

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Olli-Matti Niinikoski

**SUOMEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT KIOTON PÖYTÄKIRJAN
ENSIMMÄISEN SOPIMUSKAUDEN LOPUSSA –
KOKONAISTILANNE JA VÄHENTÄMISTOIMENPITEET**

Työn tarkastajat: Professori Esa Vakkilainen

Tutkimusassistentti Kari Luostarinen

Työn ohjaaja: Professori Esa Vakkilainen

TIIVISTELMÄ

Tekijä: Olli-Matti Niinikoski

Työn nimi: Suomen kasvihuonekaasupäästöt Kioton pöytäkirjan ensimmäisen sopimuskauden lopussa – kokonaistilanne ja vähentämistoimenpiteet

Vuosi: 2014

Paikka: Lappeenranta

Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energiatekniikka

78 sivua, 19 kuvaa ja 6 taulukkoa

Tarkastajat: professori Esa Vakkilainen, tutkimusassistentti Kari Luostarinen

Hakusanat: Kasvihuonekaasupäästöt, kasvihuonekaasu, Kioton pöytäkirja, ilmastopöytäkirja

Tämä diplomityö on läpileikkaus kasvihuonekaasupäästöistä sekä niitä koskevista vähennystoimenpiteistä Suomessa Kioton pöytäkirjan ensimmäisen sopimuskauden lopussa. Työ on toteutettu kirjallisuustutkimuksena ja siihen on käytetty painettuja sekä sähköisiä lähteitä.

Huoli ilmastonmuutoksesta on saanut aikaan sen, että kasvihuonekaasupäästöjä rajoitetaan tänä päivänä kansainvälisillä sopimuksilla. Vaikka kaikki suuretkaan päästäjamaat eivät ole sopimuksia ratifioineet, ovat EU-maat Suomi mukaan lukien sitoutuneet YK:n ilmastonmuutosta koskevaan puitesopimukseen ja sen noudattamiseen. Puitesopimusta tarkentavassa Kioton pöytäkirjassa EU sitoutui vähentämään kuuden eri kasvihuonekaasun kokonaispäästöjä yhteensä 8 prosenttia ajanjaksolla 2008–2012 vuoteen 1990 verrattuna. Kasvihuonekaasut, joita rajoitukset koskivat, olivat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihilivedyt, perfluorihilivedyt ja rikkiheksafluoridi. EU:n sisäisessä taakanjaossa Suomen tavoite oli pitää päästöt vertailuvuoden 1990 tasossa ja Suomi alitti tämän noin viidellä prosentilla.

Vuoden 2012 jälkeen Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite on kiristynyt. Vuosille 2013–2020 Suomen tavoite on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 20 prosenttia alle perusvuoden 1990 tason. Työssä tutustutaan myös keinoihin, joilla aiempien ja tulevien päästöjä vähennystavoitteiden saavuttaminen on mahdollista. Näitä keinoja on mm. erilaisten biopolttoaineiden sekoittaminen fossiilisten polttoaineiden sekaan, energiatehokkuuden parantaminen ja biokaasun käytön lisääminen. Lisäksi työssä käsitellään eräitä merkityksellisiä käsitteitä, kuten EU:n päästökauppajärjestelmä ja hiilidioksidin talteenotto ja varastointi.

ABSTRACT

Author: Olli-Matti Niinikoski

Title: Finland's greenhouse gas emissions at the end of first commitment period of the Kyoto protocol – the overall situation and reduction measures

Year: 2014

Place: Lappeenranta

Master's thesis. Lappeenranta University of Technology, Energy Technology

78 pages, 19 figures and 6 tables

Examiners: professor Esa Vakkilainen, research assistant Kari Luostarinen

Keywords: Greenhouse gas emissions, greenhouse gas, Kyoto protocol, climate agreement

This master's thesis is the cross-section of the greenhouse gas emissions and reduction measures in Finland at the end of the first commitment period of the Kyoto protocol. The study is conducted as a literature survey and both printed and electronic sources have been used for it.

Concern over climate change has led to restrict the greenhouse gas emissions by international conventions on this day. Even though all of the major emitter countries have not ratified the conventions, Finland has along EU committed to the United Nations framework convention on climate change and its compliance with. EU committed to reduce the total emissions of six different greenhouse gases by 8 percent compared with the year 1990 in the Kyoto protocol, that is linked to the framework convention and specify it. The period was 2008–2012 and these greenhouse gases were carbon dioxide, methane, nitrous oxide, hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride. Finland's target in the EU's internal burden sharing was to keep the emissions at the level of base year 1990. Finland fell below the target by five percent.

After 2012 Finland's greenhouse gas emission reduction target has tightened. The target is to reduce the greenhouse gas emissions by 20 percent below the level of base year 1990 during the period 2013–2020. This study examines the ways in which past and future emission reduction targets can be achieve, which include for example biofuel blending among fossil fuels, energy efficiency improvement and increasing use of biogas. In addition, the study addresses some of the relevant terms such as EU Emissions trading system and carbon dioxide capture and storage.

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Lappeenrannan teknillisen yliopiston Energian laitokselle. Kiitokset työn ohjaajalle ja tarkastajalle professori Esa Vakkilaiselle sekä työn toiselle tarkastajalle tutkimusassistentti Kari Luostariselle. Kiitokset oikoluvusta ja vinkeistä TkL Tiina Seppälälle.

Helsingissä 18.11.2014

Olli-Matti Niinikoski

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	8
1.1	TAUSTA	8
1.2	TAVOITTEET JA RAJAUKSET	10
1.3	TYÖN RAKENNE	11
1.4	TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO	11
2	KASVIHUONEKAASUT JA NIIDEN MUODOSTUMINEN	13
2.1	VESIHÖYRY.....	14
2.2	HIILIDIOKSIDI.....	15
2.2.1	Fossiilisten polttoaineiden käyttö	18
2.3	METAANI.....	19
2.4	DITYPPIOKSIDI.....	21
2.5	OTSONI	22
2.6	HALOGENOIDUT HIILIVEDYT	24
2.7	KASVIHUONEKAASUJEN HISTORIAALLINEN KEHITYS.....	25
3	KASVIHUONEKAASUJEN VAIKUTUS ILMASTOON	27
3.1	KASVIHUONEKAASUJEN ILMASTONLÄMMITYSPOTENTIAALI.....	27
3.2	KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN KOKONAISVAIKUTUKSET	28
3.3	HIILINIELUJEN MERKITYS	32
4	TOIMENPITEET KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN RAJOITTAMISEKSI	34
4.1	KANSAINVÄLINEN ILMASTOYHTEISTYÖ	36

4.2	EU:N ILMASTOPOLITIIKKA	39
4.2.1	EU:n päästökauppa	40
4.3	SUOMEN ILMASTOPOLITIIKKA	42
5	SUOMEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN MÄÄRÄ JA MUODOSTUMINEN.....	45
5.1	KOKONAISPÄÄSTÖT	46
5.1.1	Energia	48
5.1.2	Maatalous sekä teollisuusprosessit	49
5.2	ENERGIAN HANKINTA JA KULUTUS SUOMESSA.....	50
6	KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISMAHDOLLISUUDET SUOMESSA.....	53
6.1	FOSSIILISTEN POLTTOAINEIDEN KÄYTÖN KORVAAMINEN.....	54
6.2	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMINEN.....	57
6.3	MUITA VAIHTOEHTOJA.....	59
6.3.1	Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi	59
6.3.2	Biokaasu.....	59
7	YHTEENVETO.....	61
8	LÄHTEET	65

LYHENNELUETTELO

CCS	hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (engl. carbon capture and storage)
CH ₄	metaani
CO ₂	hiilidioksidi
EU-15	Euroopan unionin vanhat 15 jäsenmaata (ennen 2004)
F-kaasut	fluoratut kasvihuonekaasut
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastonmuutos paneeli (engl. Intergovernmental panel on climate change)
N ₂ O	dityppioksidi
O ₃	otsoni
OECD	Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö (engl. Organization for European economic co-operation)
PJ	petajoule
ppb	miljardisosaa (engl. parts per billion)
ppm	miljoonasosaa (engl. parts per million)
t	tonni
W/m ²	säteilypakote

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Kasvihuonekaasut ilmakehässä toimivat samaan tapaan kuin kasvihuoneessa oleva lasikatto. Ne päästävät lämmittävää auringonvaloa helposti sisään, mutta ilmakehän sisäpuolelta lähtevää lämpö- eli infrapunäsäteilyä huonosti ulos. Kasvihuonekaasut absorboivat maasta ulos pyrkivää lämpösäteilyä ja säteilevät osan lämpöenergiasta takaisin maanpinnalle. (Solomon et al. 2007; UNEP 2002, 6; WMO 2013 b, 2)

Tiedemiehet tunnistivat edellä mainitun alailmakehän sekä maapallon pinnan lämpenemisilmiön ilmiön jo 1800-luvulla ja ajatuksen esitti ensimmäisenä ranskalainen fyysikko ja matemaatikko Joseph Fourier 1820-luvulla. Mm. ruotsalainen kemisti Svante Arrhenius kehitti ideaa edelleen 1800-luvun lopussa. (Nevanlinna 2008) Ilmiö tunnetaan paremmin nimellä kasvihuoneilmiö ja sen jälkeen se on vahvistettu lukuisilla laboratorionkokeilla ja ilmaston lämpötilan mittauksilla eri korkeuksilla ja se on yksi laajimmin hyväksytyistä teorioista ilmakehätieteessä. (Miller 2002, 448)

Luonnollinen kasvihuoneilmiö on välttämätöntä, jotta olosuhteet maapallolla olisivat elinkelpoiset. Ilman sitä maapallon keskilämpötila olisi noin 30 °C kylmempi (Virtanen 2011, 22). Ihmiset ovat kuitenkin omilla toimillaan lisänneet merkittävästi kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä ja näin aiheuttaneet maapallon pintalämpötilan muutoksen voimistamalla kasvihuoneilmiötä. Tämä kasvihuonekaasujen merkittävä lisääntyminen sai alkunsa teollisen vallankumouksen alkuaikoina noin 1750-luvulla. (Miller 2002, 449)

Ilmaston merkittävin kasvihuonekaasu on vesihöyry. Sen määrä ilmakehässä riippuu enimmäkseen maapallon kokonaisilmastosta. Merkittävin ihmisen toimesta kasvihuoneilmiötä voimistava kasvihuonekaasu on hiilidioksidi. Sen osuus on reilusti yli puolet kaikista ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasu-

päästöistä. Muita merkittäviä kasvihuonekaasuja ovat metaani, dityppioksidi ja otsoni. (Virtanen 2011, 22; UNEP 2002, 3; Ilmatieteen laitos 2013 a)

Kun Arrhenius 1896 toi ilmi uuden ajatuksen, että fossiilisten polttoaineiden poltto voisi aiheuttaa kasvihuoneilmaston ja lämmittää maapallon ilmakehää, tuolloin ei se kuulostanut kovin vakuuttavalta. Se oli vain yksi ilmastospekulaatio monien muiden joukossa. Kun ihmiset 1930-luvulla ymmärsivät, että Yhdysvaltain ja Pohjois-Atlantin alue oli lämmennyt merkittävästi viimeisen puolen vuosisadan aikana, olettivat tiedemiehet sen olevan vain jokin lievä luonnon kiertokulun vaihe. Vain englantilainen amatööri Guy Gallendar väitti sen olevan kasvihuoneilmaston aiheuttamaa. Kaikki ajattelivat kuitenkin, että olipa syy mikä tahansa, olisi ilmaston lämpeneminen vain hyvä asia. (Weart 2007, 2–3)

Kuitenkin 1950-luvulla Gallendarin väitteen provosoivat muutamia tiedemiehiä tutkimaan asiaa paremmalla tekniikalla ja laskelmilla. Vaikka tekniikka kehittyi selvästi seuraavilla vuosikymmenillä ja tutkimusmenetelmät paranivat, eivät tutkijat vielä 1960-luvun lopulla nähneet mitään syytä poliittisiin toimiin. Uudet tutkimukset sitä vastoin paljastivat, että ilmaston lämpötila oli alkanut laskemaan 1940-luvulla. (Weart 2007, 2–3)

Ilmastotutkimus ja tietous jatkoivat kasvuaan 1970-luvulla ja samalla maapallon lämpötila alkoi jälleen nousta 1970-luvun lopulla. Tiedemiehet alkoivat varoittaa, että maailman pitäisi ottaa aktiivinen ote vähentääkseen kasvihuonekaasupäästöjä. Vuonna 1988 tiedemiesten väitteet saivat laajempaa huomiota lämpötilan noustua uuteen ennätykseensä. (Weart 2007, 3) Hallitusten välinen ilmastomuutospaneeli IPCC perustettiin samana vuonna. Sen ensimmäinen arviointiraportti koskien ilmastomuutosta valmistui vuonna 1990 ja sillä oli ratkaiseva rooli ilmastomuutosta koskevan YK:n puitesopimuksen syntymiseen. (IPCC 2013 a)

Uusimman vuonna 2014 valmistuneen IPCC:n viidennen arviointiraportin mukaan ilmaston lämpeneminen on yksiselitteistä (Alexander et al. 2013, 4). Arviointiraporttien tekoon osallistuu tuhansia asiantuntijoita ja alansa ammattilaisia

ympäri maailmaa. Viides arviointiraportti julkaistiin kokonaisuudessaan vuoden 2014 aikana. (IPCC a, b) YK:n ilmastomuutosta koskevan puitesopimuksen tasolla neuvotellaan tällä hetkellä uudesta sopimuksesta, joka kattaisi kaikki maat ja se olisi tarkoitus saada ratkaistua vuoden 2015 aikana. EU maat ovat edenneet neuvotteluissa koskien suuria linjoja kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksille vuoteen 2030 mennessä. YK:n ilmastomuutoksen puitesopimusta ja Kioton pöytäkirjaa koskien elämme toisen sopimuskauden aikakautta mikä kattaa vuodet 2013–2020. Tämä työ antaa kuvan siitä, mikä tilanne oli Kioton pöytäkirjan ensimmäisen sopimuskauden lopussa Suomessa sekä yleiskatsauksen globaaliin tilanteeseen.

1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää Suomen kasvihuonekaasupäästöjen määrä Kioton pöytäkirjan ensimmäisen sopimuskauden lopussa vuonna 2012 sekä tarkastella niiden historiallista kehitystä. Työn tarkoituksena on myös tarkastella niitä toimenpiteitä mitä kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseksi on tehty. Kasvihuonekaasuista tarkastellaan näiden ominaisuuksia sekä lähteitä ja nieluja. Työssä keskitytään kasvihuonekaasupäästöjen määrään ja jätetään ilmastomuutosnäkökulma vähemmälle huomiolle. Toimenpiteistä puhuttaessa keskitytään lähinnä erilaisiin kansainvälisiin sekä kansallisiin sopimuksiin ja selvityksiin sekä millaisiin hankkeisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi on ryhdytty.

Yksi osa tästä on mitä ovat ne konkreettiset keinot, joilla kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää Suomessa. Työssä ei kuitenkaan pyritä käymään läpi erilaisia tekniikoita, joilla kasvihuonekaasupäästöjen vähennys olisi mahdollista. Tässä tarkoitetaan esimerkiksi erilaisiin uusiutuviin energialähteisiin perustuvia tekniikoita, kuten aurinko- ja tuulivoima. Esiin nostetut esimerkit ovat ensisijaisesti sellaisia, joilla pyritään hillitsemään fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvia kasvihuonekaasupäästöjä.

Tarkoista määristä puhuttaessa työ rajoittuu ajallisesti vuoteen 2012. Osasyynä tähän on tarkkojen tilastotietojen puuttuminen tämän jälkeisiltä vuosilta työn teko-

hetkellä, mutta työssä on myös haluttu keskittyä selkeään kokonaisuuteen, jollaisen Kioton pöytäkirjan ensimmäinen sopimuskausi muodostaa. Toimenpiteistä ja erilaisista sopimuksista puhuttaessa viitataan myös tämän vuoden jälkeistä aikaa koskeviin asioihin.

1.3 Työn rakenne

Työn varsinainen asiasisältö jakaantuu kolmeen osaan. Ensimmäisessä osassa luvuissa 2–3 tutustutaan yleisimpiin kasvihuonekaasuihin ja näiden ilmastovaikutuksiin. Työn keskivaiheella luvussa 4 keskitytään toimenpiteisiin, joihin on ryhdytty kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseksi kansainvälisellä, sekä EU:n ja Suomen tasolla. Luvuissa 5–6 keskitytään Suomen kasvihuonekaasupäästöjen määrään ja erilaisiin toimiin, joilla kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää Suomessa. Näiden lukujen jälkeen on yhteenveto koko työstä.

Työssä kasvihuonekaasupäästöjä tarkastellaan aikajanalla, joka ulottuu kasvihuonekaasujen varhaisista kansainvälisistä tutkimuksista sopimukseen joilla on sitovia vaikutuksia pitkälle tulevaisuuteen. Erilaisia kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseen pyrkiviä sopimuksia tarkastellaan myös vertikaalisesti ylhäältä alaspäin. Näillä edellä mainituilla tarkasteluilla tarkoitetaan teoriaa, joka nykyään on kasvihuonekaasujen taustalla, sekä sopimuksia, joista ylimpänä on YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus. Kasvihuonekaasujen globaalista luonteesta johtuen kansainvälinen toiminta ja niiden koordinointi ylhäältäpäin on välttämätöntä.

1.4 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

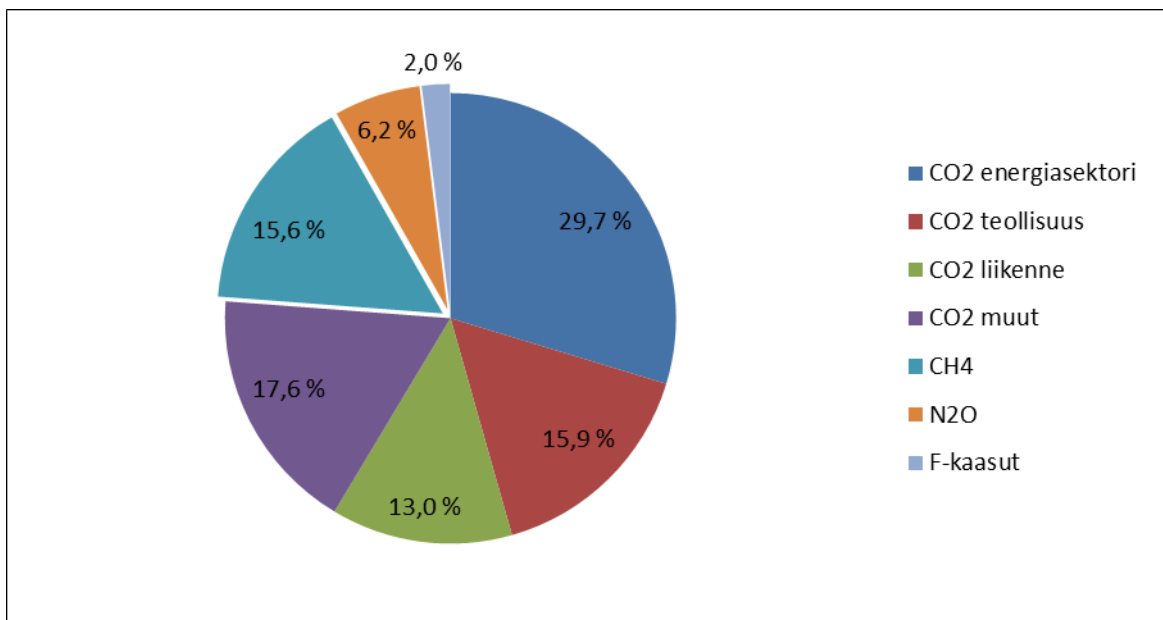
Tämä diplomityö on kirjallisuustutkimus jossa lähteinä ovat sekä painettu että sähköinen materiaali. Painettua lähdemateriaalia löytyy etenkin koskien vakiintuneita teorioita kuten ilmastomuutosta. Vaikka se ei suoranaisesti tämän työn aiheena ole, on näistä teoksista, jotka yleensä liittyvät ilmastomuutoksen hillitsemiseen, ollut tämän työn tekemisen kannalta hyötyä. Kun taas tarkastellaan ajankohtaisia raportteja ja julkaisuja koskien kasvihuonekaasupäästöjen määrää ja uusimpia sopimuksia, löytyy lähdemateriaali yleensä sähköisessä muodossa.

Työ on kokonaisuudessaan luonteeltaan sellainen, että hyvin monet lähdemateriaaleista löytyvät pääsääntöisesti vain sähköisessä muodossa. Näitä ovat esimerkiksi erilaisten toimijoiden verkkosivustot sekä sähköiset julkaisut ja raportit. Näiden sähköisten lähteiden takana on sekä ulkomaisia että kotimaisia lähteitä. Ulkomaisista digitaalisista lähteistä tärkeitä ovat esimerkiksi YK:n ilmastomuutosta koskevan puitesopimuksen (UNFCCC) sekä hallitusten välisen ilmastomuutospaneelin (IPCC) verkkosivustot ja näiden sähköiset julkaisut kuten IPCC:n arviointiraportit. Suomalaisista verkkosivustoista merkittäviä työn lähteiden kannalta on muun muassa Tilastokeskuksen verkkosivut ja heidän sähköiset julkaisut sekä Suomen ympäristökeskuksen (SYKE), Aalto-yliopiston Yhdyskuntasuunnittelun tutkimus- ja koulutusryhmä (YTK) ja Ilmatieteen laitoksen yhteisesti ylläpitämä verkkosivusto.

Työssä esitetyn tiedon oikeellisuus on pyritty varmistamaan käyttämään useita eri lähteitä yksittäisiäkin asioita käsiteltäessä. Myös tiedon luotettavuuteen on kiinnitetty huomiota. Useimpien lähteiden takana onkin yleisesti tunnettuja ja luotettavina pidettäviä lähteitä kuten Suomen valtioneuvoston alaiset ministeriöt, YK:n ja EU:n alaiset toimielimet ja Tilastokeskus. Työssä on käytetty myös vähemmän tunnettuja lähteitä, mutta myös näiden sisältämiä tietoja on pyritty varmistamaan muillakin lähteillä. Lähteiden käytössä on lisäksi pyritty varmistamaan lähdemateriaalin riippumattomuus käsiteltäviä asioita koskien.

2 KASVIHUONEKAASUT JA NIIDEN MUODOSTUMINEN

Kasvihuonekaasut ovat kemiallisia yhdisteitä, joita vapautuu osana luonnonkiertokulkua ja ihmistoiminnan seurauksena. Ihmistoiminnoista merkittävimmät kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajat ovat energiantuotanto, teollisuus ja liikenne. Myös maatalous ja rakentaminen ovat merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajia. Kuvassa 1 on esitetty maailmanlaajuisten ihmisen toiminnasta peräisin olevien kasvihuonekaasupäästöjen prosenttiosuuksia vuonna 2010. Näistä päästöistä hiilidioksidi muodostaa suurimman osan, yhteensä 76 prosenttia kaikista päästöistä.



