

# SUOMEN METSÄTALOUDEN ROOLI EU:N ILMASTOPOLITIIKASSA

Jyväskylän yliopisto  
Kauppakorkeakoulu

Pro gradu -tutkielma

2018

Tekijä Kia Pääkkönen  
Oppiaine Taloustiede  
Ohjaaja Heikki Lehkonen



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

## TIIVISTELMÄ

Tekijä Kia Pääkkönen	
Työn nimi Suomen metsätalouden rooli EU:n ilmastopolitiikassa	
Oppiaine Taloustiede	Työn laji Pro gradu -tutkielma
Aika Toukokuu 2018	Sivumäärä 52
Tiivistelmä <p>Kansainvälisen ja kansallisen ilmastopolitiikan tavoitteena on hillitä ja ehkäistä ilmastomuutosta, jota pidetään aikakautemme suurimpana ympäristöuhkana. Ilmastomuutosta aiheuttavat kasvihuonekaasut, joista merkittävin on hiilidioksidi. Niitä syntyy eniten fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja muutoksista maankäytössä. Ilmastopolitiikan välineitä kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ovat päästökauppa, ympäristöverot, lait ja säädökset sekä erilaiset tukijärjestelmät. Energiasektoria pidetään maailman saastuttavimpana yksittäisenä sektorina, jonka haitallisia päästöjä pyritään rajoittamaan lisäämällä uusiutuvan energian käyttöä fossiilisten polttoaineiden sijaan. Yksi uusiutuvan energian lähteistä on puu. Puun käyttöön ja metsiin kohdistetaan poliittista erityishuomiota, sillä metsät sitovat itseensä ilman hiilidioksidia ja toimivat siten niin kutsuttuina hiilinieluinä. Toisaalta metsien hakkaaminen ja puun käyttö aiheuttavat hiilidioksidin vapautumista ilmakehään, jolla on ilmastoä lämmittävä vaikutus. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan metsien roolia ilmastopolitiikassa. Suomessa on laajat metsävarannot, joten metsien käyttöön liittyvä päätöksenteko on merkittävää ilmaston, metsänomistajien ja yhteiskunnan kannalta. Poliitiikan tehtävänä on ohjata metsäresurssien käyttöä kestäväälle tasolle ja löytää parhaat mahdolliset keinot metsien hyödyntämislle ilmastomuutoksen hillinnässä. Metsien käytön rooli on kuitenkin kiistanalainen ilmastovaikutusten osalta.</p>	
Asiasanat Ilmastomuutos, päästökauppa, Pigou -vero, metsätalous, biopolttoaine, hiilinielu	
Säilytyspaikka Jyväskylän yliopiston kirjasto	

## SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ .....	3
1 JOHDANTO .....	4
1.1 Johdanto aiheeseen .....	4
1.2 Aiheen valinta.....	6
2 ILMASTONMUUTOS JA ILMASTOPOLITIikka.....	8
2.1 Ilmastonmuutos ja sen vaikutukset.....	8
2.1.1 Ilmastoriskit Suomessa.....	9
2.2 Kansainväliset ilmastositimukset ja niihin liittyvät velvollisuudet	10
2.3 EU:n ilmastopolitiikka.....	12
2.3.1 Suomen kansallinen energia- ja ilmastopolitiikka.....	13
3 YMPÄRISTÖTALOUSTEORiat POLITIikan TUKENA .....	16
3.1 Ympäristötalousteoriaa .....	16
3.2 Ympäristötalousteoriaa metsien osalta .....	20
3.3 Julkisen vallan ohjauskeinoja .....	21
4 ILMASTOPOLITIikka JA METSÄTALOUS.....	24
4.1 Päästökauppa.....	24
4.2 Markkinalähtöisten poliittisten toimenpiteiden vertailua .....	27
4.3 Ilmastopolitiikan vaikutukset ja onnistuminen metsätalouden näkökulmasta.....	31
5 METSÄTALOUS JA BIOPOLTTOAINEET .....	34
5.1 Metsien käyttö ja hiilinielu Suomessa.....	34
5.2 Lyhyt ja pitkä aikaväli .....	35
5.3 Hintojen vaihtelun vaikutukset biopolttoaineiden käytölle.....	38
5.4 Maailmalla ja Suomessa saatuja tutkimustuloksia ilmastovaikutuksista, kun puupohjaisia biopolttoaineita käytetään korvaamaan fossiilisia energialähteitä.....	39
6 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	41
LÄHTEET.....	43

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Johdanto aiheeseen

Ympäristön ja ilmaston pilaantumista pidetään yhtenä merkittävimmistä ihmiskunnan ongelmista maapallolla. Teollistumisen myötä ympäristöön aiheutuvat haitat, kuten jätteet ja vesien saastuminen sekä ilmaston pilaantuminen lisääntyivät radikaalisti. Kesti 1960-luvulle asti, että laaja-alainen herääminen ympäristöasioiden suhteen tapahtui. Ympäristöherätys lähti liikkeelle johtavista teollisuusmaista Yhdysvalloissa ja Euroopassa, joissa tapahtui nopeaa taloudellista kasvua. Samalla huomattiin, että jatkuva kasvun tavoittelu voi aiheuttaa haitallisia sivuvaikutuksia ympäristöön, joihin tulee puuttua. (Hård & Jamison 2005, 276-279.)

Suomessa 1960- ja 1970-luvuilla alkoi yrityksiin kohdistuvan ympäristölainsäädännön kehitys. Pian ymmärrettiin, ettei pelkkä lainsäädäntö riitä ympäristöongelmien ratkaisemiseen tai kurissa pitämiseen, vaan tarvitaan myös apukeinoja yritysten tietoisuuden parantamiseksi. 1980- ja 1990-luvuilla kehitettiin työkaluja yritysten ympäristötietoisuuden edistämiseksi. Yrityksille laadittiin muun muassa ympäristöoppaita, järjestettiin koulutuksia ja asetettiin standardeja. 2000-luvulla vastuullisuusasioihin on kiinnitetty aiempaa suurempi huomio maailmanlaajuisesti. (Joutsenvirta, Halme, Jalas & Mäkinen 2011, 12.)

Uusklassinen ympäristötaloustiede selittää ympäristön tilan huonontumista markkinoiden epäonnistumisella, kuten negatiivisilla ulkoisvaikutuksilla. Niillä tarkoitetaan kaupankäynnin ulkopuolisille aiheutuvaa haittaa, jota kaupankäynnin kumpikaan osapuoli ei korvaa, esimerkiksi yksityisautoilun aiheuttamaa ilman saastumista. Markkinarakenteita voidaan korjata julkisen vallan aktiivisilla toimilla. Ympäristötaloustieteilijät suosittelevat poliittisia päättäjiä käyttämään vihreitä veroja, markkinavetoisia päästölupia ja edesauttamaan ympäristömarkkinoiden syntymistä, jotta yhteiskunnan hyvinvointi saavuttaa optimitason. Ympäristötaloustieteen kehitys alkoi 1960-luvulla ja sen päähuomio keskittyi biodiversiteetin, ilmaston ja talouden välisiin yhteyksiin. Tällä hetkellä ilmastonmuutos ja siihen liittyvä hiilikauppa ovat saaneet erityishuomiota tutkimuskentässä. Vaikka ympäristötaloustieteen kehitys on suhteellisen uutta, ovat taloustieteilijät jo 1700-luvulla kiinnittäneet huomiota luonnonvarojen ja talouden välisiin yhteyksiin. Kiinnostus metsänhoitoa kohtaan heräsi 1800-luvun alussa taloustieteilijöiden keskuudessa, kun pohdittiin metsänhakkuun optimaalista aikaa. Martin Faustmann laski jo vuonna 1849 metsien kiertoajan (rotaation) perustuvan metsien arvon maksimointiin. (Naskali 2015.)

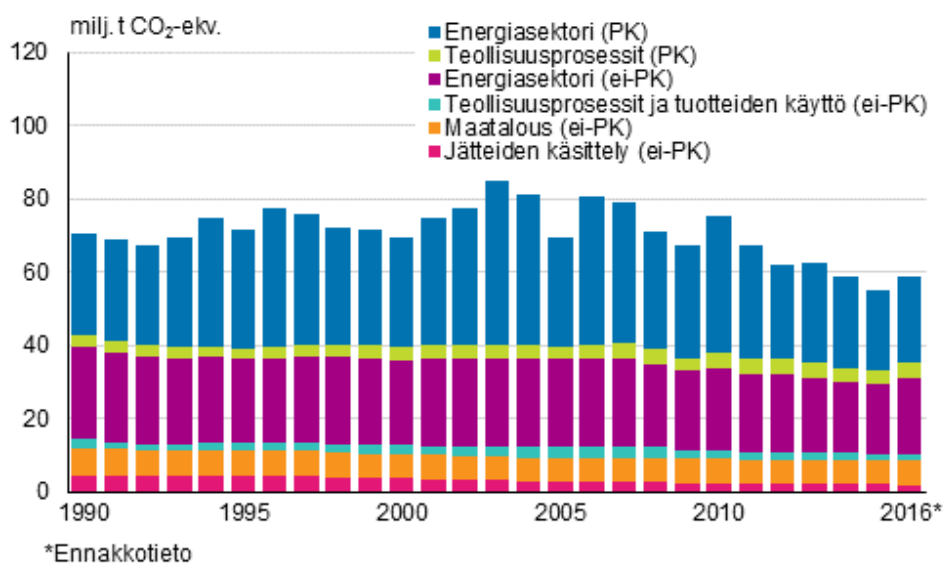
Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan pitkän aikavälin muutosta ilmastossa. Maapalloa ympäröi kaasuja sisältävä ilmakehä, joka päästää auringon säteet lävitseen lämmittämään maata. Kaasujen ominaisuutena on kuitenkin olla päästämättä osaa lämmöstä takaisin avaruuteen. Etenkin hiilidioksidi, typen oksidit ja metaani ovat kaasuja, jotka estävät lämpöä karkaamasta avaruuteen. Niitä kutsutaan kasvihuonekaasuiksi. (Ilvesniemi 2012.) Ihmisen toiminnan, kuten

fossiilisten polttoaineiden käytön ja metsänhakkuiden seurauksena niiden määrä on lisääntynyt ilmakehässä teollistumisen myötä yli sadan vuoden ajan (IPCC 2011). Energiasektori on maailman suurin kasvihuonekaasujen aiheuttaja ja energiantarpeen odotetaan vielä lisääntyvän tulevaisuudessa jatkuvan väestönkasvun sekä talouskasvun seurauksena. (IPCC 2014). Vuosina 2004 ja 2008 maailman energiantuotannosta 85% tapahtui polttamalla fossiilisia polttoaineita, joita ovat öljy, kivihiili ja maakaasu. Vuonna 2040 määrän arvioidaan olevan yhä korkea 77%, vaikka fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään korvaamaan uusiutuvilla energialähteillä (EIA 2017, 7.2.2018). Biomassat, tuulivoima ja vesivoima kuuluvat uusiutuviin energialähteisiin ja niiden käyttöä pidetään ilmastomielessä puhtaampana vaihtoehtona kuin fossiilisten polttoaineiden käyttöä. (IPCC 2011.)

Maailman vuotuinen energiankäyttö on yli 130000 terawattituntia (TWh), josta Suomen osuus on noin 400 TWh eli 0,3 prosenttia. Suomessa kokonaisenergiasta tuotetaan alle puolet fossiilisilla polttoaineilla, joka on selkeästi maailman keskiarvoa vähemmän. Puupohjaisten raaka-aineiden määrä on noin 20% energiantuotannosta, josta valtaosa tulee sivutuotteena metsäteollisuudesta ja osa metsähakkeesta. Loput energiasta tuotetaan ydinvoimalla 18,5%, jonka osuus Suomessa on keskimääräistä suurempi. Vesivoimalla tuotetaan noin 3,5% eli sen osuus on suhteellisen vähän. Turpeen käyttö on noin 5%, joka on kansallinen erikoisuutemme energiankäytössä. (Ilvesniemi 2012.)

Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt vuonna 2016 Tilastokeskuksen mukaan olivat 58,9 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttonnia (t CO<sub>2</sub>-ekv.). Edelliseen vuoteen verrattuna päästöt nousivat 6% ja vuoteen 1990 verrattuna päästöt olivat noin 17% pienemmät. Vuotta 1990 käytetään päästöjen laskennassa vertailuvuotena. (Tilastokeskus 2017, 8.2.2018.)

Kuva 1 havainnollistaa Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosilta 1990-2016 eri sektoreiden osalta. PK tarkoittaa päästökauppaan kuuluvaa sektoria ja ei-PK tarkoittaa päästökauppaan kuulumatonta sektoria.



Kuva 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain 1990-2016. Vuosi 2016\* on ennakkotietoina. Lähde: Tilastokeskus 2017, 8.2.2018.

Suomen päästömäärät ovat vaihdelleet huomattavasti vuodesta riippuen. Joh-tuen muun muassa eniten päästöjä aiheuttavan energiasektorin sisällä tapahtu-vista muutoksista. Näitä muutoksia aiheuttavat sähkön tuonnin ja fossiilisen lauhdesähkön vaihtelu, sääolojen keskimääräinen vaihtelu ja uusiutuvan ener-gian osuus energiatuotannossa. Vuonna 2016 puupohjaisilla polttoaineilla ka-tettiin reilu neljännes Suomen kokonaisenergian kulutuksesta. Niistä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ei lasketa energiasektorin päästöihin mukaan, vaan ne ra-portoidaan Maan käyttö, maankäytön muutos ja metsätalous (LULUCF, land use, land-use change and forestry) -sektorilla. (Tilastokeskus 2016b, 8.3.2018.)

Puupohjainen energia on Suomessa kustannustehokkain uusiutuvan energian muoto. Sen käytön etuina ovat kotimaisuus sekä ilmastohyödyt. Ko-timaisuudella muun muassa parannetaan energian tuotannon vakautta ja lisä-tään työllisyyttä kotimaassa. Metsien kestävää hoitoa ja käyttöä ohjataan kan-sallisella ja kansainvälisellä politiikalla. EU:lta puuttuu metsäsektoria koskeva yhtenäinen säädösperusteinen politiikka, mutta metsäsektoriin vaikuttavat vahvasti EU:n energia-, ilmasto- ja ympäristöpolitiikat. Kansainvälisistä sopi-muksista YK:n ilmastosopimus ja Kioton pöytäkirja velvoittavat jäsenmaitaan kasvihuonekaasujen vähentämiseen, jonka yhtenä keinona on puupohjaisen energiankäytön lisääminen. (Maa- ja metsätalousministeriö 2015, 20.4.2018.)

## 1.2 Aiheen valinta

Työni on kirjallisuuskatsaus, jossa monipuolisia lähteitä ja tutkimustuloksia hyödyntäen selvitän, mitä vaikutuksia ilmastonmuutoksella ja ilmastopolitiikal-la on metsätaloussktoriin Suomessa. Kirjallisuuskatsaukselle ominaiseen tyy-liin pyrin rakentamaan kattavan kokonaiskuvan valitsemastani tutkimusaihees-ta ja selvittämään mahdollisia ongelmakohtia ja esittämään niille ratkaisuvaih-toehtoja.

Valitsemani tutkimusaihe, joka käsittelee metsien roolia ilmastonmuu-toksen hillinnässä on hyvin ajankohtainen tällä hetkellä, kun ilmaston lämpe-nemistä pyritään hidastamaan maailmanlaajuisesti. Rajasin työni tutkimaan il-mastonmuutoksen vaikutuksia metsätaloussktoriin, koska Suomen laajat met-sävarat ja niiden käyttömahdollisuudet ovat tärkeä osa Suomen ilmastostrategiaa. LULUCF -sektori on poikkeuksellinen, koska sille on ominaista sitoa hiili-dioksidia ilmakehästä sen lisäksi, että sen käytöstä vapautuu kasvihuonekaasu-ja, kun metsiä kaadetaan tai poltetaan energiaksi. Sektori onkin saanut erityis-huomiota poliittisessa päätöksenteossa. (Ekholm ym. 2015.) Metsäsektori käsite sisältää sekä metsätalouden että metsäteollisuuden. Metsätaloudella tarkoitetaan puun kasvattamista, metsäluonnon hoitoa ja puun korjuuta. Metsäteolli-suus on teollisuutta, joka jalostaa puuta tuotteiksi. Olennaista on, tuleeko met-sävaroja lisätä ja mikä on niiden optimaalinen käyttömäärä, jotta se on kestävä-lä tasolla. (Maa- ja metsätalousministeriö 2015, 20.4.2018.)

Metsätalous on murroksessa oleva ala tällä hetkellä, kun esimerkiksi painopaperin käyttö vähenee ja puulle kehitetään uusia käyttötarkoituksia. Puun käyttöön vaikuttaa markkinoiden lisäksi poliittinen päätöksenteko. Poliitikalla halutaan edistää uusiutuvan energian ja materiaalien käyttöä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2015, 20.4.2018.) Energiasektori on maailman suurin kasvihuonekaasujen aiheuttaja, joten uusiutuvan energiankäytön lisääminen korvaamaan fossiilisia energialähteitä on tärkeää (IPCC 2011). Fossiilisten polttoaineiden käyttöön vaikutetaan muun muassa päästökaupan avulla (Honkatukia 2004).

Kysymykseen, onko ilmastomielessä järkevää hyödyntää puubiomassaa energialähteenä fossiilisten polttoaineiden sijasta, on esitetty keskenään ristiriitaisia tutkimustuloksia. Poliittiset päättäjät haluavat nostaa biopolttoaineiden määrää energiantuotannossa, vaikka ilmastollisesti sen luomat hyödyt eivät välttämättä päde. Hyötyjen arviointiin vaikuttaa tutkimusten perusteella tarkastelun ajanjakso. (Kallio, Salminen & Sievänen 2013.)

Kansainväliset sopimukset ja EU:n sopimukset muodostavat Suomelle ilmastotavoitteita, joita sen tulee noudattaa. Lisäksi kansalliset säädökset ympäristönsuojeluun aiheuttavat painetta yrityksille kehittää uutta teknologiaa, jotta ilmastotavoitteisiin päästään. Yksinkertaistetusti kasvihuonekaasujen määrään ilmakehässä voidaan vaikuttaa kahdella eri keinolla; vähentämällä niiden tuotamista tai lisäämällä hiilinielujen määrää. (Rantala, Mustonen & Katila 2017.) Tutkimuskysymykseni on, onko ilmastopolitiikka onnistunut metsätalouden näkökulmasta. Aihetta on tärkeää tutkia, jotta politiikkatoimet eivät ohjaa metsätalouden kehitystä väärään suuntaan. Kattava tutkimustieto edesauttaa ja tukee politiikkatoimien onnistumista.

Luvussa 2 käsitellään ilmastomuutosta; sen seurauksia ja kuinka sitä pyritään poliittisesti hillitsemään. Lisäksi luvussa käsitellään metsätaloussektorin roolia ilmastopolitiikassa. Luvussa 3 käydään läpi olennaisimpia ympäristö- talousteorioita metsätalouden osalta ja tarkastellaan niiden huomioimista poliittisessa päätöksenteossa. Luku 4 käsittelee politiikkatoimienpiteistä päästökauppaa ja verotusta sekä niiden vaikutuksia ilmastomuutoksen hillitsemisessä. Luvussa 5 tarkastellaan fossiilisten polttoaineiden käytön korvaamista puupohjaisilla biopolttoaineilla ja biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia. Luku 6 tiivistää keskeisimmät johtopäätökset tästä tutkimuksesta.

## 2 ILMASTONMUUTOS JA ILMASTOPOLITIikka

Kasvihuoneilmiö on elintärkeä mahdollistamaan maapallon elämän. Ihmisten toiminta on kuitenkin vahvistanut sitä kestävämmällä tavalla. Kun ilmasto lämpenee liian voimakkaasti liian lyhyessä ajassa, ympäristö ei ehdi sopeutumaan muutokseen. (IPCC 2014.) Ilmastomuutosta pyritään hillitsemään poliittisilla ohjaukskeinoilla (Heikkinen & Ollikainen 2015). Tässä luvussa käsitellään, mitä ilmastomuutos on ja kuinka sitä hillitään poliittisesti.

