

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

School of Energy Systems

Energiatekniikka

BH10A0202 Energiatekniikan kandidaatintyö

**HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJEN KEHITYS JA SIIHEN  
VAIKUTTANEET TEKIJÄT MAAILMASSA**

Lappeenrannassa 7.3.2021

Venla Valtokari

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikka

Venla Valtokari

### **Hiilidioksidipäästöjen kehitys ja siihen vaikuttaneet tekijät maailmassa**

Kandidaatintyö 2021

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

Ohjaaja: Professori Esa Vakkilainen

27 sivua ja 16 kuvaa

Hakusanat: hiilidioksidipäästöt, ilmasto-oikeus, Pariisin ilmastopöytäkirja, fossiiliset polttoaineet, kasvihuoneilmiö

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on kasvanut esiteollisesta ajasta merkittävästi. Ihmisen toimesta hiilidioksidipäästöjä syntyy eniten fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja lisäksi myös maankäytön muutoksista, kuten sademetsien hakkuista. Kasvihuonekaasujen tuottamisen rajoittamiseen on kansainvälisesti alettu kiinnittää huomiota verrattain myöhään. Ensimmäinen kansainvälinen ilmastopöytäkirja, Kioton pöytäkirja, solmittiin vuonna 2005, mutta siinä mukana olevat maat tuottivat vain noin 13 % maailman hiilidioksidipäästöistä. Myöhemmin vuonna 2015 sovittiin Pariisin sopimuksesta, jossa on mukana sekä kehittyviä, että kehittyneitä maita. Sopimus astui voimaan 2020.

Tässä kandidaatin työssä keskitytään tarkastelemaan fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyvien hiilidioksidipäästöjen kehitystä maailmassa. Systemaattista vähentämistä voidaan havaita lähinnä Euroopan alueen maissa, myös Yhdysvallat on vähentänyt päästöjään 2000-luvulla. Kuitenkaan monissa maissa hiilidioksidipäästöjen systemaattista vähentämistä ei voida vielä havaita. Varsinkin maissa, jossa teollistuminen on tapahtunut myöhemmin, voidaan huomata, että päästöjen määrä ei ole vielä vähentymässä.

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYS

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	5
2	KASVIHUONEKAASUT JA ILMASTON LÄMPENEMINEN	6
2.1	Hiilidioksidi.....	7
2.2	Muut kasvihuonekaasut.....	9
3	ILMASTO-OIKEUS	10
3.1	Kohti kansainvälisiä ilmastosopimuksia.....	10
3.2	Kioton pöytäkirja.....	11
3.3	Pariisin ilmastosopimus.....	12
3.4	Euroopan unionin ilmastopolitiikka.....	13
4	MAAILMAN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT	13
4.1	Aasia.....	15
4.2	Oseania.....	17
4.3	Afrikka.....	17
4.4	Lähi-itä.....	18
4.5	Pohjois-Amerikka.....	19
4.6	Keski- ja Etelä-Amerikka.....	20
4.7	Eurooppa OECD.....	21
4.8	Muu Eurooppa ja Euraasia.....	23
5	YHTEENVETO	25
	LÄHDELUETTELO	26

## **SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO**

### **Symbolit**

CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
CH <sub>4</sub>	Metaani
H <sub>2</sub> O	Vesi
N <sub>2</sub>	Typpi
N <sub>2</sub> O	Typpidioksidi
O <sub>2</sub>	Happi
O <sub>3</sub>	Otsoni

### **Lyhenteet**

CDM	Clean Development Mechanism
EU	European Union
IEA	International Energy Agency
IET	International Emissions Trading
JI	Joint Implementation
OECD	The Organisation for Economic Co-operation and Development
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
ppm	parts per million
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WMO	World Meteorological Organization
WCP	The World Climate Programme
WCRP	World Climate Research Programme

## 1 JOHDANTO

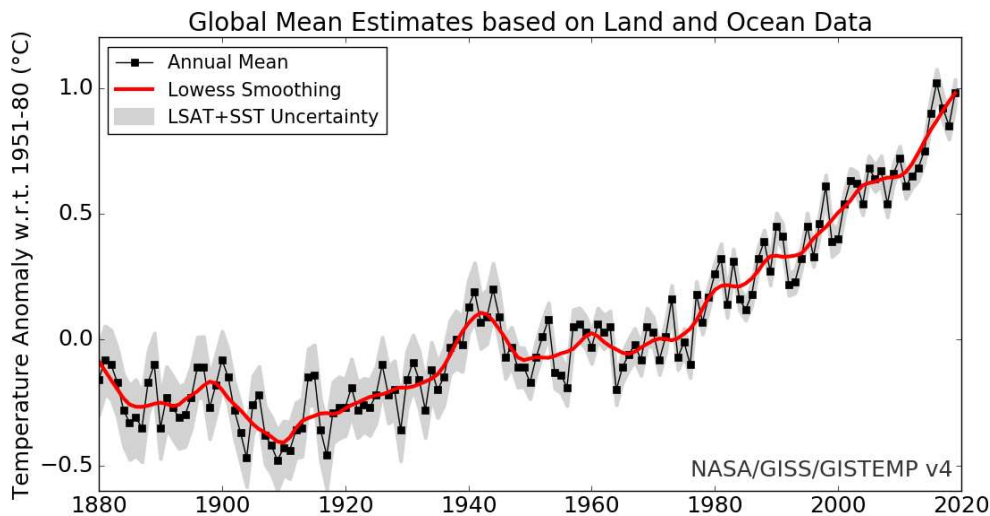
Hiilidioksidin määrä ilmakehässä on kasvanut esiteollisesta ajasta merkittävästi. Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen, kuten metaanin, määrän kasvu ilmakehässä aiheuttaa ilmaston lämpenemistä kasvihuoneilmiön takia. Fossiilisten polttoaineiden polttaminen ja maankäytön muutokset ovat merkittävimmät kasvihuonekaasujen lähteet.

Ilmakehän suojeluun alettiin kiinnittää kansainvälisesti huomiota myrkyllisten aineiden, kuten freonien, osalta rajoittamalla niiden käyttöä sekä kehittämällä korvaavia aineita niiden tilalle. Kasvihuonekaasujen osalta kansainvälisiä toimia on alettu tehdä verrattain myöhään. Kioton pöytäkirja oli ensimmäinen kansainvälinen ilmastopimus, mutta siihen osallistui vain pieni osa maailman valtioista. Pariisin ilmastopimus on ensimmäinen kansainvälinen ilmastopimus, jossa on mukana sekä kehittyviä että kehittyneitä maita.

Tässä kandidaatin tutkielmassa keskitytään tarkastelemaan polttoaineiden poltosta syntyvien hiilidioksidipäästöjen kehitystä maailmassa. Tarkastelusta jää siis ulkopuolelle muut kasvihuonekaasut sekä muun muassa maankäytön muutoksista aiheutuneet hiilidioksidipäästöt. On mielenkiintoista tutkia, onko esimerkiksi ilmastopimusten myötä päästöjen kehitys muuttunut. Pariisin sopimuksen seurauksia ei kuitenkaan voida vielä havaita, sillä se astui voimaan 2020. Lisäksi on mielenkiintoista nähdä, onko tietyllä alueella olevien maiden päästöjen kehitys samanlaista ja kuinka paljon esimerkiksi kehittyvien ja kehittyneiden maiden välillä on eroavaisuuksia.

