k(\hat{e}_k) - \beta_k(e_k^*) \right).$$

Näin valittu t_i on γ - ytimen tekijä, jos joku seuraavista ehdoista pätee:

- haittafunktiot ϕ ovat lineaarisia
- kaikille $S \subset N$ jossa $|N \setminus S| \geq 2$, ja kaikille $i \in S, \sum_{k \in N \setminus S} \phi_k'(e^*) \geq \phi_i'(\hat{e})$; tai
- maat ovat symmetrisiä keskenään

Jos $t_i > 0$ tarkoittaa se sitä, että siirtohyöty on saatu ja jos $t_i < 0$ on maa maksanut siirtohyödyt. Pelissä oletetaan, että siirtohyödyt hoidetaan kansainvälisen välitystoimiston kautta. Välitystoimisto joko saa maalta i ($t_i < 0$) siirtohyödyn, tai maksaa hyödyn ($t_i > 0$) maalle i . (Chander ja Tulkens 1997; Wood 2010.)

Yhtälön t_i ensimmäinen puoli osoittaa maksua maille, jotka kattavat sillä hyödyn laskun aiheuttaman Nashin tasapainon ja sosiaalisen optimin välisen eron. Toinen puoli osoittaa maksun niiltä mailta, jotka kattavat kokonaishyödyn laskun suhteessa marginaalihaittojen osaan kaikissa maissa. (Chander ja Tulkens 1997; Wood 2010.) Toisin sanoen ne maat, jotka ovat haavoittuvampia päästöjen ulkoisvaikutuksille, maksavat suuremman osan heidän tuotoistaan jonka he saavat, kun liittyvät yhteiseen ja sosiaalisesti optimaaliseen päästöjä vähennys -sopimukseen. (Finus 2001, 248.)

Malli esittää, että on mahdollista tuottaa sosiaalisesti optimaaliset päästöjä vähennykset, toisaalta näyttäisi siltä, että koalition hajoaminen ei tarjoaisi

riittävän suurta uhkaa estääkseen vapaamatkustajuuden (Wood 2010). Lisäksi mallissa esiintyvä kustannusten jakaminen antaa maille selkeän kannustimen piilottaa todellisia ympäristöön liittyviä preferenssejään ja päästöjensä vähentämiskustannuksia. (Finus 2001, 249–252; Wood 2010.)

6.5 Luvun yhteenveto

Kansainvälisiä ilmastopimusneuvotteluja käydään tarjous, hylkäys ja vastatarjous menetelmällä, kuten useimmat muutkin neuvottelut. Ultimaatum neuvottelupelin avulla voidaan paljastaa osapuolten käyttäytymisstrategioita. Kyseinen teoria esittää, että pelin jokaisessa osapelissä on saavutettava osapelitäydellinen tasapaino sekä rangaistukset, jos niitä on, on oltava uskottavat. Osa empiirisistä tutkimuksista näyttäisivät kumoavan tämän vaatimuksen.

Näyttäisi siltä, että pelin osapuolet eivät käytännössä toimisi puhtaasti rationaalisten olettamusten mukaisesti, vaan ovat valmiita rankaisemaan vapaamatkustajuudesta, vaikka kärsisivät siitä itsekin. Sopimuksen oikeudenmukaisuus näyttäisi lisäävän sopimukseen sitoutumista.

Ilmastopimusneuvotteluissa maat voidaan nähdä suuren koalition pelaajina, jotka ovat jakautuneet alajoukouksi eli koalitioiksi. Ytimen muodostaa mahdollisten lopputuloksien joukko ja mikään koalitio ei saavuta parempaa lopputulosta irtautumalla suuresta koalitiosta jos ydin on stabiili.

Keskenään symmetristen maiden on mahdollista päästä sosiaalisesti optimaalisiin päästövähennyksiin. Jos keskenään symmetriset maat muodostavat suuren koalition alajoukot ja ilmastopimuksen, voidaan ehkä päästä sosiaalisesti optimaalisiin päästövähennyksiin maailmanlaajuisesti. Ongelmaksi kuitenkin muodostuu rangaistuksen riittävä vahvuus.

7 IMPLEMENTAATIOTEORIA

Implementaatioteorian avulla pyritään löytämään vastaus ongelmaan, jossa yksilöiden lyhyen aikavälin hyödyt ovat vastakakkain pitkän aikavälin kollektiivisten hyötyjen kanssa (Wood 2010). Yksilöiden hyöty, kansainvälisen ilmastopolitiikan näkökulmasta tarkasteltuna, voidaan nähdä yhden maan hyötyä kasvihuonepäästöistä lyhyellä aikavälillä. Vastaavasti kaikki maat hyötyisivät kollektiivisesti pitkällä aikavälillä, jos jokainen maa vähentäisi päästöjään pysyvästi. Tällöin peliteorian kannalta ongelmana on, miten ei-kooperatiivinen peli tuottaisi ratkaisuksi sosiaalisen optimin? (Wood 2010).

Implementaatioteoria tutkii instituutioiden välistä toimintaa ja välisen vuorovaikutuksen lopputuloksia. Koska peliteorian avulla voidaan tutkia strategista vuorovaikutusta, on sillä keskeinen rooli implementaatioteorian tutkimuksissa. Useimmissa peliteorian sovellutuksissa pelin malli otetaan annettuna ja sen jälkeen analysoidaan yksilöiden ennustettua käyttäytymistä ja käyttäytymisen lopputulosta. Sen sijaan implementaatioteoriassa peli on se, jota muokataan. Esimerkiksi pelin lopputulos voidaan ottaa lähtökohdaksi ja tutkia, onko olemassa peli, jossa strategiavalinnat tuottavat systemaattisesti halutunlaisen lopputuloksen. (Jackson 2001.)