### 2.1 Ilmastomuutos ja sen vaikutukset

Tietoa lämpötilasta ja muista ilmastosuureista on saatavilla 1800-luvun puolivälistä alkaen. Ilmastoön liittyvä mittaustekniikka on kuitenkin kehittynyt huomattavasti 1950-luvun jälkeen. Viimeisten vuosikymmenten ajalta onkin saatavilla tarkkaa mittaustietoa ja ilmastoön liittyvää vaihtelua tiedetään satojen ja jopa miljoonien vuosien takaa. Lähivuosikymmenten tutkimus osoittaa, että ilmasto lämpenee. Havaittuja muutoksia ovat ilmakehän ja merien lämpeneminen, meren pinnan kohoaminen, lumen ja jään väheneminen sekä kasvihuonekaasujen pitoisuuksien lisääntyminen ilmakehässä. Osa muutoksista on ollut suurempia kuin tuhansiin vuosiin. (IPCC 2013.) Ilmastomuutosta pidetään yhtenä aikakautemme vakavimpana ympäristöongelmana. Ilmaston lämpeneminen on lisääntynyt ihmisten toiminnan seurauksena. (Stern 2006.) Osa maapallon keskilämpötilan muutoksesta johtuu ilmaston luonnollisesta vaihtelusta, mutta valtaosan aiheuttaa ihmisten toiminnasta syntyvät hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen päästöt ilmakehään. Hiilidioksidia muodostuu eniten fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja muutoksista maankäytössä. (IPCC 2013.)

Maapallon keskilämpötilan kohoaminen tällä vuosisadalla ja myöhemmin tulevaisuudessa riippuu pitkälti siitä, kuinka paljon hiilidioksidia päästetään ilmakehään. Vaikka hiilidioksidipäästöt saataisiin kokonaan loppumaan, ei ilmasto palautuisi lähtötasolleen satoihin vuosiin. Näin ollen maapallon ilmaston kehitykseen vaikuttavat sekä tähänastiset että tulevaisuudessa tapahtuvat hiilidioksidipäästöt. (IPCC 2013.)

Suomen kasvihuonekaasupäästöjen osuus koko maailman päästöjen osuudesta on varsin pieni. Vuonna 2008 se oli kaksi promillea ja energian kulutuksen osuus oli seitsemän promillea. Suomessa toteutuvalla metsien käytön ja energian kulutuksen muutoksilla ei ole kovin suurta merkitystä ilmastomuutoksen ja energian kokonaiskulutuksen kannalta jos asia huomioidaan koko maailman mittakaavassa. Suomi on kuitenkin sitoutunut kansainväliseen yhteistyöhön ilmastomuutoksen ehkäisemiseksi. (Hetemäki 2012.)

Ilmastomuutos on maailmanlaajuinen ongelma, joka ei jakaudu tasa-arvoisesti maanosien välillä. On arvioitu, että tämän hetken päästöjen tasolla ilmasto lämpenee 2-3 celsius astetta seuraavan 50 vuoden aikana, jolloin seuraamukset ovat vakavia. Eniten siitä kärsivät köyhimmät maat ja niiden väestö.



Kehittyvät valtiot ovat keskimäärin lämpimämpiä kuin kehittyneet valtiot ja niiden elinkeino pohjautuu usein pelkästään maatalouteen, joka on hyvin herkkä ilmaston vaihteluille. Vedenpuute, nälänhätä, sairaudet ja köyhyys lisääntyvät entisestään kehittyvissä valtioissa. Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa koko ekosysteemiin muun muassa tuhoamalla useita eliölajeja. (Stern 2006.)

Ilmastonmuutoksen vaikutuksista talouteen on saatu erilaisia arvioita. Yksi tunnetuista julkaisuista on ekonomisti Nicholas Sternin julkaisema raportti ilmastonmuutoksesta ja sen vaikutuksista vuodelta 2006. Raportti ei tuota uutta tutkimustietoa ilmastonmuutoksen vaikutuksista, vaan se on kooste aikaisempien tutkimusten pohjalta. Keskeisiä ajatuksia raportissa on, että ilmastopolitiikalla tulisi vaikuttaa ilmastonmuutokseen nopeasti ja voimakkailla ratkaisuilla. Siinä tehtyjen arvioiden mukaan ilmastonmuutoksesta johtuvat negatiiviset vaikutukset ovat suurempia kuin yleisesti on arvioitu samalla kun päästöleikkaustoimenpiteet on arvioitu epärealistisen edulliseksi. Useat tutkijat, kuten Nordhaus (2007) ja Weitzman (2007) ovat kritisoineet Sternin raportin tuloksia. He eivät kannata nopeita politiikkatoimia, vaan asteittain lisääntyvää panostusta siihen.

### 2.1.1 Ilmatoriskit Suomessa

Maa- ja metsätalousministeriön teettämän yhteenvetoraportin mukaan Suomessa ilmastonmuutokseen liittyvä taloudellinen tutkimus on ollut todella vähäistä tähän asti. Suurin epävarmuus liittyy ilmastonmuutoksen vaikutusten voimakkuuden arviointiin, vaikka joillain toimialoilla, kuten maa- ja metsätaloudessa mahdolliset seuraukset tiedetään. Ilmastonmuutoksesta johtuvat taloudelliset seuraamukset eivät välttämättä ole samansuuntaisia ja -suuruisia eri toimijoille. Toimialojen kehitykseen vaikuttaa monet muut tekijät, joista ilmastonmuutos on vain yksi huomioitava asia muiden joukossa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, 7.2.2017.)

Suomessa luonnosta riippuvaisille toimialoille, kuten metsätaloudelle ilmastonmuutoksen vaikutukset voivat olla osittain jopa positiivisia. On arvioitu, että puulajista riippuen metsät kasvavat noin 20-50% nopeammin, koska puiden kasvukausi pitenee keskilämpötilan noustessa. Suurin osa ilmastonmuutoksen vaikutuksista ovat kuitenkin negatiivisia, kuten muuallakin maailmassa. Ilmaston lämpeneminen Suomessa voi aiheuttaa tuhohyönteisten massaleviämisen pohjoiseen, jossa ne mahdollisesti tuhoavat metsikköjä. Rajut tuulet aiheuttavat mahdollisesti tuhoja etenkin Lapissa ja Etelä-Suomessa. (Parviainen, Vapaavuori & Mäkelä 2010.)

Suomen suurimmat puustotuhot vuosikymmeniin tapahtuivat vuonna 2010 rajuilmojen seurauksena. Myrskytuulet kaatoivat metsää laajoilta alueilta aiheuttaen metsänomistajille kymmenien miljoonien eurojen tappiot. Tappiot koostuvat kaatuneen puuston myyntiarvon alenemisesta, johon vaikuttaa korjuukustannukset, puutavaran laadun heikkeneminen ja metsiin jäävät tuhoutu- neet puut. Kustannuksia aiheutuu muillekin kuin metsänomistajille, sillä kaatuneet puut aiheuttavat sähkökatkoja, liikennehäiriöitä ja vaurioita rakennuksille. (Pilli-Sihvola ym. 2016.)

Ei ole selvää vaikuttavatko ilmaston lämpenemisen aiheuttamat muutokset toimialojen tulotasoon alentavasti tai nousevasti. Esimerkiksi Suomessa, mutta myös muualla maailmassa puiden kasvuvauhti voi nopeutua ja maiden sadot parantua tulevina vuosikymmeninä keskilämpötilan nousun seurauksena. Se voi aiheuttaa painetta maa- ja metsätaloustuotteiden hintoihin, jotka saattavat alentua lisääntyneen tarjonnan seurauksena. Myös energian tuotanto voi laskea, koska lämmittämistä ei tarvita enää yhtä paljon. Siitä on haittaa energia-yhtiöille, mutta hyötyä kuluttajille. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, 7.2.2017.)

Taloudellinen tehokkuus on tärkeässä asemassa vertailtaessa eri ilmasto-riskien hallinta- ja sopeutumistoimia. Etenkin julkisen sektorin päätöksenteossa siihen tulisi kiinnittää huomiota. Riskiä ei aina voida tai sitä ei kannata poistaa kokonaan yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden tai taloudellisen tehostumuuden vuoksi. Sen takia on kehitetty taloudellisia arviointimenetelmiä päätöksentekoa varten. Suomessa on tyypillisesti käytetty kustannus-hyötyanalyysia ilmasto-riskien arviointiin, jossa hyödyille ja haitoille lasketaan rahamääräinen arvo ja ne diskontataan nykyhetkeen. Sitä ei pidetä parhaana mahdollisena menetelmänä, koska epävarmojen riskien laskeminen perustuu todennäköisyyksiin ja markkinattomia hyötyjä on haastavaa määritellä rahassa. Analyysi ei huomioi tulevaisuuden epävarmuuden ennustamista, eikä se ota kantaa hyötyjen ja kustannusten jakautumisesta eri tahoille. Sen vahvuuksia kuitenkin ovat taloudellisen tehokkuuden ja hyötyjen huomioiminen optimaalisessa ratkaisussa sekä mallin tunnettavuus. Ilmatoriskien suojautumista varten tehtäviä analyysejä tehdään yleisemmin ulkomailla kuin Suomessa. (Pilli-Sihvola ym. 2016.) Ilmastonmuutokseen sopeutumista ja taloudellisia vaikutuksia tulisi arvioida huomioiden maailmanlaajuiset vaikutukset, sillä merkittävimmät tekijät eivät välttämättä aiheudu Suomessa. Esimerkiksi globaalien talouskriisien, kansainvälisen kaupan ja väestön liikehdinnän vaikutukset heijastuvat Suomeen. Sen takia kansainvälisen tutkimustyön yhdistäminen Suomessa tehtävään tutkimukseen olisi tärkeää. (Maa- ja metsätalousministeriö 2012, 7.2.2017.)

## **2.2 Kansainväliset ilmastopimukset ja niihin liittyvät velvollisuudet**

Ilmastonmuutosta pyritään hidastamaan ja ehkäisemään useilla keinoilla. Julkinen ja poliittinen herääminen tähän asiaan tapahtui vasta 1980-luvun lopulla, kun tiedostettiin energia- ja luonnonvarojen rajallisuus sekä ymmärrettiin että väestön ja talouden kasvu kuormittaa ympäristöä. Termi kestävä kehitys syntyi kuvaamaan sopusointua luonnon ja ihmiskunnan välillä. Kestävä kehitys jaetaan kolmeen ulottuvuuteen, joita ovat ekologinen, sosiaalinen ja taloudellinen kehitys. (Yhdistyneet Kansakunnat 2016, 14.3.2018.) Kestävän kehityksen yleinen määritelmä on Yhdistyneiden Kansakuntien komission puheenjohtajan Brundtlandin raportista vuodelta 1987. Sen mukaan kestävä kehitys on kehitystä, joka tyydyttää nykyhetken tarpeet viemättä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omia tarpeitaan. (Brundtland 1987.)

Yleisessä mittakaavassa ympäristöasiat ovat olleet ensimmäisen kerran esillä kansainvälisessä yhteistyössä Yhdistyneiden Kansakuntien vuoden 1972 konferenssissa Tukholmassa. Silloin perustettiin YK:n ympäristöohjelma (United Nations Environment Program, UNEP). Vuonna 1992 yhteistyö tiivistyi YK:n ympäristö - ja kehityskonferenssissa Rio de Janeirossa, kun ilmastopöytäkirja hyväksyttiin. Ilmastopöytäkirjan keskeisin tavoite on ihmisten aiheuttamien haitallisten päästöjen vähentäminen. Sitä täydentämään hyväksyttiin Kioton pöytäkirja vuonna 1997 ja se astui voimaan vuonna 2005. Pöytäkirja velvoittaa sen ratifioineet teollisuusmaat määrällisesti rajoittamaan niiden kasvihuonepäästöjä vuosiksi eteenpäin. (Yhdistyneet Kansakunnat 2016, 14.3.2018.)

Kioton pöytäkirja sisältää kaksi sopimuskautta, joista ensimmäinen oli vuosina 2008-2012 ja toinen ajanjaksolla 2013-2020. Yhteensä 192 osapuolta on ratifioinut sopimuksen, Yhdysvallat suurena päästöjen aiheuttajana ei lukeudu niihin. Myös Venäjä, Kanada, Japani ja Uusi-Seelanti jättäytyivät pois ensimmäisen sopimuskauden jälkeen. Euroopan Unioni (EU) on sitoutunut molempiin kausiin. Kioton pöytäkirjan osapuolilla on mahdollisuus päästä päästövähennysvelvoitteisiin niin kutsuttujen joustomekanismien avulla, joita ovat kansainvälinen päästökauppa, yhteistoteutus ja puhtaan kehityksen mekanismi. Näiden käytöllä on omat rajoituksensa. (Ilmasto-opas 2015, 14.3.2018.)

Useita ilmasto ja ympäristökokouksia on käyty 2000-luvulla, mutta uusia sitovia tavoitteita ei ole saatu solmittua. Yksi selitys sille on vastakkainasettelu teollisuusmaiden ja kehitysmaiden välillä. (Yhdistyneet Kansakunnat 2016, 14.3.2018.)

Pariisin vuoden 2015 ilmastokokouksessa saatiin aikaiseksi sopimus, joka täydentää vuoden 1992 ilmastopöytäkirjasta. Poikkeuksena aikaisempaan; uuden sopimuksen myötä myös kehitysmaat ovat velvollisia päästöjen vähentämiseen teollisuusmaiden lisäksi. Näin ollen lähes kaikki maailman maat ovat sitoutuneet ilmastonmuutoksen vastaisiin toimiin. Tavoitteena on saada lämpeneminen rajoittumaan selvästi alle kahteen asteeseen. (Ympäristöministeriö 2015, 13.3.2018.) Victor ja Kennel (2014) pitävät sovittua kahta astetta enemmänkin poliittisena päätöksinä kuin tieteellisesti osoitettuna faktana sille, että kaksi astetta on riittävä määrä ilmastonmuutoksen vaikutusten hillitsemiseksi.

Vuoden 1992 ilmastopöytäkirja velvoittaa sen osapuolia raportoimaan ja seuraamaan kasvihuonekaasupäästöjään ilmakehään. Teollisuusmaat raportoivat hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>), metaanin (CH<sub>4</sub>), dityppioksidin (N<sub>2</sub>O) ja fluorattujen kasvihuonekaasujen (F-kaasut) päästöt vuosittaisessa inventaariossa. Kehitysmaiden velvollisuus on raportoida päästönsä maakohtaisesti kaksivuotisraporteissaan joka toinen vuosi. Lisäksi EU-maat ovat velvollisia raportoimaan Euroopan komissiolle vuosittaiset kasvihuonekaasupäästönsä. Suomessa kasvihuonekaasupäästöjen ja nielujen laskemisesta ja raportoinnista vastaa Tilastokeskus. (Tilastokeskus 2015, 12.4.2018.) Metsien kasvihuonekaasupäästöt ja nielut laskee Metsäntutkimuslaitos (Metla), joka raportoi tiedot Tilastokeskukselle. Nieluilla tarkoitetaan metsien kasvillisuuden ja maaperän sitomaa hiiltä ilmakehästä. (Lehtonen 2009.) IPCC:n laskentaohjeiden mukaisesti metsien hiilivarastoja seurataan varastojen muutosten kautta. Kirjanpidon mukaan metsien hiilivarastojen pieneneminen tarkoittaa päästöjen lisääntymistä eli metsien hakuiden lisääntymistä. Puuston sitoman hiilidioksidin huomioidaan vähentävän

hiilidioksidia ilmakehästä. Varaston muutoksen yhteydessä huomioidaan kaikki päästöt ja poistumat ja ne merkitään kirjanpitoon vain kerran. Eli puun energiakäytöstä syntyviä hiilidioksidipäästöjä ei lasketa kirjanpitoon, jotta vältetään kaksinkertaiselta laskennalta. (IPCC 2006.)

Energiasektori on yksi kuudesta raportointisektorista. Siihen lukeutuu metsäteollisuuden käyttämien turpeen metaani-, dityppioksidi- ja hiilidioksidipäästöjen ja fossiilisten polttoaineiden päästöjen raportointi vuosittaisessa kasvihuonekaasuinventaario (KHK) laskennassa. CO<sub>2</sub> päästöt, jotka aiheutuvat uusiutuvien biopolttoaineiden käytöstä, kuten puupohjaisten biopolttoaineiden, ei lasketa mukaan KHK- päästöjen raportointiin, vaan ne ilmoitetaan erillistietoina. Kuitenkin biopolttoaineiden metaani- ja dityppioksidin päästöt lasketaan ja raportoidaan osana energiasektorin KHK-päästöjä. (Metsätilastollinen vuosikirja 2014a, 28.2.2017.)

## 2.3 EU:n ilmastopolitiikka

EU:n tämänhetkinen ilmastopolitiikka jaottelee kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat kolmeen kokonaisuuteen, joita ovat päästökauppasektori (PKS), ei-päästökauppasektori (EI-PKS) tai toiselta nimeltään taakanjakosektori ja maankäyttösektori (LULUCF). EU on laatinut päästötavoitteet näistä kahdelle ensimmäiselle, mutta maankäyttösektorin rooli on vielä kiistanalainen. Taakanjakosektoriin lukeutuu muun muassa rakennusten, liikenteen ja maatalouden kasvihuonekaasupäästöt. Suomelle maankäyttöön (LULUCF) liittyvät poliittiset päätökset ovat merkittäviä, sillä Suomen laajat metsäalat muodostavat suuren hiilinielun ja puutavaran käytön osuus energiatuotannossa on merkittävä. Olettavasti EU:n ilmastopolitiikan joustavuus, kustannustehokkuus ja yhdenmukaisuus eri sektoreiden välillä paranisi jos LULUCF- sektori lisättäisiin EU:n ilmastotavoitteisiin mukaan. Se kuitenkin samalla lisäisi epävarmuutta ilmastopolitiikkaan. Ristiriita metsien nielujen kasvattamisen ja puunkäytön lisäämisen välillä on haasteellinen, eikä ole olemassa tarpeeksi näyttöä sille, minkä suuruisiksi LULUCF- sektorin päästötavoite tulisi asettaa. (Ekholm ym. 2015.) Pariisin ilmastopöytäkirja kuitenkin huomioi metsien hiilinielut olennaisena osana ilmastomuutoksen hillintää. Siinä kehoitetaan kiinnittämään huomiota metsien hiilinieluihin ja lisäämään niitä tavalla, joka ei heikennä kestävän puunkäytön lisäämistä metsäisissä maissa. (Paris Agreement 2015.)

Suomi on sitoutunut EU:n päästötavoitteeseen vähentää kasvihuonekaasuja 80% vuoden 1990 päästötasosta vuoteen 2050 mennessä. Vähennystavoite on portaistettu siten, että vuoteen 2030 mennessä vähennetään 40% ja vuoteen 2040 mennessä 60%. Tuotannon eri pääsektoreilla on toimialasta riippuen eri vähennystavoitteet, jotta tavoitteet on mahdollista toteuttaa. Energiasektorilla kerrotaan olevan parhaimmat mahdollisuudet vähähiilisyyteen ja sen on arvioitu pääsevän lähes nollassa tasolla vuoteen 2050 mennessä. Tärkein syy siihen on fossiilisten polttoaineiden korvaaminen uusiutuvilla energialähteillä. Rakennussektorin on arvioitu yltävän 90% vähennyksiin, energiaintensiivisen teollisuuden 80% vähennyksiin ja kuljetussektorin 60% vähennyksiin verrattuna

vuoden 1990 lähtötasoa vuoteen 2050 mennessä. Maanviljelyn aiheuttamien kokonaispäästöjen ennustetaan lisääntyvän, koska väkiluvun noustessa myös ruuan tarve kasvaa. Se voi sektorina hyödyntää maaperää ja metsiä hiilen sitomiseen jossain määrin. (European Commission 2017, 2.2.2017.) Vuoden 2030 kansalliset päästötavoitteet tarkentuivat 20.7.2016, kun Euroopan komissio esitti päästökaupan ulkopuolisten sektoreiden vähennystarpeet vuosille 2021-2030. Koko EU:n alueen vähennystavoite on vähentää 30% kasvihuonekaasuja vuoteen 2030 mennessä verrattuna vuoteen 2005 niiltä toimialoilta, jotka eivät kuulu päästökauppaan. Suomelle määriteltiin yksi korkeimmista kansallisista tavoitteista, joka on 39%. (European Commission 2016, 31.3.2017.)

EU on asettanut päästövähennystavoitteiden lisäksi jäsenvaltioilleen muita päämääriä, jotta ilmaston lämpeneminen saataisiin rajoittumaan. Vuoteen 2020 mennessä energian käytöstä 20% tulee olla uusiutuvista energialähteistä peräisin ja energiatehokkuutta tulee parantaa 20%. Vuoteen 2030 mennessä tavoitteena on saavuttaa 27% raja uusiutuville energialähteille ja energiatehokkuudelle. (European Commission 2017, 2.2.2017.) Ennestään uusiutuvaa energiaa paljon tuottaville maille on asetettu suuremmat tavoitteet. Suomen tulee päästä 38% uusiutuvan energian käytössä ja esimerkiksi Ruotsin 49% vuoteen 2020 mennessä. (Repo, Tuomi & Liski 2010.) Tavoitteet on asetettu, koska päästökaupan ei uskota yksistään ohjaavan teknologian kehitystä kohti vähähiilistä energiantuotantoa (Ollikka 2013). Näissäkin tavoitteissa EU-maat voivat hyödyntää metsiä. Puu on uusiutuva energialähde, joten sen käyttöä lisäämällä maat voivat päästä niille asetettuihin tavoitteisiin uusiutuvien energialähteiden käytöstä. Puun käytön lisäämisen haittapuolena ovat metsien hakkuut, joiden myötä ilmaan vapautuu välittömästi hiilidioksidia ja metsien nielujen määrä vähenee. (Kallio, Salminen & Sievänen 2013.)