## 2 KASVIHUONEKAASUT JA ILMASTON LÄMPENEMINEN

Kasvihuonekaasut ovat osa luonnollista kasvihuoneilmiötä, joka pitää ilmakehän alimmat kerrokset lähellä maanpintaa lämpiminä. Ihmisen aiheuttama kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvu, erityisesti fossiilisten polttoaineiden polttamisen takia, on tehostanut kasvihuoneilmiötä ja aiheuttanut maan keskilämpötilan nousua (Serreze M. 2010, 11). Kuvasta 1 nähdään, kuinka keskilämpötilan nousu on kiihtynyt reilun sadan viimeisimmän vuoden aikana. Ilmaston lämpenemisen eteneminen 2000-luvulla voi saada aikaan merkittäviä muutoksia ilmastossa, mutta muutokset eivät ole välttämättä samanlaisia joka puolella maapalloa (Serreze M. 2010, 16). Maapallon lämpötila on vaihdellut historiansa aikana sykleittäin kylmempien ja lämpimimpien ajanjaksojen välillä, mutta muutokset ovat nyt kuitenkin nopeampia (Coley D. 2008, 93).



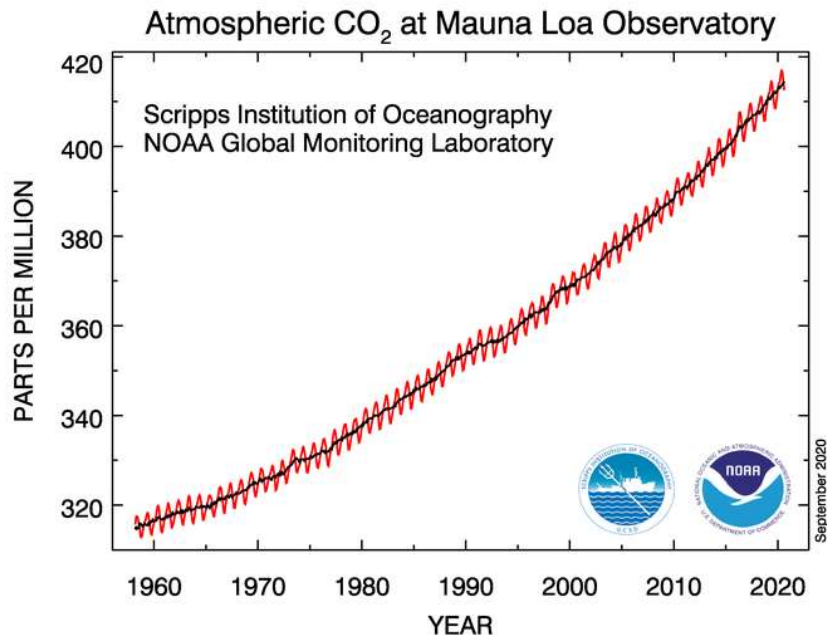
**Kuva 1.** Maanpinnan keskimääräisen lämpötilan muutos (NASA, 2020)

Mikäli muutoksia fossiilisten polttoaineiden käyttöön ei tehdä, lämpötilan on ennustettu nousevan 1,4–5,8 C° vuodesta 1990 vuoteen 2100. Samalla aikavälillä merenpinnan nousun arvioidaan olevan 9–88 cm. Lämpötilan nousulla voi olla merkittäviä vaikutuksia ruuantuotantoon, sekä juomaveden laatuun ja riittävyyteen. Tulvat, lämpötilojen suuret vaihtelut ja muut ääriluonnonilmiöt voivat lisääntyä. (Coley D. 2008, 98–101.)

Luonnollisia kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry ( $H_2O$ ), hiilidioksidi ( $CO_2$ ), metaani ( $CH_4$ ), dityppioksidi ( $N_2O$ ) ja otsoni ( $O_3$ ). Sen sijaan ilmakehän yleisimmät kaasut typpi ( $N_2$ ) ja happi ( $O_2$ ) eivät aiheuta kasvihuoneilmiötä. (Nevanlinna 2008, 45). Ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasuista suurin osa syntyy energiasektorilta eli polttoaineen poltosta ja siitä aiheutuvista hajapäästöistä kuten polttoaineiden tuotannosta, kuljetuksesta ja varastoinnista. Energiasektorin lisäksi kasvihuonekaasuja syntyy muun muassa ihmisten toimesta maanviljelystä ja karjan kasvatuksesta sekä teollisista prosesseista. Vesihöyry on voimakkain kasvihuonekaasu, mutta ihmisen toiminta ei juurikaan vaikuta sen määrään ilmakehässä, sillä veden kiertokulku on nopeaa. Kuitenkin ilmakehän lämpötilan noustessa ilman absoluuttinen kosteus voi kasvaa ja näin ollen kasvihuoneilmiö voimistuu. Tätä kutsutaan vahvistavaksi palauteilmiöksi. (Nevanlinna, 2008, 54.)

## 2.1 Hiilidioksidi

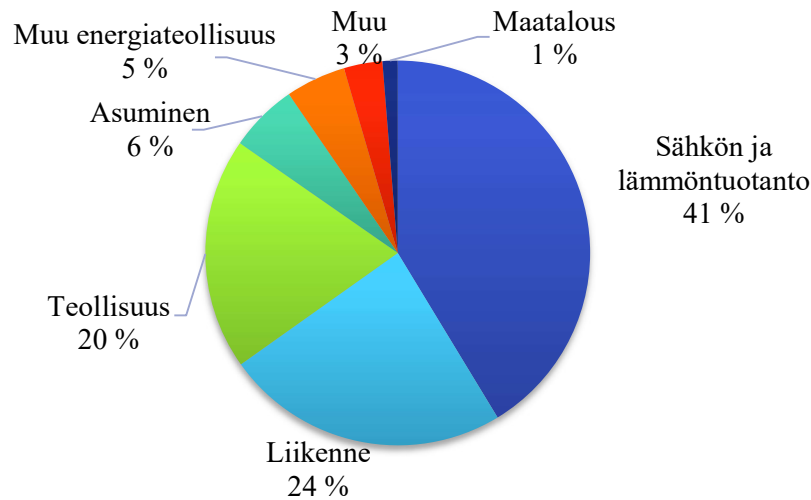
Merkittävin kasvihuonekaasu on hiilidioksidi. Hiilidioksidin osuus ilmakehässä on kasvanut huomattavasti esiteollisesta ajasta. Elokuussa 2020 hiilidioksidin osuus ilmakehässä oli noin 412 ppm (parts per million) (NOAA, 2020), kun ennen teollistumista osuus oli 280 ppm. Kuvasta 2 nähdään, että hiilidioksidin osuuden kasvu ilmakehässä on noussut koko mittausajanjakson aikana, mutta kiihtynyt edelleen vuosituhannen vaihteen jälkeen 2000-luvulla. Punaisesta kuvaajasta huomataan vuosittainen sykli pitoisuuksien määrässä, mikä johtuu erityisesti pohjoisella pallonpuoliskolla kasvukaudella tapahtuvasta fotosynteesistä. Kasvukaudella keväästä syksyyn kasvit sitovat fotosynteesiin avulla ilmakehän hiilidioksidia eli toimivat hiilinieluinä. Tästä ilmiöstä huolimatta kokonaisuudessaan hiilidioksidipitoisuus kasvaa vuosittain. (Stocker, T.F et al, 2012, 167)



**Kuva 2.** Hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä (NOAA, 2020)

Fossiilisten polttoaineiden kuten öljyn, kivihiilen ja maakaasun sisältämien hiilivetyjen hapettuessa eli palaessa muodostuu hiilidioksidia. Kuvassa 3 nähdään vuoden 2015 polttoaineiden palamisesta syntyneiden hiilidioksidipäästöjen osuudet sektoreittain. Energiantuotanto on suurin yksittäinen hiilidioksidipäästöjen tuottaja, liikenne ja teollisuus ovat myös merkittäviä. Fossiilisten polttoaineiden lisäksi hiilidioksidipäästöjä syntyy maankäytön muutoksista, erityisesti trooppisten metsien hävittämisestä (Nevanlinna, 2008).