Havainnollistetaan implementaatio peliä seuraavasti: $N = \{1, \dots, n\}$ on pelaajien joukko ja A on mahdollisten lopputulosten joukko. Pelaaja i :n preferenssirelaatio R_i on A :ssa ja jos jokainen pelaaja i määrää hyödyn u_i jokaiselle lopputulokselle, niin silloin on $aR_i b$, jos ja vain jos $u_i(a) \geq u_i(b)$. (Wood 2010.)

Sosiaalisen valinnan korrespondenssi (engl. social choice correspondence) F kuvaa preferenssiprofiilin $R = \{R_1, \dots, R_n\}$ lopputulosten joukon joksikin osajoukoksi, jota merkitään $F(R) \subset A$. Tällöin F ei voi olla tyhjä joukko (Jackson 2001). Jos on vain yksi lopputulosten osajoukko $F(R)$, kutsutaan tätä sosiaalisen valinnan funktioksi (engl. social choice function). Sosiaalinen korrespondenssi osoittaa suotavan lopputuloksen annetuilla preferenssiprofiileilla. (Wood 2010.)

Mekanismi (M, g) muodostuu strategiaprofiilien joukosta $M = M_1 \times \dots \times M_n$ ja lopputulosfunktioista (engl. outcome function) $g: M \rightarrow A$. Ratkaisukäsite (engl. solution concept) S määrittää pelaajien käyttäytymisen mekanismeissa (M, g) , annettuna preferenssiprofiili R . Siis jos mekanismiin lisätään preferenssiprofiili, saadaan peli (M, g, R) , niin ratkaisukäsite S osoittaa strategioiden M osajoukon. Tästä saadaan johdettua lopputuloskorrespondenssi (engl. outcome correspondence)

$$O_s(M, g, R) = \{a \in A: \text{on olemassa } m \in S(M, g, R) \text{ siten että } g(m) = a\}.$$

Tärkeimpiä ratkaisukäsitteitä ovat Nash tasapaino ja osapelitäydellinen tasapaino. (Wood 2010.)

Sosiaalisen valinnanvastaavuus implementoidaan peliin mekanismilla (M, g) , ratkaisukonseptin S avulla (Wood 2010)

$$O_s(M, g, R) = F(R).$$

Bagnoli ja Lipman (1989) esittävät tutkimuksessaan ”*Provision of Public Goods: Fully Implementing the Core through Private Contributions*” tutkimukset, jossa ensimmäisessä on kyse katuvalojen tuottamisesta (julkinen hyödyke) vapaaehtoisesti. Tässä pelissä on samanaikaiset päätökset. Tutkimuksessa oletetaan täydellinen informaatio koskien yksittäistä yksityistä hyödykettä ja diskreettiä julkista hyödykettä. Yksityinen hyödyke tarkoittaa tässä varallisuutta. Jokainen toimija voi vapaaehtoisesti tukea valintansa mukaan julkista hyödykettä. Julkinen hyödyke tuotetaan, jos riittävä määrä maksajia löytyy, muutoin rahat palautetaan ja hyödykettä ei tuoteta. (Bagnoli ja Lipman 1989.)

Tutkijaparin toisessa pelissä tutkitaan laajempaa sosiaalisen päätöksen joukkoa, jossa päätetään kuinka monta katuvaloa tuotetaan. Pelissä käytetään peräkkäisiä siirtoja sekä halutaan eliminoida dominoivat strategiat että Nash tasapainon. (Bagnoli ja Lipman 1989.)

Pelin mekanismi osoittautui tehokkaaksi ja on vahva siinä mielessä, että jokainen tasapaino lopputulos on tehokas. Tutkijat osoittavat, että tasapaino -lopputulosten joukko on samansuuruinen kuin talouden ydin. (Bagnoli ja Lipman 1989.)

Tutkijat toteavat, että tuloksista oli odotettavissa seikka, että pelissä, jossa tutkitaan laajempaa sosiaalisen päätöksen joukkoa, niin tällöin pelin tuottaminen, ytimen implementoiminen oli huomattavasti hankalampaa kuin yksinkertaisessa pelissä. Tutkijat kuitenkin painottavat, että saadakseen tasapainotuloksen aikaan yksinkertaisessa pelissä, joutuivat he käsittelemään Nash tasapainon käsitettä. Täten tulokseen on suhtauduttava varauksella. (Bagnoli ja Lipman 1989.)

Kansainvälisissä ilmastoneuvotteluissa on törmätty ehdollisiin ratkaisuehdotuksiin. Maat ovat siis olleet halukkaita tekemään tietyn suuruisia vapaaehtoisia päästövähennyksiä, mutta myös valmiita lisäämään päästövähennyksiä, jos muut maat

ovat olleet valmiita sitoutumaan vähennyksiin. Esimerkiksi Kööpenhaminassa EU lupautui yksipuolisesti vähentämään päästöjään 20 prosenttia vuoden 1990 tasoon verrattuna vuoteen 2020 mennessä, mutta oli halukas nostamaan päästövähennystavoitettaan 30 prosenttiin 1990 tasoon verrattuna jos muut maat vähentäisivät päästöjään riittävästi. Australia taas vastaavasti lupautui 5 prosentin päästövähennyksiin verrattuna 1990 vuoden tasoon ilman ehtoja, mutta tietyin ehdoin nostamaan vähennykset 15 prosenttiin ja lisäehdoin 25 prosenttiin. (Wood 2010.)

Boadwayn, Songin ja Tremblayn (2011) tutkimuksessa ”*The Efficiency of Voluntary Pollution Abatement when Countries can Commit*”, tutkitaan tilannetta, jossa osallistujat sovittavat päästövähennyksensä muiden osallistujien vähennyksiin. (Wood 2010.)

Kansainvälinen päästöjen vähennyssopimus on vaikea saavuttaa ja ylläpitää, kun ylikansallista valtaa hallussaan pitävää auktoriteettia ei ole. Yhteistyöhankkeet edellyttävät, että maat ovat kykeneviä sopimaan kaikenkattavista päästöjen leikkaustasoista sekä siitä, kuinka vähennykset jaetaan eri maiden kesken. Erityisen haastavaksi asian tekee se, että vähennyskustannukset ja -hyödyt vaihtelevat suuresti maasta toiseen. Ilman yhteistyösopimuksia, päästövähennykset jäävät pelkästään maiden vapaaehtoisuuden varaan. (Boadway ym. 2011.)