Kuva 1. Kasvihuonekaasupäästöjen lähteet vuonna 2010 (UNEP 2012) (muokattu).

Tässä luvussa käsitellään yleisimpiä kasvihuonekaasuja sekä niiden lähteitä ja nieluja. Lisäksi tarkastellaan kolmen merkittävimmän pitkäikäisen kasvihuonekaasun pitoisuuksien ja säteilypakotteen historiallista kehitystä sekä fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

2.1 Vesihöyry

Vesihöyry on kasvihuonekaasuista yleisin ja se on myös tärkein elementti luonnollisessa kasvihuoneilmiossa (Virtanen 2011, 22). Eksaktia lukua vesihöyryn määrästä on vaikea määrittellä, mutta erään arvion mukaan sen massamittainen määrä kaikista kasvihuonekaasuista on noin 80 prosenttia ja vesihöyry aiheuttaa noin 66–85 prosenttia kasvihuoneilmiosstä (Hausfather 2008). Vesihöyry ei kuitenkaan varsinaisesti aiheuta ilmaston lämpenemistä johtuen sen verrattain lyhyestä kestoajasta ilmakehässä sekä ilmakehän rajoitetusta kapasiteetista sitoa vesihöyryä kussakin lämpötilassa. Sen rooli ilmastonmuutoksessa on toimiminen ilmaston lämpenemistä vahvistavana palauteilmionä. Kun muut kasvihuonekaasut, pääosin hiilidioksidi, lämmittävät ilmakehää, pystyy ilmakehä sitomaan enemmän vesihöyryä joka siis itsessään on voimakas kasvihuonekaasu. Näin ollen kasvihuoneilmio voimistuu entisestään. (Ilmatieteen laitos 2013 b; UNEP 2002, 3; Hausfather 2008)

Vesihöyryn aiheuttaman palauteilmion on arvioitu kaksinkertaistavan alkuperäisen ilmaston lämpenemisen aiheuttavan tekijän vaikutuksen. Jos esimerkiksi jokin tekijä saisi maapallon lämpenemään yhdellä asteella, on kokonaislämmitysvaikutus lisääntyneen vesihöyrymäärän vaikutuksesta kaksi astetta. Palauteilmio toimii myös toisinpäin. Jos jokin tekijä jäähdyttää maapallon ilmasto, vähenee ilmakehässä olevan vesihöyryn määrä, ja tämä jäähdyttää entisestään maapallon ilmasto. (Ilmatieteen laitos 2013 b; Hausfather 2008)

Ihmiskunta vaikuttaa vesihöyryn määrään ilmakehässämme pääasiassa epäsuorasti palauteilmion kautta, mutta joitakin suoria lähteitäkin on. Näitä ovat muun muassa korkealla lentävien lentokoneiden polttoaineen palamisesta johtuva vesihöyry sekä metaanipäästöjen hajoaminen ilmakehässä vedeksi ja hiilidioksidiksi. Näiden päästöjen merkitys on kuitenkin hyvin vähäinen, vaikka tulevaisuudessa lentoliikenteen kasvaessa niiden merkitys voi lisääntyä. (Finavia; Ilmatieteen laitos 2013 b; Ilmatieteen laitos 2013 c; Reay 2011 a)

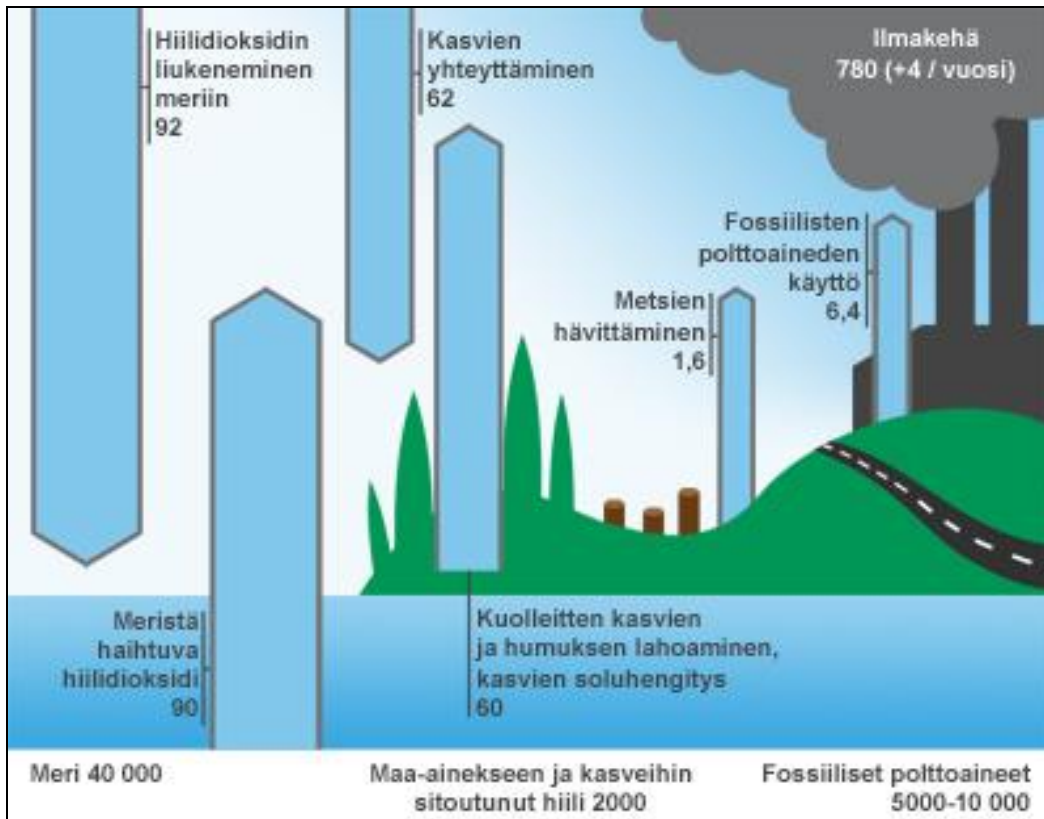
Ilmaston lämpeneminen vaikuttaa myös pilvien muodostumiseen ja sateiden jakaantumiseen eri alueiden kesken. Pilvillä itsessään on kahdenlainen vaikutus kasvihuoneilmiöön. Ne sieppaavat niiden alapuolelta tulevaa lämpöä ja näin lämmittävät ilmakehää, mutta myös heijastavat auringonsäteitä suoraan takaisin avaruuteen, toimien näin viilentävänä vaikuttajana. Pilvien aiheuttamaan palauteilmiöön liittyy kuitenkin paljon epävarmuuksia ja niiden mallintaminen on todella vaikeaa. Useimmat tutkijat uskovat, että pilvien aiheuttama palauteilmiö on neutraali tai hieman positiivinen. (Hausfather 2008; Ilmatieteen laitos 2013 b; UNEP 2002, 3)

2.2 Hiilidioksidi

Normaaliolosuhteissa hiilidioksidi (CO₂) on hajuton, väritön ja myrkytön kaasu. Hiilidioksidimolekyylä koostuu yhdestä hiili- ja kahdesta happiatomista. Se on ilmaa painavampaa sekä kemiallisesti inerttiä. Suurina pitoisuuksina se on ihmiselle vaarallista, koska se syrjäyttää hapen. (EPA 2000)

Hiilidioksidi on ihmiskunnan tuottamista kasvihuonekaasupäästöistä merkittävin (Ilmatieteen laitos 2013 d). Kansainvälisen ilmatieteenlaitoksen WMO:n (2013 a) mukaan hiilidioksidi aiheuttaa noin 64 prosenttia kaikista pitkäikäisten kasvihuonekaasujen aiheuttamista säteilypakotteista ja on vastuussa noin 84 prosentista lisääntyneestä säteilypakotteesta viime vuosikymmeneltä.

Hiilidioksidia esiintyy myös luonnollisesti ilmakehässä osana maapallon hiilikiertoa, jossa hiili kiertää eri osien välillä. Näitä osia ovat ilmakehä, valtameret, maaperä, sekä maanpäällinen eliöstö. (EPA 2013) Kuvassa 2 on havainnollistettu näitä suurimpia kiertokulkuja.



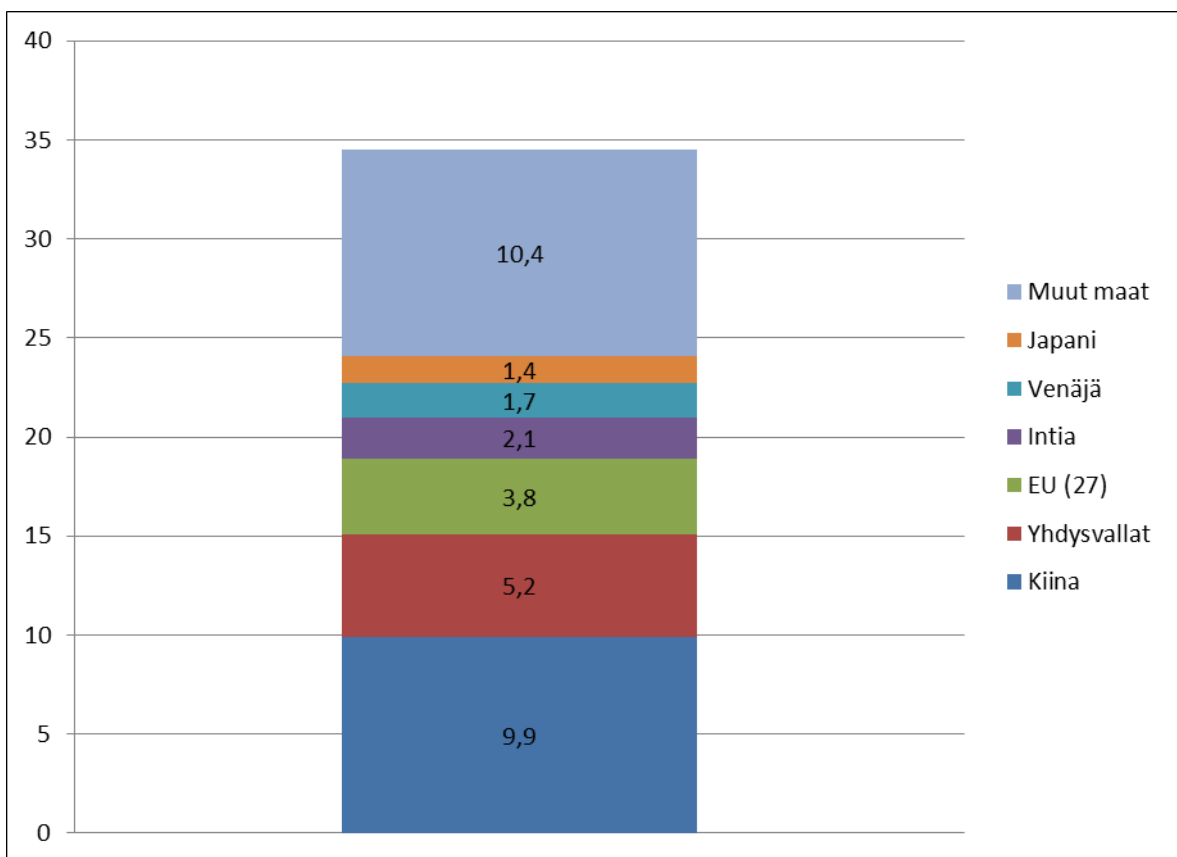
Kuva 2. Hiilen kiertokulku maapallolla (käytetty yksikkö on gigatonnia hiiltä) (Ilmatieteen laitos 2013 d).

Kuvassa 2 näkyvät palkit kuvaavat keskimääräistä fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja metsien hävittämisestä vapautunutta hiilen määrää 1990-luvulla. Vuosina 2000–2005 fossiilisten polttoaineiden käytöstä vapautui hiiltä noin 12 prosenttia enemmän. Ilmakehän hiilen määrä kertoo vuoden 2000 tilanteen. (Ilmatieteen laitos 2013 d). Vaikka fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja metsien hävittämisestä johtuvat hiilidioksidipäästöt ovat paljon pienemmät kuin hiilidioksidivaihto ilmakehän ja meren sekä maanpäällisen eliöstön kanssa, on se kuitenkin tarpeeksi suuri muuttaakseen luonnon omaa tasapainoa (Watson et al. 1990, 8).

Fossiilisten polttoaineiden käyttö on suurin ihmisten toiminnasta aiheutuva hiilidioksidipäästöjen lähde. Vuonna 2012 fossiiliset polttoaineet muodostivat 90 prosenttia kaikista hiilidioksidipäästöistä (lukuun ottamatta metsien kaatoa ja muuta maankäyttöä) sähköntuotannon ollessa suurin fossiilisten polttoaineiden kuluttaja. Sementin valmistusprosessi aiheutti noin 4,5 prosentin päästöt ja oli merkittävin ei-

palamisesta johtuva CO₂-päästölähde. Kokonaishiilidioksidipäästöt olivat 34,5 miljardia tonnia, joka oli 1,4 prosenttia enemmän verrattuna vuoteen 2011. Tosin kasvunopeus hieman hidastui aiempiin vuosiin verrattuna. Nämä arviot saatiin käyttämällä tuoreimpia fossiilisten polttoaineiden käyttöä kuvaavia tietoja ja trendejä. Tiedot ovat peräisin energia-alan yritykseltä BP ja kansainväliseltä energiajärjestöltä IEA:lta. (Oliver et al. 2013, 4, 10, 46)

Maailmanlaajuisesti suurin hiilidioksidin päästäjä oli Kiina. Se vastasi yli neljänneksestä globaaleista CO₂-päästöistä (29 %) vuonna 2012. Seuraavaksi suurimmat CO₂-päästäjät olivat Yhdysvallat (16 %) ja Euroopan Unioni (11 %). Kuvassa 3 on kuuden suurimman CO₂-päästäjän osuudet ja muiden maiden osuus. Kiinan suuria CO₂-päästöjä selittää osaltaan kivihiiilen suuri osuus heidän käyttämästään fossiilisista polttoaineista. (Oliver et al. 2013, 10)



Kuva 3. Kuusi suurinta CO₂-päästäjää, miljardia tonnia.

Ilmakehän hiilidioksidin määrää on mitattu suoraan ilmakehästä 1950-luvulta lähtien. Sitä aiemmat pitoisuudet selvitettiin analysoimalla jääkairauksia (Ilmatieteen laitos 2013 d). Vuonna 2012 hiilidioksidin määrä ilmakehässä oli keskimäärin $393,1 \pm 0,1$ ppm, joka on 141 prosenttia korkeampi kuin esiteollisena aikakautena. jolloin se oli noin 278 ppm. (WMO 2013 a, 2)

2.2.1 Fossiilisten polttoaineiden käyttö

Poltettaessa fossiilisia polttoaineita (hiilivetyjä) niissä oleva hiili reagoi hapen kanssa muodostaen täydellisessä palamisessa hiilidioksidia reaktioyhtälön 1 mukaan:

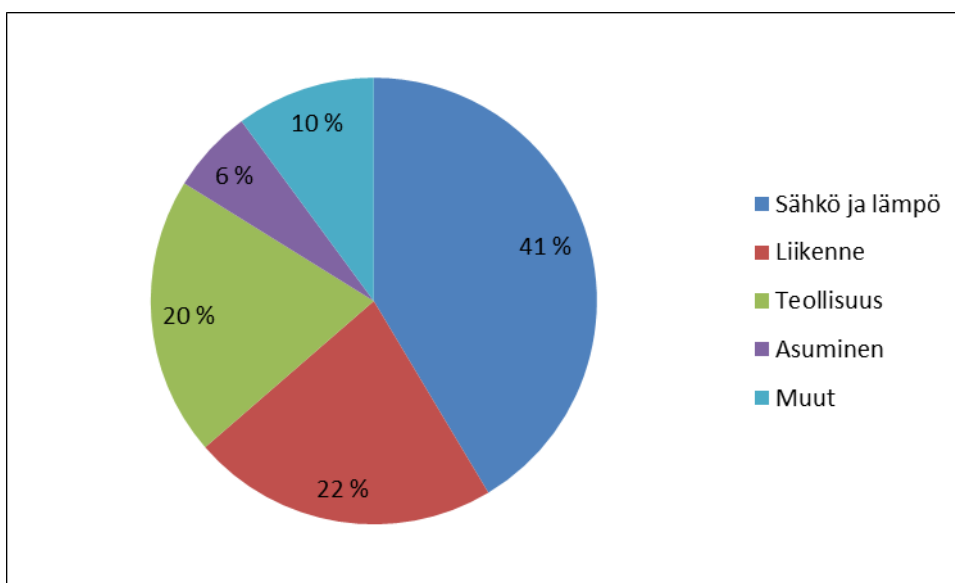


Polttoaineissa olevalla hiilen määrällä on vaikutusta syntyvän hiilidioksidin määrään. Lisäksi polttoaineiden lämpöarvolla on vaikutusta päästöihin. Poltettaessa alemman lämpöarvon omaavaa polttoainetta, joudutaan sitä polttamaan enemmän, jotta saadaan tuotettua haluttu määrä energiaa. Seuraavassa taulukossa 1 näkyy Motivan julkaisemat päästökertoimet:

Taulukko 1. Polttoainekohtaiset CO₂-päästökertoimet. (Hippinen & Suomi 2012, 6)

Polttoaineet	kgCO ₂ /MWh
Raskas polttoöljy	284
Kevyt polttoöljy	261
Maakaasu	198
Nestekaasu	234
Turve	381
Kivihili	341
Koksi	389
Puuperäiset polttoaineet	0

Taulukosta 1 nähdään, että sähkön- ja lämmöntuotannossa yleisesti käytössä oleva kivihiili on päästökertoimeltaan suurin hiilidioksidin tuottaja. Koksi, jonka päästökerroin taulukossa on suurempi, on valmistettu kuivatislaamalla kivihiilestä. Puuperäisten polttoaineiden katsotaan sitovan kasvaessaan sen hiilidioksidin mitä niiden polttaminen vapauttaa. Tämän vuoksi niiden päästökerroin on 0. (Tilastokeskus 2014, 11–12) Kuvassa 4 näkyy globaalien hiilidioksidipäästöjen prosenttiosuudet eri sektoreilta vuonna 2010 (IEA 2012, 9). Näistä merkittävin on sähkön ja lämmön tuotanto 41 prosentin osuudellaan.



Kuva 4. CO₂-päästöosuudet sektoreittain vuonna 2010.

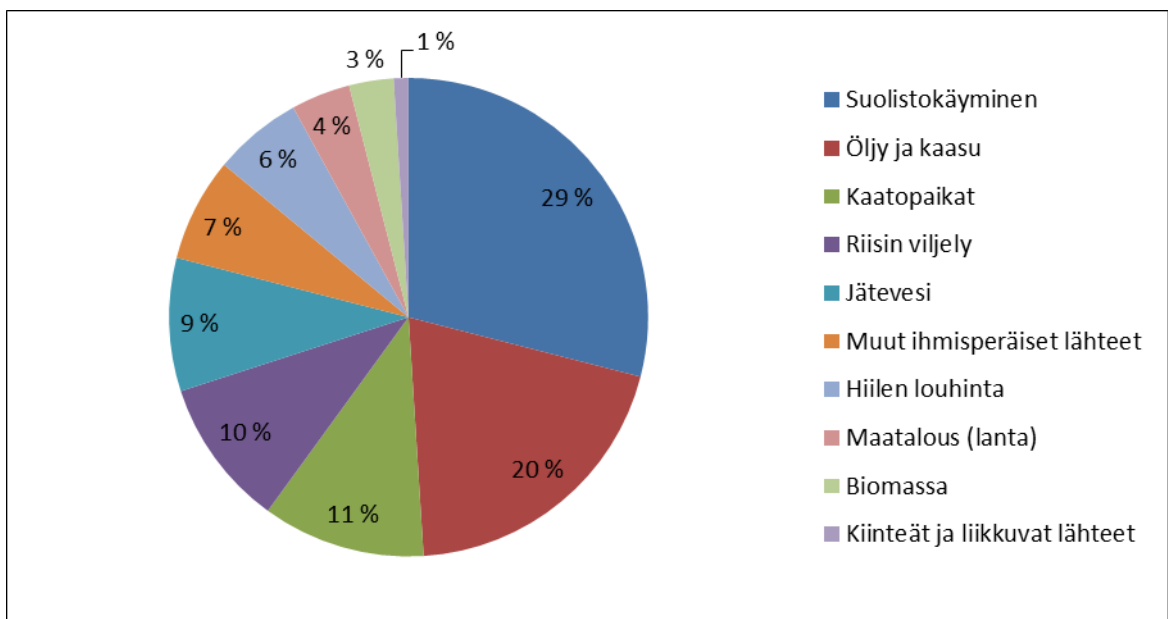
2.3 Metaani

”Metaani on väritöntä, hajutonta ja helposti syttyvää kaasua, joka muodostaa räjähtäviä seoksia ilman ja hapen kanssa.” Sen syttymisrajat ilmassa ovat 5–15 %. Se on yksinkertaisin hiilivety ja alkaani, joka muodostuu yhdestä hiili- ja neljästä vetyatomista. (Alén 2009, 16–18).

Metaani (CH₄) on ihmiskunnan toiminnasta vapautuvista kasvihuonekaasuista toiseksi merkittävin (Ilmatieteen laitos 2013 c). Metaania syntyy monenlaisissa hapettomissa olosuhteissa ja sen ensisijainen poistumislähde on hapettuminen hydroksyylien vaikutuksesta alailmakehässä. Kaksi pääasiallisinta metaanin syntymis-

tapaa ovat CO₂ molekyylin pelkistyminen vedyllä, joka on lähtöisin rasvahaposta tai alkoholista, ja metaania tuottavien bakteerien transmetyyllireaktio etikkahaposta tai metyylialkoholista. Metaanin määrää on mitattu suoraan ilmakehästä alkaen vuodesta 1978. Sitä aiemmat pitoisuustiedot perustuvat jääkairauksiin. (Watson et al. 1990, 18–19) Vaikka metaania on määrällisesti melko vähän ilmakehässä, sen vaikutus on noin 25 kertaa suurempi kuin hiilidioksidin. Metaanin elinikä ilmakehässä on noin 12 vuotta (Ilmatieteen laitos 2013 c).