**Kuva 3.** Hiilidioksidipäästöt polttoaineista sektoreittain vuonna 2015. (Muokattu. IEA 2020)

## 2.2 Muut kasvihuonekaasut

Metaani on hiilidioksidin lisäksi toinen tärkeä kasvihuonekaasu. Sitä syntyy hapettomissa oloissa kun eloperäinen aines hajoaa, kuten esimerkiksi kaatopaikoilla, riisipelloissa, märehittäjien ruuansulatuskanavissa, soissa ja vesistöjen pohjakerroksissa. Metaania on maakaasussa, joten myös kaasuputkien vuodot aiheuttavat metaanin pääsyä ilmakehään. Metaanin ikä ilmakehässä on melko lyhyt, noin 12 vuotta, ja se hajoaa ajan myötä vedeksi ja hiilidioksidiksi. Teollistumisen jälkeen metaanin pitoisuus ilmakehässä on kaksinkertaistunut esiteollisen aikaan verrattuna. (Nevanlinna, 2008, 50.)

Dityppioksidia muodostuu luonnossa maaperän ja merien mikrobitoiminnan seurauksena. Kolmasosa dityppioksidista syntyy ihmisen toimesta lähinnä maatalouden harjoittamisen tuotoksena. Määrä ilmakehässä ei ole kasvanut yhtä radikaalisti kuin hiilidioksidilla. Dityppioksidin elinikä on pitkä, noin 120 vuotta, ja sen molekyylit hajoavat vain ilmakehän ylimmissä osissa ultraviolettiäiteilyn takia. (Nevanlinna, 2008, 50–53.)

### 3 ILMASTO-OIKEUS

Ilmastonmuutoksen oikeudelliseen tiedostamiseen on herätty melko myöhään. Ilmaston muutoksilla ei ole aikaisemmin havaittu olevan niin suurta merkitystä, että siihen olisi tarpeellista tai mahdollistakaan puuttua. Ilmakehä ei ole ensimmäinen valtioiden ulkopuolinen alue, jonka suojelua on kansainvälisesti pohdittu. Kansainvälinen oikeus on esimerkiksi miettinyt, miten valtioiden ulkopuolisia tai yhteisiä alueita kuten merialueita ja napajäätiköitä suojellaan. Ilmakehän suojelun haaste on se, että velvoitteita ei voida kohdistaa yksittäisen valtion, maa-alueen tai toiminnon piiriin, ja vaikutukset leviävät koko ilmakehään, eivätkä täten pysy tietyn alueen rajojen sisäpuolella. (Hollo et al. 2011, 3–4.)

Ilmakehän suojelussa on alun perin keskitytty elämää tuhoavien kemikaalien ja aineiden rajoittamiseen. Esimerkiksi freonien, jotka vaikuttavat otsonikerrokseen negatiivisesti, ja rikkiyhdisteiden käyttöä on rajoitettu erilaisissa sopimuksissa. Sopimuksissa on sitouduttu rajoittamaan kemikaalien pääsyä ympäristöön. Tärkeää tavoitteen saavuttamiseksi on myös näiden aineiden tilalle kehitetyt korvaavat, ympäristölle vaarattomat aineet. Ilmastonmuutoksen hallinnassa ainoastaan päästöjen ohjaus ei ole riittävä keino, sillä kaikkia päästölähteitä ei voida määritellä pistekuormittajina. (Hollo et al. 2011, 10.)

#### 3.1 Kohti kansainvälisiä ilmastosopimuksia

Tukholmassa vuonna 1972 pidetyssä Yhdistyneiden Kansakuntien ympäristökonferenssissa hyväksytyssä julistuksessa muun muassa mainitaan, että valtioiden täytyy huolehtia, ettei oman määräysvallan ulkopuoliselle ympäristölle aiheuteta vahinkoa. Ympäristöä ei määritely tarkkaan, mutta voidaan sanoa, että konferenssi oli osittain alkua ilmasto-oikeuden synnylle. (Hollo et al. 2011, 7.)

Ensimmäinen ilmastonmuutokseen liittyvä konferenssi pidettiin 1979 Genevessä. Maailman ilmatieteen järjestön (WMO) järjestämässä konferenssissa hyväksyttiin kaksi merkittävää toimintaohjelmaa. Maailman ilmasto-ohjelma (World Climate Programme, WCP) ja maailman ilmastotutkimusohjelma (World Climate Research Programme, WCRP) keskittyivät tieteellisyyteen. Myöhemmin vuonna 1992 ilmastonmuutosta koskevassa

Yhdistyneiden kansakuntien puitesopimuksessa (UNFCCC) määriteltiin ja tunnustettiin ilmasto-oikeuden käsite ja asema. Samana vuonna Rio de Janeirossa kehitys- ja ympäristökonferenssissa avattiin ilmastopuitesopimus allekirjoitettavaksi. (Hollo et al. 2011, 8–9). Sopimuksen allekirjoitti 187 maata (Coley 2008, 349). Ilmastopimituksen tavoitteena on puuttua ihmisten aiheuttamiin päästölähteisiin, jotka kiihdyttävät ilmaston lämpenemistä (Hollo et al. 2011, 8–9). Sopimuksessa ei kuitenkaan tarkennettu paljon vähennyksiä täytyy tehdä ja ketkä niitä tekevät, vaikka neuvottelut kestivät kaksi vuotta. (Coley 2008, 349.)

### **3.2 Kioton pöytäkirja**

Kioton pöytäkirja tuli voimaan vuonna 2005. Sopimus täydentää Yhdistyneiden kansakuntien ilmastopuitesopimusta asettaen oikeudellisia velvoitteita kehittyneiden maiden kasvihuonekaasupäästöille. Sopimuksessa ei ole mukana kehittyviä maita. Ensimmäinen velvoitekausi oli vuosina 2008–2012. Suomi oli asettanut tavoitteekseen pitää päästöt vuoden 1990 tasolla ja Suomi onnistui tavoitteessaan. (Ympäristöministeriö, a.)

Toinen velvoitekausi sijoittuu vuosille 2013–2020. Kaudesta päätettiin Dohan osapuolikokouksessa vuotta aikaisemmin 2012. Euroopan unionin yhteisenä tavoitteena oli vähentää 20 % päästöistä vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. (Ympäristöministeriö, 2015.) Pöytäkirjan muutokset eivät ole tulleet kansainvälisesti voimaan, sillä vaadittavat kolme neljäsosaa Kioton pöytäkirjan osapuolista ei ole hyväksynyt niin sanottua Dohan muutosta toukokuussa 2020. (Ympäristöministeriö, a.)

EU oli valmis osallistumaan toiselle velvoitekaudelle ja asetti päästövähennystavoitteen -20 %. Lisäksi siihen oli valmis osallistumaan muun muassa Australia (-0,5 %), Norja (-16 %), Valko-Venäjä (-12 %) ja Ukraina (-24 %). (Ympäristöministeriö, a.) Euroopan Unionin tavoite on saavuttaa vuonna 2020 20 % päästövähennys verrattuna vuoteen 1990. Tämä päästötavoite tulee saavutetuksi.