Tutkimuksessa mailla on mahdollisuus käyttää olemassa olevaa päästöjen vähentämisteknologiaa, seikka joka helpottaa päästöjen optimaalista allokatiota eri maiden välillä. Päästökauppa on lisäinstrumentti, jolla päästöjen yhteensovittamisen kanssa voidaan saavuttaa optimaalinen allokatio ja vaikuttaa päästövähennysten kokonaistasoon. Päästökauppa myös mahdollistaa sen, että maiden päästöjen rajahyödyt yhtenäistyvät. (Boadway ym. 2011.)

Tutkimuksessa saavutetaan tehokkaat päästötasot, vaikka maat eivät ole identtisiä ja osaanottajamaiden lukumäärä ei ole rajoitettu. Tutkimuksessa käydään läpi kahden maan peli, jossa päätökset tehdään simultaanisesti kahdessa osapelissä. Seuraavaksi peli laajenee kolmen osapelin peliksi, jossa mukaan lisätään päästökauppa, tämä peli esitetään tässä tutkielmassa pääpiirteittäin. Itse tutkimuksessa esitellään myös laajennus usean maan asetelmaan, sekä lopuksi tutkimukseen vielä lisätään julkisen hyödykkeen tuottaminen maiden vapaaehtoisella osallistumisella. (Boadway ym. 2011.)

Tutkimuksessa maille oletetaan sopimukseen sitoutumiskyky annettuna mutta keskitytään ei-yhteistyömekanismiin joka voi tuottaa tehokkaat päästövähennystasot kun maat toimivat vapaaehtoisesti ja maksimoivat omia etujaan. (Boadway ym. 2011.)

Boadwayn ym. (2011) tutkimuksessa maita merkitään $i, j = 1, 2$. Ilman päästövähennyksiä päästötaso maalle i on kiinteä \hat{e}_i . Mallissa maa i valitsee päästöjen vähennystason a_i sitoutumalla maan j valitsemaan tasoon kertoimella m_i . Tällöin maan i vähennystasot yhteenlaskettuna ovat $A_i = a_i + m_i a_j$. Maan osallistuessa päästökauppaan päästöoikeuden hinta p muodostuu markkinoilla. Maan i hankkimia päästöoikeuksia merkitään q_i , jossa $q_1 = -q_2$. Annettuna hankittujen oikeuksien määrä, on maan i päästöt tällöin $e_i = \hat{e}_i - A_i + q_i$. (Boadway ym. 2011.)

Tosiasiallisten päästöjen hyötyfunktio maalle i on $B_i(e_i)$, missä $B'_i > 0$ ja $B''_i < 0$. Maan i kokema haitta päästöistä on päästöjen summan funktio $D_i(e_1 + e_2)$ jossa $D'_i > 0, D''_i > 0$. Tässä vaiheessa päästöjen oletetaan olevan toistensa täydelliset substituutit. (Boadway ym. 2011.)

Ensimmäiseksi etsitään sosiaalinen optimi, jolloin on ratkaistava Pareto-optimointiongelma ts. molempien maiden päästötasot valitaan siten, että ne maksimoivat yhden maan nettohyödyt. Siis maa 1 rajoittaa päästöjään siten, että maan 2 nettohyödyt ovat yhteneväiset jollain kiinteällä tasolla $\bar{\Pi}_2$

$$\max_{\{e_1, e_2\}} B_1(e_1) - D_1(e_1 + e_2) + \lambda [B_2(e_2) - D_2(e_1 + e_2) - \bar{\Pi}_2].$$

Ensimmäisen asteen ehto voidaan ilmaista

$$\frac{D'_1}{B'_1} + \frac{D'_2}{B'_2} = 1. \quad [7.1]$$

Tässä ehdossa julkinen hyödyke esiintyy ”julkisen haitakkeen” muodossa. Toisin sanoen, kummankin maan tehokkaat päästömäärät saadaan, kun maiden rajahaitat suhteessa rajahyötyihin summautuvat ykköseen. (Boadway ym. 2011.)

Ylläoleva sosiaalinen optimi on siinä mielessä rajoittava, että se huomioi vain päästöjen e_1 ja e_2 jakautumisen maiden kesken. Jos mukaan otetaan siirrettävä hyöty saadaan

$$\max_{\{e_1, e_2, T\}} B_1(e_1) - D_1(e_1 + e_2) + T + \lambda [B_2(e_2) - D_2(e_1 + e_2) - T - \bar{\Pi}_2]$$

jolloin

$$B'_1(e_1) = B'_2(e_2). \quad [7.2]$$

Yhtälö [7.1] siis kertoo kokonaispäästöjen tehokkaan tason ja yhtälö [7.2] esittää tehokkaan allokaation maissa yleisesti. (Boadway ym. 2011.)

Jälkimmäisen yhtälön ratkaisu eri $\bar{\Pi}_2$ arvoilla esittää rajat parhaimmille hyötymahdollisuuksille. (Boadway ym. 2011.)

Päästöoikeuskaupan kanssa päästövähennys -mekanismi sisältää 3 vaihetta. Vaiheessa 1 ja 2 valitut päästöjenvähennystasot m_i ja suorat vähennykset määrittävät millaisiin päästökäytäntöihin maat sitoutuvat. Vaiheessa 3 maat voivat vaihtaa oikeuksia tasapainohintaan joka määräytyy markkinoilla. Peli ratkaistaan käänteisellä induktiolla alkaen vaiheesta 3 eli päästökaupasta. (Boadway ym. 2011.)