Metsät sitovat hiiltä, joten lisäämällä hiilinielujen määrää metsiä kasvatamalla, saataisiin hiilidioksidin määrä vähenemään ilmakehässä, jolloin ilmaston lämpeneminen hidastuisi. Sen lisäksi metsiä voidaan hyödyntää puubio-massana, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita tai saastuttavampia materiaaleja. Kansainväliset sopimukset kuitenkin rajoittavat metsien nielujen hyödyntämistä päästöjen laskennassa. Suomen metsien nielun suuruus oli vuonna 2016 23,9 Mt CO<sub>2</sub> ekv. (Tilastokeskus 2016b, 8.3.2018). Kioton toisen sopimuskauden mukainen nielujen hyödyntämisen raja laskennallisesti on 2,5 Mt CO<sub>2</sub> ekv. Suomen metsänielun suuruus ylittää siis moninkertaisesti ilmastositomusten salliman hyödyntämisen rajan. (Kallio, Salminen & Sievänen 2013.) Kioton toisen sopimuskauden jälkeinen aika on vielä osittain avoin metsien osalta. Suomi on kuitenkin saanut erillisjoustoprosessin hiilinielujen hyödyntämisen rajaa laskennallisesti. Uusi raja on vuodessa 10 Mt CO<sub>2</sub> ekv. vuoteen 2030 asti. (Maa- ja metsätalousministeriö 2017, 19.3.2018.)

### 2.3.1 Suomen kansallinen energia- ja ilmastopolitiikka

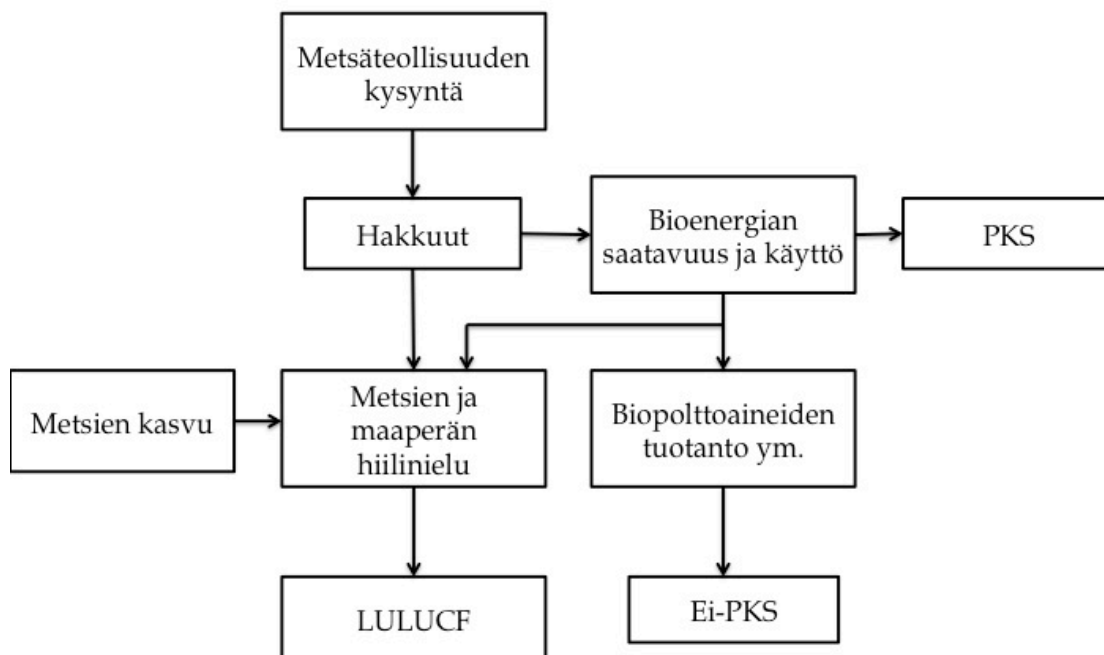
Kansainväliset ja EU:n asettamat velvoitteet vaikuttavat voimakkaasti Suomen kansalliseen energia- ja ilmastopolitiikkaan. Tässä kappaleessa tarkastellaan Suomen kansallisia tavoitteita saavuttaa pitkän aikavälin hiilineutraali yhteiskunta, jonka hallitus on linjannut keskeiseksi tavoitteeksi. Työ- ja elinkeinomi-

nisteriön (2017) teettämässä kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa esitetään ilmastoon liittyviä politiikkatoimia vuoteen 2030 asti sekä suuntaviivoja vuoteen 2050 asti Suomen hallitusohjelman ja EU:n linjauksien mukaisesti. Sen mukaan tämänhetkisistä kasvihuonekaasupäästöistä kolme neljäsosaa aiheutuu energian tuotannosta ja kulutuksesta, kun liikenteen käyttämä energia laskeaan mukaan, joten energiasektori on merkittävä päästölähde ja energiatehokkuuteen tulee kiinnittää huomiota.

Energia- ja ilmastotiekartta vuodelle 2050 antaa strategiset suuntaviivat saavuttaa vähähiilinen yhteiskunta. Sen keskiössä ovat toimet uusiutuvan energian, energiatehokkuuden ja cleantech-ratkaisujen lisäämiseksi, jotta tavoitteen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 80-95 prosentilla vuoden 1990 tasosta päästään. Esiin on nostettu energiantoimituksen varmuus, hiilinielujen laskentasaännöt, metsäbiomassan kannattavuus, biopohjaisten polttoaineiden käyttö korvaamaan fossiilisia polttoaineita ja kilpailukyvästä huolehtiminen. Näihin vaikutetaan muun muassa eri tukien asettamisella ja verotuksen avulla. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017.)

Suomi on EU:n metsäisin maa ja metsät ovat Suomessa maankäyttösektorin (LULUCF) suurin hiilinielu. Se on vastannut vuositasolla Suomen kokonaispäästöistä 30-60 prosenttia. Skenaariolaskelmissa on arvioitu, että säilyttääkseen metsäluonnon monimuotoisuuden, metsienhakkuut voidaan nostaa 79 miljoonaan kuutiometriin vuodessa. Viime vuosina hakkuut ovat olleet 60-65 miljoonan kuutiometrin luokkaa vuodessa (Luonnonvarakeskus 2016, 8.3.2018). Jos hakkuita nostetaan 89 miljoonaan kuutiometriin vuodessa, joka on puuntuotannollisesti suurin kestävä taso, pienenee hiilinielu merkittävästi vuosina 2015-2024. Vuosina 2025-2034 metsänielu muuttuisi päästölähteeksi ja vuosien 2035-2044 aikana se palaisi takaisin pieneksi nieluksi. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017.)

Puuta hyödynnetään moneen tarkoitukseen, joista puupolttoaineiden suosion odotetaan nousevan tulevaisuudessa. Valtaosa puupolttoaineista valmistetaan puunjalostuksen yhteydessä saatavista sivuvirroista, kuten metsähakkeesta, purusta, kuoresta ja muusta biomassasta. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2017.)



Kuvio 1. Vuorovaikutusketjut pääpiirteittäin metsäteollisuuden, hiilinielujen, bioenergian ja päästökauppasektoreiden välillä. Kuvaa on osittain muutettu alkuperäisestä lähteestä. Lähde: Ekholm ym. 2015, 16.

### 3 YMPÄRISTÖTALOUSTEORIAM POLITIIKAN TUUKENA

Uusklassisen talousteorian mukaan markkinat ohjaavat olemassa olevat resurssit parhaaseen mahdolliseen käyttötarkoitukseen. Julkisen vallan on perusteltua puuttua talouden toimintaan vain jos markkinoilla ilmenee epätäydellisyyksiä ja voimavarat eivät allokoitu tehokkaasti. Syitä siihen voivat olla epätäydellinen kilpailu, julkishyödykkeet, epäsymmetrinen informaatio tai ulkoisvaikutukset. (Hänninen, Leppänen, Ovaskainen, Uusivuori & Viitala 2017.)

#### 3.1 Ympäristötalousteoriaa

Ympäristökysymykset, kuten luonnonvarojen niukkuus ja ympäristön kantokyky nousivat taloustieteelliseen keskusteluun vähän ennen teollista vallankumousta. Tunnetuimmat klassisen taloustieteen edustajat Thomas Malthus ja David Ricardo jakoivat tuolloin ajatuksiaan väestönkasvusta, talouskasvusta ja rajallisista resursseista toisistaan hiukan poiketen. Malthus kehitti teorian absoluuttisesta niukkuudesta, joka perustuu luonnonvarojen ehtymiseen. Sen mukaan hintajärjestelmä toimii vasta luonnonvarojen loputtua, koska useilla ympäristö- ja julkishyödykkeillä ei ole markkinahintaa. Ricardon näkemys perustui ajatukseen suhteellisesta niukkuudesta eli siitä, että luonnonvaroille on löydettävissä substituuotteja eli muita korvaavia vaihtoehtoja. Suhteellinen niukkuus ilmenee hintojen kautta, nousevina kustannuksina, jolloin ehtyviä luonnonvaroja käytetään entistä tarkemmin ja niitä korvataan tuotannossa. (Malthus 1798; Ricardo 1817.)

Uusklassinen taloustiede syntyi 1870-luvulla klassisen taloustieteen jälkeen. Se on vallitsevana suuntauksena edelleen ympäristökysymysten osalta, vaikka siinä nähdään paljon puutteita, joita on korjattu jälkikäteen. Sen keskeisenä ajatuksena on se, että toimivat markkinat ohjaavat olemassa olevat resurssit parhaimpaan mahdolliseen käyttöön, joka luo parhaimman mahdollisen hyvinvoinnin. Hinnat määräytyvät vapailla markkinoilla kysynnän ja tarjonnan leikkauspisteessä ja jokaisella tuotteella on oma tasapainopisteensä. Kun markkinat toimivat hyvin on yhteiskunta tehokas ja se tuottaa parhaan mahdollisen tuotoksen olemassa olevista rajallisista resursseista. Voidaan käyttää termiä pareto-tehokas, joka tarkoittaa tilannetta, jossa kenenkään asemaa ei voida parantaa heikentämättä jonkun toisen asemaa. Näin ei aina kuitenkaan ole, vaan markkinoilla ilmenee epätäydellisyyksiä, jotka aiheuttavat sen, että tuotanto ja kulutus eivät ole yhteiskunnan maksimitasolla. (Wolff & Resnick 2012.)

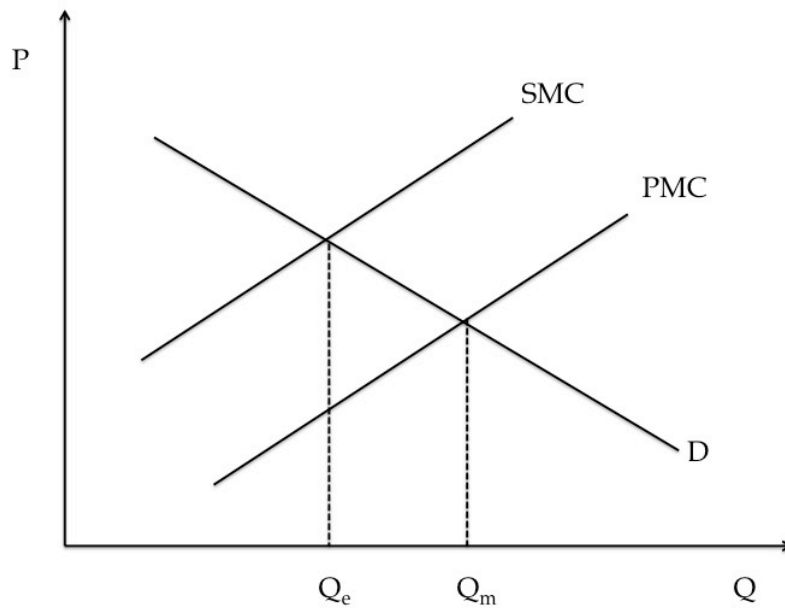
Ympäristön tilan huonontumisen perusteena pidetään usein markkinoiden epäonnistumista. Talousteorioiden mukaan markkinahinnat eivät vastaa sosiaalisia kustannuksia, jotka syntyvät resurssin käytöstä, kuten fossiilisten polttoaineiden polttamisesta ja siitä aiheutuvasta ilman saastumisesta. Jos saas-



tumista ei lasketa mukaan markkinahintaan, niin silloin kustannukset ja hinnat eivät vastaa toisiaan. Taloustieteessä käytetään termiä ulkoisvaikutukset kuvaamaan sitä erotusta, joka ei sisälly markkinahintaan. (Burney 2010.) Tämä ongelma tulisi ratkaista julkisen vallan voimin esimerkiksi päästölupien markkinoilla, keräämällä vihreitä veroja ja edistämällä uusien ympäristömarkkinoiden syntymistä (Naskali 2015).

Samuelsonin (1954) määritelmän mukaan julkishyödyke on 'kollektiivinen kulutushyödyke', jota voidaan vapaasti käyttää ja josta saatavaa hyötyä ei vähennä lisäkäyttäjät. Ackerman & Stanton (2014) havainnollistavat julkishyödykkeen ja yksityishyödykkeen eroa esimerkillä, jonka mukaisesti voileipä on yksityishyödyke ja liikennevalot julkishyödyke. Saman voileivän voi syödä vain yksi ihminen kertaalleen, joten sen käytöstä voidaan kilpailla, sekä sulkea pois toiset käyttäjät. Liikennevalot vastaavasti hyödyttävät useita käyttäjiä samanaikaisesti, niistä ei tarvitse kilpailla, eikä niistä voi sulkea pois toisia käyttäjiä. Aina julkishyödyke ei ole puhtaasti julkinen. Ympäristön antimet, kuten puhdas ilma ja vesi, luonnonvarat ja ympäristön monimuotoisuus ovat esimerkkejä julkishyödykkeistä, joista kilpaillaan yksityisesti. Tästä päästään vapaamatkustaja -ongelmaan, jonka mukaan ihmiset aliarvioivat kulutuksensa julkishyödykkeiden osalta, jotta sen käytöstä koituisi heille vähemmän maksuja (Samuelson 1954). Siitä voi seurata, että julkishyödykkeen tarjonta mukautetaan ihmisten ilmoittaman kulutuksen suhteen väärin tai julkishyödykkeen hinta määräytyy virheellisesti. Todellisen tiedon puutteen vuoksi julkishyödykkeiden tuotantokustannukset usein katetaan verovaroilla, jolloin kaikki osallistuvat aiheutuviin kustannuksiin. (Groves & Ledyard 1977.)

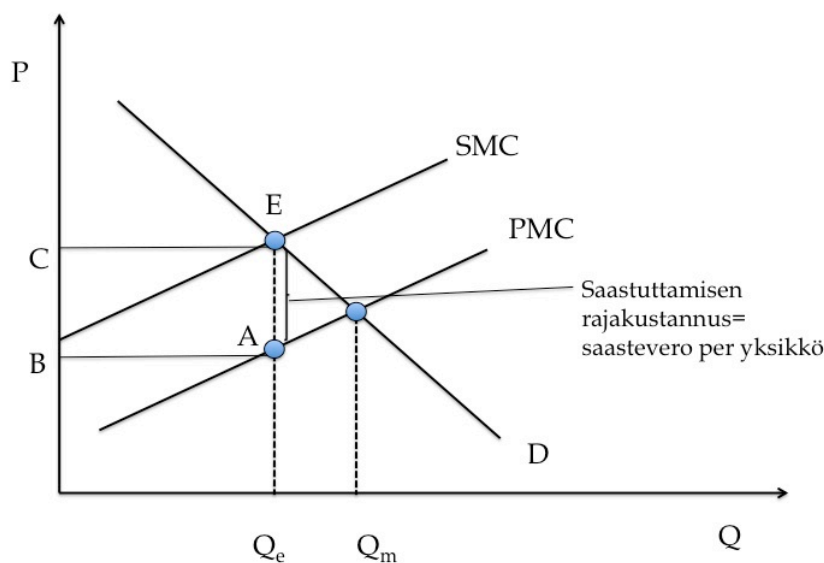
Ympäristötaloustieteen teorian mukaan optimaalinen määrä ympäristöjulkishyödykkeen tarjoamiselle määräytyy sen rajahyötyjen ja rajakustannusten leikkauspisteessä. Huomioon tulisi myös ottaa eri toimien aiheuttamat ulkoisvaikutukset, jotka eivät näy markkinahinnoissa. Ulkoisvaikutuksia on sekä positiivisia että negatiivisia. Ilmansaastuttaminen autoillessa on esimerkki negatiivisesta ulkoisvaikutuksesta. Yksityishenkilö maksaa tankatessaan vain bensiinin ostohinnan. Hintaan ei sisälly autoilun aiheuttamat haitalliset päästöt ympäristöön, jotka saastuttavat ilmakehää ja voivat aiheuttaa elinympäristössä asuville terveyshaittoja. Vertailemalla aiheutuvia kokonaiskustannuksia ja yksityiskustannuksia, saadaan ulkoisvaikutukset otettua mukaan huomioon. (Ackerman & Stanton 2014.) Kuvio 2 esittää sosiaalisten rajakustannusten SMC (social marginal cost) ja yksityisten rajakustannusten PMC (private marginal cost) sekä tuotannon tasapainon.



Kuvio 2. Sosiaaliset ja yksityiset rajakustannukset sekä tuotannon tasapaino. Lähde: Stiglitz 1986, 216.

Kuvion 2 mukaan markkinoiden tasapaino ja yrityksen tuotanto-optimi ovat pisteessä  $Q_m$ , jossa kysyntä  $D$  eli rajahyöty vastaa yksityisten rajakustannusten  $PMC$  mukaan määräytyvää tarjontaa. Pisteessä  $Q_e$  on tehokkaan tuotannon taso. Negatiivisen ulkoisvaikutuksen takia nämä pisteet eivät vastaa toisiaan, vaan markkinoilla esiintyy liikatarjontaa. (Stiglitz 1986.)

Arthur Pigou esitti, että saastuttajille tulee asettaa lisämaksu markkinahintaan, jotta saastuttaminen saadaan hallintaan. Sen avulla yksityiskustannukset kohoavat lähemmäksi todellisia kokonaiskustannuksia eli negatiiviset ulkoisvaikutukset saadaan sisällytettyä hintoihin. Käsite tunnetaan nimellä Pigoun vero, toiselta nimeltään haittavero. (Ackerman & Stanton 2014.) Kuviossa 3 esitetään markkinatasapaino ennen veroa ja sen asettamisen jälkeen. Siinä on oletettu saasteen määrän riippuvan tuotannon määrästä ja rajakustannusten olevan kiinteät yksikköä kohden. Ilman veroa yritys tuottaa määrän  $Q_m$ , jossa yksityiset rajakustannukset  $PMC$  ja hinta  $P$  kohtaavat. Tässä pisteessä ilmenee liikatuotantoa. Kun asetetaan vero vastaamaan saasteen rajakustannusta, saavutetaan tehokas tuotantotaso. Kuviossa pisteiden  $EA$  etäisyys kertoo saasteveron määrän tuotettua yksikköä kohden. Alue  $EABC$  kuvastaa kokonaissaasteve-roa. (Stiglitz 1986, 224-225.)



Kuvio 3. Markkinoiden tasapaino ilman veroa ja veron kanssa. Lähde: Stiglitz 1986, 225.