Sopimuksen tavoitteisiin pyritään vähentämällä polttoaineiden polton CO<sub>2</sub>-päästöjä, vähentämällä muiden sektorien päästöjä ja niin sanotuilla joustomekanismeilla, joita on kolme tyyppiä Kioton sopimuksessa. Puhtaan kehityksen mekanismeissa (Clean

Development Mechanism, CDM) teollisuusmaat saavat lisää päästöoikeuksia olemalla mukana kehittyvien maiden päästöjä vähentävissä tai nieluja lisäävissä projekteissa. Yhteistoteutuksessa (Joint Implementation, JI) rahoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä vähentäviä tai nieluja lisääviä projekteja toisessa teollisuusmaassa. Päästömääränsä ylittänyt teollisuusmaa voi ostaa Kansainvälisessä päästökaupassa (International Emissions Trading, IET) päästöyksiköitä toiselta teollisuusmaalta, joka on alittanut sallitun päästömääränsä. (Ympäristöministeriö, a.)

Kioton sopimus ei ole ollut tehokas, sillä kehittyville maille ei ole asetettu päästötavoitteita, eikä Yhdysvallat ollut mukana. Vuonna 2014, toisen velvoitekauden aikana, Kioton sopimuksen tavoitteet koskivat vain 13 % maailman CO<sub>2</sub>-päästöistä (IEA, 2017.)

### **3.3 Pariisin ilmastopimus**

Pariisissa sovittiin joulukuussa 2015 uudesta ilmastopimuksesta. Se on ensimmäinen kansainvälinen ilmastopimus missä on mukana sekä kehittyviä että teollisuusmaita. Sopimuksen tavoitteena on, että maapallon keskilämpötilan nousu pysyisi alle kahdessa asteessa verrattuna esiteolliseen aikaan ja pyrkiä toimimaan niin, että nousu olisi alle 1,5 astetta (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017, 11). Kansallinen voimaantulo edellytti 55 osapuolta, joiden yhteinen osuus on oltava vähintään 55 % maailman kasvihuonekaasupäästöistä. Tämä voimaantulokynnys ylittyi lokakuussa 2016. Valtiot sitoutuvat sopimukseen joko ratifioimalla, hyväksymällä tai liittymällä, riippuen kansallisista menettelytavoista. Suomi hyväksyi sopimuksen 14.11.2016. Sopimus velvoittaa maita Kioton pöytäkirjan toisen velvoitekauden päätyttyä, vuodesta 2020 eteenpäin. (Ympäristöministeriö, b.)

Osapuolille ei ole asetettu määrällisiä tavoitteita, vaan osapuolet määrittelevät tavoitteensa itse. Tavoitteet uusitaan viiden vuoden välein ja uusi päästötavoite tulee olla kunnianhimoisempi kuin edellinen tavoite. Tavoitteet eivät rajoitu vain päästöjen vähentämiseen, vaan tavoitteita tulee asettaa lisäksi ilmastonmuutokseen sopeutumiseen, ilmastorahoituksen lisäämiseen, teknologian kehittämiseen, toimintavalmiuksien vahvistamiseen ja läpinäkyvyyden lisäämiseen eteen. Kokonaistarkasteluissa viiden vuoden

välein tarkastellaan edistymistä ja sitä, kohtaavatko toimenpiteet sopimuksen tavoitteet. Ensimmäisen kerran tarkastelu suoritetaan vuonna 2023. (Ilmasto-opas, 2019.)

### **3.4 Euroopan unionin ilmastopolitiikka**

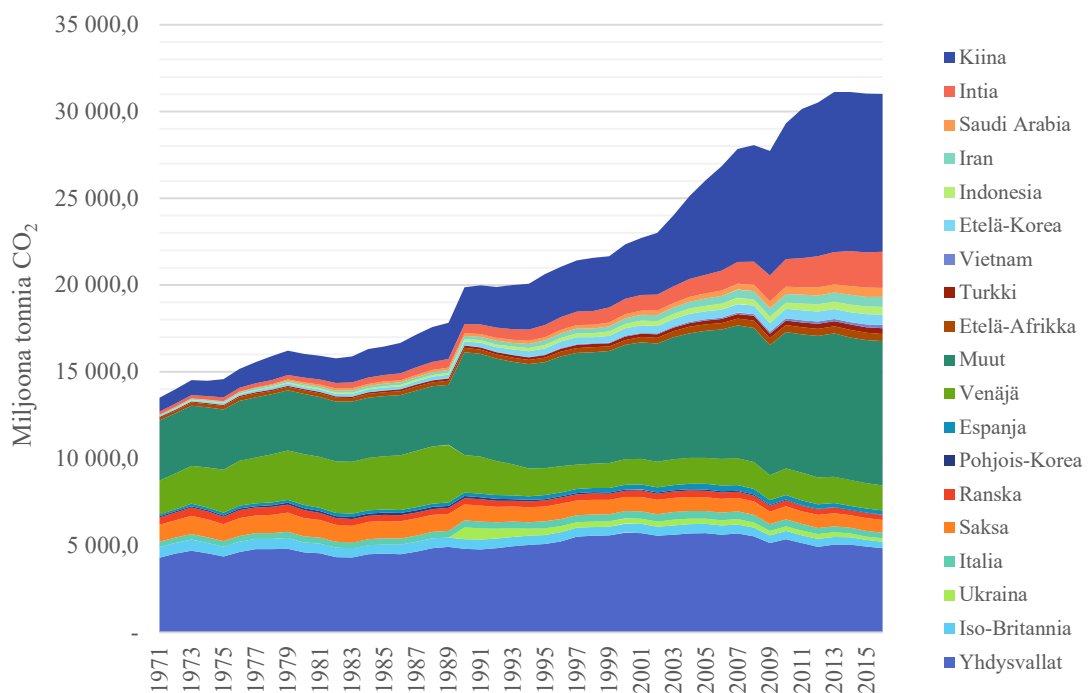
Euroopan unionilla on yhteinen tavoite vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Tavoite on olla ilmastoneutraali vuoteen 2050 mennessä. Ilmastoneutraalius tarkoittaa, että nettopäästöjen määrä on nolla, eli kasvihuonekaasuja sidotaan yhtä paljon, kun tuotetaan. Tätä tavoittellessa Euroopan unioni on asettanut välitavoitteita. Vuoteen 2030 mennessä Euroopan unioni haluaa nettopäästöjen olevan 55 % vuoden 1990 tasosta. (Ympäristöministeriö, c.) Lisäksi jäsenmailla voi olla omia kunnianhimoisempia tavoitteita.

## **4 MAAILMAN HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖT**

Maaikman talouskasvu ja kehitys johtavat myös energian kysynnän kasvuun. Vaikka uusiutuvien ja CO<sub>2</sub>-neutraalien polttoaineiden käyttö kasvaa, fossiilisten polttoaineiden osuus energiantuotannossa on edelleen merkittävä eikä niiden käyttö ole maailmanlaajuisesti vähentynyt (IEA 2017.) Energiantuotanto ja polttoaineiden käyttö on suurin hiilidioksidipäästöjä tuottava sektori. Tässä kappaleessa keskitytään hiilidioksidipäästöjen määrään polttoaineiden poltosta, sisältäen energiantuotannon, liikenteen, asumisen ja teollisuuden. Fossiilisten polttoaineiden käyttö tuottaa merkittävimmän osan hiilidioksidipäästöistä, loput tulevat maankäytön muutoksista, esimerkiksi sademetsien hakkuista.