Metaanipäästöistä on noin 40 prosenttia luonnollista alkuperää ja 60 prosenttia ihmisten toiminnasta aiheutuvaa. Luonnollisia lähteitä ovat mm. erilaiset kosteikot, vesistöjen pohjakerrokset ja termiitit. Ihmistoiminnasta peräisin olevia lähteitä ovat mm. maatalous, hiilikaivokset, kaatopaikat, öljy- ja maakaasujärjestelmät sekä jätevedet. (WMO 2013 a, 2; GMI 2011, 1; Watson et al. 1990, 20–21) Kuvassa 5 on esitetty arvio maailmanlaajuisista metaanipäästöistä vuodelta 2010 lähteittäin.



Kuva 5. Arvioidut maailmanlaajuiset ihmisen toiminnan aiheuttamat metaanipäästöt lähteittäin vuonna 2010. (GMI 2011,1)

Suolistokäymisen metaanipäästöt ovat merkittävät johtuen karjaeläimien merkittävästä määrästä. ”Yksi lehmä voi tuottaa vuodessa 50–100 kiloa ilmastoja voimakkaasti lämmittävää metaania.” (YLE 2009)

Metaanin määrä ilmakehässä oli 1819 ppb (miljardisosaa) vuonna 2012. Määrä on kasvanut 260 prosenttia esiteollisesta aikakaudesta, jolloin metaanin määrä on arvioitu olleen noin 700 ppb. Kansainvälisen ilmatieteenlaitoksen mukaan metaani aiheuttaa noin 18 prosenttia kaikista pitkäikäisten kasvihuonekaasujen säteilypakotteesta. (WMO 2013 a, 3)

2.4 Dityppioksidi

Dityppioksidi (N_2O) on väritön, ilmaa raskaampi kaasu ja sillä on tunnusomainen haju. Se on typen happiyhdiste, jota kutsutaan myös ilokaasuksi. Se koostuu kahdesta typpiatomista ja yhdestä happiatomista. (IPCS 2009) ”Dityppioksidi on kemiallisesti ja säteilevästi aktiivinen hivenkaasu ja sitä syntyy monenlaisissa biologisissa lähteissä maaperässä ja vedessä. Sen ensisijainen poistumiskeino on fotolyyysi yläilmakehässä sekä reaktiot sähköisesti virittyneiden happiatomien kanssa” (Watson et al. 1990, 25).

Ihmiskunnan toimista etenkin maatalous ja lannoitteiden käyttö ovat tärkeimpiä dityppioksidin lähteitä. Dityppioksidia syntyy myös erilaisissa teollisissa prosesseissa. Ilmakehään vapautuvasta dityppioksidista noin kaksi kolmasosaa on peräisin luonnollisista lähteistä ja loput ihmistentoiminnasta. (Ilmatieteen laitos 2013 f; WMO 2013 a, 3) Dityppioksidi on pitkäikäinen kasvihuonekaasu, sen poistuminen ilmakehästä kestää yli 100 vuotta. Se myös aiheuttaa otsonikatoa yläilmakehässä. (Watson et al. 1990, 27 –28)

Dityppioksidin määrä ilmakehässä saavutti 325,1 \pm 0.1 ppb vuonna 2012, joka on 120 prosenttia esiteollisesta ajasta. Dityppioksidin määrä lisääntyy tasaisesti ilmakehässä. Vuosien 2011 ja 2012 välinen kasvu 0,9 ppb oli hieman suurempi kuin viimeisen kymmenen vuoden keskimääräinen kasvu (WMO 2013 a, 3). Vaikka dityppioksidin nousu on ollut verrattain vähäistä teollisella aikakaudella. Sen vaikut-

tavuus kasvihuonekaasuna on merkittävä verrattuna muihin kasvihuonekaasuihin. Sen ilmastonlämmityspotentiaali on 100 vuoden aikajaksolla 298 kertaa suurempi kuin hiilidioksidin lämmityspotentiaali ja noin 12 kertaa suurempi kuin metaanin. Se aiheuttaa noin 6 prosenttia pitkäikäisten kasvihuonekaasujen säteilypakotteesta (WMO 2013 a, 3).

2.5 Otsoni

Otsoni (O_3) on kolmesta happiatomista muodostuva molekyyli. Se on kaasuna lyhytikäinen ja sen pitoisuus voi vaihdella voimakkaasti ilmakehän eri osissa. Otsoni on voimakkaasti hapettava kaasu ja se voi aiheuttaa ihmisille erilaisia hengitystieoireita. Alailmakehän, eli troposfäärin otsoni on merkittävä kasvihuonekaasu ja sen määrä on ollut nousussa viime vuosikymmenillä johtuen muista ilmansaasteista. (Reay 2011 b; Tarvainen 2008)

Otsoni poistuu alailmakehästä kuivalaskeumana kasvillisuuteen ja sitä myös hajoaa auringonvalon vaikutuksesta (Tarvainen 2008). "Otsonimolekyylin hajoaminen auringonvalon vaikutuksesta johtaa OH-radikaalin syntymiseen, joka on ilmakehän tärkein hapetin. Tämä auttaa ilmakehää puhdistautumaan joistain muista kasvihuonekaasuista, kuten metaanista, ja vähentää näin niiden ilmastonlämmityspotentiaalia." (Reay 2011 b) Tällä on merkitystä tarkasteltaessa kasvihuonekaasujen kokonaissäteilypakotetta.

Otsonin syntyyn alailmakehässä vaikuttaa mm. teollisuudesta ja liikenteestä, sekä biomassan poltosta johtuvat päästöt. Otsonia muodostuu aina saman kaavan mukaan. Kaksiatomisen happimolekyylin ja yksinäisen happiatomin kohtaamisesta syntyy kolmesta happiatomista koostuva otsonimolekyyli. Suurin osa otsonista syntyy yläilmakehässä, missä auringon UV-säteily hajottaa happimolekyyliä. (Tarvainen 2008; Ilmatieteen laitos 2013 e; Reay 2011 b)

Valtaosa otsonista on yläilmakehässä noin 20 kilometrin korkeudella sijaitsevassa otsonikerroksessa. Otsonikerros on kuitenkin heikentynyt erityisesti freonien käytöstä johtuen, mutta nykyisin niiden päästöjä on säädelty kansainvälisin sopimuk-

sin. Tämän odotetaan palauttavan yläilmakehän otsonin lähes entiselleen vuosisadan puoleen väliin mennessä. (Ilmatieteen laitos 2013 e)

Yläilmakehässä otsonilla on tärkeä rooli suodattaa maapallolle tulevasta auringonsäteilystä elämälle haitalliset lyhytaaltoiset ultraviolettisäteet. Myös osa alailmakehän otsonista on peräisin yläilmakehästä. (Tarvainen 2008). Yläilmakehän otsonilla on tärkeä rooli sen lämpötilarakenteen kontrolloinnissa. Se absorboi sekä saapuvaa auringon UV-säteilyä että maapallolta lähtevää pitkäaaltoista lämpösäteilyä. (Watson et al. 1990, 27)

Otsonikerroksen heikentyminen yläilmakehässä aiheuttaa sen viilenemistä. Koska maasta tulevaa pitkäaaltoista lämpösäteilyä absorboituu vähemmän otsonikerrokseen, säteilee se heikommin lämpöä takaisin maapallon pintakerrokseen. Yläilmakehän otsonikerroksen heikentyminen on vähentänyt aavistuksen verran kasvihuoneilmiötä. Sen aiheuttama säteilypakote on arviolta $-0.05 \pm 0.10 \text{ W/m}^2$ esiteollisen ajan ja vuoden 2005 väliseltä ajanjaksolta. (Foster et al. 2007, 150).

Alailmakehässä otsonia syntyy monimutkaisissa fotokemiallisissa reaktioissa, jossa reagoivina tuotteina ovat typen oksidit, hiilimonoksidi ja hiilivedyt (haihtuvat orgaaniset yhdisteet). Sen lisäksi näihin reaktioihin osallistuu ilmakehän happimolekyylit ja auringonvalo reaktioiden alullepanijana. Syntyvän otsonin määrä on riippuvainen näiden yhdisteiden määrästä ja jakaumasta. (Watson et al. 1990, 31). ”Otsonia syntyy myös luonnonkasveista peräisin olevien hiilivetyjen reaktioissa ja metaanin hapettuessa” (Ilmatieteen laitos 2013 e). Luonnollisia lähteitä typelle ovat mm. maaperässä tapahtuvat biologiset prosessit, salamet ja metsäpalot ja hiilivedyille kasvien elintoiminnot, eläinten ruoansulatus, kosteikot ja meret. Ihmisten aiheuttamilla päästöillä on kuitenkin näitä monin verroin suurempi vaikutus. (Tarvainen 2008) Alailmakehän lisääntyneen otsonin arvioidaan aiheuttaneen $0,35 \text{ W/m}^2$ lisääntyneen säteilypaketin esiteollisesta ajasta verrattuna vuoteen 2005 (Foster et al. 2007, 151–152).

2.6 Halogenoidut hiilivedyt

”Halogenoidut hiilivedyt muistuttavat molekyyliarakenteeltaan kevyitä hiilivetyjä, mutta niissä vetyatomeista osa tai kaikki on korvattu fluorilla tai kloorilla” (Ruosteenoja 2011, 73). Ne ovat suhteellisen palamattomia, kemiallisesti stabiileja ja reagoimattomia. Monet halogenoidut hiilivedyt ovat värittömiä ja hajuttomia kaasuja, mutta jotkin niistä ovat nestemäisiä huoneenlämpötilassa. (Rogers 2012)

Halogenoitujen hiilivetyjen kyky imeä jopa tuhansia kertoja enemmän lämpösäteilyä kuin hiilidioksidi tekee niistä hyvin voimakkaita kasvihuonekaasuja (Ruosteenoja 2011, 73). Tähän kaasuryhmään kuuluvat CFC-kaasut, eli freonit tuhoavat myös yläilmakehän otsonia (Ilmatieteen laitos 2013 g). Freoneita on käytetty laajasti erilaisissa kylmälaitteissa kuten jääkaapeissa ja pakastimissa (Rogers 2012). Montrealin pöytäkirjassa (1987) useiden tämän ryhmän kaasujen päästöjä on rajoitettu kansainvälisin sopimuksin, ja näiden pitoisuudet ilmakehässä ovat kääntyneet laskuun. (Ilmatieteen laitos 2013 g)

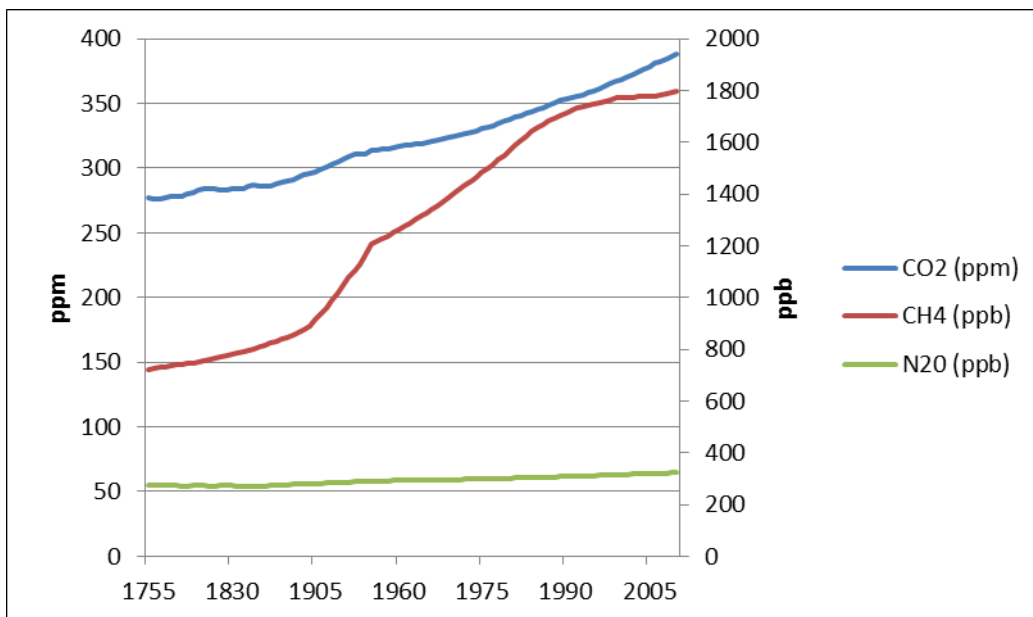
Kasvihuonekaasuuina merkittävimpiä ovat fluoria sisältävät molekyylit, F-kaasut. Fluoratut kasvihuonekaasut ovat ryhmä kasvihuonekaasuja, johon kuuluvat fluorihiilivedyt (HFC-yhdisteet), perfluorihilivedyt (PFC-yhdisteet) ja rikkiheksafluoridi (SF₆). (SYKE 2013; Ruosteenoja 2011, 73)

Halogenoidut hiilivedyt ovat suurimmaksi osaksi teollista tuotantoa, eikä niitä esiinny luontaisesti ilmakehässä joitain poikkeuksia lukuun ottamatta (Watson et al. 1990, 24; Ilmatieteen laitos 2013 g). Kaasujen elinikä ja poistumistavat ilmakehässä vaihtelevat. Sellaiset molekyylit, joissa on vetyatomi jäljellä, poistuvat pääasiassa alailmakehässä reaktioissa OH-radikaalin kanssa ja niiden elinikä on noin vuodesta neljäänkymmeneen vuoteen. Täysin halogenisoidut kaasumolekyylit säilyvät ilmakehässä paljon pitempään, vuosikymmenistä vuosisatoihin. Niiden pääasiallinen poistumisreitti on fotodissosiaatio keski- ja yläilmakehässä. (Watson et al. 1990, 24). Fluorin osuus vaikuttaa kaasujen elinikään ja pisimpään kestää hiilitetrafluoridi (CF₄), peräti 50 000 vuotta (Ruosteenoja 2011, 73).

Otsonia tuhoavien CFC-kaasujen aiheuttama säteilypakote on vähäinen niiden aiheuttaman otsonikadosta johtuvan negatiivisen säteilypakotteen vuoksi. Nettoarvoltaan sen on noin $0,18 \text{ W/m}^2$ (Alexander et al. 2013, 13). Vähäisen määränsä vuoksi myöskään F-kaasut eivät ole kokonaiskasvihuonevaikutukseltaan kovin merkittäviä (kuva 1) (Ruosteenoja 2011, 73).

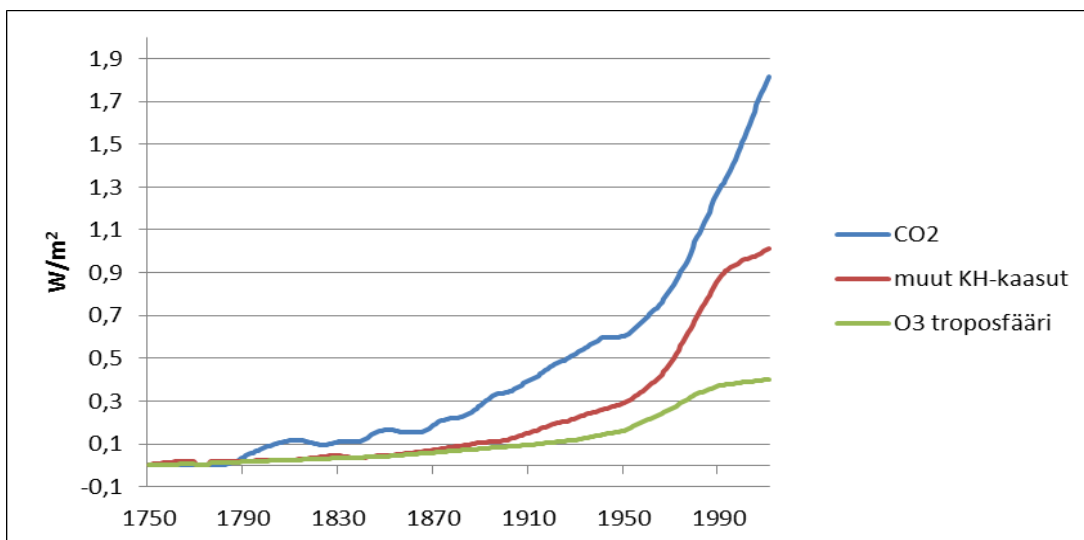
2.7 Kasvihuonekaasujen historiallinen kehitys

Kuvassa 6 on esitetty kolmen merkittävimmän pitkäikäisen kasvihuonekaasun pitoisuuksien kehittyminen esiteollisesta ajasta vuoteen 2010 (Prather et al. 2013, 7–9). Dityppioksidin lisääntyminen on maltillisempaa kuin hiilidioksidin ja metaanin, mutta sen ilmastolämmityspotentiaali on paljon suurempi.



Kuva 6. Kasvihuonekaasujen pitoisuudet vuosina 1750–2010

Kuvassa 7 näkyy kasvihuonekaasujen aiheuttaman tehollisen säteilypakotteen historiallinen kehitys esiteollisesta ajasta vuoteen 2011 mukaan lukien maankäytön muutos (Prather et al. 2013, 10–15). Hiilidioksidin aiheuttama säteilypakote on noin kaksinkertaistunut viimeisen 40 vuoden aikana.



Kuva 7. Kasvihuonekaasujen aiheuttaman säteilypakotteen kehitys vuosina 1750–2011

3 KASVIHUONEKAASUJEN VAIKUTUS ILMASTOON

Vähäisestä määrästä huolimatta, noin 1 % ilmakehän koostumuksesta, kasvihuonekaasut saavat aikaan luonnonmukaisen kasvihuoneilmiön, joka pitää maapallon keskilämmön noin 30 °C lämpimämpänä, mitä se olisi ilman niitä. Ilman niitä nykymuotoinen elämä maapallolla ei olisi mahdollista. (Solomon et al. 2007; UNEP 2002, 2; Virtanen 2011, 22) Vaikka kasvihuonekaasut ovat luonnollinen osa ilmakehän koostumusta, on ihminen omalla toiminnallaan lisännyt niiden määrää ja aiheuttanut maapallon pintalämpötilan nousua (Houghton et al. (toim.) 1990, 5).

Tulevaisuuden ennustukset ilmastonmuutoksista perustuvat tietokoneella tehtyihin ilmastomalleihin. Tietokonemallit perustuvat fysiikan lakeihin ja näitä ilmastomalleja kehitetään yhteistyössä useiden eri maiden kanssa. Mallit ovat monimutkaisuu- tensa vuoksi vaativia tehtäviä nykyaikaisille supertietokoneillekin. (Nevanlinna 2008, 109–111) Tämä luku käsittelee kasvihuonekaasujen vaikutusta ilmastoomme niiden ilmastonlämmityspotentiaalin kautta sekä hiilinielujen merkitystä.

3.1 Kasvihuonekaasujen ilmastonlämmityspotentiaali

Ilmakehä koostuu 99-prosenttisesti typestä ja hapestä. Jäljellä oleva 1 prosentti koostuu hivenkaasuista, joista suurimman osan muodostaa Argon (jalokaasu) 0,93 prosentin osuudellaan. Muiden hivenkaasujen, paitsi vesihöyryn, osuus mitataan miljoonasosissa (ppm) tai miljardisosissa (ppb). Vesihöyryn määrä vaihtelee 0–5 prosentin välillä ilmakehässä. Kaikki kasvihuonekaasut ovat hivenkaasuja. (Ruosteenoja 2011, 71)

Kasvihuoneilmiössä kasvihuonekaasut absorboivat maapallon infrapunasäteilyn aallonpituusalueella takaisin lähettämää energiaa. Näkyvän valon ne päästävät lävitseen. Koska molekyylien energia on kvantittunut, tarvitsevat ne tietyn energiamäärän sisältämiä lämpö- eli infrapunasäteilyfotoneita virittäytyäkseen korkeammalle energiatasolle. Molekyylin mahdollisten energiatasojen määrä kasvaa hyvin nopeasti molekyylin koon kasvaessa ja rakenteen monimutkaistuessa. Kak-

siatomisia happi ja typpiatomeja ei katsota kasvihuonekaasuiksi. (Ruosteenoja 2011, 76) Eri kasvihuonekaasujen tehokkuutta kasvihuonekaasuina voidaan vertailla niiden hiilidioksidiekvivalentin ilmastonlämmityspotentiaalin kautta.

Taulukko 2 Kasvihuonekaasujen CO₂ ekvivalentti ilmastoa lämmittävä potentiaali eri aikahorisonteissa (Foster et al. 2007, 212).

Tyyppi	Kemiallinen kaava	Ilmastoa lämmittävä potentiaali (aika horisontti)		
		20 vuotta	100 vuotta	500 vuotta
Hiilidioksidi	CO ₂	1	1	1
Metaani	CH ₄	72	25	7,6
Dityppioksidi	N ₂ O	289	298	153
Kloorifluorihilivety (CFC-11)	CCl ₃ F	6730	4750	1620
Fluorihilivety (HFC-23)	CHF ₃	12000	14800	12200

Taulukosta 2 ilmenee hyvin kuinka molekyylin monimuotoisuus kasvattaa huomattavasti kaasun kasvihuonevaikutusta. Kloorifluorihilivedyt ja fluorihilivedyt ovat isompia ryhmiä, joista on molemmista otettu yhdet esimerkit. Vesihöyrylle ei ole laskettu ilmastonlämmityspotentiaalia, koska se ei ole varsinaisesti päästö.