Toinen taloustieteellinen lähestymistapa ulkoisvaikutuksille on Coasen teoreema. Coase näkee julkisen vallan roolin negatiivisten ulkoisvaikutusten korjaamiseksi eri tavoin kuin Pigou. Pigou korostaa julkisen vallan roolia ja Coasen mielestä ongelma voidaan korjata markkinaehtoisesti. Coasen mukaan ulkoisvaikutukset ovat molemminpuolisia osapuolten välillä. Ongelman synnyttää osapuolten väliset yhteensopimattomat toimet, ei pelkästään toisen osapuolen haitallinen toiminta toista kohtaan. Onko esimerkiksi tehtaan, jonka haitalliset päästöt tuhoavat lähivesistön kalakantoja, korvattava kalastajille heidän kärsimänsä menetys vai onko toisinpäin eli aiheuttavatko kalastajat haittaa yrityksille, kalastamalla viereisessä vesistössä, jolloin kalastajien tulisi maksaa tehtaalle korvausta siitä, että ne eivät saastuttaisi. Pigoun mukaan tehdas on tässä tapauksessa haitan aiheuttaja, joten tehdas tulee asettaa vastuuseen, esimerkiksi asettamalla sille vero, joka vastaa haitan suuruutta. Coasen näkemys on, että omistusoikeudet määräävät sen, kuka joutuu korvausvastuuseen. Se osapuoli, jolla omistusoikeuksia ei ole joutuu maksamaan korvauksen omistusoikeuksien haltijalle. Oletuksena on, että omistusoikeuksien täytyy olla tarkasti määritellyt. Sen lisäksi oletetaan, että transaktiokustannuksia ei ole ja informaatio on täydellisesti jakautunutta. Tällöin voimavarojen allokaatio on tehokasta ja omistusoikeuksien jakautumisella ei ole merkitystä lopputuloksen kannalta. (Coase 1960.)

Coasen teoreemaa on kritisoitu sen olettamusten vuoksi. Transaktiokustannusten arvioiminen nollassa toimii periaatteessa kahden tai kolmen osapuolen kohdalla, mutta osapuolten lisääntyessä on oletamus epärealistinen. Todellisuudessa osapuolia on markkinoilla enemmän, jolloin omistusoikeuksien määrittely on hankalaa ja transaktiokustannukset poikkeavat nollassa. Esimerkiksi osapuolten neuvottelut vievät aikaa ja aiheuttavat kustannuksia. Coase itsekin kritisoi transaktiokustannusten olettamista nollassa. (Regan 1972.)

Ympäristö määritellään usein julkishyödykkeeksi, kuten jo edellä kerrottiin. Sen omistusoikeuksien määrittelemisen on ongelmallista ja siihen kohdistuvien negatiivisten ulkoisvaikutusten korvausvastuullisuus epäselvää. Sen takia ympäristö (maaperä, vesistöt ja ilmakehä) voidaan mieltää yhteisomistusresurssiksi. Teollisen tuotannon aiheuttamat päästöt ja lisääntynyt kulutus kuormittavat ympäristöä, joten sen käyttömäärän lisääntyttyä siitä tulee niukka resurssi, jolle täytyy määritellä hinta. Coasen teoreeman mukaisesti jos yhteiskunnalla on omistusoikeus yhteisomistusresurssiin, se voi säädellä sen käyttöä joko jakamalla käyttöluovia tai asettamalla sille hinnan. Jos yritys käyttää ympäristöä sen päästöjen käsittelijänä ja säilytyspaikkana, voidaan ajatella, että sen maksama hinta niukasta resurssista on päästöjen tapauksessa päästömaksu. Yritys maksaa resurssin käytöstä sen verran kuin se ylittää yhteiskunnan optimitason. (Sivula 1992.)

### 3.2 Ympäristötalousteoriaa metsien osalta

Metsät ovat taloudellisia resursseja, joita voidaan käyttää panoksena tuottamaan kuluttajille tuotteita tai palveluita. Niille on useita eri käyttötarkoituksia, jotka valitaan tarpeiden mukaan. Metsiä voidaan hakata, jolloin niitä hyödynnetään puutavarana, paperina tai polttoaineena. Ne voidaan vaihtoehtoisesti jättää kasvamaan tuleville sukupolville, niistä saadaan maisemahyötyjä tai niitä voidaan säilyttää virkistyskäyttöön, ne säätelevät ilmastoja, vaikuttavat mineraalien kiertoon ja maaperän eroosioon, sekä toimivat asuinpaikkana eläimille (Boehm 2011). Metsien tehokkaan hyödyntämisen keskiössä on kysymys siitä, mikä on niiden paras käyttötarkoitus tai yhdistelmä eri vaihtoehtoja. (Pearse 1990.)

Perinteinen uusklassinen teoria, jota käytetään kehystämään ympäristö- ja metsäekonomistisia malleja sisältää paljon rajoitteita. Aiemmin keskityttiin kestäväen puuntuotoksen (Sustainable Yield Timber Production, SYTP) paradigmaan, jota on myöhemmin laajennettu kestäväen metsänhoidon (Sustainable Forest Management, SFM) paradigmaan. Tällä tarkoitetaan metsänhoitotapoja, jotka keskittyvät kestäväen puutavaran tuottamiseen ja siitä laajennettua kestäväen metsänhoidon käsitettä, joka huomioi myös ekologisen ja sosiokulttuurisen näkökohdan. Näitä näkökulmia tulisi hyödyntää metsiin liittyvässä päätöksenteossa, jotta kokonaisuus tulisi huomioiduksi. (Naskali 2015.)

Usein markkinat toimivat hyvin ja tarjoavat yhteiskunnallisen optimitason tuotettua tavaraa tai palvelua. Näin ei aina tapahdu luonnonvarojen osalta, vaan markkinat liioittelevat luonnonvarojen tarjoamista. Jotta markkinat toimisivat hyvin tulisi luonnonvarojen olla yksityisomistuksessa mieluummin kuin yhteisomistuksessa ja yhteiskunnallisten ja yksityisten kustannusten välillä ei saisi olla eroavaisuuksia tuottaessa tavaraa tai palvelua. Metsien tarjontaan liittyy nämä ongelmat, sillä metsät tarjoavat puusta hyödynnettävien tuotteiden lisäksi myös muita hyötyjä. (Streck, O'Sullivan, Janson-Smith & Tarasofsky 2009, 13.)

Metsien antimista etenkin raakapuulla on olemassa toimivat markkinat ja markkinahinnat, mutta se ei yksistään riitä paikkaamaan muihin metsän antiimiin liittyviä ulkoisvaikutuksia. Sen johdosta on yleisesti hyväksyttyä, että julkista ohjausta käytetään korjaamaan niitä. Metsätalouden investointien aikajänne on pitkä. Niiden kustannukset ovat usein korkeat ja tulevaisuudessa saatava tuotto epävarma, joten on perusteltua käyttää julkisia tukia. Säädöksillä vaikutetaan myös metsän käyttöön, sillä metsien tarjoamat julkishyödyt eivät vaikuta metsänomistajan hyötyihin, koska he eivät saa korvausta niistä. Esimerkiksi Suomessa vallitseva jokamiehenoikeus ei motivoi metsänomistajaa huomioimaan metsien virkistyskäyttömahdollisuuksia, koska heille ei muodostu ulkopuolista taloudellista kannustinta siihen. (Hänninen, Leppänen, Ovaskainen, Uusivuori & Viitala 2017.) Myöskään metsänomistajan saama korvaus myydystä puusta (rajahyöty) ei ole samansuuruinen kuin yhteiskunnan rajakustannus, kun metsiä tuhotaan (Streck, O’Sullivan, Janson-Smith & Tarasofsky 2009, 13).

Etenkin länsimaat käyttävät usein julkista valtaa markkinahäiriöiden korjaamiseen ja tehokkuuden parantamiseen metsäsektorilla. Toimenpiteet eivät aina onnistu muuttuvan ympäristön tai väärän tiedon vuoksi ja niistä saattaa koitua haitallisia sivuvaikutuksia, joita ei osata etukäteen arvioida. Mutta yksistään siihen, että markkinat ohjaisivat metsäresurssit parhaimpaan mahdolliseen käyttöön ei voida luottaa markkinahäiriöiden, kuten ulkoisvaikutusten vuoksi. Sen takia julkisen vallan väliintulo on perusteltua korjaamaan markkinarakenteita. (Pearse 1990.)

### 3.3 Julkisen vallan ohjauskeinoja

Julkisen vallan metsäpoliittiset keinot jaetaan perinteisesti taloudelliseen ohjaukseen, säädösohjaukseen ja informaatio-ohjaukseen. Taloudellinen ohjaus sisältää muun muassa tukijärjestelmän ja verotuksen, säädösohjaukseen kuuluvat lakisääteiset keinot, esimerkiksi metsien hävittämisen kieltä ja informaatio-ohjauksella tarkoitetaan metsänomistajille tarjottavia neuvontapalveluita ja metsänhoidon ohjeistuksia. (Hänninen, Leppänen, Ovaskainen, Uusivuori & Viitala 2017.)

Julkisella vallalla on mahdollisuus korjata metsätalouteen liittyviä ulkoisvaikutuksia joko markkinalähtöisesti muun muassa aiemmin mainittujen päästömaksun ja verotuksen avulla tai suoralla sääntelyllä. Suoran sääntelyn keinoja ovat tukijärjestelmät ja suorat rajoitukset päästöjen määrään. Julkinen valta voi asettaa normin, joka määrää paljonko yksittäinen yritys saa tuottaa päästöjä. Tämä päästömääriin vaikuttaminen nähdään yhtä tehokkaana keinona kuin maksujen kautta päästöjen rajoittaminen, jos kaikki saasteista aiheutuvat kustannukset tiedetään ja valvontakustannuksia ei ole. On kuitenkin epärealistista olettaa täydellisen informaation tilanne. Epätäydellisen informaation tilanteessa valinta päästönormin tai päästömaksun välillä riippuu yrityksen kustannuskäyrästä ja epävarmuuden luonteesta. Päästönormin tapauksessa päästöjen määrä voidaan arvioida tarkemmin, mutta vähentämisen kustannukset ovat

epävarmempia. Päästömaksun yhteydessä tilanne on toisinpäin. Päästölupajärjestelmä on yhdistelmä päästönormin ja päästömaksun ominaisuuksia. Siinä viranomaisen määrittää suurimman sallitun päästöjen yhteismäärän, jonka osuuksista saastuttajat käyvät kauppaa. EU:n päästöoikeuskauppa toimii tästä esimerkkinä. (Tuomala 2015, 87-92.) Päästölupajärjestelmän yksi tärkeimmistä ominaisuuksista on liikkeelle laskettavien lupien määrän rajoittaminen, jonka avulla haitallisia päästöjä ympäristölle voidaan rajoittaa. Järjestelmästä käytetään usein englanninkielistä termiä 'cap and trade'. (Wiesmeth 2012, 195-196.)

Valtion tukijärjestelmä seuraa EU:n normistoa tukien myöntämiselle. Sen peruseriaatteena on, että jos jotakin hyödykettä on mahdollista tuottaa markkinaehtoisesti markkinoille, sitä ei lähtökohtaisesti tueta. Tähän liittyy poikkeuksen osalta jos markkinat toimivat epätäydellisesti (market failure). Komissio on listannut asiat, jotka voivat aiheuttaa epätäydellisyyksiä ja näitä ovat muun muassa julkishyödykkeet, ulkoisvaikutukset, epätäydellinen informaatio, monopolimarkkinat tai instituutioiden jäykkyys. Ympäristötukien myöntämistä usein perustellaankin julkishyödykkeiden tuotannon edistämällä, negatiivisten ulkoisvaikutusten ehkäisemisellä tai positiivisten ulkoisvaikutusten tuottamisella. Suomen metsätaloutta tuetaan joko kansallisista varoista tai EU:n maksamista tuista ja näiden tukien maksamista säädellään tarkoin ehdoin. Suomessa julkisella ohjauksella metsätalouteen on vahva rooli ja sitä pidetään perusteltuna, koska puu on yksi tärkeimmistä luonnonvaroistamme. Sen lisäksi yli puolet (noin 60%) Suomen tuottavista metsistä on yksityisomistuksessa sekä valtaosa niistä (noin 80%) tarjoaa raaka-aineen metsäteollisuudelle. (Hänninen, Lepänen, Ovaskainen, Uusivuori & Viitala 2017.) Suomessa ympäristöaktivistit puoltavat julkisen vallan suoraa puuttumista ympäristöongelmiin, sillä he kokevat yksityisten markkinoiden epäonnistuneen. Samoin myös elinkeinoelämän järjestöt kannattavat eri säätelykeinoja ennemmin kuin päästömaksuja. Heidän perustelunaan voidaan pitää sitä, että lobbauskeinojen käyttö on toimivampaa esimerkiksi tukien osalta kuin maksuihin vaikuttamalla. (Tuomala 2015, 88-89.)

Suomessa vahvin metsäpoliittinen keino on metsälainsäädäntö, jolla turvataan metsätalouden kestävyttä (Maa- ja metsätalousministeriö b, 11.5.2018). Esimerkiksi metsälain "tarkoituksena on edistää metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävää hoitoa ja käyttöä siten, että metsät antavat kestävästi hyvän tuoton samalla, kun niiden biologinen monimuotoisuus säilytetään". (Metsälaki 1093/1996, 1 §.) Toinen keskeinen laki on Kemera-laki eli kestävän metsätalouden rahoituslaki, jonka viimeisin uudistus hyväksyttiin vuonna 2015 ja se on voimassa vuoden 2020 loppuun saakka. Siihen sisältyvän tukijärjestelmän tarkoituksena on edistää yksityisten metsänomistajien metsänhoitotöitä, metsäluonnonhoitoa ja metsäteiden kunnossapitoa. Tukien määrä on ollut vuosittain yhteensä noin 50 miljoonaa euroa 1970-luvulta asti. (Maa- ja metsätalousministeriö a, 11.4.2018.)

Valtioneuvoston eduskunnalle antama metsäpoliittinen selonteko vuonna 2014 ohjaa vuoteen 2050 asti Suomen metsien käyttöä. Siinä olevien tavoitteiden saavuttamiseksi luotiin Kansallinen metsästrategia 2025, joka keskittyy lähivuosien strategisten päämäärien saavuttamiseen ja se toimii Suomen kansallisena metsäohjelmana. Sen keskiössä on visio, joka korostaa metsien kestävyden huomioimista niiden käytön ja hoitamisen suhteen. Strategiset päämää-

rät on jaoteltu kolmeen toisiaan täydentävään kokonaisuuteen, joita ovat kilpailukykyisen toimintaympäristön turvaaminen, metsäalan monipuolistaminen ja uudistaminen sekä kestävä, aktiivinen ja monipuolinen metsien käyttö. Päämäärien toteuttamiseen vaikuttavat myös kansainvälinen ja EU:n politiikka. Samalla metsiin liittyvä politiikka monimutkaistuu, kun päättävien elinten määrä lisääntyy sekä metsäala itsessään monipuolistuu. Sen seurauksena politiikan ennustettavuus kärsii, jolla voi olla vaikutusta yhteiskunnalliseen kehitykseen esimerkiksi pitkäaikaisten investointien suunnittelun osalta. (Maa- ja metsätalousministeriö 2015, 20.4.2018.)

## 4 ILMASTOPOLITIikka JA METSÄTALOUS

Metsätaloussektori ei kuulu nykyiseen EU:n päästöoikeuskauppaan mukaan, vaan se käsitellään omanaan maankäyttösektorin yhteydessä (LULUCF). Päästöoikeuskauppa luo kuitenkin hinnan hiilidioksidille, joka vaikuttaa siihen mitä energialähteitä käytetään tuotannossa ja näin ollen sillä on vaikutusta metsätaloussektoriin. Markkinalähtöiset poliittiset toimenpiteet hiilidioksidipäästöjen rajoittamiselle ovat päästökauppa (cap and trade) sekä hintasäätely (hiilidioksidivero tai -maksu). Täydellisen informaation tilanteessa molemmat menetelmät antaisivat saman lopputuloksen. Koska kyseistä ideaalitulannetta ei ole olemassa, on menetelmän valinta päättäjien preferensseistä kiinni. Molemmilla keinoilla tutkitusti saavutetaan fossiilisten polttoaineiden hintojen nousua, joka vähentää niiden käyttöä. (Burney 2010.)

### 4.1 Päästökauppa

Euroopan unionin ilmastopoliittisista keinoista tärkein on päästöoikeuskauppa (European Union Emissions Trading Scheme, EU ETS) (Heikkinen & Ollikainen 2015). Päästökauppaa voidaan käydä valtioiden välillä tai yritystasolla. Päästökauppajärjestelmässä vaihdannan välineenä toimii päästöoikeus (Emission Allowance Unit, EUA). (Hokkanen 2015.) Yksi päästöoikeus vastaa yhtä tonnia hiilidioksidipäästöjä. Tarkoituksena on, että päästöjen aiheuttajalla on hallussa päästölupia yhtä paljon kuin sen aiheuttamien päästöjen määrä on. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 14.3.2018.)

EU:n päästöoikeuskauppa on alansa ensimmäinen ja maailman suurin päästöoikeusmarkkina. Ensimmäinen päästökauppakausi alkoi vuonna 2005 Kioton pöytäkirjan voimaantulon yhteydessä ja se kesti vuoden 2007 loppuun. Nyt on meneillään kolmas kausi, joka sijoittuu vuosille 2013-2020. Päästökauppa perustuu sille ennalta määrättyyn päästökattoon eli kokonaispäästömäärään, jonka puitteissa yritykset käyvät kauppaa. (Heikkinen & Ollikainen 2015.) Päästöoikeuksien hinnat muodostuvat markkinoilla, jossa järjestelmään lukeutuvat yksiköt voivat käydä päästöoikeuksista kauppaa (Hokkanen 2015). Esimerkiksi toisella kaudella (2008-2012) taantuman vaikutuksesta päästöoikeuksien kysyntä väheni, joka johti niiden ylijäämään ja sen myötä hinnan laskuun kauden loppulla. (Heikkinen & Ollikainen 2015.)





Kuva 2. Päästöoikeuksien (EUA) futuuri hinnat euroina vuosilta 2008-2012. Lähde: European Environment Agency 2012.

Päästökaupan lähtökohtana on saada sen alaisuuteen kuuluvien yksiköiden hiilidioksidipäästöt pysymään niille määritellyissä päästökaton rajoissa. Tarkoituksena on saada hiilidioksidipäästöt vähenemään sieltä, mistä se on kustannustehokkainta. Yritys voi vaihtoehtoisesti joko muuttaa toimiaan siten, että se saavuttaa vaaditun päästötason tai ostaa päästöoikeuksia markkinoilta. Yritys valitsee vaihtoehdon, joka tulee sille halvemmaksi. Päästöoikeuksia saa joko ilmaisluvina tai yleisemmin huutokaupasta ostamalla, sekä jälkimarkkinoilta. Jos yritykselle on halvempaa ostaa päästöoikeus markkinoilta kuin pyrkiä vähentämään päästöjä omassa tuotannossaan, valitsee se päästöoikeuden ostamisen. (Työ -ja elinkeinoministeriö, 14.3.2018.) Yritysten toimintaan päästökaupan vaikutus välittyy juurikin kustannusten kautta, joita aiheutuu päästölupia hankittaessa ja niiden hallussapidosta. Päästöluvat nostavat fossiilisten polttoaineiden ja turpeen käytön kustannuksia sen verran kuin päästöluvat kyseisellä ajankohdalla kustantavat. Päästökaupan ohjausvaikutus perustuu siihen, että fossiilisten polttoaineiden käytöstä aiheutuvat suhteelliset kustannukset kohoavat ja kannustavat alentamaan niiden käyttöä ja lisäämään niitä korvaavien tuotannontekijöiden käyttöä. Yritysten kustannusrakenteeseen tulee siis muutoksia päästökaupan vaikutuksesta ja siihen vaikuttaa päästöoikeuden hinta sekä ominaispäästöjen määrä. (Honkatukia 2004.)

Sijm ym. (2005) ovat tutkimuksessaan esittäneet, kuinka EU:n päästökauppa vaikuttaa sähkön hintaan. Hintaan vaikuttaa kolme päämuuttujaa, joita ovat päästöluvan hinta EU:n päästökaupassa, sähkön tuotannon hiilidioksidintensiteetti ja kustannusten välittyminen hintoihin prosenteissa. Muutokset voidaan esittää muodossa:

$$\Delta P_e = C * I * L, \text{ jossa}$$

$\Delta P_e$  = sähkön hinnan muutos (€/MWh),  
 C = hiilidioksidipäästön hinta EU:n päästökaupassa (€/tCO<sub>2</sub>),  
 I = hiilidioksidi-intensiivisyys sähkön tuotannossa (tCO<sub>2</sub>/MWh),  
 L = kustannusten siirtyminen hintoihin (%)

Esimerkiksi,

$$€4/\text{MWh} = €10/\text{tCO}_2 * 0.8\text{tCO}_2/\text{MWh} * 0.5.$$

EU:n alueella hiilidioksidin hinta on sama kaikille toimijoille, mutta yhtälön kahteen muuhun muuttujaan liittyy enemmän vaihtelua. Riippuen maan ja yrityksen ominaispiirteistä muun muassa teknologian osalta. Ajan myötä hiilidioksidin hinnan muutokset voivat aiheuttaa muutoksia myös muihin tekijöihin. (Sijm ym. 2005).