Vaihe 3 (Boadway ym. 2011): päästökauppa

Suorat vähennykset (a_1, a_2) ja sovitetut vähennystasot (m_1, m_2) ja myös päästövähennys-sitoumukset (A_1, A_2) on määrätty edellisessä toisessa vaiheessa. Päästöoikeuksien kysyntä maalle 1 hintaan p ratkaistaan seuraavasti:

$$\max_{\{q_1\}} B_1(\bar{e}_1 - A_1 + q_1) - pq_1$$

jossa $A_1 = a_1 + m_1 a_2$. Päästöjen vähennystasot ovat kiinteät, joten päästöjen haittafunktio voidaan jättää ulkopuolelle, tällöin saadaan 1. asteen ehto:

$$B'_1(\bar{e}_1 - A_1 + q_1) = p.$$

Kysyntäfunktio päästöoikeuksille on $q_1(p, A_1)$. Differentoidaan 1. asteen ehto, jolloin

$$\frac{\partial q_1}{\partial a_1} = \frac{\partial q_1}{\partial A_1} = 1, \quad \frac{\partial q_1}{\partial m_1} = a_2, \quad \frac{\partial q_1}{\partial a_2} = m_1 \quad [7.3]$$

ja toistetaan samoin maa 2:den kohdalla, jolloin tasapainossa $q_1(p, A_1) + q_2(p, A_2) = 0$ niin hinnaksi saadaan

$$p(A_1, A_2) = B'_1(\bar{e}_1 - A_1 + q_1) = B'_2(\bar{e}_2 - A_2 + q_2),$$

joten päästökauppa johtaa päästöjen rajahyötyjen yhtenäistymiseen, mikä on ehtona yhtälössä [7.2] päästövähennysten tehokkaaseen allokaatioon kaikissa maissa. (Boadway ym. 2011.)

Vaihe 2 (Boadway ym. 2011): valitaan suorat päästövähennystasot a_1 ja a_2 .

Oletetaan, että maat ennakoivat oikein päästöoikeuksien hintoja ja ottavat ne annettuina silloin, kun tekevät päästövähennysten päätökset. Annettuna (m_1, m_2) vaihessa 1, maa 1 pyrkii maksimoimaan hyötyä seuraavasti:

$$\max_{\{a_1\}} \Pi_1 = B_1(\bar{e}_1 - A_1 + q_1(p, A_1)) - D_1(\bar{e}_1 + \bar{e}_2 - A_1 - A_2) - pq_1(p, A_1)$$

jolloin 1.asteen ehto, kun $p = B'_1$

$$\begin{aligned} F^1(a_1, a_2, m_1, m_2) &\equiv B'_1(\bar{e}_1 - A_1 + q_1(p, A_1)) + (1 + m_2)D'_1(\bar{e}_1 + \bar{e}_2 - A_1 - A_2) \\ &= 0 \end{aligned} \quad [7.4]$$

tai

$$\frac{D'_1(\cdot)}{B'_1(\cdot)} = \frac{1}{(1 + m_2)}$$

yhtälön [7.4] ratkaisu antaa maa 1 reaktiofunktion $a_1(a_2; m_1, m_2)$ ja vastaavasti maa 2 reaktiofunktion $a_2(a_1; m_1, m_2)$. Mille tahansa reaktiofunktiolle a_2 , maa 1 voi valita päästövähennystason siten, että rajahaitat suhteessa rajahyötyihin ovat yhtä sen efektiivisen kustannuksen kanssa, jolla se voi ostaa päästövähennyksiä yhden yksikön $\frac{1}{(1+m_2)}$. (Boadway ym. 2011.)

Kun differentoidaan F^1 ja F^2 ja käytetään yhtälöä [7.3], saadaan siitä seuraavat ominaisuudet kahden maan reaktiofunktioille:

$$\frac{\partial a_1(a_2; m_1, m_2)}{\partial a_2} = \frac{1 + m_1}{1 + m_2}, \quad \frac{\partial a_2(a_1; m_1, m_2)}{\partial a_1} = \frac{1 + m_2}{(1 + m_1)}$$

Reaktiokäyrät kahdelle maalle ovat lineaariset ja niiden kaltevuus (a_1, a_2) -avaruudessa ovat samat, huolimatta siitä mitkä arvot m_1 ja m_2 saavat. (Boadway ym. 2011.)

Vaihe 1 (Boadway ym. 2011): valitaan sovitettut tasot m_1 ja m_2 .

Vaiheessa 1 molemmat maat valitsevat simultaanisesti sovitettavia tasoja, m_1 ja m_2 , ennakoiden vaiheiden 2 ja 3 tuloja. Sovitettavien tasojen tasapaino tulee olla siten, että $m_1 m_2 = 1$ ja vaihe 2:n reaktiokäyrät leikkaavat toisiaan. (Boadway ym. 2011.)

Alla näemme, että kun sovitettavat tasot ovat $m_1 m_2 = 1$ ja reaktiokäyrät leikkaavat toisiaan silloin, kun päästökauppamekanismi on käytössä, tuottavat ne tasapainon maalle 1. Saadaan yhtälö

$$\Pi_1 = B_1(\bar{e}_1 - A_1 + q_1(p, A_1)) - D_1(\bar{e}_1 + \bar{e}_2 - A_1 - A_2) - pq_1(p, A_1). \quad [7.5]$$

Seuraavaksi differentoidaan [7.5] m_1 suhteen ja käytetään $p = B'_1$ sekä toisen vaiheen ensimmäisen asteen yhtälöä [7.4] saadaan

$$\frac{dD_1}{dm_1} = D'_1 \left(-m_2 \frac{\partial A_1}{\partial m_1} + \frac{\partial A_2}{\partial m_1} \right). \quad [7.6]$$

Tällöin, kun $A_1 = a_1 + m_1 a_2$ ja $m_1 m_2 = 1$ tuottaa se $A_1 m_2 = m_2 a_1 + a_2 = A_2$.