Kuvassa 4 on esitetty fossiilisten polttoaineiden käytöstä johtuvien hiilidioksidipäästöjen kehitys maailmassa 70-luvun alusta alkaen. Voidaan huomata, että päästöjen määrä on kaksinkertaistunut reilussa 40 vuodessa, eikä trendi ole ollut laskeva kuin hetkellisesti, muutamien vuosien aikana. 2000-luvun puolella selkeä päästöjen määrän lyhyt lasku on tapahtunut vuonna 2008, jolloin tapahtui finanssikriisi. Hiilidioksidipäästöjen kasvu kuitenkin jatkui kriisin jälkeen. Kuvassa 4 on eritelty yhdeksän eniten päästöjä suhteessa

vuoteen 2000 vähentänyttä maata sekä yhdeksän eniten päästöjen määrää kasvattanutta maata. Päästöjä vähentäviä ja kasvattavia maita ei ole täysin suoraviivaista asettaa paremmuusjärjestykseen. Vertailuvuoden valitseminen vaikuttaa tuloksiin merkittävästi, sillä osa maista on alkanut päästöjä vähentäviin toimiin aikaisemmin kuin toiset. Esimerkiksi Yhdysvallat on vähentäneet päästöjä 2000-luvulla, mutta päästötasot ovat edelleen korkeampia kuin 90-luvulla. Neuvostoliiton hajoaminen 90-luvun vaihteessa vaikuttaa esimerkiksi Ukrainan ja Baltian maiden hiilidioksidipäästöjen vertailuun. Valtioiden vertailussa on myös luonnollisesti otettava huomioon väestön määrä.



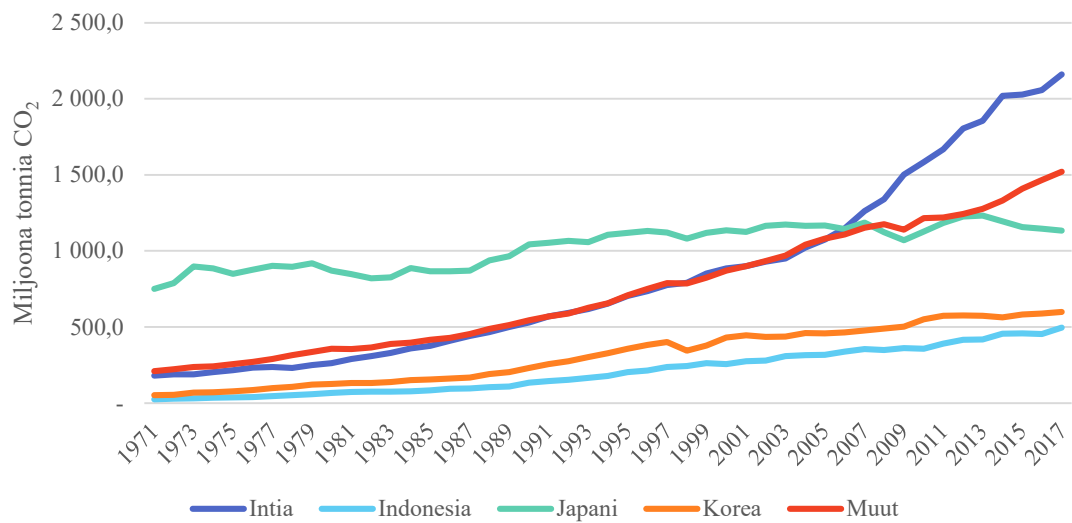
**Kuva 4.** Suurimmat hiilidioksidipäästöjä vähentäneet ja kasvattaneet maat vuoteen 2000 verrattuna (Muokattu IEA 2017)

Hiilidioksidipäästöjen määrän kehitykseen vaikuttaa useat tekijät. Talouskasvu on ollut merkittävä syy, mutta sen merkitys vähenee luultavasti tulevaisuudessa. IEA:n mukaan vuonna 2015 ensimmäisen kerran sitten 90-luvun ei havaittu kasvua polttoaineiden poltosta syntyneissä CO<sub>2</sub>-päästöissä samalla kun talouskasvun kasvoi (IEA 2017). On myös luonnollista, että väestönkasvu lisää päästöjä. Sosioekonomiset tekijät kuten tulot,

asumistaso ja omaisuus vaikuttavat päästöihin. Yleisesti kehittyvissä maissa hiilidioksidipäästöt asukasta kohden ovat melko pienet ja vastaavasti kehittyneissä maissa suuret. Vuonna 2015 Yhdysvalloissa hiilidioksidipäästöt olivat 15,5 tCO<sub>2</sub> asukasta kohden, kun Afrikassa ne olivat noin 1 tCO<sub>2</sub> asukasta kohden. (IEA 2017.) Energiatehokkuus ja kehittyneet teknologiat tekevät polttoaineen käytöstä tehokkaampaa, mutta tehokkuutta ei voi kasvattaa loputtomasti. Energiantuotantoon vaikuttaa maiden resurssit ja ulkoiset tekijät. Esimerkiksi Norjassa on suuri vesivoiman potentiaali. Sen sijaan kaikilla alueilla merkittävää vesivoiman potentiaalia ei kuitenkaan ole. Alueilla, jossa on kylmät talvet, lämmitykseen kuluu paljon energiaa, toisaalta lämpimissä maissa sitä kuluu vastaavasti asuntojen ja rakennusten viilennykseen.

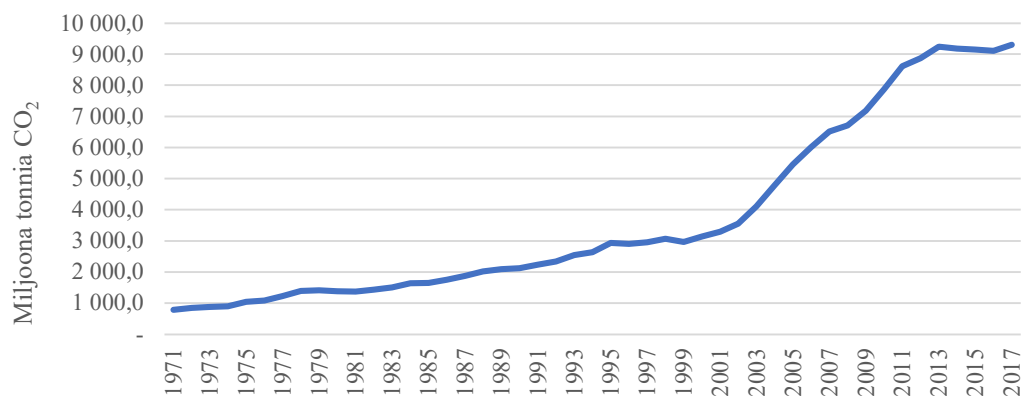
#### **4.1 Aasia**

Aasian merkittävin päästöjen aiheuttaja on Kiina. Kiina on suurin CO<sub>2</sub>-päästöjen tuottaja myös koko maailmassa. Aasian neljä suurinta päästöjen tuottajamaata (pois lukien Kiina) ja lisäksi muut maat on esitetty kuvassa 5. Etelä-Koreassa ja Indonesiassa päästöt ovat kasvaneet samaa tahtia, melko tasaisesti joka vuosikymmenellä. Aasiassa muut maat, kuten isoimpina Thaimaa, Malesia, Vietnam ja Pakistan ovat kasvattaneet päästöjä myös. Japanissa päästöjen kehitys on ollut maltillisempaa, määrän ollessa vuonna 2017 lähes 90-luvun alun tasolla. Myös finanssikriisi vuonna 2008 näyttää vaikuttaneen Aasian maista Japanin päästöihin eniten. Täytyy ottaa kuitenkin huomioon, että Japanin päästöt ovat olleet jo 70-luvulla selkeästi muita maita suuremmat. Intiassa CO<sub>2</sub>-päästöjen määrä on kasvanut vuosittain, ja kasvu on kiihtynyt erityisesti 2000-luvulla. Vuonna 2016 CO<sub>2</sub>-päästöt olivat yli kaksinkertaiset verrattuna vuoteen 2000.