Ideaalitapauksessa hiilen hinta ohjaa yrityksiä investoimaan vähähiiliseen tuotantoon. Talousteoriat pitävät päästöoikeuskauppaa kustannustehokkaana ja erinomaisena ohjauskeinona, kun järjestelmän toimivuus on hyvin aseteltu, sillä se luo hinnan hiilidioksidipäästöille. (Heikkinen & Ollikainen 2015.) Yritys, joka saastuttaa, mitoittaa päästönsä tasolle, jossa rajakustannus vastaa päästöoikeuden hintaa (Ekholm ym. 2015).

Ilmaisilupien saantiin vaikuttaa laitoksen toimiala. Ne alat, joilla on korkea hiilivuodon riski, kuten hiili-intensiivinen prosessiteollisuus, saavat oikeudet ilmaiseksi. Tämä johtuu siitä, että järjestelmään kuuluvat jäsenmaat pelkäsivät etenkin ensimmäisellä kauppakaudella, että säädely päästökauppa aiheuttaa haitallisia vaikutuksia tietyille toimialoille ja osa niiden toiminnasta valuu maihin, joissa tällaista säätelyä ei tapahdu (niin kutsuttu hiilivuoto). Ensimmäisellä ja toisella päästökauppakaudella ilmaisjako sisältyi järjestelmään, mutta kolmannella kaudella sen osuutta vähennetään. (Hokkanen 2015.) Kolmannella kaudella päästöoikeuksista yli puolet jaetaan huutokauppaamalla. Se on yhteensä noin miljardi päästöoikeutta vuodessa. (Energiavirasto 2018, 14.3.2018.)

Yrityksillä, jotka ostavat päästölupia on mahdollisuus hankkia päästöoikeuksia enemmän kuin niiden tarve on ja tallettaa niitä tulevaisuutta varten tai lainata seuraavan vuoden jaosta käytettäväksi tänään. Se lisää joustavuutta järjestelmään yritysten osalta, mutta ympäristönäkökulmasta se voi olla haitallista, sillä päästöt voivat keskittyä yhdelle ajanjaksolle. Ilmastonmuutoksen kannalta merkittävintä kuitenkin on kokonaispäästöt ja niiden kertyminen, ei vain yhden periodin päästöt. (Chevallier 2012.)

Päästökauppajärjestelmä on kärsinyt ongelmista koko olemassaoloaikansa. Ongelmilla yleensä tarkoitetaan päästöoikeuksien liian alhaista hintaa, jolloin investointeja ei ohjaudu pois hiilestä. Uusiutuvalla energialle kohdistetut sitovat tavoitteet ja uusiutuvan energian tuet myös vääristävät päästökauppasektorin toimintaa. Kun uusiutuvan energian käyttöä kasvatetaan, lisääntyy hiilivaipan energian tarjonta markkinoilla, joka laskee päästöoikeuksien tarvetta ja hintaa, jolloin hiilen käyttö lisääntyy. (Aatola, Marjamaa, Ollikainen & Ollikka 2013.) Esimerkiksi vuonna 2014 päästöoikeuden hinta oli noin 6 euroa. Hinnan-

kehitykselle on annettu eri arvioita. Vuonna 2020 sen oletetaan olevan noin 16 euroa ja vuonna 2030 yli 24 euroa. (Heikkinen & Ollikainen 2015.)

Ongelmia pyritään korjaamaan markkinavakausvarannolla, joka otetaan käyttöön vuonna 2019 sekä kiristämällä päästöoikeuksien jakamista seuraavalla eli neljännellä kauppakaudella vuosina 2021-2030. (Hokkanen & Ollikka 2015.)

Suomessa ja monessa muussa EU-maassa yrityksiä tuetaan investointi- ja verotuilla sekä tutkimus- ja kehitystyön tuilla. Myös hintapreemiot, syöttötariffit, tarjouskilpailut ja uusiutuvan energian kauppa- ja velvoite sertifikaatit ovat yleistyneet viime vuosina. Niiden tarkoituksena on saada yritykset kehittämään uutta vihreämpää teknologiaa. Suomessa syöttötariffit esimerkiksi metsähakelaitoksille parantavat uusiutuvien energialähteiden kilpailukykyä suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin. Syöttötariffi tarkoittaa preemiota, joka maksetaan yritykselle sähkön hinnan ollessa alhainen, jolloin se toimii tukena uusiutuvan energiamuodon käytölle. Preemion ongelmana on, ettei se välttämättä kannusta teknologisiin innovaatioihin, koska yritykset saavat tukea joka tapauksessa. Eikä preemio välttämättä vaikuta päästöihin alentavasti, silloin kun voimalat ovat vanhoja ja kuuluvat EU:n päästökauppaan, se vain siirtää päästöjä toimialalta toiselle päästökauppajärjestelmän sisällä. Teknologiapolitiikan oikein asettaminen on haasteellista, koska eri mailla on omat kansalliset tavoitteensa, jotka eivät aina ole yhteisen edun mukaisia. Yritykset ovat kuitenkin halukkaita investoimaan tutkimus- ja kehitystyöhön jos uusille innovaatioille syntyy tai on olemassa tuottavat markkinat. Ilmastopolitiikan tämänhetkisenä ongelmana on sen toimien päällekkäisyydet, kun yrityksille kohdistetut uusiutuvan energian tuet heikentävät päästökaupan ohjausvaikutusta. (Ollikka 2013).

## 4.2 Markkinalähtöisten poliittisten toimenpiteiden vertailua

Ilmastonmuutoksen hillintää varten yrityksille kohdistetaan säädöksiä ja lakeja, joiden avulla yritysten toimintaan voidaan vaikuttaa päästöjen määrää alentavasti. Tästä esimerkkinä on toteutunut päästökauppa tai vertailun kohteena oleva hiilidioksidivero sekä uusiutuvan energian tuet. Päästökaupan vaikutus syntyy päästöjen määrään vaikuttamalla päästölupien avulla ja hiilidioksidiveron vaikutus muodostuu hinnan kautta, kun saastuttamisesta maksetaan veroa. Tutkimukset pitävät molempia menetelmiä tehokkaina päästöjen hillinnässä, sillä ne nostavat fossiilisten polttoaineiden käytön hintaa, jolloin niiden osuutta vähennetään tuotannossa. Yritykset voivat myös siirtää kallistuneesta hinnasta osan kuluttajille, jolloin kotitaloudet vähentävät kulutustaan hinnan kohotessa. (Burney 2010.)

Hiiliveron hyötynä on sen kiinteä summa, kun taas päästökaupassa saastuttamislupien hinta määräytyy markkinoilla. Yritykset kykenevät suunnittelemaan kulurakenteensa paremmin, kun ne tietävät etukäteen saastuttamisesta aiheutuvien veroseuraamusten lisäkustannukset. Silloin ei myöskään aiheudu yhtä voimakasta volatiliiteettiä energian hintoihin. Hiilivero myös kasvattaa valtion tuloja. Hiiliveron haittana pidetään sitä, että se ei luo varmoja päästövähennyksiä. Jos se asetetaan liian alhaiseksi, sillä ei ole tarpeeksi tehokasta vai-

kutusta vähennyksiin. (Burney 2010.) Hiiliveron päästöjä rajoittava vaikutus saastuttajille syntyy epäsuorasti kustannusten kautta. Veronmaksaja kohtaa ensin verosta syntyvän kustannuksen ja kustannusten nousun takia vähentää saastuttavaa toimintaansa. (Schneider, Kollman & Reichl 2015, 31.) Ongelmana pidetään myös sitä, kenelle hiilivero asetetaan. Esimerkiksi energia-alan yritykset pitävät epäreiluna sitä, miksi he joutuvat maksamaan hiiliveroa jos saastuttajana on loppukäyttäjä. Todellisuudessa yritykset siirtävät veron osuutta hintoihin, jolloin loppukäyttäjä osallistuu veron maksamiseen kallistuneen hinnan kautta. Maailmassa noin 60 prosenttia hiilidioksidipäästöistä aiheutuu polttoaineiden palamisesta, joten hiilivero ei yksistään riitä kattamaan päästövähennyksiä. Lopuille 40 prosentille, kuten maataloudelle, metsille ja jätteiden käsittelylle täytyy löytää vaihtoehtoisia poliittisia keinoja, jotta haitallisten päästöjen vähennystoimet ovat riittävät hillitsemään ilmastonmuutosta. (Whitesell 2011, 146-147.)

Parry, Heinen, Lis:n & Lin (2014) kirjassa arvioidaan fossiilisille polttoaineille eri maissa vaadittavan hiiliveron suuruutta, jotta se vastaisi ympäristölle aiheutunutta haittaa. Veron suuruus vaihtelee maittain ja on poliittisten toimijoiden päätettävissä, kuten kaikki muutkin verot. Kirjassa kerrotaan useiden tekijöiden vaikuttavan veron suuruuteen. Näitä tekijöitä ovat muun muassa väestön tulotaso, eri polttoaineiden käytön suhteet, väestön tiheys ja liikennekuolemat.

Veron suuruuden päättäminen ei siis ole aivan yksiselitteinen seikka, eikä se ole saman suuruinen kaikkialla ja se myös vaihtelee eri polttoaineiden välillä. Esimerkiksi kivihiili saastuttaa ja sisältää enemmän hiilidioksidia kuin maakaasu, joten sitä tulee verottaa enemmän. Bensiinin korkeaan verotukseen sisältyy liikenneonnettomuuksien ja liikenneuhkien määrät, joihin pyritään vaikuttamaan korkeampien hintojen avulla, koska autoilu vähenee hintojen nousun myötä. Esimerkiksi OECD- maissa bensiinin vero vaihtelee \$0,40-\$1,0 välillä per litra. Diesel -verotuksessa huomioidaan sen korkeampi päästötaso kuin bensiinissä, mutta myös sen yleinen käyttö kuorma-autoissa, jotka eivät ole yhtä polttoainetehokkaita kuin tavalliset autot ja ne kuluttavat tietä enemmän, sekä synnyttävät useammin ruuhkia. (Parry, Heine, Lis & Li 2014.)

Eri valtioiden väliset näkemyserot synnyttävät myös haasteita ilmasto- ja politiikan keinoille. Kehittyvien maiden mielestä ilmasto-ongelmat ovat kehittyneiden maiden aiheuttamia, joten heidän tulisi korjata vahingot. Globaalissa maailmassa ei kuitenkaan riitä yksittäisten maiden päästöjen verottaminen tai rajoittaminen, koska yritykset voivat siirtää tuotantoaan maihin, joissa kyseistä käytäntöä ei ole. Täytyisikin löytää kansainvälisesti yhteinen ratkaisu hiilidioksidipäästöjen vähentämiselle. Taloustieteilijöiden mielestä paras keino päästöjen määrään vaikuttamiselle on asettaa hiilidioksidille hinta. (Hsu 2011, 192.)

Päästökauppajärjestelmä (cap-and-trade) luo hinnan hiilidioksidille. Järjestelmässä on mahdollista tallettaa tai lainata päästölupia, joka lisää yrityksille keinon suojautua hintojen vaihtelulta. Jos tallettaminen on järjestelmässä mahdollista, kuten EU:n päästökauppajärjestelmässä se on, voi yritys ottaa lainaa ja ostaa päästölupia enemmän kuin tarvitsee ja tallettaa niitä tulevaisuutta varten jos se olettaa päästölupien hintojen nousevan tulevaisuudessa. Yritys voi myydä päästöluvan eteenpäin tulevaisuudessa uudella kohonneella hinnalla, joka

kattaa myös lainakustannukset ja tehdä täten voittoa. Tallettaminen luo kyseiselle ajanjaksolle päästölupien kysynnän lisäyksen jos hintojen oletetaan kohoavan. Tilanteessa, jossa niitä tarvitaan vähemmän esimerkiksi lämpimän sään aiheuttaman energiankysynnän laskun vuoksi, päästölupien hinta tipahtaa alle odotusten. (Whitesell 2011, 159-162.)

Seuraamukset ovat erilaisia jos tallettaminen on mahdollista tai kun se ei ole mahdollista. Tilanteessa, jossa tallettaminen ei ole mahdollista voi päästöluvan hinta tippua nolnaan. Yritykset voivat perua suunnittelemansa projektit ja yrittää päästä päästöluvista eroon myymällä niitä, mutta niille ei välttämättä löydy ostajaa, jolla olisi niille käyttöä. Tallettamisen tilanteessa hinta ei tipu nolnaan, koska kuluttajilla on erilaiset odotukset hintojen kehittymisen suhteen tulevaisuudessa, joten päästöluville löytyy aina ostaja. (Whitesell 2011, 159-162.)

Päästölupien lainaaminen tarkoittaa sitä, että yritys voi lainata päästöluvia tulevaisuudesta, jotta se voi saastuttaa tällä hetkellä. Se on järkevää tilanteessa, jossa hintojen ei odoteta nousevan tulevaisuudessa, jolloin käytetyt luvat täytyy uudelleen maksaa. Lainaaminen rajoittaa hintojen nousua sillä periodilla, kun se käytetään, mutta voi kohottaa niitä uudelleen maksun aikana. Jotta ongelmilta vältytään, rajoitetaan lainattavien päästölupien määrää. (Whitesell 2011, 159-162.)

Kahden sektorin mallin avulla voidaan analysoida päästökauppajärjestelmään liittyvää hinnoittelua, kun yritys maksimoi voittoa. Zhang (2012) on esittänyt kuinka hinnoitteluteoria toimii kansainvälisessä CAT (cap and trade) päästökauppajärjestelmässä. Malli olettaa täydellisen kilpailun vallitsevan, kun yritys etsii omaa maksimipäästötasoaan maksimoidessaan voittoa.

Mallin mukaan:

$i$  = yritys

$e_i$  = yrityksen kokonaispäästöt

$r_i$  = päästötason funktio

$Q_i$  = päästöjen kokonaismäärä

Yrityksen kokonaispäästöt ovat päästötason funktio kertaa päästöjen kokonaismäärä.

$$e_i = f(r_i, Q_i) = r_i \cdot Q_i$$

Yrityksen  $i$  tuotantokustannukset  $C_i(\cdot)$  ovat jatkuvan päästötason funktio  $r_i$ . Yritys voi vähentää sen päästötasoa alkuperäisestä erilaisilla teknisillä parannuksilla, mutta samalla sen tuotantokustannukset kasvavat. Vähenevän rajahyödyn laki pätee:

$$C_i(r_i) > 0, C_i'(r_i) \leq 0, C_i''(r_i) > 0$$

Yrityksen  $i$  tuottamien tuotteiden kysynnän oletetaan olevan laskeva funktio  $Q_i(P_i)$ , jossa tuotteen hinta on  $P_i$ .

Kokonaispäästöt voidaan merkitä  $\bar{e}$  ja yritykselle voidaan määrittää tietty päästökiintiö  $\bar{A}$ . Päästön hinta on  $P^C$ .

Yrityksen tulot ovat  $P_1 \cdot Q_1$ , tuotannon kustannukset  $C_1(r_1) \cdot Q_1$  ja menot (tulot) päästöyksikön ostamisesta (myymisestä)  $P^C \cdot (r_1 \cdot Q_1 - \bar{A})$ ; jos  $P^C \cdot (r_1 \cdot Q_1 - \bar{A}) < 0$  kyseessä on päästöyksikön myynti, jos  $P^C \cdot (r_1 \cdot Q_1 - \bar{A}) > 0$  kyseessä on päästöyksikön osto.

Yrityksen hyöty saadaan ratkaistua, kun tuotosta vähennetään tuotanto- ja päästökustannukset.

$$\pi_1 = P_1 \cdot Q_1 - C_1(r_1) \cdot Q_1 - P^C \cdot (r_1 \cdot Q_1 - \bar{A})$$

Optimiehto saadaan selville ääriarvojen avulla ratkaisemalla ensimmäinen derivaatta:

$$\frac{\partial \pi_1}{\partial r_1} = -C_1'(r_1) \cdot Q_1 - P^C Q_1$$

Päästöjen taso  $r_1^*$  saadaan selville ratkaisemalla yhtälö:

$$-C_1'(r_1) \cdot Q_1 - P^C Q_1 = 0, \text{ josta ratkaistaan toinen derivaatta ja sijoitetaan } r_1^*.$$

$$\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial r_1^2} = -C_1''(r_1) = -C''(r_1^*) < 0$$

Yrityksen hyödyn maksimoivaa päästöjen tasoa vastaa  $r_1^*$ .  $-C_1'(r_1^*) = P^C$  kuvastaa sitä tilannetta, jossa päästöjen määrä alenee sellaiselle tasolle, että päästöjen rajavähennyskustannukset vastaavat päästöluvan markkinahintaa, tällöin optimitaso on saavutettu. Sillä taloustieteen mukaan hyötyään maksimoiva yritys tuottaa niin kauan kunnes rajakustannukset ja hinnat vastaavat toisiaan.

Kaikki teollisuuden alat, kuten metsätaloussektori ei kuulu päästökaup-pajärjestelmään. Niille täytyy määritellä omat rajoitteensa ja säädökset, jotta ilmastotavoitteisiin päästään. Suurin osa maailman metsistä on valtioiden omistuksessa, jolloin niiden sääntelyn kerrotaan olevan helpompaa. Yksityismetsien omistajille valtiot asettavat tiettyjä säädöksiä, joita tulee noudattaa, kuten puiden uudelleenistuttaminen, harvennussuunnitelmat ja puun minimi-ikä saavuttaminen ennen hakkuita. (Whitesell 2011, 140.)

Vertailtaessa hiiliveron vaikutusta ja valtion asettamaa tukea uusiutuvan energian tuotantoon ovat marginaaliset vaikutukset yrityksen kilpailuetuun samansuuntaiset. Hiilidioksidipäästöjen hinnan kohotessa, fossiilisten polttoainesten käyttö vähenee ja vastaavasti uusiutuvan energian tuotanto lisääntyy, kun sen tuottamisen kustannukset laskevat. Nettovaikutukset kuitenkin poikkeavat tuotettaessa uusiutuvaa energiaa. Uusiutuvan energian tuet vaikuttavat koko toimialaan, sillä sitä tuottavat laitokset saavat valtiolta tukea, joka syntyy valtion verotuloista ja sen lisäksi saastuttamista ei rangaista verolla. Kun hiilidioksidipäästöille asetetaan hinta, se kohottaa energian hintaa, jolloin yksittäi-

nen kuluttaja maksaa sekä veroa että käyttää kallistunutta energiaa. Kallistunut hinta on kuluttajalle haitallista, mutta se ohjaa käyttämään vähemmän energiaa, jolloin ympäristö saastuu vähemmän. Uusiutuvan energian hinta laskee, kun sitä tuotetaan enemmän. Hinnan laskun seurauksena uusiutuvan energian käyttö lisääntyy ja fossiilisten energialähteiden käyttö vähenee. Kun fossiilisten energialähteiden käyttö vähenee, niiden hinta alkaa laskea. Alentunut hinta rohkaisee lisäämään niiden kulutusta, joka on uusiutuvan energian tukien asettamisen päinvastainen tarkoitus. Joissain tilanteissa on perusteltua käyttää tukijärjestelmää poliittisena ohjauskeinona. Esimerkiksi metsienhakkuut aiheuttavat merkittävän osan hiilidioksidipäästöistä. Kehittyvissä maissa, joissa metsiä hakataan sekä laillisesti että laittomasti ja valtion väliintulo on puutteellista, on perusteltua käyttää tukijärjestelmää. Sillä siellä markkinamekanismia ei välttämättä synny laisinkaan. (Hsu 2011, 35-36.)

Heikkisen ja Ollikaisen (2015) tekemässä barometri -kyselytutkimuksessa selvitettiin suomalaisten energia- ja prosessiteollisuuden yritysten kokemuksia päästökaupasta toteutuneen EU:n päästökaupan kymmeneltä ensimmäiseltä vuodelta. Vastajia oli yhteensä 43 yritystä ja vastausprosentti 27%. Yrityksistä enemmistö kannatti EU:n ilmastopoliittisena ohjauskeinona päästökauppaa (42%), hiiliveroa (23%), uusiutuvan energian tukia (16%) ja energiatehokkuustavoitetta (7%). Energiateollisuuden yrityksillä oli vahvempi kannatus päästökauppaan ja ne myös kokivat, että päästökaupasta aiheutuvat vaikutukset ovat pienemmät kilpailukykyyn kuin mitä prosessiteollisuuden yritykset vastasivat. VATT:n julkaisusta käy ilmi, että Englannissa tehtyjen tutkimusten perusteella yritysten, toimialojen tai maiden kilpailukykyyn ja päästökaupan sekä hiilidioksidiveron välillä ei ole juurikaan löydetty yhteyttä. Sen mukaan yritysten kasvihuonekaasujen määrään on kyetty vaikuttamaan hiilidioksidin hinnoittelun avulla. (Tamminen, Ollikka & Laukkanen 2016.)