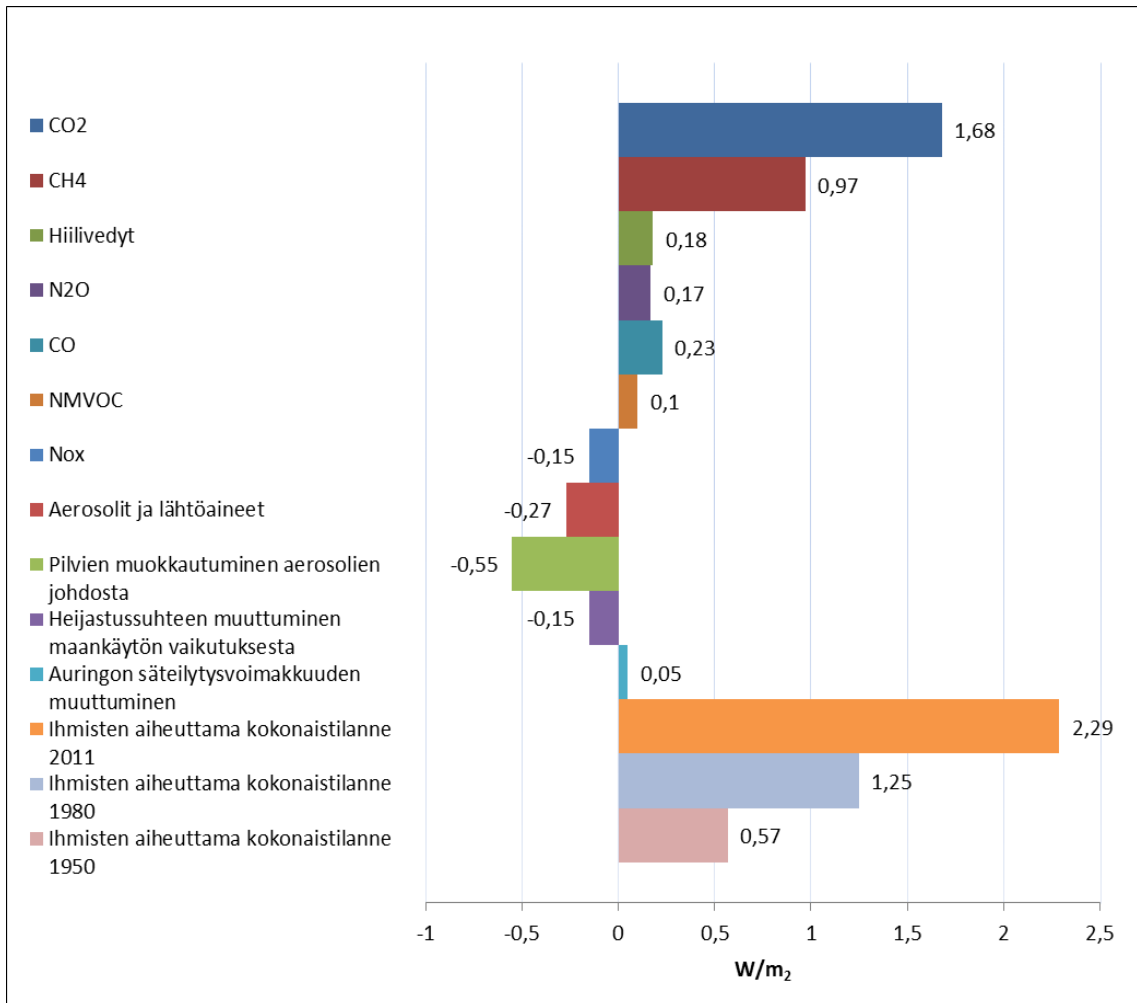
3.2 Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaisvaikutukset

IPCC:n, hallitusten välisen ilmastopaneelin, viidennen arviointiraportin työryhmä I:n mukaan ihmisten aiheuttama säteilypakote on 2,29 W/m² [1,33–3,33] vuonna 2011 verrattuna vuoteen 1750 (Alexander et al. 2013, 13). Säteilypakote on termi, joka määriteltiin hallitustenvälisen ilmastomuutospaneelin varhaisissa tutkimuksissa. Se kuvaa ilmakehään tulevan ja ilmakehästä poistuvan net-

tosäteilyvoimakkuuden tasapainon muutosta ja sen yksikkö on W/m^2 . (Foster et al. 2007, 136)

Työryhmä I:n raportista päättäjille tehdyn yhteenvedon mukaan ilmaston lämpeneminen on yksiselitteistä. ”Ilmakehä ja meret ovat lämmenneet, lumen ja jään määrä on vähentynyt, merenpinta on noussut, ja kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet.” (Alexander et al. 2013, 4) Raportin mukaan ”luonnolliset ja ihmistoiminnasta peräisin olevat aineet ja prosessit jotka muuttavat maapallon energia budjettia, ovat ilmastonmuutoksen ajureita” (Alexander et al. 2013, 13).

Yksinkertaistettuna ilmastonmuutoksessa on kyse ilmaston lämpenemisestä, jonka aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöt. Mitattaessa lämpenemisen määrää ilmaistaan lämpenemisen määrää säteilypakotteella. Ilmastonmuutosta arvioitaessa malleihin otetaan mukaan myös negatiivista säteilypakotetta aiheuttavat tekijät. Näitä ovat esimerkiksi pienhiukkasten vaikutus pilvien koostumukseen ja heijastussuhteen muuttuminen maankäytön seurauksena. Kuvassa 8 näkyy uusimmassa arviointiraportissa mukaan otetut säteilypakotetta aiheuttavat päästöyhdisteet ja prosessit, jotka aiheuttavat ilmastonmuutoksen ajureita sekä niiden globaalit keskimääräiset määrät.



Kuva 8. Säteilypakote suhteessa vuoteen 1750 (Alexander et al. 2013, 14) (muokattu).

Taulukossa 3 on tarkemmin eroteltu mitä nämä ilmastonmuutosajurit ovat ja esitetään säteilypakotearvioiden epävarmuusvälit. Lisäksi kirjoittajatiimi on arvioinut sanallisesti tieteellisen ymmärryksen tasoa, joka on näiden arviointien taustalla (Alexander et al. 2013, 4). Taulukossa 3 tätä kutsutaan varmuuden tasoksi ja sen tasot ovat HK – hyvin korkea, K – korkea, KK – keskinkertainen, M – matala ja HM – hyvin matala.

Taulukko 3. Säteilypakote ja ajurit. Vertailuvuosi 1750 (Alexander et al. 2013, 14) (muokattu).

		Emittoitu yhdiste	Aiheutetut ilmakehän ajurit	Säteilypakote	Varmuuden taso
Ihmisten aiheuttama	Hyvin sekoittuvat kasviuonekaasut	CO ₂	CO ₂	1.68 [1.33, 2.03]	HK
		CH ₄	CO ₂ , H ₂ O ^{str} , O ₃ , CH ₄	0.97 [0.74, 1.20]	K
		Hiilivedyt	O ₃ , CFC, HCFC	0.18 [0.01, 0.35]	K
		N ₂ O	N ₂ O	0.17 [0.13, 0.21]	HK
	Lyhytikäiset kaasut ja aerosolit	CO	CO ₂ , CH ₄ , O ₃	0.23 [0.16, 0.30]	KK
		NM VOC	CO ₂ , CH ₄ , O ₃	0.10 [0.05, 0.15]	KK
		NO _x	Nitraatti, CH ₄ , O ₃	-0.15 [-0.34, 0.03]	KK
		Aerosolit ja lähtöaineet (mineraalipöly, SO ₂ , NH ₃ , orgaaninen hiili ja musta hiili)	Mineraalipöly, sulfaatti, nitraatti, orgaaninen hiili, musta hiili	-0.27 [-0.77, 0.23]	K
			Pilvien muokkautuminen aerosolien johdosta	-0.55 [-1.33, -0.06]	M
		Heijastussuhteen muuttuminen maankäytön vaikutuksesta	-0.15 [-0.25, -0.05]	KK	
Luonnollinen		Auringon säteilytysvoimakkuuden muuttuminen	0.05 [0.00, 0.10]	KK	
Ihmisten aiheuttama kokonaistilanne 2011				2.29 [1.13, 3.33]	K
Ihmisten aiheuttama kokonaistilanne 1980				1.25 [0.64, 1.86]	K
Ihmisten aiheuttama kokonaistilanne 1950				0.57 [0.29, 0.85]	KK

3.3 Hiilinielujen merkitys

Suuri osa ihmiskunnan tuottamasta kaasumaisista hiilidioksidipäästöistä päätyy hiilinieluihin, joista merkittävin on meri. Kuten kuvassa 2 esitettiin, maapallo käy jatkuvaa vaihtoa eri hiilidioksidivarastojen välillä. Tämä on luonnon oma keino säätää maapallon eri osien hiilitasapainoa. Hiilidioksidia poistuu ilmakehästä myös kasveihin sekä maaperään. (Ilmatieteen laitos 2013 d; Watson et al. 1990, 8) ”Noin puolet hiilidioksidista, jota fossiilisten polttoaineiden käytön (85 %) ja maankäytön muutosten (15 %) myötä ilmakehään siirtyy, poistuu ilmakehästä maan ja merien hiilinieluihin” (Virtanen 2011, 22).

Hiilidioksidin kiertoaika on noin 4 vuotta sen vapauduttua ilmakehään. Kiertoaika ei kuitenkaan tarkoita sitä aikaa, joka ilmastolta vaatii säätää tasapaino uuden CO₂ tason kanssa. Tämä säätämisaika on noin 50–200 vuotta, jonka määrittelee pääasiassa hidaskiertävä meren pintakerroksen ja syvempien kerrosten välillä. Kiertomallinnuksissa on havaittu, että ilmasto reagoi alkuun nopeammin ylimääräiseen hiilidioksidin, ja sen määrä ilmakehässä puolittuu muutamassa kymmenessä vuodessa. Näiden vuosikymmenten jälkeen puolittumisvauhti hidastuu ja toinen määrän puolittuminen voi kestää jo satoja vuosia. Osa ylimääräisestä hiilidioksidista ei poistu koskaan ilmakehästä, mutta saavuttaa uuden tasapainotason. (Watson et al. 1990, 8).

Edellä mainittujen hiilidioksidinielujen sitomiskyvyn on kuitenkin havaittu heikkenevän viimeisten 50 vuoden aikana (Virtanen 2011, 23). Merissä suurimmaksi osaksi hiilenvaihtoon pinta- ja syvempien kerroksien välillä vaikuttaa meriveden kierto (Watson et al. 1990, 9). Merkittävänä osana hiilinielun toiminnassa toimivat myös yksisoluiset levät, jotka yhteyttävät hiilidioksidia. Kuollessaan ne painuvat syvemmälle mereen, josta hiilidioksidi ei suoraan pääse takaisin ilmakehään. Monet tutkimukset viittaavat siihen, että ilmaston lämmetessä meriveden virtaukset ja lämpötilat muuttuvat. Tällöin levien kasvu ja hiilidioksidipumpun teho heikkenevät. Myös maaperän kasvillisuuden kyvyssä varastoida hiiltä on tapahtumassa heikkenemistä. Lämpimämmässä ilmassa pieneliöt hajottavat kasveja nopeammin ja nii-

den sitoma hiilidioksidi palaa nopeammin ilmakehään. Ilmaston lämpenemisellä voi olla myös vaikutuksia sademääriin, josta voi seurata luontaisesti metsien pinta-alan pientymistä. (Ilmatieteen laitos 2013 d). Nämä muutokset kasvattaisivat ihmisten ilmakehään päästämän hiilidioksidimäärän merkitystä.

4 TOIMENPITEET KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN RAJOITTAMISEKSI

Koska kasvihuonekaasujen vaikutus kohdistuu koko maapalloon, on tärkeää että niiden rajoituksista sovitaan kansainvälisellä tasolla. Näin on myös tehtykin ja näiden rajoitussopimusten ylin valvova ja hallinnoiva elin on YK. Tämän lisäksi valtioilla on myös omia kansallisen tason tavoitteitaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Erilaisilla asennekasvatuksilla ja valistuksilla voidaan vaikuttaa yksittäisen ihmisen valintoihin ja käytökseen ja sitä kautta edelleen hillittyä kokonaishiilidioksidipäästöjä. Kuvassa 9 esitetään eri ilmastopolitiikan toimijat kansainvälisistä järjestöistä yksittäisiin ihmisiin. Tämä luku käsittelee erilaisia kansainvälisiä ja kansallisia toimia, joihin kasvihuonekaasupäästöjen rajoittamiseksi on ryhdytty.



Kuva 9. Ilmastopolitiikan toimijat (YM 2013 a).

4.1 Kansainvälinen ilmastoyhteistyö

Kansainvälisellä tasolla tärkein kasvihuonekaasuja rajoittava sopimus on YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus, joka hyväksyttiin Rion huippukokouksessa 1992. Se astui voimaan 21. maaliskuuta 1994. (UNFCCC 2013 a) Tällä hetkellä sen on ratifioinut 195 osapuolta (UNFCCC 2014 c). Siinä ei kuitenkaan puhuta tarkemmin määrällisistä vähennystavoitteista, vaan sitovista päästörajoista sovittiin puitesopimuksen lisäyksenä Kioton pöytäkirjassa Japanissa vuonna 1997. Se astui voimaan 16. helmikuuta 2005. (UNFCCC 2013 b)

Kioton pöytäkirja asetti teollisuusmaille velvoitteita vähentää kasvihuonepäästöjään. Sen ensimmäisen sopimuskauden ratifioineet valtiot sitoutuvat vähentämään kuuden kasvihuonekaasun päästöjä yhteensä 5,2 prosenttia verrattuna vuoteen 1990 ajanjaksolla 2008–2012. Joillakin valtioilla oli eri vertailuvuosi. Kasvihuonekaasut olivat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihilivedyt, perfluorihilivedyt ja rikkiheksafluoridi. EU:n yhteinen päästövähennystavoite tälle aikavälille oli 8 prosenttia. (UM 2012 a) Taulukossa 4 on eritelty sopimusosapuolten päästötavoitteet Kioton pöytäkirjan ensimmäiselle sopimuskaudelle.

Taulukko 4. Kioton pöytäkirjan ensimmäinen sopimuskaudelle (UNFCCC 2014 a).

EU-15, Bulgaria, Tšekki, Viro, Latvia, Liechtenstein, Liettua, Monaco, Romania, Slovakia, Slovenia, Sveitsi	-8 %
Yhdysvallat	-7 %
Kanada, Unkari, Japani, Puola	-6 %
Kroatia	-5 %
Uusi Seelanti, Venäjä, Ukraina	0
Norja	+1 %
Australia	+8 %
Islanti	+10 %

Tällä hetkellä on menossa Kioton pöytäkirjan toinen sopimuskausi, joka kattaa vuodet 2013–2020. Sen osapuolet ovat sitoutuneet vähentämään sopimuksessa mainittuja kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 18 prosenttia alle 1990 luvun tason. (Australian referenssivuosi 2000) Uutena kasvihuonekaasuna verrattuna ensimmäiseen velvoitekauteen mukaan tuli typpitrifluoridi (NF₃). (UNFCCC 2013 b; UNFCCC 2012) Typpitrifluoridi on elektroniikkateollisuudessa käytetty huomattavan voimakas kasvihuonekaasu, jonka ilmastoa lämmittävä potentiaali voi olla jopa 17 000 kertaa suurempi kuin hiilidioksidilla. Se otettiin alunperin käyttöön perfluorattujen hiilivetyjen korvaajana, joiden käyttöä Kioton ensimmäisen velvoitekauden sopimus säätelee. (Kangasniemi 2008) Taulukossa 5 näkyy toisen sopimuskauden osapuolet ja heidän päästövähennystavoitteensa.

Taulukko 5. Kioton pöytäkirjan toinen sopimuskausi (UNFCCC 2012).

Australia	-0,5 %
EU	-20 %
Islanti	-20 %
Kroatia	-20 %
Liechtenstein	-16 %
Monaco	-22 %
Norja	-16 %
Sveitsi	-15,8 %
Kazakstan	-5 %
Ukraina	-24 %
Valko-Venäjä	-12 %

Kuten taulukosta 5 käy ilmi, kaikki suuret päästäjävaltiot eivät ole sitoutuneet Kioton pöytäkirjan mukaisiin päästövähennyksiin. Näin oli myös Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden kohdalla, jonka esimerkiksi Yhdysvallat hyväksyi, mutta jätti ratifioimatta sen. Tällä hetkellä Kioton pöytäkirjan on ratifioinut 192 osapuolta, mutta päästövähennystavoitteita ei alun perinkään suunniteltu kuin teollisuusmaille. (UNFCCC 2014 b)

Puitesopimuksessa osallistujamaat on jaettu kolmeen eri ryhmään:

- Ensimmäinen ryhmä on Liite 1 maat. Ryhmä pitää sisällään 24 alkuperäistä OECD maata, Euroopan unionin jäsenmaat vuonna 1992 (EU-15), sekä 14 siirtymätalousmaata. Nämä maat sitoutuivat palauttamaan kasvihuonepäästönsä 1990 luvun tasolle vuoteen 2000 mennessä. He myös hyväksyivät Kioton pöytäkirjan mukaiset päästötavoitteet kaudelle 2008–2012. (UNFCCC 2014 d, 2014e)
- Liite 2 maihin kuuluvat vain 24 alkuperäistä OECD maata ja Euroopan unioni (EU-15). Näillä mailla on erityinen velvollisuus auttaa kehitysmaita taloudellisesti ja teknologian osalta koskien päästöjen vähennystä. (UNFCCC 2014 d, 2014 e)
- Ei-liite 1 maihin kuuluvat muut maat, jotka ovat ratifioineet tai liittyneet YK:n ilmastomuutosta koskevaan puitesopimukseen. Tämän ryhmän jäsenet koostuvat pääosin kehitysmaista, joista eräät on puitesopimuksessa tunnustettu erityisen haavoittuviksi ilmastomuutokselle. Osa näistä maista on vahvasti riippuvaisia fossiilisen polttoaineen tuotannosta ja kaupankäynnistä. Puitesopimus painottaa toimia, jotka ottavat näiden maiden erityistarpeet huomioon. Näitä toimia ovat mm. investoinnit, vakuutukset ja teknologian siirrot. (UNFCCC 2014 d, 2014 e)

Kioton pöytäkirjaan kuuluu myös kolme markkinapohjaista ns. joustomekanismia, jotka auttavat maita saavuttamaan päästötavoitteensa. Ne ovat kuitenkin vain lisäapu, joiden käyttöä säädellään erikseen. Pääasiallisesti päästövähennykset tulee suorittaa maakohtaisilla toimenpiteillä. Joustomekanismit ovat yhteistoteutus, puhtaan kehityksen mekanismi ja kansainvälinen päästökauppa. Näistä yhteistoteutus liittyy hankkeisiin, jotka vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä tai lisäävät nieluja toisessa teollisuusmaassa. Samoin puhtaan kehityksen mekanismissa rahoitetaan hankkeita kehitysmaissa samassa tarkoituksessa. Näiden hankemekanismien avulla saadaan päästövähennysyksiköitä, jotka voidaan siirtää omaan käyttöön. Päästökaupassa toinen teollisuusmaa voi myydä itselleen ylimääräiset päästöyk-

siköt. Hankkeissa isäntämaat hyötyvät ulkomaisista investoinneista ja teknologian siirrosta. Myös yritykset voivat osallistua näihin hankkeisiin. (YM 2013 b)

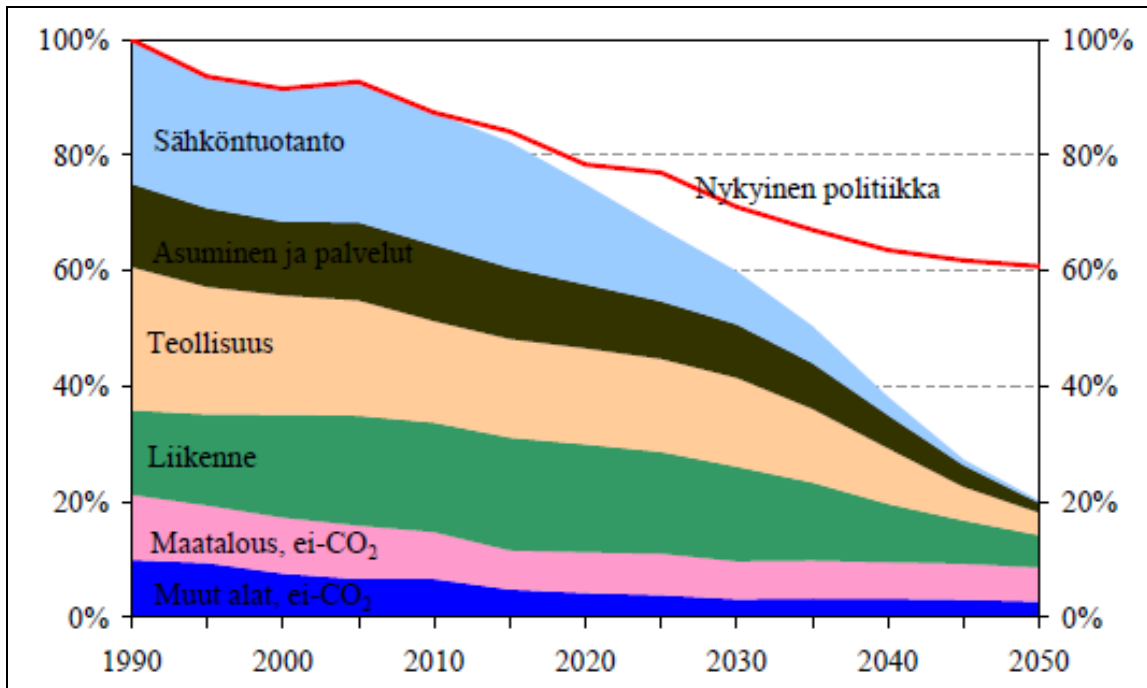
4.2 EU:n ilmastopolitiikka

Tällä hetkellä Euroopan unionin energia- ja ilmastopolitiikkaa määrittelee ilmasto- ja energiapaketti, josta päätettiin vuonna 2008. Siinä asetettiin tavoite, joka tunnetaan nimellä 20–20–20. Tämä tarkoittaa 20 prosentin vähennystä kasvihuonekaasupäästöissä vuoden 1990 tasoon verrattuna, uusiutuvista energialähteistä peräisin olevan energiankulutuksen osuuden nostoa 20 prosenttiin, sekä 20 prosentin parannus energiatehokkuuteen. Näiden toimien takarajaksi on asetettu vuosi 2020. (Euroopan komissio 2014 a; UM 2012 b)

Kasvihuonekaasupäästöjen osalta tavoite on sama mihin EU on sitoutunut Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella vuosina 2013–2020. Euroopan unioni on valmis tietyin ehdoin tätäkin suurempiin kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiin, mikäli muut merkittävät talousmaat ottavat myös osaa lisäponnisteluihin. (Euroopan komissio 2014) Tällä hetkellä Euroopassa työskennellään kuitenkin aktiivisesti energia- ja ilmastopolitiikan parissa. Uudeksi tavoitteeksi on ehdotettu kasvihuonekaasupäästöjen leikkaamista 40 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. Samalla painopiste laitettaisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen, koska aiemmissa tavoitteissa on päällekkäisyyksiä, jotka vaikuttavat toisiinsa. (Rautio & Elonen 2014)

Euroopan unionin ilmastopolitiikkaa on määritelty Euroopan komission vuonna 2011 julkaisemassa tiedonannossa, niin kutsutussa tiekartassa vähähiiliseen talouteen vuoteen 2050 mennessä. Siinä kuvataan toimia, miten EU voi kustannustehokkaasti vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 80 prosenttia vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä. (YM 2013 c) Euroopan unionin tavoite on 80–95 prosentin päästövähennys vuoteen 2050 mennessä (Euroopan komissio 2013 b, 3). Kuvassa 11 näkyy eri mallinnusmenetelmillä luotu skenaario siitä kuinka vähennykset toteutuisivat eri aloilla, jos otetaan huomioon kulloinkin käytettävissä olevat teknologiavaihtoehdot. Ylimmäisenä oleva punainen käyrä kuvaa kasvihuone-

nekaasupäästöjen tasoa vuoteen 1990 verrattuna, jos jatketaan nykyisellä politiikalla. Tavoite 80 prosentin päästöleikkauksesta vaatii siis päästöjen leikkausvauhdin kiristämistä loppua kohden onnistuakseen. (Euroopan komissio 2011)



Kuva 10. EU:n omien kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen 80 prosentilla (Euroopan komissio 2011).