**Kuva 5.** Hiilidioksidipäästöt Aasiassa (pois lukien Kiina) (Muokattu IEA 2017)

Kuvasta 6 nähdään, että 2000-luvulla Kiinan päästöjen määrä on kasvanut jyrkästi, ollen 2010-luvun alussa suurimmillaan. Kasvu on ollut erityisen nopeaa vuosina 2000–2013, jonka aikana päästöjen määrä kolminkertaistui. Sen jälkeen kasvu on hidastunut, ja muutamana vuotena päästöjen määrä on vähentynyt hieman edellisestä.

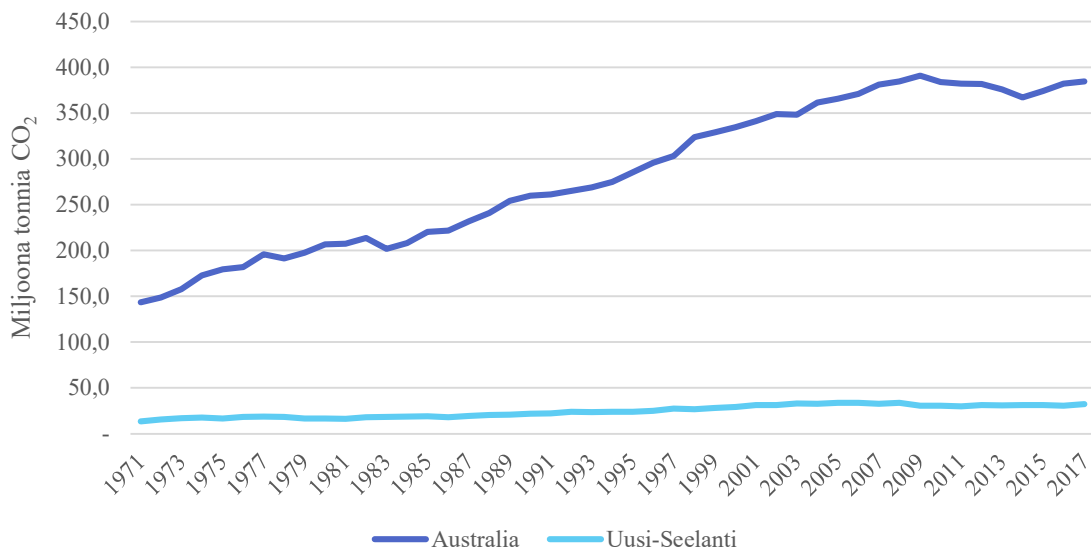


**Kuva 6.** Kiinan hiilidioksidipäästöt (Muokattu IEA 2017)



## 4.2 Oseania

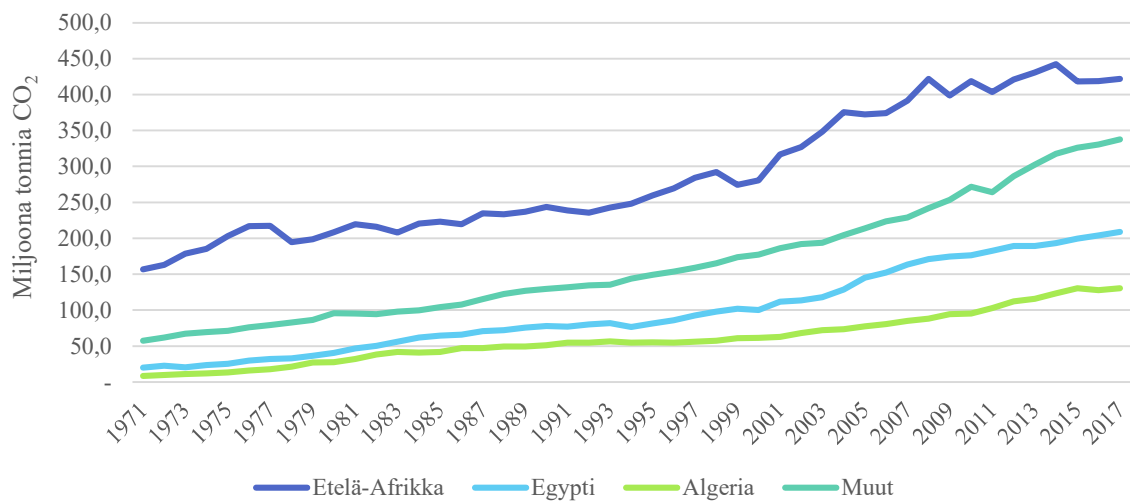
Kuvasta 7 nähdään, että Australiassa päästöt ovat kasvaneet 70-luvulta asti noin vuoteen 2009 melko tasaisesti. Sen jälkeen 2010-luvun alussa päästöjen määrä on laskenut, mutta luvun toisella puoliskolla nousua on edelleen ollut. Australiassa energiantuotanto on jakautunut hiilen, maakaasun ja öljyn käyttöön. Uusiutuvien osuus energiantuotannossa vuonna 2019 oli noin 20 prosenttia. (IEA 2020) Uudessa-Seelannissa päästöjen määrä on kasvanut myös, mutta 2000-luvulla määrä on pysynyt melko samana.



**Kuva 7.** Australian ja Uuden-Seelannin hiilidioksidipäästöt (Muokattu IEA 2017)

## 4.3 Afrikka

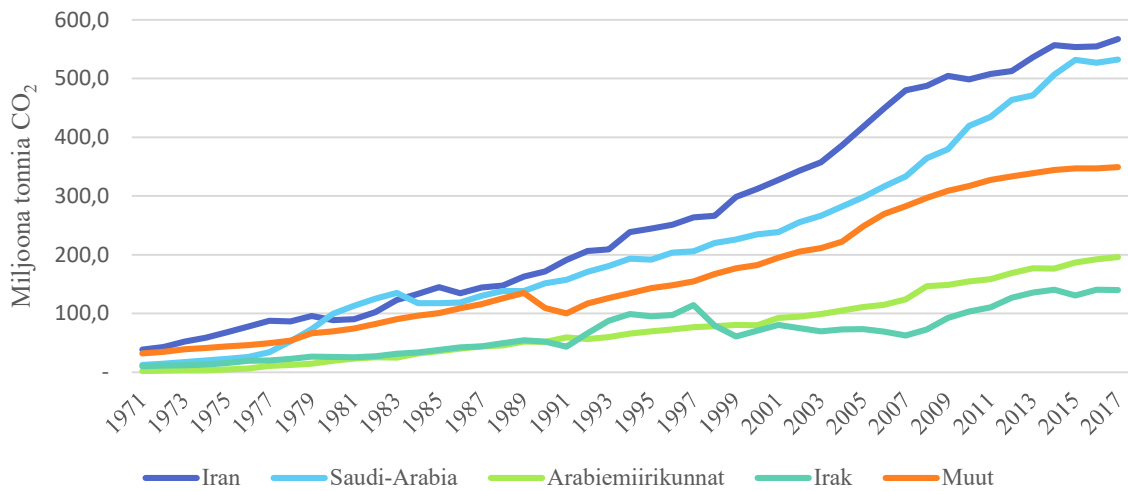
Afrikassa merkittävin yksittäinen päästöjentuottajamaa on Etelä-Afrikka. Siellä myös elintaso on muita Afrikan maita edellä. Muita yksittäisiä isompia päästöjen tuottajamaata ovat Egypti ja Algeria. Päästöt ovat kehittyneet melko tasaisesti. Afrikassa kasvihuonekaasupäästöistä merkittävä osuus on ollut maankäytön muutoksista ja maanviljelystä. Energiantuotannon osuus on kuitenkin kasvanut 2000-luvulla (African development bank group, 2020). Hiilidioksidipäästöjen voidaan olettaa kasvavan myös tulevaisuudessa, kun elintaso nousee.