### **4.3 Ilmastopolitiikan vaikutukset ja onnistuminen metsätalouden näkökulmasta**

Ilmastonmuutoksen hillinnässä ilmastopolitiikan tavoitteena tulee olla kustannustehokkuus. EU:n ilmastopolitiikka on saanut synnytettyä kannustimia kasvihuonekaasujen vaikutusten huomioimiseen. Edellä mainitut menetelmät, kuten päästökauppa, energiaverotus ja tukijärjestelmät ovat vaikuttaneet päästöjen vähentämiseen. Kuitenkin metsänhoito ja puun käyttö ovat jääneet vähälle huomiolle politiikan toteuttamisessa. Niille ei ole luotu kunnollisia kannustimia, jotka huomioisivat hiilinielut. Lintunen, Uusivuori, Laturi, Pohjola ja Rautiainen (2016) kirjoittavat julkaisussaan puun käytön vääristyvän suhteessa muihin tuotantopanoksiin, jolloin metsävaroja saattaa ohjautua eri käyttötarkoituksiin eri tavalla, kun sitä ei huomioida yhdenvertaisesti ilmastopolitiikassa. Yleisessä keskustelussa metsien roolista ilmastonmuutoksen hillinnässä nostetaan esiin puun rooli korvaamaan suurempi päästöisiä raaka-aineita tai hiilen sitominen metsiin. Tieteelliset tutkimukset ovat osoittaneet puun käytön ilmastovaikutusten olemassaolon, joka on ristiriidassa hiilineutraalisuus-käsitteen kanssa. Puus-

ta valmistettavat biopolttoaineet eivät kuulu nykyiseen EU:n päästökauppajärjestelmään mukaan eli niiden käytöstä ei tarvitse maksaa päästömaksua. Perusteluna sille on se, että puusta aiheutuvat päästöt kirjataan metsien varastonmuutoksen yhteydessä, joten sillä pyritään välttämään kaksinkertainen laskenta.

Laturin, Lintusen ja Uusivuoren (2016) tutkimuksessa kerrotaan, että hiilinielujen Kioton sopimuksen toisen kauden (2013-2020) laskentasäännöt rajoittavat nielujen hyödyntämistä maan kokonaispäästöjen laskennassa. Maat, joilla on paljon metsävaroja voisivat hyödyntää hiilinielujen sitomaa hiilidioksidia laskennallisesti, vähentämättä fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Vastaavasti he osoittavat tutkimuksessaan, että jos hiilinielujen hyödyntämisen laskennallinen raja on liian matala, vähentää se halukkuutta lisätä metsien hiilinielujen määrää. Jos rajaa ei olisi ollenkaan vaikuttaisi se mahdollisesti sekä päästölupien että puutavaran hintoihin. Puutavaran hinnat kohoaisivat ja päästölupien hinnat laskisivat.

Ellison, Lundblad ja Petersson (2014) toteavat tutkimuksessaan, että kaikki päästöt tulisi huomioida mukaan päästölähteestä riippumatta, sillä niillä on vaikutusta ilmastonmuutokseen. Ja toisaalta hiilinielujen roolia ei tulisi rajoittaa. Nykyiset ilmasopimukset suosivat bioenergian käyttöä, mutta eivät huomioi täysipainoisesti pystymetsien hiilen sitomista. Sopimuksissa ajatellaan bioenergiasta aiheutuvat päästöt hiilineutraaleina, kun taas metsien hiilinielut aliarvostetaan. Metsien ja koko LULUCF -sektorin rooli on ollut ilmasopimuksissa kiistanalainen. Pelkoa on herättänyt, että runsaat metsävarat omistavat maat saattavat väärinkäyttää asemaansa päästöjen hillinnässä, sekä vaarana on ympäristön tilan heikentyminen esimerkiksi jos metsitystä tehostetaan lannoitteilla. LULUCF -sektorin liittäminen EU:n päästökauppaan vaatisi paljon toimenpiteitä, sillä nykyinen päästökauppa perustuu vuosittaisiin kiintiöihin, kun taas metsien varastot perustuvat pidempiaikaisiin sykleihin.

LULUCF -sektorin liittämisestä EU:n päästökauppaan on kyse haittojen ja hyötyjen vertailusta. O'Sullivanin ym. (2006) tutkimuksen mukaan LULUCF -sektorin liittäminen EU:n päästökauppaan alentaisi päästöjen säätelyn kustannuksia, kun kaupankäynnissä olevien yksiköiden määrä lisääntyisi, vähentäisi markkinoiden epävarmuutta, lisäisi markkinalikviditeettiä ja edistäisi markkinoiden tehokkuutta. Riskeiksi he mainitsevat väärin perustein valituista metsienhoitotoimenpiteistä johtuvan metsien tuhoutumisen, tulokaslajien ja geneettisesti muunneltujen lajien viljelyn lisääntymisen ja sen, että fossiilisten polttoaineiden käyttö ei välttämättä vähenisi LULUCF -hankkeista johtuen.

Toisaalta metsätalous voitaisiin liittää päästökauppaan mukaan siten, että metsänomistajat voisivat vapaaehtoisesti myydä hiilensidontayksiköitä hiilinielujen kasvaessa. Se kannustaisi nielujen kasvattamiseen. Tällainen järjestelmä on toiminnassa Uudessa-Seelannissa. (Heikkinen & Ollikainen 2015.) Niin kutsutussa hiilivuokrausjärjestelmässä metsänomistajalle maksettaisiin korvaus metsiin sitoutuneen hiilen määrän mukaan. Se kannustaisi metsänomistajia hakkuiden siirtämiseen, jolloin puuston kasvu lisääntyisi. Järjestelmän ongelmina pidetään sen monimutkaisuutta ja häiriövaikutuksia puumarkkinoihin. Sillä puun hakkuiden vähenemisen seurauksena puun tarjonta laskee, jolloin puun käyttö alenee ja puun hinta nousee. (Laturi, Lintunen, Pohjola & Uusivuori 2015.)



Suomelle metsäteollisuus on tärkeä osa kansantaloutta. Metsäteollisuus käyttää tuotannossaan paljon energiaa, joten päästökaupan vaikutukset voivat olla merkittäviä Suomen metsäteollisuudelle, vaikka se ei kuulu päästökaupaan mukaan. Kustannus- ja tuotantorakenne poikkeaa huomattavasti keskieu-rooppalaisesta, koska puulajit ja niiden hyödyntämispotentiaali on hyvin erilainen. Suomessa tuotannossa käytetään paljon sähköä, mutta vähemmän polttoainetta kuin muualla Euroopassa keskimäärin. Jos sähkön hinta nousee päästökaupan hintojen nousun seurauksena, kasvavat tuottajan kustannukset Suomessa ja sillä on investointeja heikentävä vaikutus. (Känkänen, Patronen, Vilén & Saarela 2017.)

## 5 METSÄTALOUS JA BIOPOLTTOAINEET

Uusiutuvien energialähteiden käyttöä lisätään maailmassa ilmastonmuutoksen hillitsemisen vuoksi sekä energiaomavaraisuuden parantamiseksi. Bioenergia on merkittävin uusiutuvan energian lähde maailmassa. Suomessa valtaosa bioenergian tuotannosta tapahtuu käyttämällä metsäbiomassaa, jota saadaan metsäteollisuuden sivuvirroista sekä suoraan metsätaloudesta. (Pingoud, Savolainen, Seppälä, Kanninen & Kilpeläinen 2013.) 2010-luvulla tiedemaailmaa alkoi kiihtyvällä vauhdilla kiinnostamaan metsien käytöstä aiheutuvat ilmastovaikutukset. Suomelle metsät ovat tärkeitä työllisyyden ja viennin kautta, joten metsien kestävä käyttö on tärkeää sekä metsien rooli ilmastonmuutoksen hillinnässä on olennainen kysymys. (Seppälä ym. 2017.)

### 5.1 Metsien käyttö ja hiilinielu Suomessa

Maailman kasvihuonekaasupäästöistä noin 10% syntyy metsäkadon ja metsien heikkenemisen seurauksena. Etenkin Brasiliassa, Malesiassa ja Indonesiassa sekä päiväntasaajan alueen köyhissä maissa on metsien häviäminen muuttunut ongelmaksi. Vuodesta 1990 alkaen Kiinassa ja rikkaissa valtioissa metsävarat ovat olleet kasvussa samalla kun kyseiset valtiot ovat suurimpia fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvien päästöjen aiheuttajia. Puun käyttöön liittyvä hiilineutraalisuuden käsite on kansainvälisissä arvioinneissa merkinnyt sitä, että sama hiilidioksidimäärä, joka vapautuu metsäraaka-aineen käytöstä, sitoutuu jollakin aikavälillä takaisin kasvistoon. Tällöin mielletään, että puun käytöstä aiheutuvat ilmastovaikutukset ovat nolla. Sen takia on tärkeää, että metsämaata ei tuhota ja metsänhoidon oikeaoppisuuteen kiinnitetään huomiota. (Seppälä ym. 2015.)

Maanmittauslaitoksen (2014) mukaan Suomessa on maa-alaa 30,4 miljoonaa hehtaaria, merivettä 5,2 miljoonaa hehtaaria ja sisävesiä 3,5 miljoonaa hehtaaria (Maanmittauslaitos 2014, 7.1.2017). Pinta-aloissa voi tapahtua muutoksia maan ja sisävesien sekä maan ja merivesien välillä. Suomen maa-alueen pinta-ala kasvaisi maanpinnan kohoamisen seurauksena ilman ihmisen toiminnan vaikutuksia. Vuosina 1921-1924 tehtiin Suomessa ensimmäiset maankäyttöön liittyvät mittaukset, jolloin metsämaan osuus oli 59% maapinta-alasta. Vuosien saatossa metsämaan määritelmä on muuttunut. Suomi käyttää FAO:n (Food and Agriculture Organization of the United Nations) määritelmää kansainvälisissä tilastoinneissa ja määritelmässä, muun muassa kasvihuonekaasuinventariot lasketaan sen mukaisesti. Sen mukaan Suomen metsäalan osuus kokonaismaa-alasta oli vuonna 2013 suunnilleen 72% eli noin 21,9 miljoonaa hehtaaria. Metsäalan kasvua selittää toisen maailmansodan jälkeisen ajan rakentaminen, metsienparannustoimenpiteet sekä se että maatalousmaata on palautettu metsätaloudeksi. (Haakana, Ollila, Regina, Riihimäki & Tuomainen 2015.)

Metsillä on tärkeä rooli toimia hiilinieluna ja uusiutuvana raaka-aine lähteenä ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi (Lehtonen, Salminen, Kallio, Tuomainen & Sievänen 2016). Eniten metsäsektori vaikuttaa kasvihuonepäästöihin korvaamalla fossiilisia polttoaineita uusiutuvalla puubiomassalla energiantuotannossa sekä puupohjaisella energian käytöllä metsäteollisuudessa, sillä metsäteollisuus on merkittävä puusta hyödynnettävän energian tuottaja ja kuluttaja. Hiilinielujen osalta Suomen metsät sitovat hiilidioksidia ilmakehästä vuosittain määrän, joka vastaa suunnilleen puolta Suomen kasvihuonepäästöistä muilta sektoreilta. (Kallio, Salminen & Sievänen 2014.)

Suomessa metsien puuston määrä on lisääntynyt jo pidemmän aikaa. Samalla puun kysyntä on säilynyt jotakuinkin ennallaan. Voidaan siis olettaa, että seuraavien parinkymmenen vuoden aikana metsiin sitoutuu enemmän uutta hiiltä kuin raivauksien ja luonnollisten poistumien myötä häviää. Myös ilmastomuutoksen ennustetaan vauhdittavan metsien kasvua. Toisaalta puun käyttö mahdollisesti lisääntyy, koska puuenergian lisääntyvää käyttöä pidetään Suomessa merkittävässä roolissa, kun pyritään saavuttamaan vähähiilinen yhteiskunta. (Kallio, Salminen & Sievänen 2014.) Hetemäki (2012) kirjoittaa raportissaan, että on toisaalta haastavaa arvioida puuenergiakäytön määrää tulevaisuudessa, koska siihen vaikuttavat useat muutostekijät, kuten ilmastomuutoksen kehitys, maailmanlaajuinen energiankulutus ja energiaraaka-aineiden tarjonta, politiikkatekijät sekä teknologiakehitys. Metsäbiomassan käyttöä energiaksi tuetaan Suomessa laajojen metsävarojen vuoksi, mutta myös poliittisten ilmastotavoitteiden takia. Metsäala liittyy yhä enemmän energia- ja ilmastokysymyksiin, joten tarvitaan uudenlaista politiikkaa tukemaan kehitystä. Sen lisäksi, että puupohjaisen bioenergian käytön lisäämisellä on ilmastotavoitteet, lisää se myös Suomen omavaraisuutta energiajärjestelmässä ja vähentää riippuvuutta jatkuvasti niukentuvista ja kallistuvista fossiilisista energialähteistä.

## 5.2 Lyhyt ja pitkä aikaväli

Useat tutkimukset (Repo, Tuomi & Liski 2010; Kallio, Salminen & Sievänen 2013) ovat osoittaneet, että ilmastohyötyjen kannalta on väliä, millä aikavälillä biopolttoaineiden energiakäyttöä verrataan suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin. Biopolttoaineiden käyttöä perustellaan sillä, että se valmistetaan uusiutuvasta energialähteestä tässä yhteydessä puusta, josta palaessa syntyvä hiilidioksidi sitoutuu takaisin maaperään tietyllä aikavälillä. Biopolttoainetta, jonka raaka-aineena käytetään puuta (esimerkiksi hakkuujätettä tai puupurkutavaraa), kutsutaan usein toisen sukupolven biopolttoaineeksi (Holtmark 2012). Mielletään, että sen käyttö ei aiheuta netto kasvihuonekaasupäästöjä eli sen käyttö on hiilineutraalia. Hiilineutraalisuus käsitteestä on kuitenkin ristiriitaista tutkimusta (Johnson 2009). Poliittiset tavoitteet uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiseksi ovat kasvattaneet biopolttoaineiden suosiota. Se lisää paineita maankäyttöön, sillä maata voidaan hyödyntää maatalouskäyttöön tai se voidaan metsittää. (Repo, Tuomi & Liski 2010; Kallio, Salminen & Sievänen 2013.)

Maankäytön muutokseen liittyy epäsuoria hiilidioksidipäästöjä, joihin on alettu kiinnittämään enemmän huomiota keskusteltaessa biopolttoaineiden ilmastovaikutuksista verrattuna fossiilisten polttoaineiden ilmastovaikutuksiin. Epäsuoria päästöjä syntyy, kun biopolttoaineiden tuotantoon tarvittava raaka-aine vähentää biomassan ja maaperän hiilinieluja. Jos keskenkasvuinen puusto hakataan tuotantoa varten, vähenee hiilinielujen määrä hakatun puuston verran, mutta lisäksi myös siltä osin kuin puusto olisi kasvanut täyteen mittaansa ja sitonut hiilidioksidia. Se aiheuttaa netto-kasvihuonekaasupäästöjen kasvua. On myös kyseenalaistettu se, että maata käytetään biopolttoaineiden raaka-ainetta varten, kun samaa maata voitaisiin hyödyntää ravintokasvien kasvattamiseen. (Melillo ym. 2009; Kallio, Salminen & Sievänen 2013.)

Kallio, Salminen & Sievänen (2013) osoittavat tutkimuksessaan, että puun käyttö energiatuotannossa ei luo netto-ilmastohyötyjä lyhyellä (10-30 vuotta) eikä vielä keskipitkällä (50-100 vuotta) aikavälillä. Saman suuntaisia tuloksia on saatu myös aiemmissa tutkimuksissa (Holtsmark 2012). Puun käytön lisääminen vähentää metsien hiilinieluja ja samalla aiheutuu suoria päästöjä ilmakehään. Silti poliittiset päätökset suosivat enemmän uusiutuvan puubiomassan käyttöä korvaamaan fossiilisia polttoaineita kuin lisäämään metsien hiilinielujen määrää, jotka sitoisivat hiilidioksidia ilmakehästä. (Kallio, Salminen & Sievänen 2013.) Puubiomassan hyödyntämisestä saataviin ilmastohyötyihin vaikuttaa muutamit sivutekijät, kuten metsänhoito ja puuston kasvunopeus. Eri maissa puusto kasvaa vaihtelevalla nopeudella ja kasvuaste voi vaihdella. (Kallio, Salminen & Sievänen 2016.) Suomessa puuston vuotuinen kasvu on viime vuosina ollut yli 100 miljoonan kuutiometrin luokkaa. Puuston kasvu on nopeutunut selkeästi 1970-luvun jälkeen. Metsät tuottavat suunnilleen 33 miljoonaa kuutiometriä enemmän puuta kuin sitä poistuu luonnonpoistuman kautta tai hakkuissa. Suomen metsistä valtaosa on mäntyä ja kuusipuuta, jotka kuuluvat havupuulajeihin. (Metsätilastollinen vuosikirja 2014b, 28.2.2017.)

Holtsmark (2012) kertoo tutkimuksessaan, että havumetsien uusiutumisaika on suunnilleen 70-120 vuotta. Jos puun kasvunopeus olisi vuoden tai muutamien vuodelle, voitaisiin puhua biopolttoaineiden hiilineutraalisuudesta, koska uusi kasvanut puu korvaisi metsästä hakatun puun hiilinieluna. Koska puun kasvaminen täysimittaiseksi kestää pitkään, niin suurialaisten hakkuiden vaikutus on, että metsien hiilinielut pienenevät. Ilmastonäkökulmasta puuston on järkevämpi antaa kasvaa täyteen mittaansa kuin tehdä hakkuut ennenaikaisesti. (Holtsmark 2012.) Hiilivelka (carbon debt) termiä käytetään kuvastamaan sitä, että puun polttamisesta vapautuva hiilidioksidi ei sitoudu tarpeeksi nopeasti takaisin metsiin, jotta siitä seuraisi päästövähennyksiä lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä (Kallio, Salminen & Sievänen 2016).

Repo, Tuomi ja Liski (2010) selvittivät tutkimuksessaan metsähakkeen hiilidioksidipäästöjä. He käyttivät Yasso07 nimistä maaperän hiilimallia, jolla simuloitiin 81-100 vuotta vanhan hakatun kuusimetsän metsähakkeen hajoamista Pirkanmaalla. Kuusimetsää pidetään hyvänä tarkastelun kohteena, koska sen hakkuusta jää paljon oksia ja kantoja hakkuujätteeksi. Oksia ja kantoja tarkasteltiin mallissa erikseen, koska ne hajoavat eri nopeudella ja antavat sen takia eri tuloksen hiilidioksidipäästöjen vapautumiselle. Kannot ovat paksumpaa puuainesta, joten ne hajoavat hitaammin kuin oksat. Simulaatio tehtiin 100

vuodelle ja hakkuujäte mallissa kerättiin joka vuosi samansuuruisena ja se poltettiin energiaksi heti.

Simuloinnissa huomioitiin myös muut hakkuujätteen hyödyntämiseen liittyvät päästölähteet, kuten kuljetuksen päästöt ja metaanipäästöt, jotka syntyvät hakkuujätteen hajoamisen seurauksena. Alussa hakkuujätteen epäsuorat päästöt olivat yhtä suuret kuin suorat päästöt eli hakkuujätteen polttamisesta aiheutuvat päästöt. Epäsuorat päästöt kuitenkin vähenivät ajan kuluessa metsään hajoavien hakkuujätteiden seurauksena. Kantojen epäsuorat päästöt vähenivät hitaammin kuin oksien epäsuorat päästöt, koska kannot hajoavat hitaammin. Hakkuujätteen kokonaispäästöt vastasivat aluksi fossiilisten polttoaineiden päästöjä, ne kuitenkin laskivat ajan myötä. Kantoja vertailtaessa kesti 14 vuotta ennen kuin niiden kokonaispäästöt vähenivät öljyn päästöjä pienemmäksi ja 22 vuotta, että kokonaispäästöt laskivat pienemmiksi kuin maakaasun päästöt. Oksien tapauksessa kesti vain muutamia vuosia, että niiden kokonaispäästöt alittivat maakaasun ja öljyn päästöt. Simulaation perusteella havaittiin myös, että hakkuujätteen päästöt eivät sadassa vuodessa olleet nollassa. Oksien kokonaispäästöt olivat 71% alemmat kuin maakaasun, 74% pienemmät kuin öljyn ja 79% matalammat kuin kivihiilen 100 vuoden jälkeen. Kantojen kokonaispäästöt vastaavasti olivat 100 vuoden jälkeen 40%, 46% ja 58% alemmat kuin maakaasun, öljyn ja kivihiilen. Tutkimuksen mukainen johtopäätös on, että ilmastonäkökulmasta oksat kannattaa hyödyntää energiakäyttöön, mutta kannot jättää metsään hajoamaan. (Repo, Tuomi & Liski 2010.)