Tämän vuoksi jos $m_1 m_2 = 1$, saadaan

$$m_2 \frac{\partial A_1}{\partial m_1} = \frac{\partial A_2}{\partial m_1}$$

joka implikoi sitä, että $\frac{d\Pi_1}{dm_1} = 0$. Tämän vuoksi maa 1 ei halua vaihtaa sovitettavaa tasoa, kun reaktiokäyrät risteävät ja $m_1 m_2 = 1$. Koska sama argumentti on sovitettavissa maa 2:n, niin saadut sovitettavat tasot muodostovat tasapainon vaiheessa 1 ja ovat myös paretoitehokkaat. (Boadway ym. 2011.)

Päästöjen vähennysprosessin osapeliteasapainossa on seuraavat ominaisuudet: suorat päästövähennykset (a_1, a_2) ovat määrittelemättömät, mutta sovitettavat tasot (m_1, m_2) ja kokonaispäästövähennykset (A_1, A_2) ovat määritelty. Sovitetut tasot ovat sellaisia, että $m_1 m_2 = 1$ ja maat ovat indifferenttejä suorien ja epäsuorien päästövähennyspanosten välillä. Päästöjen tasot ovat paretoitehokkaat ja rajahyödyt yhtenäistyvät maiden välillä $B'_2 = B'_1$. (Boadway ym. 2011.)

Osapeliteydellinen tasapaino tuottaa siis päästövähennysten tehokkaan tason ja allokoii tehokkaasti päästöt läpi periodien. (Wood 2010.)

Yhteenvedona voidaan todeta seuraavaa: implementaatioteorian pelissä, peli on se jota muokataan jotta saadaan halutunlainen tulema. Boadwayn ym. (2011) tutkimuksessa ilmastopimuksen tehokkaat päästötasot summautuivat sosiaalisiksi optimiksi. Päästökaupan avulla maiden päästöjen rajahyödyt yhtenäistyvät, jolloin saavutetaan vähennysten tehokas allokaatio kaikissa maissa. Pelin jokaisessa osapelissä saavutetaan tasapaino. Maiden ei tarvitse olla identtiset jotta voidaan saavuttaa maailmanlaajuisella ilmastopimuksella sosiaalisesti optimaaliset päästötasot. Koska sitoutuminen sopimukseen tulee annettuna, vapaamatkustajuusongelmaa ei tutkita.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kansainvälisessä ilmastopolitiikassa on nähtävissä kahdenlaista vapaamatkustajuutta. Yhdysvallat on jäänyt kokonaan sitovan Kioton pöytäkirjan ulkopuolelle ja sopimuksessa mukana olevilla on mahdollisuus vapaamatkustajuuteen joko osittain tai kokonaan.

Tästä huolimatta, lähes kaikki maat, mukaan lukien Yhdysvallat, ovat allekirjoittaneet vapaaehtoisen YK:n ilmastopolitiikan, jossa määritellään päästörajat teollisuusmaille. Lisäksi kaikki sopimukseen kuuluvat maat neuvottelevat sitovasta Kioton pöytäkirjan toisesta velvoitekaudesta tai sen korvaavasta sopimuksesta. Tämä viittaisi siihen, että valtiot ovat vapaaehtoisesti halukkaita, ainakin jossakin määrin rajoittamaan päästöjään. Ilman tätä halukkuutta ei kansainvälistä ilmastopolitiikasta saataisi aikaan, sillä suvereeniteetin omaavia maita ei voi pakottaa sopimuksiin.

Ensimmäiseksi tutkimuksen alle otetaan tutkimuskysymys: onko Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä velvoitekaudella saavutettu yhteistyötä vai onko vapaamatkustajuus ollut dominoiva strategia? Peliteorian mukaan ehdotonta yhteistyötä ei voida saavuttaa, jos mukana on vapaamatkustajusintensiivi. Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden kohdalla tulee kyseeseen ehdollinen yhteistyö, jota voidaan tarkastella äärettömästi toistettavana pelinä.

Ehdolliseksi yhteistyön tekee seikka, että pöytäkirjassa on määritelty rangaistukset vapaamatkustajuudesta. Pöytäkirjan velvoitekausia on ollut tarkoitus jatkaa äärettömyyteen eikä niiden päättymisajankohta ei ole sidottu mihinkään tiettyyn ajankohtaan. Näin siitä muodostuu superpeli. Onko ensimmäisellä velvoitekaudella esiintynyt vapaamatkustajuutta, riippuu rangaistusten riittävydestä, uskottavuudesta ja siitä, ollanko niitä valmiita käyttämään. Kioton pöytäkirjan sisältämiä rangaistuksia vapaamatkustajuudesta voidaan pitää riittävinä seuraavista syistä: sopimusta rikkoneen maan on seuraavalla velvoitekaudella vähennettävä edellisellä kaudella puuttuviksi jääneet päästövähennykset, jolloin vapaamatkustajuudesta saatu hyöty kumoutuu. Lisäksi tulevat vielä 20 prosentin lisäpäästövähennykset ja kieltä osallistua tulevan kauden aikana päästökauppaan. Entä, onko rangaistukset uskottavat siitä näkökulmasta, että ne pannaan myös käytäntöön jos vapaamatkustajuutta esiintyy? Molempipuolisen käyttäytymisen tutkimus vahvistaa käsitystä, että rangaistuksia ollaan myös valmiita

käyttämään. Tällöin teorian mukaan, ensimmäisellä velvoitekaudella yhteistyö olisi voinut olla täydellistä, eikä vapaamatkustajuutta olisi esiintynyt.