4.2.1 EU:n päästökauppa

Yksi keskeisimmistä mekanismeista Euroopan unionin päästöjen vähennys tavoitteiden onnistumisen kannalta on päästökauppajärjestelmä. Se on ”katto ja kauppa” periaatteella toimiva maailman suurin kansainvälinen kasvihuonekaasujen päästölupiin keskittynyt järjestelmä. (Euroopan komissio 2014 b) Järjestelmän parissa toimivilla mailla on yhteinen kattokiintiö, jonka sisällä he voivat käydä kauppaa päästöyksiköillä, jotka vastaavat kukin oikeutta päästää yhden tonnin hiilidioksidia tai vastaava hiilidioksidiekvivalentti määrä dityppioksidia tai perfluorihilivetyjä (Euroopan komissio 2013 a, 3).

Tällä hetkellä EU: päästökauppajärjestelmässä on menossa kolmas kausi, joka kattaa vuodet 2013–2020. Ensimmäinen kausi kattoi vuodet 2005–2007 ja toinen

kausi vuodet 2008–2012. Toinen ja kolmas kausi ajoittuvat samanaikaisesti Kioton ensimmäisen ja toisen pöytäkirjan kanssa. Ensimmäinen ja toinen päästökauppa-kausi kattoivat vain hiilidioksidipäästöt, joskin useat maat alkoivat toisella kaudella soveltaa järjestelmää myös typpihapon tuotannosta peräisin oleviin dityppioksidipäästöihin. (Euroopan komissio 2014 c)

Kolmas meneillään oleva päästökauppajärjestelmä kattaa hiilidioksidin lisäksi dityppioksidin erilaisten happojen tuotantoprosesseista sekä alumiinin tuotannon perfluorihillivetyypäästöt. Päästökaupassa hiilidioksidin osalta ovat sähkön- ja lämmöntuotanto sekä erilaisia energiaintensiivisiä teollisuuden aloja kuten metsä-, metalli-, metalli ja sementtiteollisuus sekä öljyjalostamot. Päästökaupan piirissä ovat näiden alojen suurimmat toimijat ja se kattaa noin 45 prosenttia kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä 28 EU-maassa sekä kolmessa EEA-EFTA maassa (Islanti, Liechtenstein ja Norja). Vuodesta 2012 lähtien myös päästökaupan piirissä toimivien maiden lentoyhtiöt ovat olleet hiilidioksidipäästöjen osalta päästökauppajärjestelmän piirissä. (Euroopan komissio 2013 a, 3; Euroopan komissio 2014 b; Energiavirasto 2014)

Päästökauppajärjestelmän tarkoituksena on toimia kustannustehokkaana välineenä ponnisteluissa ilmastonmuutosta vastaan. Sen ohjaa markkinaehtoisesti tekemään päästövähennystoimet siellä missä se on kannattavinta. Järjestelmän on tarkoitus kannustaa vähähiilisen tekniikan käyttöönottoon ja lisäksi sen sisältämä Kioton pöytäkirjan mukaisten hankemekanismien käyttö ohjaa Cleantech ja vähähiillisiä investointeja etenkin kehittyviin maihin. (Euroopan komissio 2013 a, 2; Euroopan komissio 2014 c)

Päästökauppajärjestelmässä olevilla mailla on yhteinen päästökatto ja tämän mukainen määrä päästölupayksiköitä. Päästöluvat jaettiin valtioiden kesken ensimmäisellä ja toisella kaudella pääasiassa ilmaiseksi kansallisten jakosuunnitelmien mukaan. Tällä hetkellä menossa olevalla kolmannella päästökauppa-kaudella päästölupien pääasiallinen jakoperuste on huutokauppa eikä kansallisia jakosuunnitelmia enää ole. Järjestelmässä erityiskohtelua saavat kuitenkin alat, joilla on

merkittävä ”hiilivuoto” riski. Hiilivuoto tällöin tarkoittaa tilannetta, jossa yritys jonka kustannukset ovat kohonneet ilmastopolitiikan johdosta, siirtää tuotantoaan maihin joissa on lievemmat rajoitukset kasvihuonekaasupäästöille. Tämä koskee erityisesti tiettyjä energiaintensiivisiä aloja, jotka on listattu tätä varten perustetulla virallisella listalla. Nämä yritykset saavat käytännössä kaikki heidän päästölupansa ilmaiseksi, kun taas esimerkiksi sähköntuotantoteollisuus joutuu ostamaan ne kaikki päästöhuutokaupasta. (Euroopan komissio 2013 a, 3–4)

Vuodesta 2013 eteenpäin järjestelmän parissa olevien voimalaitosten ja muiden kiinteiden laitteistojen päästökatto laskee 1,74 prosenttia joka vuosi, mikä tarkoittaa näiden alojen kasvihuonekaasupäästöjen olevan 21 prosenttia pienemmät vuonna 2020 kuin vuonna 2005. Päästökatto asettaa rajan päästöoikeusyksiköille, joiden hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan lakien mukaan niille tarkoitetuilla markkinoilla. Mitä korkeammaksi hinta muodostuu, sitä enemmän se kannustaa yrityksiä investoimaan päästöjä vähentävään teknologiaan. Osa päästöhuutokaupasta saaduista varoista käytetään kahden laajan vähähiilisen teknologian demonstraatiohankkeen rahoittamiseen: hiilen talteenotto ja varastointi sekä innovatiiviset uusiutuvat energiateknologiat. (Euroopan komissio 2013 a, 2–6)

Päästökaupan ulkopuolisista päästöistä on sovittu EU:ssa taakanjakopäätöksellä ja kaikkien maiden yhteenlaskettu tavoite on 10 prosentin vähennys vuoteen 2020 mennessä vuoteen 2005 verrattuna (Euroopan komissio 2013 b, 5).

4.3 Suomen ilmastopolitiikka

Suomen ilmastopolitiikka on määritelty valtioneuvoston vuonna 2013 päivitetystä Kansallinen energia- ja ilmastostrategia selonteossa eduskunnalle, jonka keskeisenä tavoitteena on varmistaa Suomen vuoteen 2020 asti ulottuvien päästöjen vähennyskiintiöiden täyttyminen. Suomessa on myös valmistunut Energia- ja ilmastotiekartta 2050, jonka koordinoinnista ja puheenjohtajuudesta vastasi elinkeinoministeri. Siinä käsitellään keskeisiä vuoteen 2050 saakka ulottuvia tekijöitä kuten kasvihuonekaasupäästöjen 80–95 prosentin vähennystavoitetta sekä vuoteen 2030 asti ulottavia keskipitkän aikavälin tekijöitä. Lisäksi hallitus on valmistanut

ilmastolain ohjaamaan päästökaupan ulkopuolisten päästöjen vähentämistä. Laki voi aikataulun mukaan tulla voimaan vuoden 2015 aikana. (TEM 2013, 7; TEM 2014 a; YM 2013 d)

Suomi on Euroopan unionin jäsenmaana sitoutunut EU:n ilmasto- ja energiapaketissa vuonna 2008 päätettyyn 20 prosentin kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteeseen vuoteen 2020 mennessä verrattuna vuoteen 1990. Taulukosta 6 näkyy kuinka ne jakautuvat päästökaupan ja sen ulkopuolisen sektorin mukaan.

Taulukko 6. EU:n energia- ja ilmastotavoitteet vuodelle 2020 (TEM 2013, 11)

Tavoitteet vuodelle 2020	EU	Suomi
Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ¹⁾	-20 %	EU-tason tavoite
Päästökauppasektorin päästöt ²⁾	-21 %	EU-tason tavoite
Päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästöt ²⁾	-10 %	-16 %
Uusiutuvien energialähteiden osuus energian loppukulutuksesta	20 %	38 %
Biopolttoaineiden osuus tieliikenteen polttoaineista	10 %	20 %
Energiätehokkuuden parantaminen ³⁾	+20 %	EU-tason tavoite

1) vertailuvuosi 1990

2) vertailuvuosi 2005

3) verrattuna vuonna 2007 arvioituun kehitykseen

Suomen osuudet päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästöistä ja uusiutuvien energialähteiden osuudesta energian loppukulutuksesta ovat koko EU:n osuutta suuremmat. Lisäksi Suomi on kansallisesti päättänyt lisätä biopolttoaineiden osuutta tieliikenteen polttoaineista 20 prosenttiin, joka on enemmän kuin EU:n asettaman 10 prosentin velvoite.

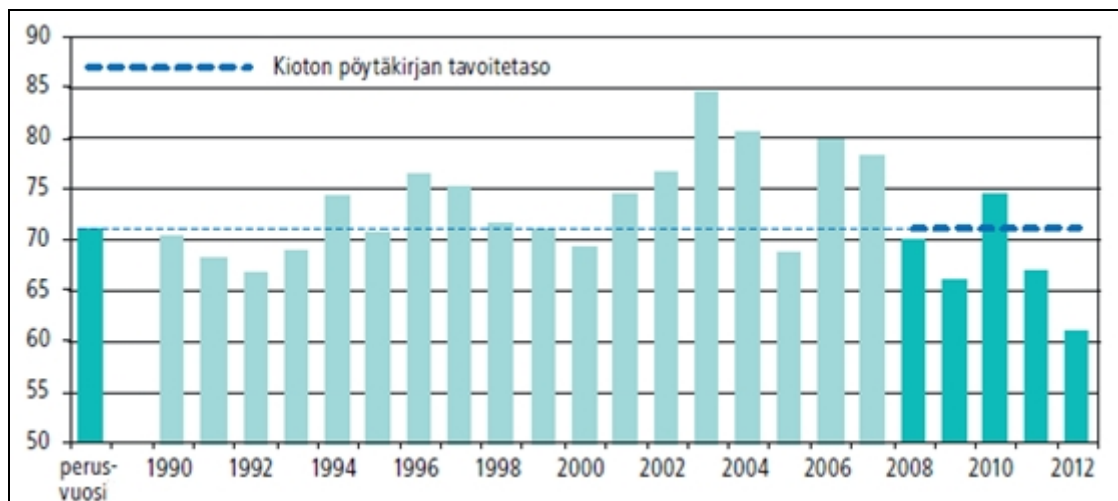
Suomelle runsasmetsäisenä maana on ollut tärkeää metsien aikaansaaman hiilinielujen sisällyttäminen päästövähennystavoitteisiin. YK:n ilmastosopimuksen osapuolikokouksessa Durbanissa joulukuussa 2011 Kioton sopimuksen toiselle kaudelle tämän osalta laskentasääntöjä kuitenkin kiristettiin. Mahdollisuus korvata metsäkadosta johtuvat päästöt metsänhoidosta syntyvillä nieluilla poistettiin ja tämä aiheuttaa lisäyksen Suomen nettomääräisiin hiilidioksidipäästöihin. Suomen

metsänhoidon nielu on selvästi suurempi kuin metsäkadosta syntyvä päästö. Tämän johdosta Euroopan komissio on hyväksynyt Suomelle kompensaaation menetyksistä, jotka johtuvat laskentatavan muutoksesta. Käytännössä tämä tehdään siirtämällä Suomelle ilmaisia päästöyksiköitä. (TEM 2013, 11, 17; YM 2014)

5 SUOMEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN MÄÄRÄ JA MUODOSTUMINEN

Suomessa kasvihuonekaasupäästöjen määrän raportoinnista YK:n ilmastosihteeristölle sekä Euroopan komissiolle vastaa Tilastokeskuksen kasvihuonekaasujen inventaarioyksikkö. Suomen kokonaiskasvihuonekaasupäästöt Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä velvoitekaudella 2008–2012 olivat 338,4 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttonnia mikä oli viisi prosenttia matalampi kuin Suomelle EU:n sisäisessä taakanjaossa asetettu tavoite. Suomen tavoite oli pitää päästöt vuoden 1990 tasossa. (Tilastokeskus 2013 a, 3; SVT 2014 a)

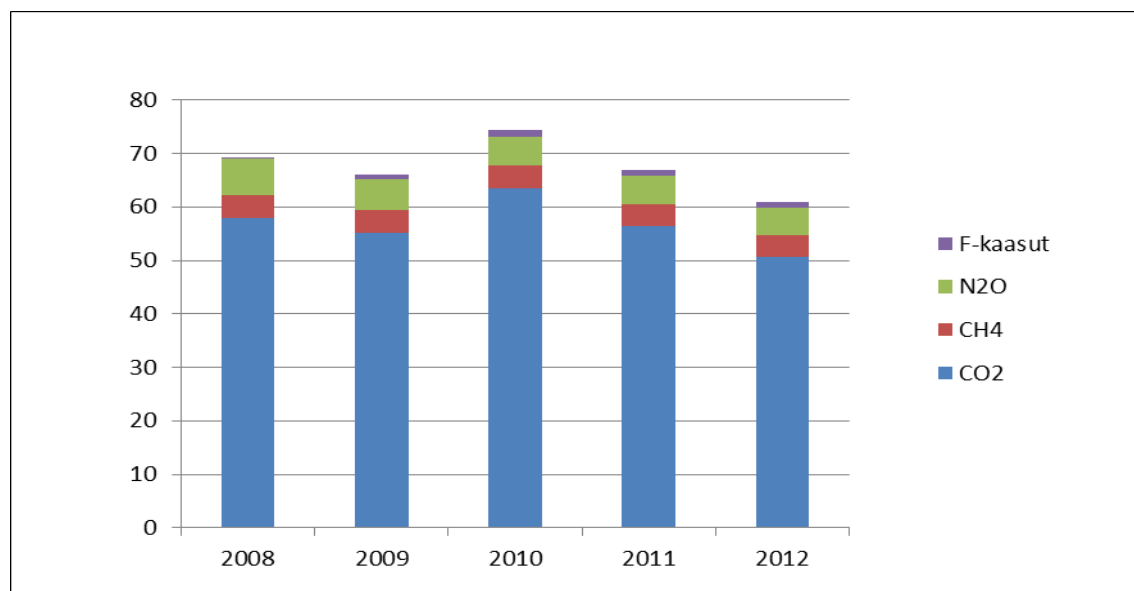
Alla olevasta kuvasta 11 käy ilmi kasvihuonekaasupäästöjen kehitys Suomessa vuosina 1990–2012 suhteessa Kioton ensimmäisen pöytäkirjan tavoitetasoon vuosille 2008–2012. Taulukko ei sisällä maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätaloussektoria (LULUCF). Tässä luvussa tarkastellaan Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää ja kehitystä merkittävimmillä sektoreilla. Luvun tiedot perustuvat suurimmalta osin Tilastokeskuksen aineistoon.



Kuva 11. Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2012 (Tilastokeskus 2014 a, 11), miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia.

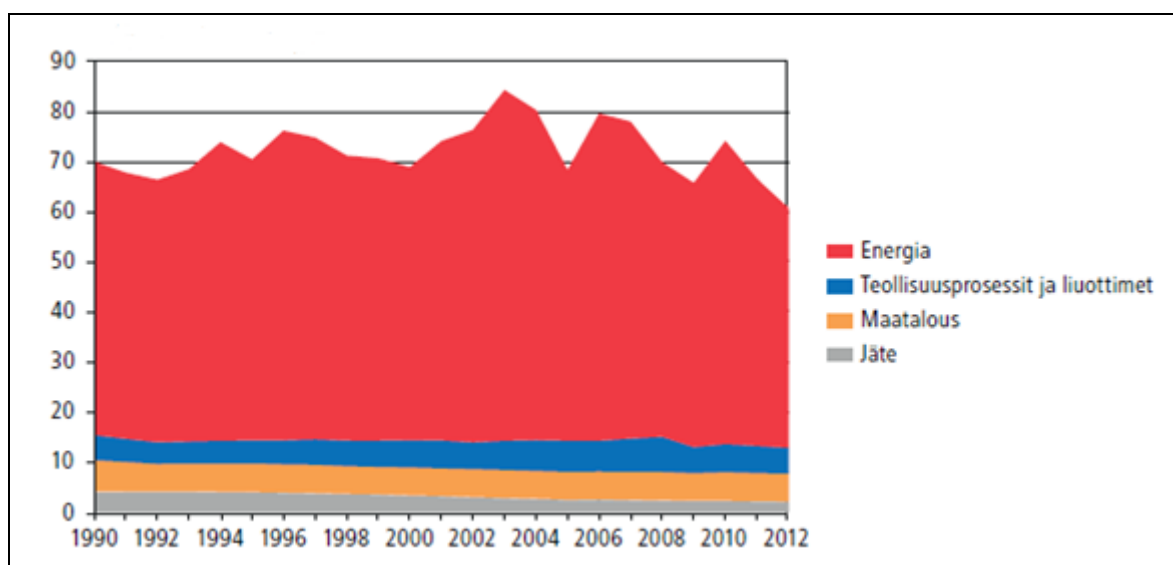
5.1 Kokonaispäästöt

Vuoden 2012 kasvihuonekaasupäästöt Suomessa olivat 61,0 miljoonaa tonnia (ilmoitetut hiilidioksidipäästömäärät hiilidioksidiekvivalenteja). Näistä päästökaupaan kuuluvia päästöjä oli 29,5 miljoonaa tonnia ja päästökaupan ulkopuolisia päästöjä 31,5 miljoonaa tonnia. Tämä on 9 prosentin lasku edelliseen vuoteen, jolloin päästöt olivat 67 miljoonaa tonnia. (Tilastokeskus 2014 a, 11, 12). ”Päästöt vähenivät edelliseen vuoteen verrattuna kaikilla sektoreilla, merkittävimmin energiasektorilla, jossa laskua oli 10 prosenttia” (SVT 2014 b). ”YK:n ilmastositomuksen mukaisessa raportoinnissa energiasektorilla tarkoitetaan kaikkea polttoaineiden energiakäyttöä sekä polttoaineiden tuotantoon, jakeluun ja kulutukseen liittyviä haihtuma- ja karkauspäästöjä” (Tilastokeskus 2013 a, 10). Energian kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2012 oli 1,37 miljoonaa terajoulea, mikä oli prosentin vähemmän kuin vuonna 2011. Energian kulutuksen määrässä ei ole viime vuosina tapahtunut merkittäviä muutoksia. (Tilastokeskus 2013 b). Kasvihuonekaasupäästöjen määrät ja koostumus vuosina 2008–2012, pois luettuna LULUCF-sektori, näkyvät kuvassa 12 (Tilastokeskus 2014, 58–60).



Kuva 12. Suomen kasvihuonekaasupäästöjen määrät ja koostumus vuonna 2012 pl. LULUCF-sektori, miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia.

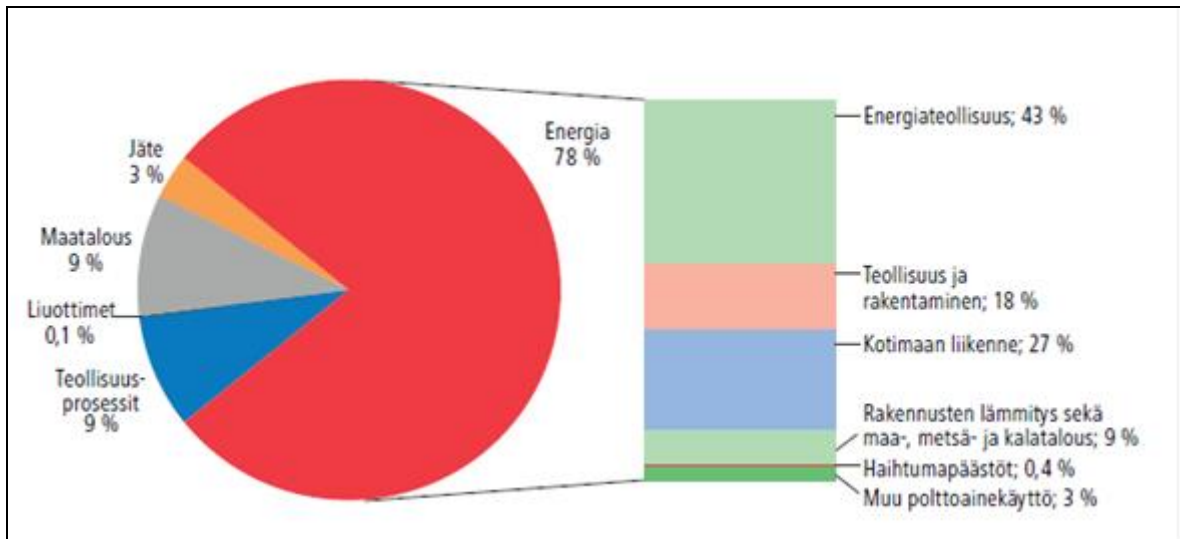
Hiilidioksidi on Suomessa kuten muuallakin maailmassa selvästi merkittävin kasvihuonekaasupäästö. Vuosina 2008–2012 hiilidioksidi muodosti keskimäärin 82 prosenttia kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. Kuvassa 13 näkyvät Suomen kasvihuonekaasupäästöjen määrät lähteittäin vuosina 1990–2012 pois luettuna LULUCF-sektori.



Kuva 13. Suomen kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2012 (Tilastokeskus 2014, 13), miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia.

Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätaloussektori muodosti Suomessa vuonna 2012 25,9 miljoonan tonnin hiilidioksidinielun. Tätä määrää ei kuitenkaan lueta kokonaisuudessaan kasvihuonekaasupäästöihin, vaan se raportoidaan Kioton pöytäkirjan mukaisilla erillisillä säännöillä (Tilastokeskus 2014, 15).

Suomessa kasvihuonekaasupäästöt ovat vuoden 2010 jälkeen kääntyneet laskuun. ”Suomen vuosittaiset päästömäärät ovat vaihdelleet huomattavasti etenkin sähkön tuonnin ja fossiilisen lauhdesähkön tuotannon mukaan, joiden määrät puolestaan riippuvat vesivoiman saatavuudesta pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla. Päästökemitykseen vaikuttavat lisäksi kulloisenkin vuoden taloudellinen tilanne energiantensiivisillä teollisuuden aloilla, vuoden keskimääräiset sääolot sekä uusiutuvilla energialähteillä tuotetun energian määrät.” (Tilastokeskus 2014, 13) Kuvassa 14 esitetään kasvihuonekaasupäästöjen lähteet sektoreittain vuonna 2012.



Kuva 14. Kasvihuonekaasupäästöt sektoreittain vuonna 2011 (Tilastokeskus 2014, 12).