Kallion, Salmisen ja Sieväsen (2013) tutkimuksessa selvitettiin puupohjaisten biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia, kun niiden osuutta energiantuotannossa lisätään, jotta saavutetaan EU:n asettamat tavoitteet. Ensinnäkin tutkimuksessa kehoitetaan hyödyntämään kaikki hakkuujäte energiaksi, koska vaikka ne jätettäisiin metsiin hajoamaan, vapautuu niistä hiilidioksidipäästöjä jo lyhyellä aikavälillä, joten on parempi hyödyntää hakkuujäte ja polttaa se energiaksi. Sama energiamäärä tuotettaisiin joka tapauksessa jollain korvaavalla menetelmällä, kuten käyttämällä fossiilisia polttoaineita. Näkökulma poikkeaa Repon, Tuomen ja Liskin (2010) tutkimuksesta, joka kehottaa jättämään kannot metsiin hajoamaan ja polttamaan energiaksi vain oksat.

Suomen metsät kasvavat tällä hetkellä ennätysnopeudella, joten niiden hyödyntäminen sekä teollisuudessa että nieluina tehostuu. Kasvava puun kysyntä nostaa myös puun markkinahintaa, joka motivoi metsänomistajia parempaan metsänhoitoon. Tutkimuksessa arvioitiin, että hakkuujäte ei pelkästään riitä kattamaan puun lisääntyneitä kysyntää energiantuotannossa, vaan sitä varten on hakattava kuitupuuta. Tällöin aiheutuu suoria ja epäsuoria päästöjä, jolloin lyhyen aikavälin ilmastotavoitteet eivät toteudu. (Kallio, Salminen & Sievänen 2013.) Myös Kallio, Anttila, McCormick ja Asikainen (2011) pitävät Suomen tavoitteita hakkuujätteen käytölle kunnianhimoisina. He kertoivat tutkimuksessaan, että metsähakkeen hinta voi mahdollisesti nousta kasvaneen kysynnän seurauksena sekä hakkuujätteen keräämisestä aiheutuvien kustannusten vuoksi. Sen seurauksena metsähakkeen käyttö voi vähentyä. Oikeanlaisilla poliittisilla toimenpiteillä, kuten tukien asettamisella bioenergialle tai tiukemalla hiilidioksidipäästöihin liittyvällä politiikalla, voidaan vaikuttaa puun käyttöön.

Huomioitavaa on, että puun energiakäytöstä vapautuu enemmän hiilidioksidia tuotettua energiayksikköä kohden kuin fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Tilastokeskuksen (2016) mukaan bioenergian päästökerroin on 109,6 g CO<sub>2</sub>/MJ energiantuotannossa, kun maakaasulla se on 55,3 g CO<sub>2</sub>/MJ, dieselöljyllä 61,1 g CO<sub>2</sub>/MJ ja kivihiilellä 93,3 g CO<sub>2</sub>/MJ (Tilastokeskus 2016a, 24.2.2017).

### 5.3 Hintojen vaihtelun vaikutukset biopolttoaineiden käytölle

Puubiomassa on yksi tärkeimpiä uusiutuvan energian lähteistä (renewable energy sources, RES). Sen käyttöä lisätään tulevaisuudessa, jotta poliittisiin tavoitteisiin päästään ilmastomuutoksen rajoittamiseksi. Useat tutkimukset ovat selvittäneet kuinka puun käyttö vaihtelee eri tekijöiden vaikutuksesta. Näitä tekijöitä ovat muun muassa puun oma hinta, fossiilisten polttoaineiden hinta ja CO<sub>2</sub> päästöjen hinta sekä niiden väliset muutokset. (Moiseyev, Solberg, Kallio & Lindner 2011.) Maakaasu ja kivihiili ovat Euroopan tärkeimmät polttoaineet energiantuotannossa, joten niiden hintojen muutoksilla ja CO<sub>2</sub> päästöjen hintojen muutoksilla on vaikutusta kuinka paljon uusiutuvia energialähteitä käytetään. Maakaasu on kivihiieltä kalliimpaa, mutta sen polton CO<sub>2</sub> päästöt ovat pienemmät. (Moiseyev, Solberg & Kallio 2013.)

Lähes koko viime vuosikymmenen ajan metsähakkeen käyttö polttoaineena on lisääntynyt voimakkaasti. Suomi on silti toistaiseksi kaukana vuodelle 2020 asetetusta 13,5 miljoonan kuutiometrin käyttötavoitteesta. Tavoitteeseen pääseminen edellyttää raakapuun kysynnän ja hakkuiden kasvattamista, jotta metsähakkeen tarjonta riittää kasvavalle tuotannolle. Etenkin biodieselin käytön odotetaan kasvavan tulevaisuudessa. Metsähakkeen kysyntään vaikuttaa sen oma hinta suhteessa kilpailevien raaka-aineiden, kuten turpeen tai kivihiihlen hintaan. Turpeen ja kivihiihlen hintaan vaikuttavat hiilidioksidipäästölupien hinnan muutokset, jotka eivät koske metsähakkeen käyttöä. Jos päästölupien hinta nousee, paranee metsähakkeen kilpailukyky. Metsähakkeen käyttötavoite vuodelle 2020 voidaan saavuttaa arvion mukaan jos päästöluvan hinta on noin 25 euroa hiilidioksiditonnilta ja raakapuuta hakataan suunnilleen 58 miljoonaa kuutiometriä. Metsähakkeesta valmistettavan biodieselin lisääntyvä tuotanto nostaa metsähakkeen hintaa, jolloin sen käyttö sähkön ja lämmityksen tuotannossa vähenee. Sen takia valtio on asettanut tuotantotukijärjestelmän uusiutuvien energialähteiden käytölle. (Kallio, Anttila, McCormick & Asikainen 2011.)

Moiseyev, Solberg & Kallio (2013) osoittavat EU-alueelta tehdyssä tutkimuksessaan, että matalilla maakaasun ja kivihiihlen hinnoilla puun hyödyntäminen energiantuotannossa rajoittuu matalakustanteisen hakkuujätteen käyttöön. Korkeilla maakaasun ja kivihiihlen hinnoilla käytetään energiantuotantamiseen hakkuujätteen lisäksi ainespuuta. Analyysin mukaan korkeilla CO<sub>2</sub> hinnoilla ainespuun käyttö voi edelleen jäädä alhaiseksi energiantuotannossa, koska aurinko- ja tuulivoimasta tulee entistä kilpailukykyisempiä korvaamaan fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Tukijärjestelmällä voidaan vaikuttaa puun käyttöön.

Valtioneuvoston Pöyry Management Consulting Oy:ltä tilaamaan selvityksen metsäbiomassojen kustannustehokkaasta käytöstä mukaan puun lisääntyvä käyttö nostaa puun hintaa. Sen seurauksia pitkällä aikavälillä voi olla metsäteollisuuden investointihalukkuuden väheneminen ja jopa laitosten sulkeminen. Skenaariolaskelmiin perustuvan mallin mukaan puun hintaa nostaa puumarkkinoiden kiristynvä kilpailu, joka johtuu metsäteollisuustuotannon kasvusta, jota puupohjaisten biopolttoaineiden lisääntyvä tuotanto voimistaa. Puusta valmistettavan biopolttoaineen käytölle tulisi määrittää selkeitä ohjauskeinoja poliittisesti. Tukijärjestelmien valinnassa on kuitenkin omat haasteensa. Poliittinen epävarmuus ja öljyn markkinahinnan vaihtelu ovat vaikuttaneet yritysten investointihalukkuuteen edistää biopolttoaineiden tuotantoa. Ohjauskeinot tulisi asettaa siten, että teknologiaa kehitettäisiin kaupallista tasoa kohti ja kotimaisen biopolttoaineen tuotantokustannukset laskisivat suhteessa tuontipolttoaineisiin, kuten öljyyn. Pöyryn tekemien skenaariolaskelmien mukaan puun hinnan ollessa korkea 41 EUR/m<sup>3</sup>, maksaisi puupohjaisen dieselin valmistus 1400 EUR/t ja biopolttoaineen hinta on 1100-1300 EUR/toe. Laskelmien mukaan on selkeää, että biopolttoaine tarvitsee jonkinlaista tukea, jotta sen markkinoille tuloa voidaan edistää. (Valtioneuvoston kanslia 2017.)

#### **5.4 Maailmalla ja Suomessa saatuja tutkimustuloksia ilmasto-vaikutuksista, kun puupohjaisia biopolttoaineita käytetään korvaamaan fossiilisia energialähteitä**

Maakohtaista tutkimusta on tehty siitä kuinka metsiä voidaan hyödyntää ilmastonmuutoksen hillinnässä. Lundmark ym. (2014) tutkivat asiaa Ruotsissa ja Werner, Taverna, Hofer, Thürig ja Kaufmann (2010) Sveitsissä. Kummassakin tutkimuksessa osoitetaan skenaariolaskelmien perusteella kuinka eri strategiat vaikuttavat eri tavoin metsien kykyyn toimia ilmastonmuutoksen hillitsijänä. Etenkin lyhyen ja pitkän aikavälin vaikutuksissa on eroavaisuuksia, kuten myös Suomen osalta kappaleessa 4.2 osoitettiin. Strategiaa valittaessa tulisi päättää toimiiko lyhyen vai pitkän aikavälin tähtäimellä, koska ne antavat eri lopputuloksen. Lyhyellä aikavälillä kannattavaa olisi antaa metsien kasvaa täyteen mittaansa ja sitoa hiiltä pois ilmakehästä, eikä kaataa niitä laisinkaan. Metsävarat eivät kuitenkaan voi kasvaa loputtomiin, vaan ennen pitkää ne saavuttavat maksimimittansa, eivätkä enää kykene sitomaan hiilidioksidia ilmakehästä. Jos metsää ei kaadettaisi, täytyisi kulutuksen metsätuotteiden osalta laskea tai niiden käyttö tulisi korvata muilla tuotteilla, kuten fossiilisilla polttoaineilla energiantuotannossa. Niiden käytöllä taas olisi ilmastolle haitallisia vaikutuksia ja tällöin lyhyen aikavälin strategia ei toimisi. Kioton sopimus myös rajoittaa hiilinielujen määrää laskennallisesti. Skenaariolaskelmissa pitkällä aikavälillä hyvin hoidettujen metsien puun käyttäminen energiantuotantoon korvaamaan uusiutumattomia energialähteitä vähentää hiilidioksidipäästöjä. Samaan johtopäätökseen lyhyen ja pitkän aikavälin strategioista pääsi myös Lobianco, Cauria, Delacote ja Barkaoui (2015) Ranskassa tehdyssä tutkimuksessa. Wernerin ym. (2010) tutkimuksessa kerrotaan, että paras mahdollinen keino hiilidioksidipääs-

töjen osalta on käyttää puutuotteita aluksi korvaamaan muita energiaintensiivisempiä materiaaleja ja vasta käytöstä poistamisen jälkeen polttaa energiaksi. Samaan tulokseen päätyi Werner, Taverna, Hofer ja Richter (2006) rakennussektorilta tekemässään tutkimuksessaan Sveitsissä. Tutkimus keskittyi elinkaariajatteluun, jolla tarkoitetaan kaikkia aiheutuvia ympäristövaikutuksia materiaalin hankinnan, käytön ja käytöstä poistamisen aikana. Myös Smyth ym. (2014) Kanadasta tehdyssä tutkimuksessaan toteavat, että puun käyttäminen pitkäaikaisiin tuotteisiin antaa paremmat tulokset kuin sen käyttäminen bioenergian tuotantoon. Heidän tutkimuksensa myös osoittaa sen, että lyhyen aikavälin strategia heikentää pitkän aikavälin tavoitteita.

Soimakallion, Saikun, Valstan ja Pingoudin (2016) Suomessa tehdyn skenaariotutkimuksen perusteella on hyvin epätodennäköistä, että Suomi saavuttaisi pitkällä aikavälillä merkittäviä netto hiilidioksidipäästövähennyksiä puun hyödyntämisen avulla. Sillä samaan aikaan, kun puuta käytetään korvaamaan fossiilisia energialähteitä energiantuotannossa ja materiaalikäytössä, lisääntyy metsien hakkaaminen, jolloin hiilinielujen määrä vähenee. Tutkimuksessa mainitaan, että eroavaisuuksia muiden maiden tuloksiin voidaan selittää muun muassa huomioon otettujen faktoreiden määrällä. Myös Pingoud, Ekholm, Soimakallio ja Helin (2015) kertovat tutkimuksessaan, että tutkimustuloksiin vaikuttavat monet tekijät, joiden takia tulokset voivat vaihdella. Joissain tutkimuksissa otetaan esimerkiksi ilmaston lämpenemisen vaikutukset huomioon skenaariolaskelmissa. Heidän tutkimuksensa perusteella on mahdollista, että Suomessa saavutetaan hiilidioksidin vähenemistä ilmakehästä pitkällä aikavälillä, jos bioenergialla korvataan fossiilisia energialähteitä.



## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

EU:n ilmastopolitiikan tärkeimpiä yksittäisiä välineitä ovat päästöoikeuskauppa ja kansallisesti määritellyt tavoitteet päästökaupan ulkopuolisille tahoille sekä uusiutuvien energialähteiden käytön lisääminen korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Työssäni tutkin kuinka ilmastopolitiikka hyödyntää metsiä ilmastotavoitteiden saavuttamisessa. Metsien rooli on toistaiseksi ollut kiistanalainen ja niiden tarjoamista hyödyistä ilmastomuutoksen hillitsemiseksi on saatu erilaisia tutkimustuloksia. Metsien monimuotoisuutta voidaan hyödyntää moneen eri käyttötarkoitukseen, joten sen poliittinen säätely ei ole yksinkertaista, jotta metsistä saatava hyöty olisi paras mahdollinen. Lisäksi ilmastopoliittinen päätöksenteko tapahtuu sekä kansainvälisten sopimusten, EU:n ja kansallisen politiikan mukaan.

Ilmastomielessä on väliä, millä ajanjaksolla metsien roolia tarkastellaan. Aiemmat tutkimukset antavat samansuuntaisia tuloksia siitä, että lyhyen ja pitkän aikavälin tarkasteluilla on eroavaisuuksia ja niiden perusteella tehdyt strategiat ovat jopa toisiaan poissulkevia. Se johtuu osaltaan siitä, että metsien uusiutuminen on hidasta. Kirjallisuuskatsaukseni perusteella aiemmat tutkimukset viittaavat vahvasti siihen, että puutuotteiden energiakäytöstä saatavat ilmastohyödyt pätevät vasta pitkällä aikavälillä. Ilmastopolitiikan tulisi siten kiinnittää huomiota pitkän aikavälin tavoitteisiin metsien osalta, jotta hyöty olisi paras mahdollinen. Nykyinen ilmastopolitiikka tähtää heti saavutettaviin kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiin.

Tällä hetkellä metsätaloussektori ei kuulu nykyiseen EU:n päästökauppaan mukaan ja yhtenä perusteluna sille pidetään, että päästökauppa perustuu lyhyen aikavälin sykleihin (Ellison, Lundblad ja Petersson 2014). Ristiriitaa siis aiheuttavat metsien pitkän aikavälin tavoitteet ja päästökaupan lyhyen aikavälin toiminta. Osa tutkimuksista osoittaa, että biopolttoaineiden polttaminen ei ole lyhyellä aikavälillä ilmastomielessä puhtaampi vaihtoehto kuin fossiilisten polttoaineiden käyttäminen, jolloin siitä saatavat hyödyt eivät päde ilmastomuutoksen hillinnässä. Olennaista kuitenkin on se, että puu on uusiutuva luonnonvara toisin kuin fossiiliset polttoaineet. Osa tutkimuksista pitää ilmastomielessä järkevämpänä vaihtoehtona puun käytön lisäämistä ensin korvaamaan muita materiaaleja ja käytöstä poistamisen jälkeen polttamaan ne energiaksi (Werner ym. 2010).

Suomessa laajojen metsävarojen vuoksi poliittiset intressit voivat poiketa verrattuna maihin, joissa ne eivät ole yhtä merkittävät. Ilmastopolitiikka ei yksistään vaikuta metsien käyttöön, vaan siihen vaikuttavat muun muassa myös metsänomistajien intressit, kotimainen ja ulkomainen kysyntä ja markkinahinnat. Poliitiikalla voidaan tukea ja ohjata haluttuun toimintaan, mutta välillä se on tehotonta politiikan päällekkäisyyksien takia. Nykyhetken tietojen perusteella LULUCF -sektoria ei olla liittämässä EU:n päästökauppaan mukaan. Tutkielmani perusteella vaatisi lisää tutkimustietoa sen osalta, olisiko sen liittäminen suositeltavaa.

LULUCF -sektorin hiilinieluja ei saa hyödyntää täysimääräisenä päästölaskelmiin mukaan, joten se laittaa sektorin eriarvoiseen asemaan muihin sekto-

reihin nähden. Se ei kannusta lisäämään hiilinielujen määrää tai vähentämään sektorilta aiheutuvia päästöjä. Suomen kannalta se on myös haitallista, koska Suomi voisi kompensoida muiden sektoreiden aiheuttamia päästöjä merkittävien metsävarojensa hiilinieluilla.

## LÄHTEET

Aatola, P., Marjamaa, E., Ollikainen, M. & Ollikka, K. 2013. Euroopan unionin päästöoikeuskauppa ja ilmastopolitiikka. *Kansantaloudellinen aikakauskirja* 109. 3/2013.

Ackerman, F & Stanton, E, A. 2014. *Climate Change and Global Equity*. Anthem Press.

Boehm, D, A. 2011. *Forestry: Research, Ecology and Policies*. Environmental Science, Engineering and Technology. Nova Science Publishers, Inc. E-kirja.

Brundtland, G, H. 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Oxford. Oxford University Press.

Burney, N. E. 2010. *Carbon Tax and Cap-and-trade Tools. Market-based Approaches for Controlling Greenhouse Gases*. Nova Science Publishers, Inc. Book.

Chevallier, J. 2012. Banking and borrowing in the EU ETS: A review of economic modelling, current provisions and prospects for future design. *Journal of Economic Surveys*. Vol 26. Issue 1. Pages 157-176.

Coase, R, H. 1960. The Problem of Social Cost. *The Journal of Law and Economics*, Vol. 3. 1-44.

EIA, U.S Energy Information Administration. 2017. *International Energy Outlook 2017. Executive Summary*. Saatavilla verkossa: <[https://www.eia.gov/outlooks/ieo/exec\\_summ.php](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/exec_summ.php)>. (viitattu 7.2.2018)

Ekholm, T., Honkatukia, J., Koljonen, T., Laturi, J., Lintunen, J., Pohjola, J. & Uusivuosi, J. 2015. EU:n 2030 ilmasto- ja energiakehitys -arvio LULUCF -sektorin sisällyttämisen mahdollisuuksista ja ristiriidoista Suomelle. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 6/2015.

Ellison, D., Lundblad, M. & Petersson, H. 2014. Reforming the EU approach to LULUCF and the climate policy framework. *Environmental Science & Policy*. Vol. 40, June 2014, Pages 1-15.

Energiavirasto. 2018. Perustietoa. Saatavilla verkossa: <<http://www.energiavirasto.fi/perustietoa>>. (Viitattu 14.3.2018)

European Commission. 2016. *Energiaunioni ja ilmastotoimet: Tavoitteena siirtää Eurooppa nopeammin vähähiiliseen talouteen*. Euroopan komissio lehdistötiedote. Saatavilla verkossa: <[http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-16-2545\\_fi.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-2545_fi.htm)>. (Viitattu 31.3.2017)

European Commission. 2017. Climate strategies & targets. Saatavilla verkossa: <[https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en)>. (Viitattu 2.2.2017)

Groves, T. & Ledyard, J. 1977. Optimal Allocation of Public Goods: A Solution to the "Free Rider" Problem. *Econometrica*, Vol. 45, No. 4. 783-809.

Haakana, M., Ollila, P., Regina, K., Riihimäki, H. & Tuomainen, T. 2015. Menetelmä maankäytön kehityksen ennustamiseen. Pinta-alojen kehitys ja kasvihuonekaasupäästöt vuoteen 2040. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 51/2015. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Heikkinen, P. & Ollikainen, M. 2015. Päästökauppabarometri 2014 –Suomalaiset yritykset ja Euroopan unionin päästöoikeuskauppa. *Kansantaloudellinen aikakauskirja* -111. vsk. -4/2015.