**Kuva 8.** Hiilidioksidipäästöt Afrikassa (Muokattu IEA 2017)

#### 4.4 Lähi-itä

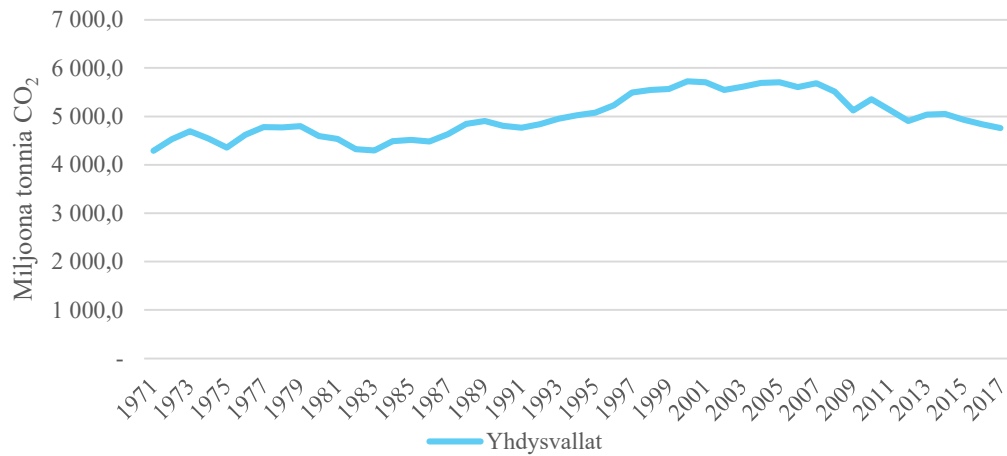
Lähi-idässä suurimmat päästöjentuottajamaat ovat Iran ja Saudi-Arabia. Niiden päästöt ovat kasvaneet erityisesti 80-luvulta lähtien. Arabiemiirikunnissa ja Irakissa päästöt ovat kasvaneet hieman hitaammin. Muissa Lähi-Idän maissa kasvua on tapahtunut myös. On mielenkiintoista huomata, että vuoden 2008 finanssikriisin vaikutusta Lähi-Idän maiden hiilidioksidipäästöihin ei juurikaan huomaa kuvaajasta, se on vain hieman hidastanut kasvua muutamaksi vuodeksi, kuten Arabiemiirikunnissa. Lähi-idän alueella on suuria öljyreservejä. OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) jäsenmaiden osuus maailman öljyreserveistä vuonna 2018 oli noin 80 %, josta Lähi-Idän valtiolla oli noin 65 % osuus (OPEC, 2019). Lähi-idässä energiantuotanto pohjautuu maakaasun ja öljyn käyttöön (IEA 2020.)



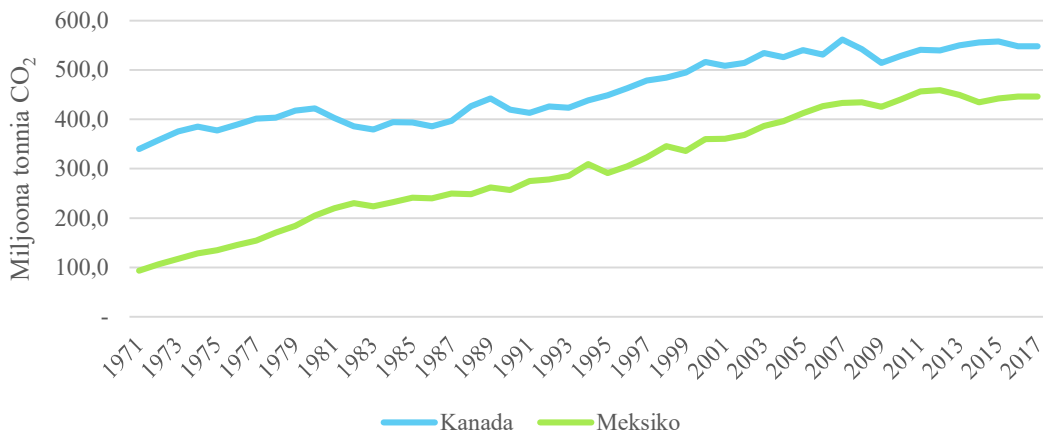
**Kuva 9.** Lähi-idän hiilidioksidipäästöt (Muokattu IEA 2017)

## 4.5 Pohjois-Amerikka

Yhdysvalloissa päästöjen määrä on kasvanut vuosituhanen vaihteeseen asti, mutta sen jälkeen kääntynyt laskuun. Vuonna 2016 määrä oli kuitenkin vielä hieman korkeampi kuin vuonna 1990. Yhdysvallat vetäytyi Pariisin ilmastopöytäkirjasta aikaisemmin, mutta sitoutui siihen uudelleen vuoden 2021 alussa (The White house, 2021.) Kanadassa ja Meksikossa hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet melko tasaisesti, Meksikossa kuitenkin nopeammin. Molemmissa maissa päästöjen kehitys on hidastunut finanssikriisin jälkeen vuonna 2008, mutta vuosittainen päästöjen määrä ei ole kuitenkaan merkittävästi vähentynyt.



**Kuva 10.** Yhdysvaltojen hiilidioksidipäästöt (Muokattu IEA 2017)

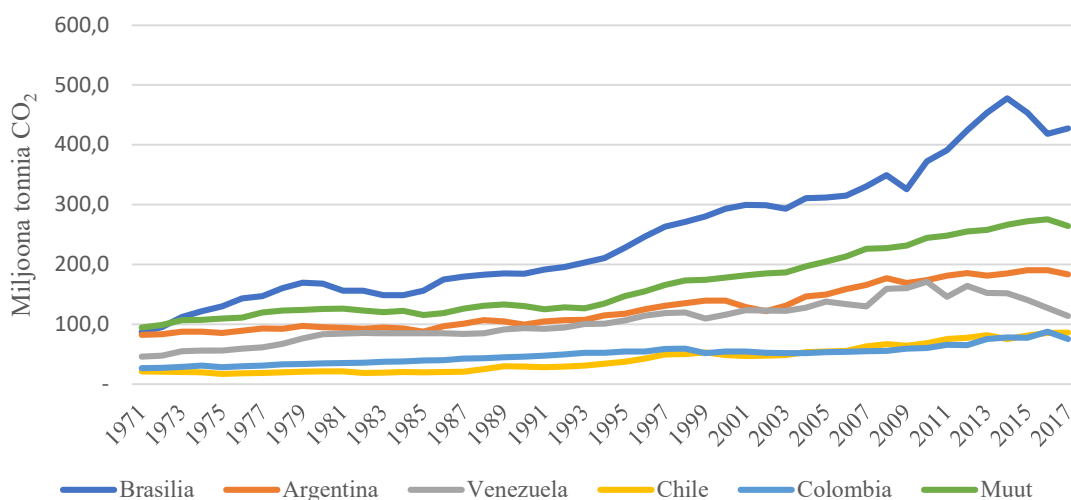


**Kuva 11.** Hiilidioksidipäästöt Kanadassa ja Meksikossa (Muokattu IEA 2017)

## 4.6 Keski- ja Etelä-Amerikka

Keski- ja Etelä-Amerikassa hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet melko tasaisesti kuten kuvasta 12 nähdään. Brasiliassa kasvu on ollut suurempaa ja alkanut kiihtyä erityisesti 90-luvun loppupuolella, mutta vuoden 2014 jälkeen päästöt ovat myös useampana vuonna laskeneet edellisestä vuodesta. Argentiinassa, Venezuelassa, Chilessä ja Columbiassa päästöt ovat kasvaneet maltillisemmin. Venezuelassa päästöt ovat kääntyneet laskuun vuoden 2010 jälkeen, ollen vuonna 2017 lähes samalla tasolla kuin vuonna 1996. Vuoden