5.1.1 Energia

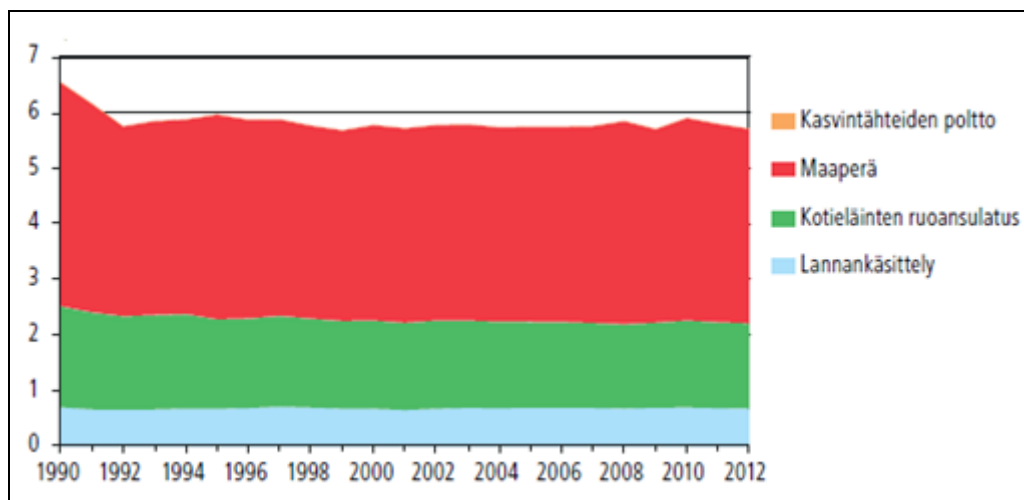
Energiasektorin päästöt vuonna 2012 olivat 47,8 miljoonaa tonnia mikä vastaa 78 prosenttia kaikista Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Suurimpana kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajana sektorin sisällä oli energiateollisuus 43 prosentin osuudellaan. Energiateollisuudella tarkoitetaan päätoimista sähkön- ja kaukolämmöntuotantoa. Lisäksi liikenteen aiheuttama päästö on suuri, 27 prosenttia energiasektorin kokonaispäästöistä, mistä henkilöautoliikenne muodostaa suurimman osan. Syy osa-alueiden suurehkoon kokoon on Suomen olosuhteet. Meillä on kylmä ilmasto, pitkät välimatkat ja energiantensiivinen teollisuus. (Tilastokeskus 2014, 20, 26) Kuvassa 14 esitettiin energiasektorin päästöjen jakautuminen eri osa-alueiden kesken.

Osa-alueiden kokoeroissa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia viime vuosina lukuun ottamatta energiateollisuutta ja teollisuuden omaa energiantuotantoa sekä rakentamista. Energiateollisuuden energiantuotannon määrä voi vaihdella suures-tikin edellä mainitun lauhdesähkön tuotannon tarpeen mukaan. Teollisuuden oman energiantuotannon ja rakentamisen kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavat taloudelliset suhdanteet. Vuosien 2008–2009 välillä teollisuuden oman energiantuotannon ja rakentamisen osa-alueen kasvihuonekaasupäästöt notkahtivat 2,4 miljoo-

naa tonnia niiden ollessa vuonna 2009 kokonaisuudessaan 8,4 miljoonaa tonnia. Vuosina 2010–2012 ne ovat olleet hieman alle 10 miljoonaa tonnia, mikä on kuitenkin noin 1,5 miljoonaa tonnia alle viime vuosien tason. (Tilastokeskus 2013 a, 19–20, 24; 2014, 21)

5.1.2 Maatalous sekä teollisuusprosessit

Maatalous sekä teollisuusprosessit vastasivat molemmat noin 9 prosentin osuudesta Suomen kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2012. Maataloussektorin päästöt olivat noin 5,7 miljoonaa tonnia. ”Sektorin päästöihin luetaan mukaan metaanipäästöt kotieläinten ruoansulatuksesta, lannankäsittelystä ja kasvintähteiden poltosta sekä dityppioksidipäästöt lannankäsittelystä, viljelymaasta ja kasvintähteiden poltosta.” Näistä merkittävin oli dityppioksidipäästöt maaperästä 61 prosentin osuudella maatalouden kokonaispäästöistä. Näitä päästöjä tulee mm. lannoitteista ja pelloille hajoavista kasvintähteistä. (Tilastokeskus 2014, 32) Kuvassa 15 on eritelty päästökertymän aiheuttajia vuosina 1990–2012.

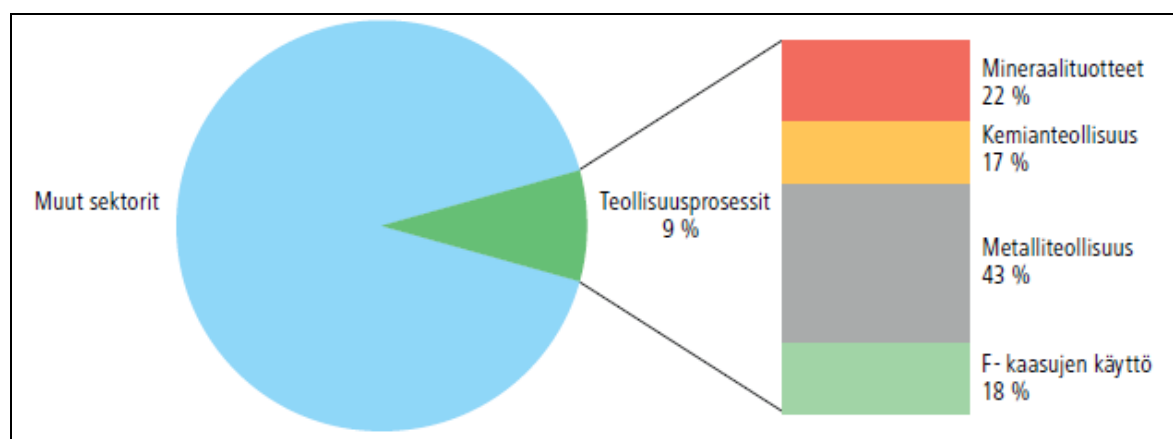


Kuva 15. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen (pl. maaperän CO₂-päästöt) kehitys 1990–2012 (Tilastokeskus 2014, 34), miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia.

Kuvassa 15 nähdään selkeästi keinolannoitteiden vähenemisen aikaansaama kokonaiskasvihuonekaasupäästöjen määrän lasku. Nykyisin kasvihuonekaasuinventaarissa ei huomioida biokaasun tuotantoa, mutta sen mukaanottoa suunnitel-

laan. Biokaasutuotannon lisääntymisellä on vaikutusta lannankäsittelyn metaanipäästöihin. Kokonaisuudessaan maataloussektorin päästöt ovat säilyneet melko tasaisena viime vuosina, mutta ne ovat noin 12 prosenttia alemmat 1990-luvun tasoon nähden. Vähenemiseen on vaikuttanut mm. typpilannoitteiden käytön väheneminen ja esimerkiksi keinolannoituksen ja lannanlevityksen seurauksena haihtuvan ammoniumin määrän pienenentyminen. (Tilastokeskus 2013 a, 32–33; 2014, 32–33)

Teollisuusprosessien päästöt olivat noin 5,3 miljoonaa tonnia. ”Merkittävimmät päästölähteet prosessipäästöissä ovat raudan ja teräksen valmistuksen, vedyn valmistuksen sekä sementin valmistuksen hiilidioksidipäästöt” (Tilastokeskus 2014, 28). Kuvassa 16 on eritelty teollisuusprosessien kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen. Kylmälaitteissa käytettävät F-kaasut muodostavat merkittävän osan sektorin kasvihuonekaasupäästöistä.

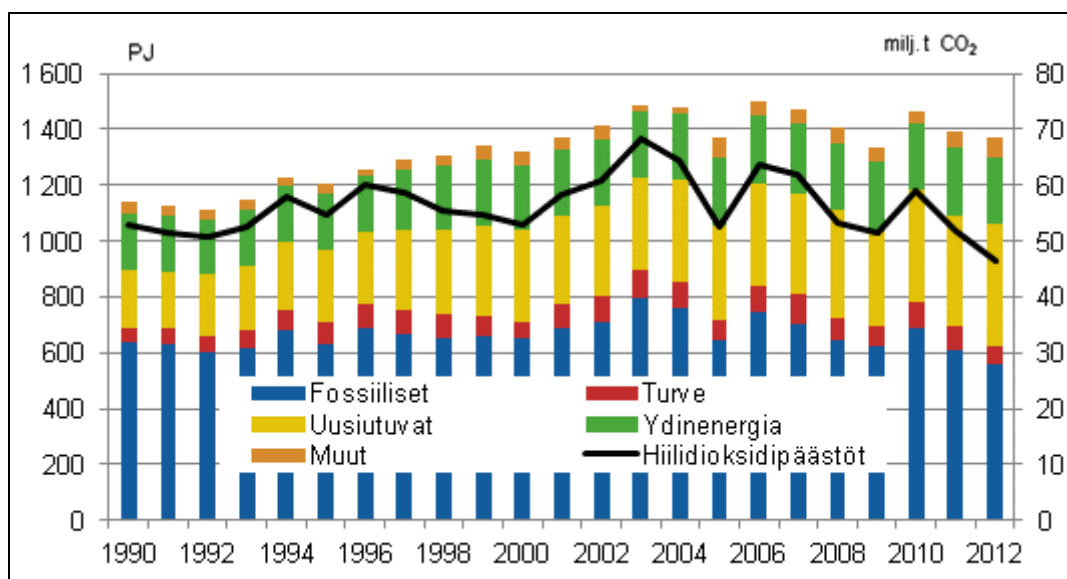


Kuva 16. Teollisuusprosessien kasvihuonekaasupäästöjen jakautuminen vuonna 2012 (Tilastokeskus 2014, 28).

5.2 Energian hankinta ja kulutus Suomessa

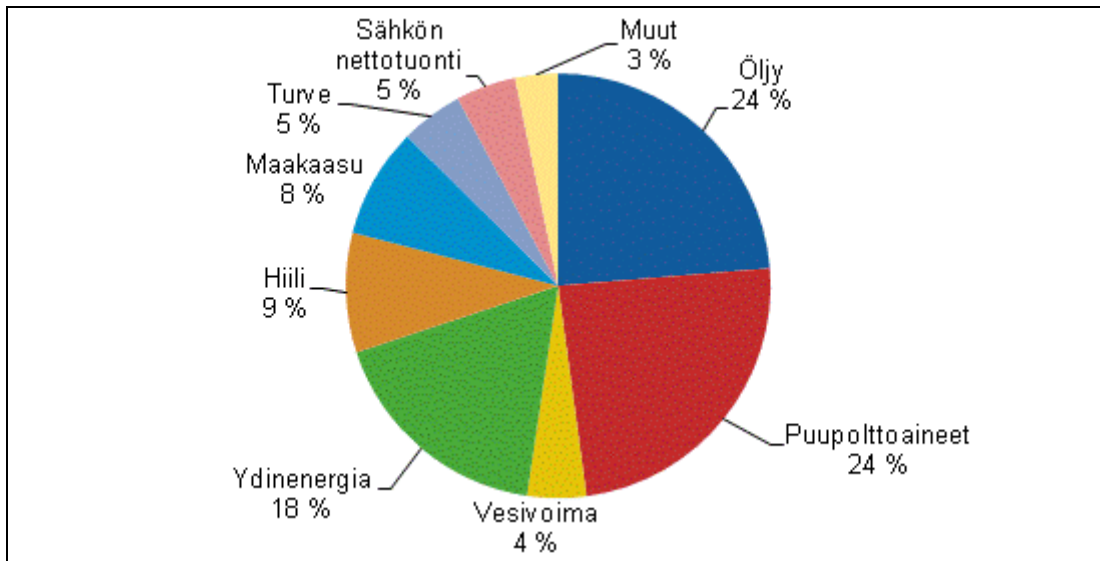
Puuperäiset polttoaineet nousivat ensimmäistä kertaa suurimmaksi energialähteeksi Suomessa vuonna 2012. Uusiutuvan energian osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 32 prosenttia. Fossiiliset polttoaineet hiili, maakaasu ja öljy sekä turve muodostivat 46 prosenttia kokonaisenergian kulutuksesta. Turve ei varsinaises-

ti ole fossiilinen polttoaine, mutta sen polton ilmastovaikutukset ovat elinkaaritutkimusten mukaan fossiilisiin polttoaineisiin verrattavissa, ja se lasketaan täysimääräisenä mukaan kasvihuonekaasuinventaariossa (Tilastokeskus 2014, 11). Fossiilisten polttoaineiden käyttö laski 8 prosenttia vuodesta 2011. Kuvassa 17 on jaoteltu energialähteet ja hiilidioksidipäästöt energiasektorilta vuosina 1990–2012. (SVT 2013 a; 2013 b)



Kuva 17. Energian kokonaiskulutus ja hiilidioksidipäästöt (SVT 2013 a).

Fossiiliset polttoaineet ovat edelleen merkittävässä asemassa Suomen energianhankinnassa. Samaan aikaan päästörajoituksia kiristetään ja tehdään suunnitelmia siirtymisestä hiilineutraaliin energianhankintaan. Merkittävin Suomessa käytettävä fossiilinen energianlähde on öljy, jonka tuonnista suurin osa jalostetaan bensiiniksi, dieseliksi ja lentokoneiden polttoaineeksi. Öljyllä on myös merkittävä rooli lämmityksessä sekä voimalaitosten tuki- ja varapolttoaineena. Voimalaitokset ja lämmityslaitokset ovat myös maakaasun ja hiilen merkittäviä käyttäjiä, kivihillen käyttö Suomessa pääpolttoaineena on keskittynyt suuriin voima- ja kaukolämpölaitoksiin. Öljy, maakaasu ja hiili tuodaan Suomeen ulkomailta, turvetta löytyy Suomen maaperästä. (Energiateollisuus 2014 a; 2014 b) Kuvassa 18 näkyy eroteltuna energian kokonaiskulutus Suomessa vuonna 2012.



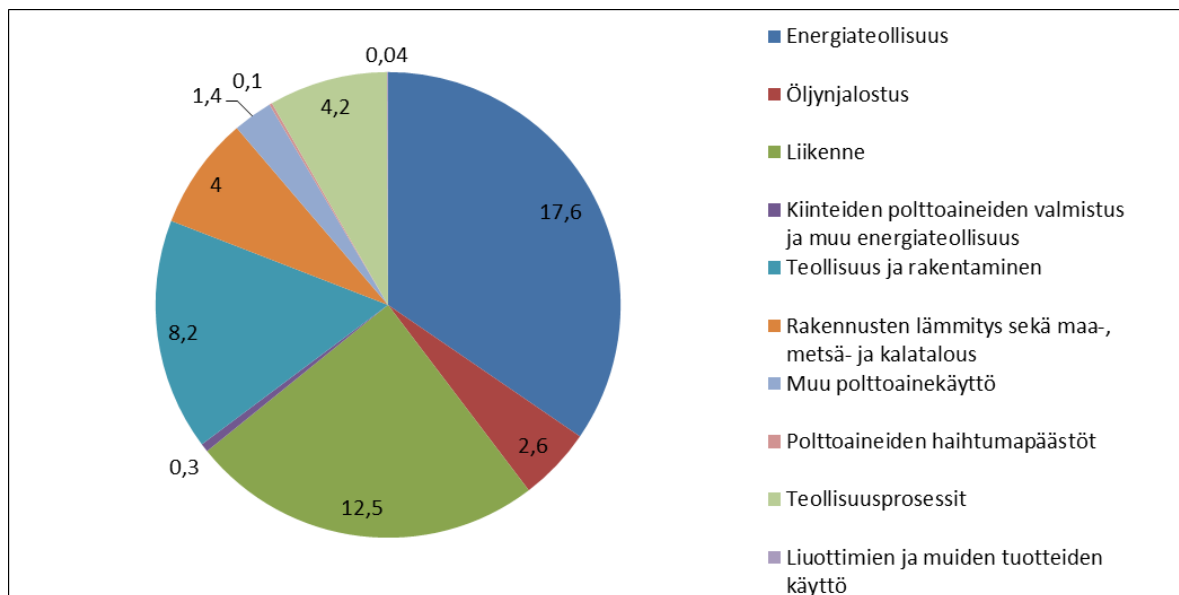
Kuva 18. Energian kokonaiskulutus vuonna 2012 (SVT 2013 b).

Suomi toimii pohjoismaisilla yhteisillä sähkömarkkinoilla jossa fossiilisten polttoaineiden käyttöön vaikuttaa saatavilla olevan vesivoiman tilanne. Vuonna 2012 sen saatavuus oli hyvä ja Suomessa vesivoiman tuotanto kasvoi 36 prosenttia vuodesta 2011. (SVT 2013 a)

6 KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISMAHDOLLISUUDET SUOMESSA

Fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen olisi nopea ja suoraviivainen keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Fossiilisten polttoaineiden sekä turpeen polton hiilidioksidipäästöt muodostivat vuosina 1990–2012 keskimääräisesti 77 prosenttia kaikista Suomen hiilidioksidiekvivalenteista kasvihuonekaasupäästöistä (SVT 2014 c). Koska hiilidioksidi on ylivoimaisesti merkittävin kasvihuonekaasupäästö Suomessa, kuten muuallakin maailmassa, tulisi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistoimenpiteet suunnata ensisijaisesti hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen.

Suurimmat hiilidioksidin päästäjät Suomessa ovat energiateollisuus ja liikenne joiden päästöt olivat keskimäärin 38 ja 23 prosenttia kaikista hiilidioksidipäästöistä vuosina 2008–2012. Kolmas merkittävä hiilidioksidinpäästäjä oli teollisuus ja rakentaminen noin 16 prosentin osuudellaan kokonaishiilidioksidipäästöistä samana ajanjaksona. Kuvassa 19 näkyy hiilidioksidipäästöjen määrät päästölähdeluokittain vuonna 2012. (Tilastokeskus 2014, 60)



Kuva 19. Hiilidioksidipäästöt päästölähteittäin vuonna 2012, miljoonaa tonnia CO₂-ekvivalenttia.

Koska energiateollisuus, teollisuuden oma energianhankinta ja rakentaminen sekä teollisuusprosessit muodostavat suuren osan Suomen hiilidioksidipäästöistä, pu-
revat hiilidioksidipäästöjen vähennystoimenpiteet fossiilisten polttoaineiden käytön
vähentämisen kautta näillä sektoreilla kaikista tehokkaimmin. Juuri tähän tähtää
EU:n päästökauppajärjestelmä. Päästökaupan ulkopuolella on myös merkittäviä
hiilidioksidipäästöjen tuottajia, näistä merkittävimpiä ovat liikenne, rakennusten
lämmitys ja maatalous. Näitä päästöjä rajoitetaan EU:ssa niin kutsutulla taakanja-
kopäätöksellä, joka käsittää päästökauppasektorin ulkopuolisten alojen päästövähennystavoitteet. Taulukossa 6 oli määritelty näiden molempien sektoreiden tavoitteet Suomelle, jotka ovat 21 prosentin vähennys päästökauppasektorilla ja 16 prosentin vähennys päästökaupan ulkopuolisella sektorilla vuoteen 2020 mennessä. Samoin taulukossa on määritelty tavoite nostaa Suomen osuus uusiutuvien energialähteiden käytöstä energian loppukulutuksessa 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä.

Tässä luvussa tutustutaan eräisiin merkittäviin kasviuonekaasupäästöjen vähentämiskeinoihin Suomessa. Luvussa keskitytään uusiutuvien energialähteiden osalta lähinnä niiden käyttöön fossiilisten energialähteiden osittaisena korvaajana. Uusiutuvien energialähteiden käyttö energian tuottamiseen kasviuonekaasupäästöjä vähentävänä tekijänä on tehokasta vain silloin, kun toiminnalla korvataan energiantuotantoa, joka aiemmin on tuotettu fossiilisella polttoaineella. Käytännön syistä fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan energiantuotannon nopea alasajo ja korvaaminen uusiutuvilla energialähteillä ei ole mahdollista.

6.1 Fossiilisten polttoaineiden käytön korvaaminen

Tällä hetkellä fossiilisten polttoaineiden käyttöä pyritään vähentämään käyttämällä niiden rinnalla erilaisia uusiutuvia energialähteitä. Energiateollisuudessa tämä tarkoittaa yleensä erilaisten puupolttoaineiden käytön lisääntymistä. Nykyaikaisille ja rakenteilla oleville monipolttoainelaitoksille se ei ole ongelma. Energiateollisuuden laiteinvestoinneilla on kuitenkin kymmenien vuosien käyttöaika, ja Suomessa on tällä hetkellä runsaasti kivihiltä pääpolttoaineenaan käyttäviä ja sen käytölle suun-

niteltuja yhteistuotanto- ja lauhdevoimalaitoksia. Teknologian tutkimuskeskus VTT on tutkinut kivihillen korvaamista biomassoilla yhteistuotannon pölykattiloissa (Flyktman et al. 2011). VTT tarkasteli puu- ja peltobiomassaperäisiä polttoaineita ja näistä valmistettuja polttoainejalosteita, joita ovat pelletit, paahdettu puu (biohiili), bioöljyt ja maakaasuverkon avulla siirretty synteettinen maakaasu biomassoista.