Hetemäki, L. 2012. Suomen metsäala osana globaaleja ilmasto –ja energiakysymyksiä. Metlan työraportteja 240. Teoksessa: Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät.

Hokkanen, T. 2015. Ilmastopolitiikan vaikutukset Suomen kansantalouteen ja kilpailukykyyn – mitä arvioista voidaan oppia? Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 11/2015.

Hokkanen, T. & Ollikka, K. 2015. Energia –ja ilmastopolitiikan uudet tuulet. VATT Policy Brief 3-2015.

Holtzmark, B. 2012. Harvesting in boreal forests and the biofuel carbon debt. *Climatic Change*. Vol 112, Issue 2, pp 415-428.

Honkatukia, J. 2004. Päästöoikeuksien jakotapojen kustannusvaikutukset. VATT keskustelualoitteita 329. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. Helsinki.

Hsu, S.-L. 2011. The Case for a Carbon Tax. Getting past our hang-ups to effective climate policy. ISLANDPRESS. E-kirja.

Hård, M. & Jamison, A. 2005. Hubris and Hybrids: A Cultural History of Technology and Science. New York: Routledge.

Hänninen, H., Leppänen, J., Ovaskainen, V., Uusivuosi, J. & Viitala, E.-J. 2017. Metsätalouden uusi kannustinjärjestelmä – teoriaa, käytäntöjä ja ehdotukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 5/2017. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Ilmasto-opas. 2015. Sopimukset ohjaavat kansainvälistä ilmastopolitiikkaa. Saatavilla verkossa: <[http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/f65a78bb-dc8e-41a5-b09a-6fa36661880b/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikkaa\\_fi.html](http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/f65a78bb-dc8e-41a5-b09a-6fa36661880b/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikkaa_fi.html)> . (viitattu 14.3.2018)

Ilvesniemi, H. 2012. Ilmastomuutos ja biomassat. Metlan työraportteja 240. Teoksessa: Biotalous, ilmastomuutos ja Suomen metsät.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. & Tanabe, K. (toim.). IGES, Japan.

IPCC. 2011. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Summary for Policymakers and Technical Summary. Saatavilla verkossa: <[http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf)>. (viitattu 7.2.2018)

IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working. Summary for Policymakers. Saatavilla verkossa: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5\\_SPM\\_brochure\\_en.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf)>. (viitattu 13.3.2018)

IPCC. 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers. Saatavilla verkossa: <[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>. (viitattu 8.2.2018)

Johnson, E. 2009. Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right. Environmental Impact Assessment Review. Vol. 29, Issue 3, pp. 165-168.

Joutsenvirta, M., Halme, M., Jalas, M. & Mäkinen, J. (toim.) (2011). Vastuullinen liiketoiminta kansainvälisessä maailmassa. Helsinki: Gaudeamus.

Kallio, A.M.I., Anttila, P., McCormick, M. & Asikainen, A. 2011. Are the Finnish targets for the energy use of forest chips realistic- Assessment with a spatial market model. Journal of Forest Economics. Vol. 17, Issue 2, Pages 110-126.

Kallio, A, M, I., Salminen, O. & Sievänen, R. 2013. Sequester or substitute- Consequences of increased production of wood based energy on the carbon balance in Finland. Journal of Forest Economics. Vol 19, Issue 4, Pages 402-415.

Kallio, M., Salminen, O. & Sievänen, R. 2014. Low Carbon Finland 2050 – platform: skenaariot metsäsektorille. Metlan työraportteja 308.

Kallio, A.M.I., Salminen, O. & Sievänen, R. 2016. Forests in the Finnish low carbon scenarios. Journal of Forest Economics. Vol 23, Pages 45-62.

Känkänen, J., Patronen, J., Vilén, K. & Saarela, J. 2017. Päästökauppadirektiivin uudistamisen vaikutukset Suomen energiasektoriin ja teollisuuteen. Valtioneuvoston kanslia. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 56/2017.

Laturi, J., Lintunen, J. & Uusivuori, J. 2016. Modeling the Economics of the Reference Levels For Forest Management Emissions in the EU. *Climate Change Economics*, Vol. 7, No. 3. World Scientific Publishing Company.

Laturi, J., Lintunen, J., Pohjola, J. & Uusivuori, J. 2015. Taloustieteellinen näkökulma metsien käyttöä ohjaavaan politiikkaan: Tuloksia FinFep -mallilla. Teoksessa: Uusivuori, J., Hildén, M., Lehtonen, H., Rikkonen, P. & Makkonen, M (toim.). *Politiikka ja luonnonvarat. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 20/2015*. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Lehtonen, A. 2009. Suomen kasvihuonekaasuinventaario ja metsien merkitys hiilitaseelle. *Metsätieteen aikakauskirja 3/2009*.

Lehtonen, A., Salminen, O., Kallio, M., Tuomainen, T. & Sievänen, R. 2016. Skenaariolaskelmiin perustuva puuston ja metsien kasvihuonekaasutaseen kehitys vuoteen 2045. Selvitys maa- ja metsätalousministeriölle vuoden 2016 energia- ja ilmastostrategian valmistelua varten. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 36/2016*. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Lintunen, J., Uusivuori, J., Laturi, J., Pohjola, J. & Rautiainen, A. 2016. Metsät ja hiilivirtoja ohjaava ilmastopolitiikka. *Metsätieteen aikakauskirja 3-4/2016*: 157-164.

Lobianco, A., Cauria, S., Delacote, P. & Barkaoui, A. 2015. Carbon mitigation potential of the French forest sector under threat of combined physical and market impacts due to climate change. *Journal of Forest Economics*. Vol. 23, pp 4-26.

Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B, C., Sathre, R., Taverna, R. & Werner, F. 2014. Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests 2014, 5 (4)*, pp 557-578.

Luonnonvarakeskus. 2016. Metsävarat ja metsäsuunnittelu. Saatavilla verkossa: <<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsavarat-ja-metsasuunnittelu/>>. (Viitattu 8.3.2018)

Maa- ja metsätalousministeriö. a. Metsätalouden tuet. Saatavilla verkossa: <<http://mmm.fi/metsatalouden-tuet>>. (Viitattu 11.4.2018)

Maa- ja metsätalousministeriö. b. Laeilla ja asetuksilla turvataan metsätalouden kestävyyttä. Saatavilla verkossa: <<http://mmm.fi/metsat/lainsaadanto>>. (Viitattu 11.5.2018)

Maa- ja metsätalousministeriö. 2012. Miten väistämättömään ilmastonmuutokseen voidaan varautua? -yhteenveto suomalaisesta sopeutumistutkimuksesta eri toimialoilla. 5.3 Ilmastonmuutoksen taloudelliset vaikutukset ja niiden arviointi. Saatavilla verkossa:

<[http://mmm.fi/documents/1410837/1721026/MMM\\_julkaisu\\_2012\\_6.pdf/c01a813c-8538-4efa-b29e-4844d723c0af](http://mmm.fi/documents/1410837/1721026/MMM_julkaisu_2012_6.pdf/c01a813c-8538-4efa-b29e-4844d723c0af)>. (Viitattu 7.2.2017)

Maa- ja metsätalousministeriö. 2015. Kansallinen metsästrategia 2025 - Valtio-neuvoston periaatepäätös 12.2.2015. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 6/2015. Saatavilla verkossa: <<http://mmm.fi/documents/1410837/1504826/Kansallinen+metsästrategia+2025/c8454e55-b45c-4b8b-a010-065b38a22423>>. (Viitattu 20.4.2018)

Maa- ja metsätalousministeriö. 2017. EU:ssa sopu maankäyttösektorin (LU-LUCF) sisällyttämisestä 2030- ilmastotavoitteisiin. Saatavilla verkossa: <[http://mmm.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/eu-ssa-sopu-maankayttosektorin-lulucf-sisallyttamisesta-2030-ilmastotavoitteisiin](http://mmm.fi/artikkeli/-/asset_publisher/eu-ssa-sopu-maankayttosektorin-lulucf-sisallyttamisesta-2030-ilmastotavoitteisiin)>. (Viitattu 19.3.2018)

Maanmittauslaitos. 2014. Suomen pinta-ala kunnittain 1.1.2014. Saatavilla verkossa: <[http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/alat\\_2014.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/alat_2014.pdf)>. (Viitattu 7.1.2017)

Malthus, T. R. 1798. An Essay on the Principle of Population. Lontoo: J. Johnson.

Melillo, J. M., Reilly, J. M., Kicklighter, D. W., Gurgel, A. C., Cronin, T. W., Paltsev, S., Felzer, B. S., Wang, X., Sokolov, A. P. & Schlosser, C. A. 2009. Indirect Emissions from Biofuels: How Important? Science. Vol. 326, Issue 5958, pp 1397-1399.

Metsälaki 1093/1996. Saatavilla verkossa: <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961093#L1P1>>. (Viitattu 20.4.2018)

Metsätilastollinen vuosikirja. 2014a. 10 Metsäteollisuus. Saatavilla verkossa: <[http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2014/vsk14\\_10.pdf](http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2014/vsk14_10.pdf)>. (Viitattu 28.2.2017)

Metsätilastollinen vuosikirja. 2014b. 1 Metsävarat. Saatavilla verkossa: <[http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2014/vsk14\\_01.pdf](http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/julkaisut/vsk/2014/vsk14_01.pdf)>. (Viitattu 28.2.2017)

Moiseyev, A., Solberg, B., Kallio, A.M.I. & Lindner, M. 2011. An economic analysis of the potential contribution of forest biomass to the EU RES target and its implications for the EU forest industries. Journal of Forest Economics. Vol. 17, Issue 2, Pages 197-213.

Moiseyev, A., Solberg, B. & Kallio, A.M.I. 2013. Wood biomass use for energy in Europe under different assumptions of coal, gas and CO<sub>2</sub> emission prices and market conditions. Journal of Forest Economics. Vol. 19, Issue 4, Pages 432-449.

Naskali, A. 2015. Kohti ekosysteemitaloutta. Tutkimus ekologisen taloustieteen perusteista ja mahdollisuuksista. Publications of the University of Eastern Finland. Dissertations in Social Sciences and Business Studies No 94.

Nordhaus, W, D. 2007. A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. *Journal of Economic Literature*. Vol. XLV, pp. 686-702.

Ollikka, K. 2013. Uusiutuvien energiamuotojen tukeminen. *Kansantaloudellinen aikakauskirja* -109. 3/2013.

O'Sullivan, R., Streck, C., Janson-Smith, T., Haskett, J., Schlamadinger, B. & Niles, J, O. 2006. Local and Global Benefits of Including LULUCF Credits in the EU ETS. *Climate Focus*. Saatavilla verkossa: <[http://www.climatefocus.com/sites/default/files/local\\_and\\_global\\_benefits\\_of\\_including\\_lulucf\\_credits\\_in\\_the\\_eu\\_ets.pdf](http://www.climatefocus.com/sites/default/files/local_and_global_benefits_of_including_lulucf_credits_in_the_eu_ets.pdf)>. (Viitattu 15.3.2018)

Paris Agreement. 2015. Article 5. United Nations. Saatavilla verkossa: <[http://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf)>. (Viitattu 24.3.2017)

Parry, I, W, H., Heine, D., Lis, E. & Li, S. 2014. *Getting Energy Prices Right: From Principle to Practise*. Washington. International Monetary Fund. 2014. E-kirja.

Parviainen, J., Vapaavuori, E. & Mäkelä, A. 2010. Finland's Forests in Changing Climate. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 159.

Pearse, P, H. 1990. *Introduction to Forestry Economics*. University of British Columbia Press. E-kirja. Saatavilla verkossa: <<https://ebookcentral.proquest.com/lib/jyvaskyla-ebooks/reader.action?docID=3412255&query=>>. (viitattu 6.3.2018)

Pilli-Sihvola, K., Haavisto, R., Nurmi, V., Oljemark, K., Tuomenvirta, H., Juhola, S., Groundstroem, F., Miettinen, I. & Gregow, H. 2016. Taloudellisesti tehokkaampaa sää- ja ilmastoriskien hallintaa Suomessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 45/2016. Valtioneuvoston kanslia.

Pingoud, K., Ekholm, T., Soimakallio, S. & Helin, T. 2015. Carbon balance indicator for forest bioenergy scenarios. *Global Change Biology Bioenergy*. Vol. 8, Issue 1, pp 171-182.

Pingoud, K., Savolainen, I., Seppälä, J., Kanninen, M. & Kilpeläinen, A. 2013. Metsien käytön ja metsäbioenergian ilmastovaikutukset. Suomen ilmastopaneeli raportti 2/2013.

Rantala, S., Mustonen, M. & Katila, P. 2017. Metsät muuttuvassa maailmassa: kansainväliset trendit ja keskeiset haasteet. Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja



Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) taustaselvitys Kansainvälisen luonnonvarapolitiikan yhteistyöverkostolle. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 1/2018. Luonnonvarakeskus. Helsinki.

Regan, D, H. 1972. The Problem of Social Cost Revisited. *The Journal of Law & Economics*, Vol. 15, No. 2. 427-437.

Repo, A., Tuomi, M. & Liski, J. 2010. Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. *GCB Bioenergy*. Volume 3, Issue 2. Pages 107-115.

Ricardo, D. 1817. *On the Principles of Political Economy and Taxation*. Lontoo: John Murray.

Samuelson, P. 1954. The Pure Theory of Public Expenditures. *Review of Economics and Statistics*, Vol. 36, No. 4. 387-389.

Schneider, F., Kollmann, A. & Reichl, J. 2015. *Political Economy and Instruments of Environmental Politics*. MIT Press. E-kirja.

Seppälä, J., Asikainen, A., Kalliokoski, T., Kanninen, M., Koskela, S., Ratinen, I. & Routa, J. 2017. Tutkijoiden pääviestit metsien käytön ilmastovaikutuksista. Suomen ilmastopaneeli raportti 1/2017.

Seppälä, J., Kanninen, M., Vesala, T., Uusivuori, J., Kalliokoski, T., Lintunen, J., Saikku, L., Korhonen, R. & Repo, A. 2015. Metsien hyödyntämisen ilmastovai-  
kutukset ja hiilinielujen kehittyminen. Ilmastopaneelin raportti 3/2015.

Sijm, J.P.M., Bakker, S.J.A., Chen, Y., Harmsen, H.W. & Lise, W. 2005. CO<sub>2</sub> price dynamics: The implications of EU emissions trading for the price of electricity. Energy research Centre of the Netherlands.

Sivula, P. 1992. Päästöjen Säätelyn Vaikutukset Yrityksen Tutkimus- ja Kehitystoimintaan. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. Helsinki.

Smyth, C, E., Stinson, G., Neilson, E., Lemprière, T, C., Hafer, M., Rampley, G, J. & Kurz, W, A. 2014. Quantifying the biophysical climate change mitigation potential of Canada's forest sector. *Biogeosciences*. Vol. 11, Issue 13, pp 3515-3529.

Soimakallio, S., Saikku, L., Valsta, L. & Pingoud, K. 2016. Climate Change Mitigation Challenge for Wood Utilization- The Case of Finland. *Environmental Science and Technology*. 2016, 50 (10), pp 5127-5134.

Stern, N. 2006. *Stern Review: the Economics of Climate Change*.

Stiglitz, J, E. 1986. *Economics of the Public Sector*. W.W. Norton & Company. New York, London.

Streck, C., O'Sullivan, R., Janson-Smith, T. & Tarasofsky, R. 2009. Climate Change and Forests. Emerging Policy and Market Opportunities. Brookings Institution Press.

Tamminen, S., Ollikka, K. & Laukkanen, M. 2016. Suomen energiaverotus suosii energiaintensiivisiä suuryrityksiä. VATT Policy Brief 2-2016.

Tilastokeskus. 2015. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2014. Helsinki. Saatavilla verkossa: <[http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/suominir\\_2015.pdf](http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/suominir_2015.pdf)>. (Viitattu 12.4.2018)

Tilastokeskus. 2016a. Polttoaineluokitus 2016. Saatavilla verkossa: <[http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html)>. (Viitattu 24.2.2017)

Tilastokeskus. 2016b. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2016. Saatavilla verkossa: <[https://tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki\\_2016\\_2017-05-24\\_kat\\_001\\_fi.html](https://tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki_2016_2017-05-24_kat_001_fi.html)>. (Viitattu 8.3.2018)

Tilastokeskus. 2017. Suomen kasvihuonekaasupäästöissä käänös kasvuun. Helsinki. Saatavilla verkossa: <[https://tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki\\_2016\\_2017-12-08\\_tie\\_001\\_fi.html](https://tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki_2016_2017-12-08_tie_001_fi.html)>. (viitattu 8.2.2018)

Tuomala, M. 2015. Julkistalous. Gaudeamus. E-kirja.

Työ- ja elinkeinoministeriö. Päästökauppa. Saatavilla verkossa: <<http://tem.fi/paastokauppa>>. (viitattu 14.3.2018)

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017. Energia. Helsinki.

Valtioneuvoston kanslia. 2017. Metsäbiomassan kustannustehokas käyttö. Pöyry Management Consulting Oy. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 23/2017. Saatavilla verkossa: <[http://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/23\\_Metsäbiomassan+kustannustehokas+käyttö/6ce5cca0-78a5-4502-8af4-ffe42d5557c9?version=1.0](http://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/23_Metsäbiomassan+kustannustehokas+käyttö/6ce5cca0-78a5-4502-8af4-ffe42d5557c9?version=1.0)>. (Viitattu 29.3.2017)

Victor, D. G. & Kennel, C. F. 2014. Ditch the 2 °C warming goal. Nature 514: 30-31.

Weitzman, M, L. 2007. A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change. Journal of Economic Literature. Vol. XLV, pp. 703-724.

Werner, F., Taverna, R., Hofer, P. & Richter, K. 2006. Greenhouse Gas Dynamics of an Increased Use of Wood in Buildings in Switzerland. *Climatic Change*. 2006, Vol. 74, Issue 1-3, pp 319-347.

Werner, F., Taverna, R., Hofer, P., Thürig, E. & Kaufmann, E. 2010. National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environmental Science & Policy*. Vol. 13, Issue 1, pp 72-85.

Whitesell, W. C. 2011. *Climate Policy Foundations. Science and Economics with Lessons from Monetary Regulation*. Cambridge University Press.

Wiesmeth, H. 2012. *Environmental Economics. Theory and Policy in Equilibrium*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Wolff, R. D. & Resnick, S. A. 2012. *Contending economic theories: neoclassical, Keynesian and Marxian*. Cambridge, Mass. MIT Press. E-kirja.

Yhdistyneet Kansakunnat. 2016. Suomi ja YK. Suomen osallisuus YK:n toimintaan. Kehitys. Saatavilla verkossa: <[www.yk.fi/node/470](http://www.yk.fi/node/470)>. (viitattu 14.3.2018)

Ympäristöministeriö. 2015. Pariisin ilmastokokouksessa läpimurto - tuloksena kaikkia maita sitova ilmastositoumus. Saatavilla verkossa: <[http://www.ymp.fi/fi-FI/Pariisin\\_ilmastokokouksessa\\_lapimurto\\_t%2837248%29](http://www.ymp.fi/fi-FI/Pariisin_ilmastokokouksessa_lapimurto_t%2837248%29)>. (viitattu 13.3.2018)

Zhang, Y. 2012. *Pricing Decision Theory and the Empirical Research On International Carbon Emissions Trading*. Shanghai Lixin University of Commerce, Shanghai, Kiina.

### **Kuvien lähteet:**

Kuva 1. Tilastokeskus. 2017. Suomen kasvihuonekaasupäästöissä käänös kasvuun. Saatavilla verkossa: <[https://tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki\\_2016\\_2017-12-08\\_tie\\_001\\_fi.html](https://tilastokeskus.fi/til/khki/2016/khki_2016_2017-12-08_tie_001_fi.html)>. (viitattu 8.2.2018)

Kuva 2. European Environment Agency. 2012. EUA future prices 2008-2012. Saatavilla verkossa: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/eua-future-prices-200820132012>>. (Viitattu 4.4.2017)

### **Kuvioiden lähteet:**

Kuvio 1. Ekholm, T., Honkatukia, J., Koljonen, T., Laturi, J., Lintunen, J., Pohjola, J. & Uusivuosi, J. 2015. EU:n 2030 ilmasto- ja energiakehitys -arvio LULUCF -

sektorin sisällyttämisen mahdollisuuksista ja ristiriidoista Suomelle. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 6/2015.

Kuvio 2. Stiglitz, J, E. 1986. Economics of the Public Sector. W.W. Norton & Company. New York, London.

Kuvio 3. Stiglitz, J, E. 1986. Economics of the Public Sector. W.W. Norton & Company. New York, London.