Ongelmaksi pöytäkirjan täydellisen yhteistyön saavuttamiselle nousevat seuraavat seikat: sopimusta toistetaan periodittain, tässä tapauksessa velvoitekausittain, tulevaisuuden hyötyihin liittyy suuri epävarmuus sekä toinen velvoitekausi vaatii uudelleen neuvottelut. Edellä mainituista syistä johtuen, ensimmäisellä velvoitekaudella ei ole saavutettu täyttä yhteistyötä. Jotta täydellistä yhteistyötä saataisiin aikaan, pitäisi tulevaisuuden hyötyjen olla riittävän suuret. Todellisuudessa päästöleikkausten tulevaisuuden hyötyihin liittyy suuri epävarmuus, joka aiheuttaa sen, että diskonttotehtävän arvoa on vaikea estimoida. Lisäksi teorian mukaan, riittävät ja uskottavat rangaistukset takaavat osittaisen yhteistyön. Koska Kioton pöytäkirja on uudelleen neuvoteltavissa tulevien velvoitekausien osalta ja rangaistukset tulevat vasta periodin jälkeen, jolloin maa on jo saanut hyödyn vapaamatkustajuudestaan, on todennäköistä, että täyttä yhteistyötä ei ole saatu aikaan vaan yhteistyö on ollut osittaista. Tällöin, kaikki osaanottajamaat eivät ole vapaamatkustaneet ja lopputulos on parempi kuin Nash tasapainossa. Toisin sanoen, päästövähennyksiä on vähemmän kuin täydessä yhteistyössä, mutta enemmän kuin Nash tasapainossa. Lisäksi on todettava, että sopimuksen uudelleen neuvottelu silloin, kun sopimukseen sisältyy uskottavat ja riittävät rangaistukset, voi aiheuttaa sen, että vapaamatkustaneet maat irtautuvat sopimuksesta. Tällöin Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden vapaamatkustajamailla ei olisi kannustinta jatkaa toiselle velvoitekaudelle. Edellä mainitusta voidaan päätellä, että toisesta velvoitekaudesta irtautuneet Venäjä, Japani ja Kanada ovat vapaamatkustaneet ensimmäisellä velvoitekaudella joko täysin tai osittain, jolloin irtautuneet maat välttävät rangaistustoimenpiteet.

Seuraavaksi tarkastellaan kysymystä: voidaanko saada aikaan yksi, kaikki maat sitova kansainvälinen ilmastopöytäkirja? Toisen velvoitekauden tai sitä korvaavan ilmastopöytäkirjan neuvottelut ovat edenneet tarjous- ja vastatarjous menetelmällä. Tällöin meneillään olevaa neuvotteluprosessia voidaan tarkastella ultimaatumneuvottelupelin avulla, jossa teoria esittää, että osapelitäydellinen tasapaino on joko hyväksyä mikä tahansa positiivinen tarjous tai hyväksyä jos tarjous on nolla tai kaikille tarjouksille hylkää. Tässä mielessä neuvottelujen lähtökohta on hankala ja ristiriitainen, sillä ilmastopöytäkirjan neuvotteluissa tarjotaan kustannuksia jaettavaksi nykyhetkessä, toisin sanoen, annetaan vain negatiivisia tarjouksia. Sen lisäksi

päästövähennyskustannusten hyödyt, joihin liittyy epävarmuus, realisoituvat tuleville sukupolville. Koska Yhdysvallat ja kehitysmaat ovat pelanneet ilmastopimusneuvotteluissa tasapainoa 'hylkää kaikki' ehdotukset, ovat ne toimineet kuten teoria osoittaa. Jos ilmastopimusneuvottelujen näkökulma käännetään niin, että ilmastonmuutoksen torjumista pidetään hyötynä, josta koituvia kustannuksia kukin maa yrittää minimoida, niin tällöin Yhdysvallat ja kehitysmaat ovat rationaalisia toimijoita, joka vapaamatkustuksella maksimoivat hyötynsä.

On mielenkiintoista havaita, miten Yhdysvallat sekä kehitysmaat ovat molemmat valinneet neuvotteluissa saman strategian ja antavat samalla, vastakkaisilla puolilla tosin, toisilleen argumentin vapaamatkustukseen. Tässä asetelmassa voidaan myös nähdä molemminpuolisen käyttäytymisen piirteitä eli vastataan 'samalla mitalla'. Koska ainakin Yhdysvallat sekä kehitysmaat ovat valinneet strategiakseen 'hylkää kaikki' ehdotukset, voidaan päätellä, ultimaatumneuvotteluteoriaan nojaten, että neuvottelut yhdestä yksittäisestä kansainvälisestä ilmastopimuksesta tulevat päättymään tuloksettomina. Ainakin osa niistä maista, joilla on eniten menetettävää eli suurimmista päästöjen tuottajamaista ja nopeasti kasvavat kehitysmaat, tulevat jäämään sopimuksen ulkopuolelle. Tätä väittämää tukee myöskin hyötyihin liittyvä suuri epävarmuus. Ultimaatumteorian empiirisen aineiston perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että suurin osa Kioton pöytäkirjan ratifioineista maista, joilla on päästövähennysvelvoitteita jatkavat mahdolliselle toiselle velvoitekaudelle tai sen korvaavalle uudelle sopimukselle. Koska edellä mainituista sopimusosapuolista todennäköisesti osa edustaa molemminpuolista käyttäytymistä ja vastaavat yhteistyöhön vielä 'ystävällisemmin', voidaan päätellä, että päästövähennysmääriä tullaan todennäköisesti kasvattamaan.

Lopuksi vastataan viimeiseen tutkimuskysymykseen: miten ilmastopimus tulisi lähtökohtaisesti luoda ja millaiseen sopimusmuotoon olisi neuvotteluissa syytä panostaa, jotta saataisiin aikaan tehokas, sosiaalisesti optimaalinen sitova kansainvälinen ilmastopimus? Maat ovat jo sopimusneuvotteluvaiheessa muodostaneet koalitioita. Tällöin parhaimmaksi lähtökohdaksi uudelle ilmastopimukselle muodostuu koalitioteorian antama viitekehys. Koalitioteorian perusteella vain keskenään symmetristen maiden kannattaa muodostaa keskinäiset sopimukset. Koalitioteoria esittää, että mallilla voidaan saavuttaa sosiaalisesti optimaaliset päästötasot. Tällöin, jos kaikki maat muodostava suuren koalition, joka on

jakautunut keskenään symmetristen maiden muodostamiin alakoalitioihin, voidaan todennäköisemmin saavuttaa koko maapallon kannalta sosiaalinen optimi kokonaispäästoleikkauksissa. Jos vain osa maista muodostavat koalitioita ja osa jää ulkopuolelle, ei päästä globaaliin sosiaalisesti optimaaliseen leikkaustasoon.