Tutkimuksen mukaan rajoittavia tekijöitä biomassojen käytölle kivihillivoimalaitoksissa on mm. kattilan mitoitus ja sen sijoittuminen voimalaitoksella sekä voimalaitoksen tontin koko. Jos biomassalle on mahdollista rakentaa erillinen käsittelylaitteisto ja syöttölinjasto, voidaan biomassan määrä polttoaineesta nostaa suuremmaksi. Erilaisilla polttoaineiden muodolla ja syöttöratkaisuilla on kuitenkin suuri merkitys korvaavan osuuden kokoon. (Flyktman et al. 2011, 38)

Mahdollisia ongelmia biomassassa yhteispoltossa voivat aiheuttaa myös esimerkiksi tuhkan koostumuksen muuttuminen. Biomassan tuhkalla on alempi sulamislämpötila ja se voi aiheuttaa kuonaantumista polttimeen ympärillä. Tuhkan muodostus erilaisilla biomassoilla myös vaihtelee laajasti verrattuna hiilen käyttöön. Biomassat, jotka sisältävät runsaasti alkalia, aiheuttavat erilaisten lämpöpintojen likaantumista. Tällaisia ovat esimerkiksi kasvibiomassa. Runsaasti klooria sisältävät polttoaineet, kuten olki, aiheuttavat korkean lämpötilan korroosiota kattilassa. Tämä koskee erityisesti tulistimia. Biomassan saatavuus suuremmassa mittaluokassa asettaa myös omat haasteensa. Monissa Suomen kaupungeissa tutkitaankin mahdollisuutta korvata kivihillikattila leijuteknologiaa käyttävällä monipolttoainekattilalla jossa valikoima polttoainevaihtoehdoille on suuri. (Loiri 2014, 53–56; Flyktman et al. 2011, 56)

Globaalisti suurimmassa osassa hiiltä ja biomassaa yhteispolttona hyödyntävistä voimalaitoksista biomassaa osuus on alle 10 prosenttia. Nämä laitokset ovat valtaosin pölypolttokattiloita. Joissakin laitoksissa on käytössä arina-, kerrosleijupeti-, tai kiertoleijupetikattila. Yleisin käytötapa on suora yhteispoltto, jossa biomassaa ja hiili poltetaan samassa kattilassa. Kattilan tyyppin ollessa jokin muu kuin pölypoltto

voi biomassan osuus olla helposti paljon suurempi. Pietarsaassa sijaitsevan Alholmens Kraft voimalaitoksen kiertoleijupetikattilan biopolttoaineen osuus on 40–60 prosenttia. Polttoaineina on erilaisten biomassojen lisäksi turvetta ja kivihilttä, jota käytetään lähinnä tuki- ja varapolttoaineena. Teoriassa laitoksella voidaan käyttää täysin biopolttoaineella. (Loiri 2014, 58; Kärki 2013; Alholmens Kraft 2012 a; 2012 b)

Liikenteen osalta kasvihuonekaasupäästöistä vastaa suurimmalta osalta tieliikenne 80–90 prosentin osuudella liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä (Berninger 2012, 91) Fossiilisten polttoaineiden käyttöä liikenteessä voidaan korvata erilaisilla biopolttoaineilla. Taulukon 6 mukaisesti Suomi on asettanut tavoitteekseen nostaa biopolttoaineiden osuuden tieliikenteen polttoaineista 20 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. ”Käytännössä biopolttoaineiden lisääminen tapahtuu siten, että bensiinin sekoitetaan yhä enemmän biopohjaisia alkoholeja (kuten etanoli ja butanoli) ja vastaavasti dieseliin biomassoista jalostettua biodieseliä.” Lisäksi biokaasun käyttö liikenteessä on mahdollista. Biopolttoaineiden kehityksessä ollaan menossa toisessa sukupolvessa jossa raaka-aineita ovat kasvi- ja puupohjainen selluloosa sekä jätteet. Biopolttoaineiden hyviin puoliin kuuluu kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisen lisäksi riippuvuuden väheneminen tuontiöljystä. Näin voidaan parantaa liikennepolttoaineiden kotimaisuusastetta sekä tukea alan kotimaista tuotantoa. (Motiva 2014 a).

Suomessa yleisesti käytössä oleva E10 bensiini sisältää enintään 10 prosenttia bioetanolia. Määrää on tarkoitus kuitenkin kasvattaa, ja E85 bensiinissä bioetanolin osuus voisi olla jo 85 prosenttia. Näitä voidaan käyttää eri automerkkien Flexifuel-malleissa. Neste Oilin valmistamassa Pro dieselissä on aina vähintään 15 prosenttia uusiutuvista raaka-aineista valmistettuja komponentteja. Se on valmistettu vetykäsittelmällä kasvisöljystä tai eläinperäisistä rasvoista. (Motiva 2014 a; Neste Oil 2014)

6.2 Energiatehokkuuden parantaminen

Euroopan unionin ilmasto- ja energiapaketti määrittelee tavoitteekseen parantaa 20 prosenttia energiatehokkuutta vuoteen 2020 mennessä. Tavoite on selkeässä linjassa muiden 20–20–20 tavoitteiden kanssa, sillä energiatehokkuuden parantaminen vaikuttaa epäsuorasti energiankulutuksen vähentymisen kautta syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen määrään. Koska energiasektori vastaa Suomessa valtaosasta syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä, on energiatehokkuustoimenpiteillä merkittäviä vaikutuksia.

Vuonna 2012 EU:ssa voimaan tullut energiatehokkuusdirektiivi velvoittaa jäsenmaat laatimaan kansallisen energiatehokkuuden toimintasuunnitelman. Viimeisimmän, vuonna 2014 valmistuneen toimintasuunnitelman mukaan merkittäviä energiansäästövaikutuksia olisi Suomessa saavutettavissa etenkin rakennuksista ja teollisuudesta. Muita merkittäviä säästökohteita ovat liikenne ja maatalous. (TEM 2014 b, 1, 13)

Rakennusten energiatehokkuutta tulee EU:n mukaan edistää sekä uusissa että vanhoissa rakennuksissa. Uudisrakennusten pitää olla lähes nollaenergiataloja vuoden 2020 loppuun mennessä ja korjausrakentamiselle pitää asettaa kansalliset energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset. Merkittävimmät energiasäästöt saavutetaan rakennusten lämmityksessä. Vanhoissa rakennuksissa energiatehokkuutta voi parantaa lisäämällä eristystä tai vaihtamalla ikkunat. Ilmalämpöpumpulla voidaan säästää 30–40 prosenttia sähköenergiaa suoralla sähkölämmityksellä varustetussa talossa. (Berninger 2012, 75–76)

Varsinkin uusista rakennuksista voidaan rakentaa passiivi- tai nollaenergiataloja. Passiiviennergiatalo tarvitsee hyvin vähän lämmitys- tai jäähdytysenergiaa. ”Käytännössä passiiviennergiatalossa on hyvät eristeet ja tiivis ulkovaippa, ja rakennus on suunniteltu siten, että ilmainen energia, kuten auringonpaiste ja ihmisten tuottama lämpö, voidaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Ilmanvaihdossa on käytössä lämmön talteenotto.” Nollaenergiatalojen lämmitystarve on samaa luokkaa

kuin passiivitalojen. Lisäksi se tuottaa uusiutuvilla energiamuodoilla yhtä paljon energiaa kuin se kuluttaa lämmitykseen. (Berninger 2012, 79–80)

Asuinrakennusten sähkönkulutusta voidaan vähentää siirtymällä energiatehokkaampiin lamppuihin. EU:n alueella on siirrytty hehkulamppuista energiasäästölamppuihin, mutta siirtymällä edelleen led-käyttöisiin valaisimiin voitaisiin tehostaa energiansäästöä. Led-valojen valaistusominaisuudet ovat hieman erilaiset, ja ne soveltuvatkin paremmin uudiskohteisiin, joiden valaistus voidaan alusta saakka suunnitella led-tekniikalle sopivaksi (Berninger 2012, 86–87)

Teollisuuden energiatehokkuuden parantaminen perustuu elinkeinoelämän energiatehokkuussopimusjärjestelmään sekä energiakatselmustoimintaan. Nämä molemmat käytännöt ovat Suomessa olleet käytössä jo useita vuosia ja niiden tarkoitus on löytää yritysten prosesseista keinoja tehostaa energiankäyttöä sekä sitouttaa yrityksiä energiatehokkaimpien menetelmien käyttöön. Käytännön toimenpiteinä nämä tarkoittavat esimerkiksi paineilmalaitteistojen sekä valaistuksen uusimista tehtaissa ja varastoissa. Muita mahdollisia toimenpiteitä ovat ilmastoinnin lauhdutusenergian talteenotto, vesikiertojen muuttaminen suljetuksi, sivutuotteiden käyttäminen polttoaineena sekä erilaiset tuotantoprosessien kehittämiset. (TEM 2014 b, 24; 2014 c; Teknologiateollisuus 2013)

Liikenteen energiatehokkuudesta puhuttaessa tarkoitetaan koko liikennesektoria, jossa on kyse kaikenlaisesta liikkumisesta mukaan lukien pyöräily ja kävely. ”Liikennesektorin keskeisimpiä energiatehokkuustoimenpiteitä ovat henkilöautojen energiatehokkuudenparantaminen, taloudellisen ajotavan koulutus henkilöautoliikenteessä ja ammattiliikenteessä, joukkoliikenteen edistäminen, kävelyn ja pyöräilyn edistäminen, talvinopeusrajoitukset, rengaspaineiden tarkistaminen sekä raskaan kaluston entistä suuremmat mitat ja massa” (TEM 2014 b, 25). Maatalouden osalta kyse on suurimmalta osalta lämpökeskusinvestoinneista, joka tarkoittaa lämpökeskusten rakentamista, peruskorjaamista ja laajentamista. Näissä lämpökeskuksissa voidaan hyödyntää uusiutuvaa energiaa, jota löytyy maatalouden oman tuotannon sivutuotteina. (TEM 2014 b, 26; Motiva 2014 b)

6.3 Muita vaihtoehtoja

6.3.1 Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi

Hiilidioksidin talteenottotekniikoita käytetään erilaisissa teollisuuden sovelluksissa, esimerkiksi maakaasun esikäsitelyssä ja ammoniakkin valmistuksessa ja lisäksi hiilidioksidin valmistukseen tähtäävissä prosesseissa. Puhuttaessa suuren mittaluokan hiilidioksidin talteenotosta ja varastoinnista tarkoitetaan tekniikan soveltamisesta energiateollisuuden käyttöön. Tekniikka tarkoittaa hiilidioksidin erottamista fossiilisesta polttoaineesta joko ennen polttoaineen palamisprosessia tai savukaasusta palamisprosessin jälkeen. Tämän jälkeen hiilidioksidi puristetaan kokoon ja kuljetetaan pitkäaikaiseen säilytyspaikkaan. Tekniikan soveltamiseen tarvittava tekniikka on osittain jo olemassa, mutta tekniikan saaminen kaupalliseen käyttöön voimalaitoksissa kestää vielä useita vuosia. (Teir et al. 2011, 10–13; Energiateollisuus 2014 c)

Tekniikkaa kohtaan on olemassa suurta kiinnostusta, ja maailmalla on meneillään useita menetelmän pilottihankkeita. EU:lla on tarkoitus saada omia demonstrointilaitoksiaan käyntiin viimeistään vuonna 2015. Myös Suomessa on ollut kiinnostusta EU:n CCS demonstraatio-ohjelmaa kohtaan. Vuonna 2009 Fortum ja TVO aloittivat Tanskalaisen kumppanin kanssa yhteistyöprojektin suuren kokoluokan koelaitoksen rakentamiseksi hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin. Tanskalainen Maersk oli vastuussa hiilidioksidin laivakuljetuksesta Pohjanmeren kaasu- ja öljykenttiin. Käytetyt kaasu- ja öljykentät soveltuvat hiilidioksidin varastointiin. Yhtiöt vetäytyivät kuitenkin hankkeesta vuonna 2010 sen sisältämien teknisten ja taloudellisten riskien vuoksi. Tekniikka sisältääkin vielä huomattavia teknisiä ja taloudellisia sekä osin myös ympäristöllisiä haasteita. (Fortum 2009; 2010; Teir et al. 2011, 10; Energiateollisuus 2014 c)

6.3.2 Biokaasu

Biokaasu on kaasuseos, jota syntyy mikrobien hajottaessa orgaanista ainesta happeottomissa olosuhteissa. Kaasuseos sisältää noin kaksi kolmasosaa metaania ja

yhden kolmasosan hiilidioksidia. Lisäksi seos sisältää pieniä osuuksia muita yhdisteitä. Biokaasu soveltuu käytettäväksi sellaisenaan sähkön ja lämmön tuotantoon, tai se voidaan jalostaa ajoneuvojen polttoaineeksi. Biokaasu on hiilidioksidineutraalia, koska se muodostuu uusiutuvista raaka-aineista, kuten ruokajätteistä, kaatopaikkajätteestä ja lannasta. (Suomen biokaasuyhdistys 2012, 1–2)

Biokaasun sisältämä metaani on myös noin 25 kertaa (ks. taulukko 2) hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu, joten sen kerääminen hyödyntäminen polttoaineena esimerkiksi kaatopaikalta tai maatilalla on kasvihuonekaasupäästöjen kertymisen kannalta parempi vaihtoehto.

Biokaasun kerääminen kaatopaikoilla tapahtuu pumppausaseman luoman alipaineen avulla joko imukaivojen tai salaojien avulla. Ensin mainitut soveltuvat vanhoille, korkeille kaatopaikoille ja jälkimäiset uusille ja matalille kaatopaikoille. Kerätty kaasu voidaan hyödyntää lämmöntuotannossa kattilapolttoaineena, sähkön ja lämmöntuotantona kaasumoottorivoimalassa tai ajoneuvopolttoaineena. (Väisänen & Salmenoja 2005, 21, 24)

Biokaasua voidaan tuottaa myös mautilojen yhteyteen rakennetuissa biokaasulaitoksissa. Näissä biokaasureaktorin pääasiallinen polttoaine on lanta, mutta lisäksi käytetään erilaisia kasviperäisiä polttoaineita kuten nurmi ja olki. Reaktoreissa käytetään polttoaineena myös lähialueella ylimääräiseksi jäänyttä ruokajätettä kuten salaattijätettä tai myymätöntä pikkukalaa. Reaktorissa käsitelty lietelanta muuttuu myös viljelykasveille paremmin sopivaan muotoon ja vähentää pelloille levitetynä keinolannoituksen tarvetta ja vähentää tätäkin kautta syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen määrää. Toistaiseksi mautilojen biokaasulaitosten perustamista on kuitenkin hillinnyt niiden korkea hinta. Vaikka niihin voidaan hakea maa- ja metsätalousministeriön myöntämää EU-tukea, voi maatilalle silti jäädä maksettavaa useita satoja tuhansia euroja. (Ruhanen 2013, 24–27)

7 YHTEENVETO

Diplomityön tavoite oli tarkastella Suomen kasvihuonekaasupäästöjen kokonaistilannetta ja jo tehtyjä vähentämistoimenpiteitä keskittyen Kioton pöytäkirjan ensimmäisen sopimuskauden loppupuoleen. Työssä esitettiin lisäksi kasvihuonekaasupäästöjen määrän historiallista kehitystä vuodesta 1990, jota käytetään ilmastosopimusten perustasona. Kioton pöytäkirjan ensimmäisen pöytäkirjan jälkeisiä tapahtumia käytiin läpi erityisesti tehtyjen toimenpiteiden käsittelyosuudessa.

Työn alkuosassa kasvihuonekaasuja käsiteltiin maailmanlaajuisella tasolla ja siirryttäessä työn loppuosaa kohti syvennyttiin Suomen tilanteeseen. Samat lainalaisuudet ovat kuitenkin monin paikoin voimassa sekä globaalisti että kansallisella tasolla. Yleisempien kasvihuonekaasujen tutkimustieto on jo melko pitkälle kehittyntä, mutta tietämys kaikkien kasvihuonekaasujen vaikutuksista ja käyttäytymisestä on yhä puutteellista. Esimerkkinä tästä on typpitrifluoridin ottaminen mukaan toisen sopimuskauden seurattaviin kaasuihin. Ensimmäisellä kaudella mukana olivat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihiiilivedyt, perfluorihiiilivedyt ja rikkiheksafluoridi.

Kioton pöytäkirjan ensimmäisen sopimuskauden lopulla vuonna 2012 kokonaiskasvihuonekaasupäästöt Suomessa olivat 61,0 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttia tonnia ja keskimääräisen päästömäärän ollessa koko kaudella vuosina 2008–2012 67,68 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttia tonnia. Vuosittaiset päästömäärät saattavat vaihdella huomattavastikin. Vaihtelu johtuu etenkin vesivoiman saatavuudesta pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla ja taloudellisesta tilanteesta energiaintensiivisillä teollisuuden aloilla. Pitkällä aikavälillä kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää rajoittavat kansainväliset päästösopimukset, joista seuraa kasvihuonekaasupäästöjen määrän aleneva trendi.

Suomen merkittävin ihmisen toiminnasta peräisin oleva kasvihuonekaasupäästö, kuten myös maailmalla, on hiilidioksidi. Vuosina 2008–2012 se muodosti keskimäärin 82 prosenttia kaikista kasvihuonekaasupäästöistä Suomessa. Muut merkittävät ihmisperäiset kasvihuonekaasupäästöt ovat metaani, dityppioksidi ja F-

kaasut. Tärkein kasvihuonekaasu Suomessa sekä maailmalla on vesihöyry. Tarkkaa lukua vesihöyryn määrästä on vaikea arvioida, mutta eräiden arvioiden mukaan se muodostaa noin 80 prosenttia kaikista kasvihuonekaasujen massasta.

Suurin osa Suomen hiilidioksidipäästöistä syntyy energiasektorilla tapahtuvasta fossiilisten polttoaineiden poltosta. Energiasektorin suurimpia hiilidioksidin päästäjiä ovat energiateollisuus ja liikenne. Lisäksi teollisuuden oma energiantuotanto ja rakentaminen aiheuttavat merkittävästi hiilidioksidipäästöjä. Kaikki kasvihuonekaasupäästöt mukaan lukien energiasektori vastasi 78 prosentista Suomen kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2012. Tarkasteltaessa Suomen onnistumista kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä Kioton ensimmäisellä sopimuskaudella vuosina 2008–2012, voidaan todeta Suomen onnistuneen siinä hyvin. Suomen kokonaiskasvihuonekaasupäästöt olivat 338,4 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttonnia mikä oli viisi prosenttia pienempi kuin Suomelle EU:n sisäisessä taakanjassa asetettu tavoite. Suomen hallinto on sitoutunut myös niihin tavoitteisiin, mitä sille Euroopan unionin jäsenmaana määrättiin, koskien Kioton pöytäkirjan toisen sopimuskauden vähennyksiä.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiskeinojen raameja määrittelee myös Euroopan unioni. Sen 20–20–20 tavoitteiden mukaisesti Suomen on parannettava energiatehokkuuttaan ja lisättävä uusiutuvien energialähteiden osuutta energian loppukulutuksesta. Suomessa energiatehokkuutta olisi lisättävissä etenkin rakennuksissa ja teollisuudessa. Rakennuksissa merkittävimmät energiasäästökohteet löytyvät lämmityksestä. Teollisuuden energiatehokkuuden parantamiseen Suomessa on kiinnitetty huomiota jo vuosia energiatehokkuussopimusjärjestelmällä ja energiakatselmustoiminnalla. Käytännön toimenpiteitä edellä mainituilla sektoreilla ovat mm. lämpöpumput, LED-valot, ilmastoinnin lauhdutusenergian talteenotto sekä sivutuotteiden hyötykäyttö.

Diplomityössä tarkasteltiin uusiutuvien energialähteiden osuuden kasvattamista ja niiden roolia fossiilisten polttoaineiden osittaisena korvaajana. Käytettäessä erilaisista biomassoista valmistettua kiinteää, nestemäistä tai kaasumaista polttoainetta

fossiilisen polttoaineen rinnalla, tarkoitetaan yleensä noin kymmenen prosentin sekoitussuhdetta. Kyseistä suhdetta olisi mahdollista lisätä ja sitä tavoitellaan voimalaitoksissa ja polttoaineen jalostamoilla. Voimalaitoksilla tähän liittyy enemmän käytännön ongelmia ja haasteita, mutta liikennepolttoaineen bio-osuuden määrää olisi mahdollista lisätä melko helpostikin reilusti yli puoleen. Tällöin vastaan tulee lähinnä autojen soveltuvuus polttoaineen käyttöön. Kuitenkin autokanta uusiutuu nopeammin kuin voimalaitoskanta, jossa uudemmat monipolttoainelaitokset kykenevät käyttämään hyväkseen laajaa polttoaineiden kirjoa. Näissä biopolttoaineen osuus voi parhaimmillaan olla täydet sata prosenttia.

Biokaasun käytön lisääminen vähentää tarvetta käyttää fossiilisia polttoaineita. Esimerkiksi kaatopaikoilta talteen otettu metaani estää jo sellaisenaan kasvihuonekaasupäästöjä. Biokaasua voidaan tuottaa myös maatalojen yhteyteen rakennetuissa reaktoreissa, joiden polttoaineina toimisivat lanta ja erilaiset kasviperäiset polttoaineet kuten nurmi ja olki. Suomessa on jo joitain tällaisia laitoksia, mutta toistaiseksi niiden perustamista on hillinnyt niiden korkea perustamishinta.

Tällä hetkellä Suomea velvoittaa yhdessä muiden EU maiden kanssa Kioton pöytäkirjan toinen sopimuskausi ja asettamat tavoitteet koskien kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä, energiatehokkuuden parantamista ja uusiutuvien polttoaineiden käytön lisäämistä. Maailmanlaajuisesti Kioton pöytäkirjan noudattamista valvoo YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus. EU:n tasolla kyseisistä asioista sovitaan ilmasto- ja energiapaketissa. EU:n kansallisvaltioiden tehtävänä on huolehtia, että maakohtaiset tavoitteet täyttyvät sopimuksen mukaan. Suomen ilmastopolitiikka on määritelty valtioneuvoston vuonna 2013 päivitettyssä Kansallinen energia- ja ilmastostrategiassa. Suomessa on myös valmistunut Energia- ja ilmastotiekartta 2050 sekä ilmastolaki ohjaamaan päästökaupan ulkopuolisten päästöjen vähentämistä.

Suomella on kaikki edellytykset päästä maakohtaiseen tavoitteeseensa, eli vähentää 20 prosenttia kasvihuonekaasupäästöistä vuoden 1990 tasoon verrattuna vuoteen 2020 mennessä. Energia- ja ilmastosektorilla eletään tällä hetkellä voimakas-

ta murroskautta ja niitä koskevat päätökset ovat tällä hetkellä globaalisti poliitikkojen ja virkamiesten työpöydällä.

Tämä diplomityö koosti Kioton pöytäkirjan ensimmäisen ja toisen sopimuskauden tavoitteen asettelua, toteutuneita päästömääriä ensimmäisen sopimuskauden lopussa sekä tehtyjä vähentämistoimenpiteitä. Seuraavaksi tulisi tutkia nykyistä kasvihuonekaasupäästöjen tilannetta ja vähentämistoimenpiteitä sekä sopimuksia jotka koskevat vuoden 2020 jälkeisiä tapahtumia. Neuvottelut vuoden 2020 jälkeisistä tavoitteista ovat jo alkaneet, sillä energia- ja ilmastopäätöksillä on kauaskantoiset vaikutukset ja investointien toteuttaminen ja takaisinmaksu kestää vuosikymmeniä.

8 LÄHTEET

Alén, R 2009. Kokoelma orgaanisia yhdisteitä. Ominaisuudet ja käyttökohteet. Jyväskylä. Gummerus.

Alexander, L. Allen, S. Bindoff, N. Bréon, F. Church, J. Cubasch, U. Emori, S. Forster, P. Friedlingstein, P. Gillett, N. Gregory, J. Hartmann, D. Jansen, E. Kirtman, B. Knutti, R. Kanikicharla, K. Lemke, P. Marotzke, J. Masson-Delmotte, V. Meehl, G. Mokhov, I. Piao, S. Plattner, G. Dahe, Q. Ramaswamy, V. Randall, D. Rhein, M. Rojas, M. Sabine, C. Shindell, D. Stocker, T. Talley, L. Vaughan, D. Xie, S. 2013. Summary for policymakers. Teoksessa: Stocker, T, F. Qin, D. Plattner, G, - K. Tignors, M. Allen, S, K. Boschung, J. Naues, A. Xia, Y. Bex, V. Midgley, P, M (toim.) 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [verkkosivusto]. Cambridge ja New York. Cambridge University Press. [Viitattu 5.12.2013] Saatavissa: http://www.climate2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf

Alholmens Kraft 2012 a. Maailman suurin biopolttoainevoimala [verkkosivusto]. [Viitattu 19.9.2014]. Saatavissa: http://www.alholmenskraft.com/fi/company/biofuelled_power_plan

Alholmens Kraft 2012 b. Alholmens Kraft ja ympäristö [verkkosivusto]. [Viitattu 19.9.2014]. Saatavissa: <http://www.alholmenskraft.com/fi/environment>

Berninger, K 2012. Hiilineutraali Suomi. Miten luodaan ilmastoystävällinen yhteiskunta? Helsinki. Gaudeamus.