Implementaatioteoria kumoaa symmetrisyyden vaatimuksen, joten koalitioita voivat muodostaa myös keskenään erilaiset valtiot. Päästökauppa yhtenäistää eri maiden päästörajahyödyt ja saavutetaan tehokkaat päästoleikkaustasot. Ilmastopimus neuvotteluissa tulisi keskittyä usean ilmastopimuksen olemassaoloon eri koalitioille ja globaalit päästoleikkaustasot sovitetaan sosiaalisen optimin tasolle. Lisäksi sopimusten tulisi olla jatkuva-aikaisia, jolloin sopimuksesta poikkeamisesta voitaisiin rangaista heti. Ongelmaksi muodostuu sosiaalisesti optimaalisten päästötasojen saavuttaminen ja oikeudenmukaisuuden vaatimukset. Jos sosiaalisesti optimiksi määritellään, että hiilidioksidipäästöjen maksimimäärän tulisi olla kaksinkertainen esiteolliseen aikaan verrattuna, tarkoittaisi se käytännössä, että päästöjä saisi globaalisti olla 0,3 tkg/hlö/vuosi. Teollisuusmaiden päästöt vaihtelevat tällä hetkellä 2–5 tkg/hlö/vuosi ja kehitysmaissa noin 0,6 tkg/hlö/vuosi. Kehitysmaat vaativat oikeudenmukaisuuden nimissä, että joko heille sallitaan päästötasojen nousu tai teollisuusmaiden on kompensoitava päästoleikkausten aiheuttamat kustannukset. Jos kehitysmaat voivat jatkaa päästötasojen nostoa, tarkoittaa se käytännössä negatiivisia päästöjä teollisuusmaille. Päästoleikkausten tarpeen ja todellisten päästöjen välinen kuilu on tällä hetkellä niin suuri, että sosiaalinen optimi, edellä määritellyllä tavalla, sekä lisätyn oikeudenmukaisuuden vaatimukset, ovat tällä hetkellä saavuttamattomissa.

Lopuksi: koalitioteorian avulla voitaisiin mahdollisesti selvittää myös sellaisia seikkoja, kuten miksi maat ylipäättään sitoutuvat heille lähtökohtaisesti epäedulliseen sopimukseen tai miksi mailla olisi insentiivi muodostaa vapaaehtoisia koalitioita ympäristöongelmien selvittämiseksi. Nämä voisivat olla mielenkiintoisia jatkotutkimusaiheita, joiden tuloksista voitaisiin ehkä löytää osviittaa sille, kuinka muodostaa tehokkaita kansainvälisiä ympäristösopimuksia tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Anthoff, D., Tol, R. & Yohe, G. (2010) *Discounting for climate change*, Working paper nro 276. The Economic and Social Research Institute, Irlanti.
<<http://www.econstor.eu/bitstream/10419/50118/1/591225506.pdf>>, haettu 13.9.2011
- Auringon lähettämän säteilyn vaihtelut ja ilmastonmuutos. Ilmatieteen laitos.
<http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1bcf35ea-9104-47c8-bb37-498e88393997/auringon-sateilyn-vaihtelut.html#h_Lyhytaaltainen_saeteily_hajottaa_ylaeilmakehaen_otsonia>, haettu 02.09.2012.
- Averyt, K.B., Chen, Z., Manning, M., Marquis, M., Miller, H.L., Qin, D. ja Tignor, M. (2007), *IPCC,2007: Summary for Policymakers*. Teoksessa: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom ja New York, NY, USA.
- Bagnoli, M. Lipman, B.L. (1989), Provision of public goods: Fully implementing the core through private contributions", *The Review of Economic Studies*, Vol. 56, (4), 583–601.
- Barrett, S. (1994) Self-enforcing international environmental agreements, *Oxford Economic Papers*, 878–894.
- Barrett, S. (2007) *Why cooperate?: the incentive to supply global public goods*, Oxford University Press, Oxford, New York.
- Barrett, S. (2005) *Environment and Statecraft.: The Strategy of Environmental Treaty-Making*. Oxford University Press, Oxford.
- Benedick, R.E. (1998) *Ozone diplomacy: New directions in safeguarding the plane*. Harvard University Press.
- Boadway, R., Song, Z. ja Tremblay, J.F. (2011) The efficiency of voluntary pollution abatement when countries can commit. *European Journal of Political Economy*. Vol. 27 (2), 352–368.
- Bruce, J.P., Lee, L. ja Haites, E. (toim.) (1996) *Climate Change 1995, Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Press Syndicate of the University of Cambridge, United States of America.
- Canziani, O.F., Hanson, C.E., van der Linden, P.J., Palutikof, J.P. ja Parry, M.L. (2007) *IPCC, 2007: Summary for Policymakers*. Teoksessa: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 7-22.

- Chander, P. – Tulkens, H. (1997) *The core of an economy with multilateral environmental externalities*. Physica Verlag, An Imprint of Springer-Verlag GmbH.
- Dasgupta, P. (2008) Discounting climate change. *Journal of Risk and Uncertainty*, Vol. 37 (2) 141–169.
- Fehr, E. – Gächter, S. (2000) Fairness and retaliation: The economics of reciprocity. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 14 159–181.
- Finus, M. (2002), Game theory and international environmental cooperation: any practical application?. *Controlling Global Warming: Perspectives from Economics, Game Theory and Public Choice*, 9–104.
- Finus, M. (2001) *Game theory and international environmental cooperation*, Edward Elgar, Cheltenham, UK ; Northampton, MA.
- Güth, W., Schmittberger, R. ja Schwarze, B. (1982) An experimental analysis of ultimatum bargaining. *Journal of Economic Behavior & Organization* Vol. 3 (4) 367–388.
- Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (IPCC), suom. Kimmo Ruosteenoja 2007, *Ilmastonmuutos v.2007: luonnontieteellinen perusta, yhteenveto päätöksentekijöille*, Ilmatieteen laitos.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D.W. ja Medina-Elizade, M. (2006) "Global temperature change", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103, no. 39, pp. 14288-14293 .
- Hester, R.E. – Harrison, R.M. (2002) *Issues in Environmental Science and Technology: Global Environmental Change*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, GBR.
- Ilmastokokoukset. ilmasto.org
< http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/politiikka/kansainvalinen_ilmastopolitiikka/ykn_ilmastokokoukset.html > haettu 17.06.2012.
- Ilmastonmuutos. Ilmatieteenlaitos. <<http://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutos>>
haettu 28.05.2012.
- Ilmastonmuutos lyhyesti. ilmasto.org.
<<http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/lyhyesti.html> > haettu 07.07.2012.
- Jackson, M.O. (2001) A crash course in implementation theory. *Social Choice and Welfare*, Vol. 18 (4), 655–708.
- Kansainvälinen ilmastopolitiikka. ilmasto.org.
< http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/politiikka/kansainvalinen_ilmastopolitiikka.html > haettu 07.07.2012.

- Kansainvälinen ilmastopolitiikka: Kioton pöytäkirja. ilmasto.org.
< http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/politiikka/kansainvalinen_ilmastopolitiikka/kioton_poytakirja.html > haettu 01.07.2012
- Kioton pöytäkirja. Valtion ympäristöhallinto.
< <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=397573&lan=FI> > haettu 01.07.2012.
- Kosonen, K. (2009). ilmasto.org
<http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/politiikka/kansainvalinen_ilmastopolitiikka/ykn_ilmastokokoukset/bonn.html>haettu 23.06.2012.
- Kreps, D.M., – Wilson, R. (1982) Reputation and Imperfect information. *Journal of Economic Theory*, Vol. 27 (2) 253–279.
- Meyer, A. (2000) *Contraction & convergence: the global solution to climate change*. Green Books for the Schumacher Society, Totnes, Devon.
- Montrealin pöytäkirja. Suomen ympäristökeskus.
<<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=404897&lan=FI>> haettu 10.06.2012.
- Neuvotteluprosessi. ilmasto.org. <<http://ilmasto.org/durban/neuvotteluprosessi>> haettu 24.06.2012.
- Newell, R. – Pizer, W.(2001), Discounting the benefits of climate change mitigation- How much do uncertain rates increase valuations? Pew Center on Global Climate <<http://www.rff.org/rff/Documents/RFF-RPT-disbenefits.pdf> > haettu 23.09.2012.
- Organization. Intergovernmental Panel on Climate Change.
<<http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>> haettu 07.07.2012
- Osborne, M.J. (2004), *An introduction to game theory*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Parties & Obsevers. United Nations Framework Convention on Climate Change.
<http://unfccc.int/parties_and_observers/items/2704.php> haettu 02.07.2012.
- Pecorino, P. (1999), The effect of group size on public good provision in a repeated game setting. *Journal of Public Economics*, Vol. 72 (1) 121–134.
- Romp, G. (1997). *Game theory : introduction and applications* Oxford University Press, Oxford.
- Sandler, T. (2004), *Global collective action*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Seabright, P. (1993), Managing Local Commons: Theoretical Issues in Incentive Design, Vol. 7 (4) 113–134.

Smith, R.J. (2010), *The Road to a Climate Change Agreement Runs Through Montreal*. Peterson Institute for International Economics.

Status of ratification of the Kyoto Protocol. United Nations Framework Convention on Climate Change],
<http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php> haettu 02.07.2012.

Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Cancùnin Ilmasto-istunnot, Meksiko, 28.10.-10.12.2010. Suomen Ympäristöministeriö.

Suomen valtuuskunnan loppuraportti, Durbainin Ilmasto-istunnot, Etelä-Afrikka 28.11.–9.12.2011. Suomen Ympäristöministeriö.

The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. Ozone secretariat.
<http://ozone.unep.org/new_site/en/montreal_protocol.php> haettu 10.06.2012.

Tynkkynen, O. (2011), ilmasto.org <<http://ilmasto.org/durban/neuvottelut/durban-lapimurto-vai-laiha-sopu>> haettu 24.06.2012.

Tynkkynen, O. (2009), ilmasto.org <<http://ilmasto.org/koopendamina/>> haettu 23.6.2012.

Tynkkynen, O. (2008), ilmasto.org.
<http://www.ilmasto.org/ilmastonmuutos/politiikka/kansainvalinen_ilmastopolitiikka/ykn_ilmastokokoukset/poznan.html> haettu 23.06.2012.

Wigley, T.M.L. (2005), The climate change commitment. *Science*, Vol. 307 (5716) 1766–1769.

Wood, P. (2010), *Climate Change and Game Theory: A Mathematical Survey*, CCEP working paper 2010, Centre for Climate Economics & Policy, Crawford School of Economics and Government, The Australian National University, Canberra.

Yamin, F. (2005), *Climate change and carbon markets: a handbook of emission reduction mechanisms*, Earthscan, London ; Sterling, VA.

LIITE 1

Kioton pöytäkirjan Liitteen I maat

Alankomaat	Puola
Australia	Portugali
Belgia	Ranska
Bulgaria	Romania
Eesti	Ruotsi
Englanti	Saksa
Espanja	Slovakia
Euroopan talousyht.	Slovenia
Islanti	Suomi
Irlanti	Sveitsi
Italia	Tanska
Itävalta	Tsekin tasavalta
Japani	Turkki
Kanada	Ukraina
Kreikka	Unkari
Kroatia	Uusi Seelanti
Latvia	Valko-venäjä
Liechtenstain	Venäjä
Liettua	Yhdysvallat
Luxemburg	
Monaco	
Norja	