Energiäteollisuus 2014 a. Ilmastonmuutos [verkkosivusto]. [Viitattu 19.8.2014]. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/ilmastonmuutos>

Energiäteollisuus 2014 b. Energialähteet [verkkosivusto]. [Viitattu 19.8.2014]. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet>

Energiateollisuus 2014 c. Hiilidioksidin talteenotto [verkkosivusto]. [Viitattu 2.10.2014]. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/hiilidioksidin-talteenotto>

Energiavirasto 2014. Yleistä päästökaupasta [verkkosivusto]. [Viitattu 24.1.2014]. Saatavissa: <http://www.energiavirasto.fi/yleista-paastokaupasta>

Environmental protection agency (EPA) 2000. Carbon dioxide as a fire suppressant. Examining the risks [verkkosivusto]. U.S. Environmental protection agency office of air and radiation stratospheric protection division. [Viitattu 15.11.2013]. Saatavissa: <http://www.epa.gov/ozone/snap/fire/co2/co2report.pdf>

Euroopan komissio 2011. Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle. Etenemissuunnitelma – siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050 [verkkosivusto]. Bryssel. [Viitattu 20.1.2014]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:FI:PDF>

Euroopan komissio 2013 a. The EU Emissions trading system (EU ETS). Publications Office [verkkosivusto]. [Viitattu 24.1.2014]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/clima/publications/docs/factsheet_ets_en.pdf

Euroopan komissio 2013 b. Vihreä kirja. Ilmasto- ja energiapolitiikan puitteet vuoteen 2030 [verkkosivusto]. Bryssel. [Viitattu 20.2.2014]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0169:FIN:FI:PDF>

Euroopan komissio 2014 a. European Commission. The EU climate and energy package [verkkosivusto]. [Viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm

Euroopan komissio 2014 b. European Commission. The EU Emissions trading system (EU ETS) [verkkosivusto]. [Viitattu 20.1.2014]. Saatavissa: http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm

Euroopan komissio 2014 c. EU ETS 2005-2012 [verkkosivusto]. [Viitattu 24.1.2014]. Saatavissa:

http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/pre2013/index_en.htm

Finavia. Mitä lentokoneiden päästöt ovat? Lentoliikenne ja ilmasto [verkkosivusto]. [Viitattu 4.11.2013]. Saatavissa: <http://www.lentoliikennejailmasto.fi/paastot>

Flyktman, M. Kärki, J. Hurskainen, M. Helynen, S. Sipilä, K 2011. Kivihiiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon polypolttokattiloissa [verkkajulkaisu]. VTT. [Viitattu 4.9.2014]. Saatavissa:

https://www.tem.fi/files/31233/Kivihiiilen_korvaaminen_biomassoilla_yhteistuotannon_polypolttokattiloissa_VTT_tiedotteita_2595.pdf

Forster, P. Ramaswamy, V. Artaxo, P. Berntsen, T. Betts, R. Fahey, D.W. Haywood, J. Lean, J. Lowe, D.C. Myhre, G. Nganga, J. Prinn, R. Raga, G. Schulz, M. Van Dorland, R 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Teoksessa: Solomon, S. Qin, D. Manning, M. Chen, Z. Marquis, M. Averyt, K. B. Tignor, M. Miller, H. L. (toim.) 2007. Climate change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC [verkkajulkaisu]. Cambridge ja New York. Cambridge University Press. [Viitattu 14.11.2013]. Saatavissa: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>

Fortum 2009. Fortum, TVO ja Maersk yhteistyöhön Meri-Porin hiilidioksidin talteenotto- ja varastointiprojektissa. Tiedote [verkkosivusto]. [Viitattu 2.10.2014]. Saatavissa: <http://www.fortum.com/fi/media/pages/fortum-tvo-ja-maersk-yhteistyohon-meri-porin-hiilidioksidin-talteenotto-ja-varastointiprojektissa.aspx>

Fortum 2010. Fortum luopuu Meri-Porin hiilidioksidin talteenotto- ja varastointihankkeesta. Tiedote [verkkosivusto]. [Viitattu 2.10.2014]. Saatavissa: <http://www.fortum.com/fi/media/Pages/fortum-luopuu-meri-porin-hiilidioksidin-talteenotto-ja-varastointihankkeesta.aspx>

Global methane initiative (GMI) 2011. Global methane emissions and mitigation opportunities [verkkajulkaisu]. [Viitattu 26.11.2013]. Saatavissa: https://www.globalmethane.org/documents/analysis_fs_en.pdf

Hausfather, Z 2008. Common Climate Misconceptions. The Water Vapor Feedback. The Yale Forum on Climate Change & The Media [verkkosivusto]. [Viitattu 1.11.2013]. Saatavissa: <http://www.yaleclimatemediainforum.org/2008/02/common-climate-misconceptions-the-water-vapor-feedback-2/>

Hippinen, I. Suomi, U 2012. Yhteenvetojen CO₂-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO₂-päästökertoimet [verkkajulkaisu]. Helsinki. Motiva. [Viitattu 12.11.2013]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/6818/CO2-laskenta_yhteenvedot.pdf

Houghton, J, T. Jenkins, G, J. Ephraums, J, J. (toim) 1990. Climate change. The IPCC scientific assessment. Contribution of working group I to the first assessment report of the IPCC. Summary for Policymakers [verkkajulkaisu]. Cambridge, New York ja Melbourne. Cambridge University Press. [Viitattu 25.11.2013]. Saatavissa: http://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_I/ipcc_far_wg_I_spm.pdf

Ilmatieteen laitos 2013 a. Kasvihuonekaasut lämmittävät. Ilmasto-opas.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 22.10.2013]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>

Ilmatieteen laitos 2013 b. Ilmastojärjestelmän palauteilmiöt. Ilmasto-opas.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 1.11.2013]. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/04f96038-0909-4b41-812e-797905f5aa28/ilmastojarjestelman-palauteilmiot.html>

Ilmatieteen laitos 2013 c. Metaani. Ilmasto-opas.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 4.11.2013]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/dec264e2-6350-418c-a1bc-3ef7c80676aa/metaani.html>

Ilmatieteen laitos 2013 d. Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku. Ilmasto-opas.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 6.11.2013]. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/1e92115d-8938-48f2-8687-dc4e3068bdbd/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku.html>

Ilmatieteen laitos 2013 e. Otsoni kasvihuonekaasuna. Ilmasto-opas.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 3.12.2013]. Saatavissa: <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/27bd3840-7f0a-40d0-82b7-aac1231bec4e/otsoni.html>

Ilmatieteen laitos 2013 f. Dityppioksidi. Ilmasto-opas.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 5.12.2013]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/8de2c2ef-71c1-41b4-90d7-d61125c3a3a6/dityppioksidi.html>

Ilmatieteen laitos 2013 g. Halogenoidut hiilivedyt. Ilmasto-opas.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 11.12.2013]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/08b056f8-7d77-4e27-a3a3-be1191728261/halogenoidut-hiilivedyt.html>

Intergovernmental panel on climate change (IPCC) 2013 a. History [verkkosivusto]. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: http://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml#.Uqc7xuJKDac

Intergovernmental panel on climate change (IPCC) 2013 b. Working group I fact sheet [verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WG1AR5_FactSheet.pdf

Intergovernmental panel on climate change (IPCC) 2013 c. AR5 key dates [verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: http://www.ipcc.ch/activities/key_dates_AR5_schedulepdf.pdf

International energy agency IEA 2012. CO2 emissions from fuel combustion. Highlights [verkkojulkaisu]. Pariisi. IEA Publications. [Viitattu 23.12.2013]. Saatavissa: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2emissionfromfuelcombustionHIGHLIGHTSMarch2013.pdf>

International programme on chemical safety (IPCS) 2009. Suomennettu 2011. Typpioksiduuli. Kansainväliset kemikaalikortit. [verkkosivusto]. Helsinki. Työterveyslaitos. [Viitattu 5.12.2013]. Saatavissa: <http://kappa.ttl.fi/kemikaalikortit/khtml/nfin0067.htm>

Kangasniemi, T 2008. Litteiden näyttöjen valmistuksesta voi tulla huomattava uhka ilmastolle. Tekniikka & talous [verkkosivusto]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/ilmastonmuutos/litteiden+nayttojen+valmistuksesta+voi+tulla+huomattava+uhka+ilmastolle/a115704>

Kärki, J 2013. Biomassan poltto CHP-laitoksissa- teknologiat ja talous. [verkkopublication]. Metla & VTT. [Viitattu 19.9.2014]. Saatavissa: www.forestenergy2020.org/openfile/109

Loiri, H 2014. Co-firing of biomass in PCF boilers. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto.

Miller, G, T 2002. Living in the environment. Principles, connections, and solutions. 12th ed. Belmont. Brooks/Cole.

Motiva 2014 a. Liikenteen biopolttoaineet [verkkosivusto]. [Viitattu 5.9.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/liikenteen_biopolttoaineet

Motiva 2014 b. Maatalouden investointituet [verkkosivusto]. [Viitattu 30.9.2014]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/maatalouden_investointituet

Neste Oil 2014. Uusiutuva NEXBTL-diesel [verkkosivusto]. [Viitattu 5.9.2014]. Saatavissa: <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,11990,22214,22215,22216>

Nevanlinna, H (toim.) 2008. Muutamme ilmastoa. Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden katsaus ilmastomuutokseen. Karttakeskus.

Oliver, J, G, J. Janssens-Maenhout, G. Muntean, M. Peters, J, A, H, W 2013. Trends in global CO2 emissions. 2013 Report [verkkojulkaisu]. Haag. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Ispra. Joint Research Centre. [Viitattu 12.11.2013]. Saatavissa: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/pbl-2013-trends-in-global-co2-emissions-2013-report-1148.pdf

Pachauri, R, K ja Reisinger, A. (toim.) 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Summary for policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [verkkojulkaisu]. Geneve. IPCC. [Viitattu 26.11.2013]. Saatavissa: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf

Prather, M. Flato, G. Friedlingstein, P. Jones, C. Lamarque, J-F. Liao, H. Rasch, P (toim.) 2013. IPCC 2013. Annex II. Climate System Scenario Tables. Teoksessa: Stocker, T, F. Qin, D. Plattner, G, -K. Tignors, M. Allen, S, K. Boschung, J. Naues, A. Xia, Y. Bex, V. Midgley, P, M (toim.) 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [verkkojulkaisu]. Cambridge ja New York. Cambridge University Press. [Viitattu xxx] Saatavissa: http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_AnnexII.pdf

Rautio & Elonen 2014. Helsingin sanomat. EU saattaa karsia ilmastotavoitteitaan [verkkosivusto]. [Viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://www.hs.fi/talous/EU+saattaa+karsia+ilmastotavoitteitaan/a1389791907060>

Reay, D 2011 a. Other direct greenhouse gases - stratospheric water. Greenhouse gas online [verkkosivusto]. [Viitattu 22.10.2013]. Saatavissa: <http://www.ghgonline.org/othersstratwater.htm>

Reay, D 2011 b. Other direct greenhouse gases - tropospheric ozone. Greenhouse gas online [verkkosivusto]. [Viitattu 3.12.2013]. Saatavissa: <http://www.ghgonline.org/otherstropozone.htm>

Rogers, K 2012. hydrofluorocarbon (HFC). Encyclopedia Britannica [verkkosivusto]. [Viitattu 11.12.2013]. Saatavissa: <http://global.britannica.com/EBchecked/topic/1005856/hydrofluorocarbon-HFC>

Ruhanen, E 2013. Lanta lämmittää. Suomen kuvalehti 2013, 20.

Ruosteenoja, K 2011. Miten ja miksi ilmasto muuttuu? Teoksessa: Virtanen, A. Rohweder, L (toim.) 2011. Ilmastonmuutos käytännössä. Hillinnän ja sopeutumisen keinoja. Helsinki. Gaudeamus

Solomon, S. Qin, D. Manning, M. Chen, Z. Marquis, M. Averyt, K. B. Tignor, M. Miller, H. L. (toim.) 2007. Climate change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC [verkkójulkaisu]. Cambridge ja New York. Cambridge University Press. [Viitattu 30.10.2013]. Saatavissa: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-1.html

Suomen biokaasuyhdistys 2012. Biokaasu. Puhdasta uusiutuvaa energiaa [verkkójulkaisu]. [Viitattu 17.10.2014]. Saatavissa: http://www.biokaasuyhdistys.net/images/stories/pdf/yleisesite_syksy_2010_netti.pdf

Suomen virallinen tilasto (SVT) 2013 a. Energian hankinta ja kulutus [verkkójulkaisu]. Helsinki. Tilastokeskus. [Viitattu 18.8.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2012/ehk_2012_2013-12-12_tie_001_fi.html

Suomen virallinen tilasto (SVT) 2013 b. Energian kokonaiskulutus 2012 [verkkójulkaisu]. Helsinki. Tilastokeskus. [Viitattu 19.8.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2012/ehk_2012_2013-12-12_kuv_001_fi.html

Suomen virallinen tilasto (SVT) 2014 a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt Kioton pöytäkirjan ensimmäisellä velvoitekaudella arvioitu [verkkójulkaisu]. Helsinki. Tilas-

tokeskus. [Viitattu 12.8.2014]. Saatavissa:
https://tilastokeskus.fi/til/khki/2012/khki_2012_2014-04-15_tie_001_fi.html

Suomen virallinen tilasto (SVT) 2014 b. Kasvihuonekaasut. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2012 [verkkoyulkaisu]. Helsinki. Tilastokeskus. [Viitattu 12.8.2014]. Saatavissa:
https://tilastokeskus.fi/til/khki/2012/khki_2012_2014-04-15_kat_001_fi.html

Suomen virallinen tilasto (SVT) 2014 c. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin (TJ) ja hiilidioksidipäästöt (milj.t) [verkkoyulkaisu]. Helsinki. Tilastokeskus. [Viitattu 3.9.2014]. Saatavissa:
http://pxweb2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2013/html/suom0000.htm

Suomen ympäristökeskus (SYKE) 2013. Fluoratut kasvihuonekaasut. Ympäristö.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 11.12.2013]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/fkaasut>

Tarvainen, V 2008. Otsoni ilmansaasteena. Ilmanlaatuportaali [verkkosivusto]. Helsinki. Ilmatieteen laitos. [Viitattu 3.12.2013]. Saatavissa:
http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/tietosivut/otsoni_ilmansaasteena.php

Teir, S. Pikkarainen, T. Kujanpää, L. Tsupari, E. Kärki, J. Arasto, A. Aatos, S 2011. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS). Teknologiakatsaus [verkkoyulkaisu]. VTT. [Viitattu 2.10.2014]. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W161.pdf>

Teknologiateollisuus 2014. Energiansäästö ja energiatehokkuus ohjaavat toimintamme [verkkosivusto]. [Viitattu 30.9.2014]. Saatavissa:
<http://www2.teknologiateollisuus.fi/fi/a/energiansaasto-ja-energiatehokkuus-ohjaavat-toimintamme.html>

Tilastokeskus 2013 a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2011 [verkkoyulkaisu]. Helsinki. Edita publishing. [Viitattu 24.2.2014]. Saatavissa:
http://www.stat.fi/tup/khkinv/suominir_2013.pdf

Tilastokeskus 2013 b. Energian kulutus. Findikaattori.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 27.2.2014]. Saatavissa: <http://www.findikaattori.fi/fi/25>

Tilastokeskus 2014. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2012 [verkkajulkaisu]. Helsinki. Edita publishing. [Viitattu 12.8.2014]. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/suominir_2014.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) 2013. Kansallinen energia- ja ilmastostrategia [verkkajulkaisu]. Edita publishing. [Viitattu 30.1.2014]. Saatavissa: http://www.tem.fi/files/36221/TEMjul_8_2013_web_20032013.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) 2014 a.

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) 2014 b. Suomen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma NEEAP-3 [verkkajulkaisu]. [Viitattu 30.9.2014]. Saatavissa: http://www.tem.fi/files/40778/Suomen_NEEAP-3_29_04_2014.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) 2014 c. Energiatehokkuussopimukset ja – katselmukset [verkkosivusto]. [Viitattu 30.9.2014]. Saatavissa: https://www.tem.fi/energia/energiatehokkuus/energiatehokkuussopimukset_ja_katselmukset

Ulkoasiainministeriö (UM) 2012 a. Kansainvälinen ilmastoyhteistyö [verkkosivusto]. [Viitattu 8.1.2014]. Saatavissa: <http://formin.finland.fi/Public/default.aspx?nodeid=39775&contentlan=1&culture=fi-FI>

Ulkoasiainministeriö (UM) 2012 b. EU:n ilmastopolitiikka ja Suomi [verkkosivusto]. [Viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://formin.finland.fi/Public/default.aspx?nodeid=43578&contentlan=1&culture=fi-FI>

United Nations Environment Programme (UNEP) 2002. Climate chance information kit 2002 [verkkajulkaisu]. [Viitattu 23.10.2013]. Saatavissa:

http://unfccc.int/essential_background/background_publications_htmlpdf/climate_change_information_kit/items/305.php

United Nations Environment Programme (UNEP) 2012. The emissions gap report 2012 [verkkolulkaisu]. Nairobi. UNEP. [Viitattu 31.10.2014]. Saatavissa: <http://www.unep.org/pdf/2012gapreport.pdf>

United nations framework convention on climate change (UNFCCC) 2012. Doha amendment [verkkosivusto]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/kp_doha_amendment_english.pdf

United nations framework convention on climate change (UNFCCC) 2013 a. The convention [verkkosivusto]. [Viitattu 3.1.2014]. Saatavissa: http://unfccc.int/essential_background/convention/items/6036.php

United nations framework convention on climate change (UNFCCC) 2013 b. Kyoto protocol [verkkosivusto]. [Viitattu 3.1.2014]. Saatavissa: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php

United nations framework convention on climate change (UNFCCC) 2014 a. Kyoto protocol. Targets for the first commitment period [verkkosivusto]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/3145.php

United nations framework convention on climate change (UNFCCC) 2014 b. Status of ratification of the Kyoto protocol [verkkosivusto]. [Viitattu 9.1.2014]. Saatavissa: http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php

United nations framework convention on climate change (UNFCCC) 2014 c. Status of ratification of the convention [verkkosivusta]. [Viitattu 10.1.2014]. Saatavissa: http://unfccc.int/essential_background/convention/status_of_ratification/items/2631.php

United nations framework convention on climate change (UNFCCC) 2014 d. Glossary of climate change acronyms [verkkosivusto]. [Viitattu 14.1.2014]. Saatavissa: http://unfccc.int/essential_background/glossary/items/3666.php

United nations framework convention on climate change (UNFCCC) 2014 e. Parties & observers [verkkosivusto]. [Viitattu 14.1.2014]. Saatavissa: http://unfccc.int/parties_and_observers/items/2704.php

United States environmental protection agency (EPA) 2013. Overview of greenhouse gases [verkkosivusto]. [Viitattu 6.11.2013]. Saatavissa: <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>

Watson, R, T. Rodhe, H. Oeschger, H. Siegenthaler, U 1990. Greenhouse gases and aerosols. Teoksessa: Houghton, J, T. Jenkins, G, J. Ephraums, J, J. (toim) 1990. Climate change. The IPCC scientific assessment. Contribution of working group I to the first assessment report of the IPCC [verkkojulkaisu]. Cambridge, New York and Melbourne. Cambridge University Press. [Viitattu 13.11.2013]. Saatavissa: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment_1990_wg1.shtml#.Unj3MxBKDac

Weart, S 2007. Introduction. Summary history of climate change science [verkkojulkaisu]. [Viitattu 10.12.2013]. Saatavissa: <http://www.aip.org/history/climate/pdf/Summary.pdf>

Virtanen, A 2011. Mitä ilmastonmuutos merkitsee ja mitä tulisi tehdä? Teoksessa: Virtanen, A. Rohweder, L (toim.) 2011. Ilmastonmuutos käytännössä. Hillinnän ja sopeutumisen keinoja. Helsinki. Gaudeamus

World meteorological organization (WMO) 2013 a. WMO greenhouse gas bulletin. The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2012 [verkkojulkaisu]. [Viitattu 8.11.2013]. Saatavissa: http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHG_Bulletin_No.9_en.pdf

World meteorological organization (WMO) 2013 b. A summary of current climate change findings and figures [verkkajulkaisu]. [Viitattu 6.11.2013]. Saatavissa: <http://www.wmo.int/pages/mediacentre/factsheet/documents/ClimateChangeInfoSheet2013-03final.pdf>

Väisänen, P. Salmenoja, J 2005. Biokaasun muodostuminen ja sen hallittu käsittely kaatopaikoilla [verkkajulkaisu]. Suomen biokaasuyhdistys. [Viitattu 17.10.2014]. Saatavissa: <http://www.biokaasuyhdistys.net/docs/kaatgas.pdf>

Yle 2009. Ilmastonmuutoksen avaintekijä: lehmien röyhtäykset. Yle uutiset. Luonto [verkkosivusto]. [Viitattu 26.11.2013]. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/ilmastonmuutoksen_avaintekija_lehmien_royhtaykset/5277901

Ympäristöministeriö (YM) 2013 a. Ilmastopolitiikan toimijat. Ymparisto.fi [verkkosivusto]. [Viitattu 3.1.2014]. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillinta/Ilmastopolitiikan_toimijat

Ympäristöministeriö (YM) 2013 b. Joustomekanismit [verkkosivusto]. [Viitattu 10.1.2014]. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Joustomekanismit_ja_keinot

Ympäristöministeriö (YM) 2013 c. Euroopan unionin ilmastopolitiikka [verkkosivusto]. [Viitattu 20.1.2014]. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka

Ympäristöministeriö (YM) 2013 d. Ilmastolain valmistelu [verkkosivusto]. [Viitattu 30.1.2014]. Saatavissa: http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Ilmastolain_valmistelu

Ympäristöministeriö (YM) 2014. EU:lta hyvyys Suomelle Durbanin ilmastokokouksessa sovitusta metsien hiilinielun laskentatavasta [verkkosivusto]. [Viitattu

10.11.2014].

Saatavissa:

http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/EUIta_hyvitys_Suomelle_Durbanin_ilmastok%2828590