2008 finanssikriisin vaikutuksia hiilidioksidipäästöihin voidaan havaita Brasilian ja hieman myös Argentiinan hiilidioksidipäästöjen määrässä.

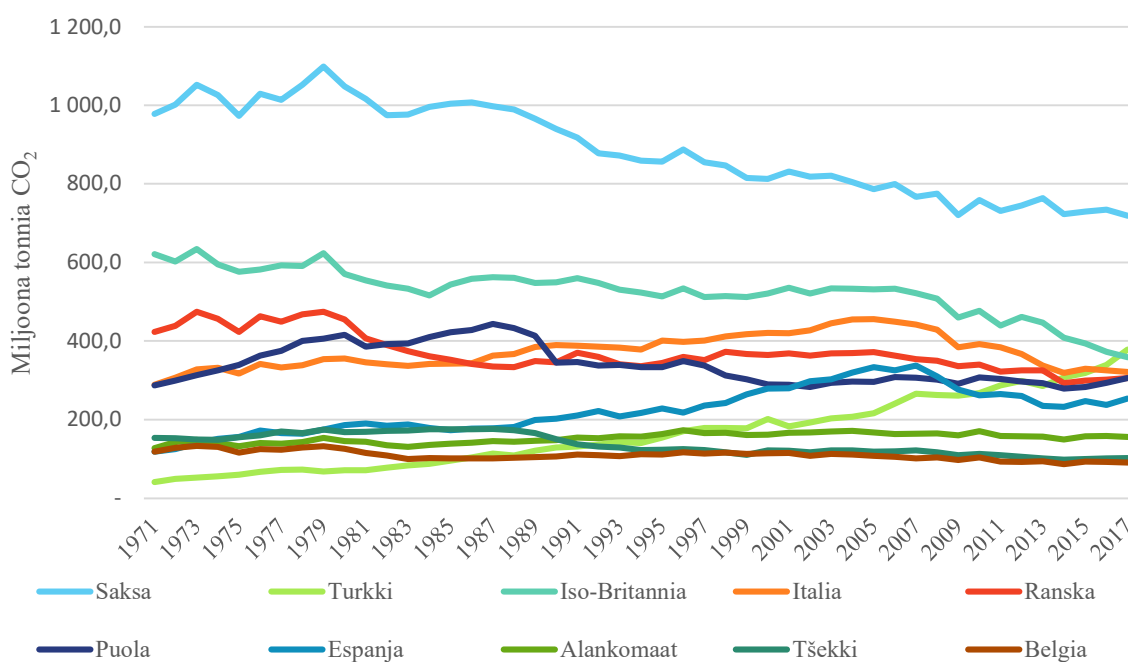


**Kuva 12.** Hiilidioksidipäästöt Keski- ja Etelä-Amerikassa (Muokattu IEA 2017)

## 4.7 Eurooppa OECD

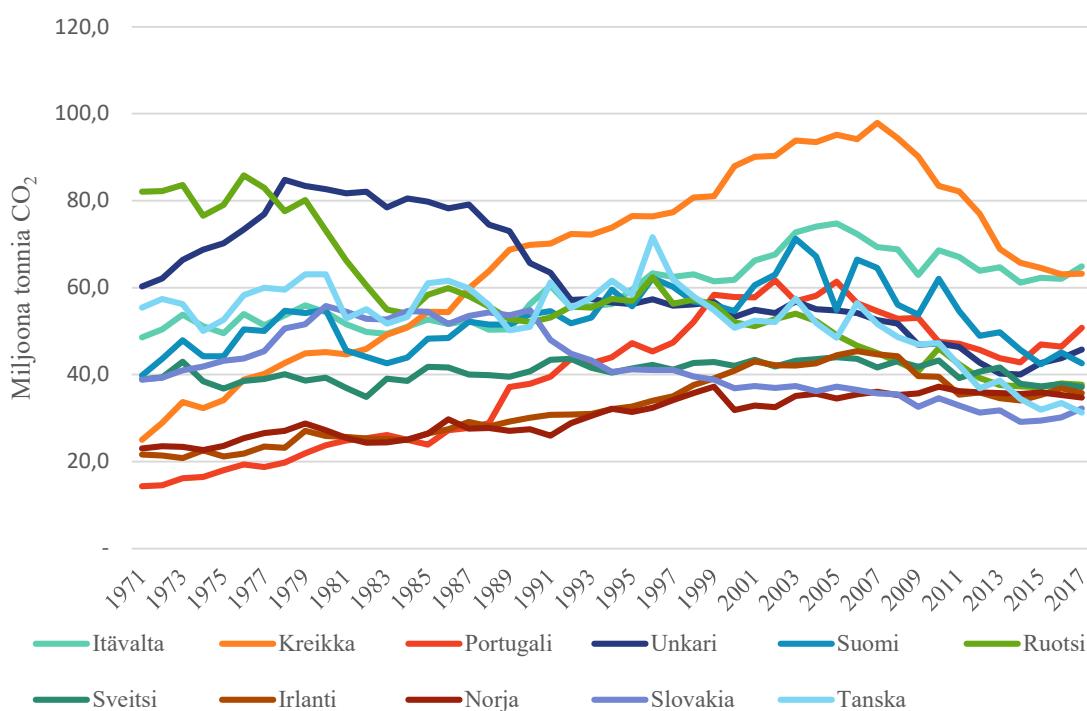
Kuvassa 13 on kymmenen suurinta hiilidioksidipäästöjen tuottajamaata Euroopan alueen OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development) maista. Loput Euroopan OECD maista, lukuun ottamatta pienimpiä valtioita, on esitetty kuvassa 14.

Euroopan alueen OECD maista kymmenen suurinta päästöjen tuottajamaata on esitetty kuvassa 13. Voidaan huomata, että Saksa ja Iso-Britannia ovat vähentäneet päästöjä reilusti 70-luvulta lähtien. Myös Ranskassa päästöjen määrä on nyt pienempi kuin 70-luvulla. Espanjassa päästöjen määrä on kasvanut noin 2008 vuoteen asti, jonka jälkeen määrä on vähentynyt, ollen kuitenkin vielä suurempi kuin 90-luvulla. Myös Italiassa laskua päästöjen määrässä on ollut vasta 2000-luvun alun jälkeen. Turkki on sen sijaan kasvattanut päästöjään tasaisesti, myös 2000-luvulla, ollen vuonna 2017 korkeimmillaan.



**Kuva 13.** Euroopan OECD kymmenen suurinta päästöjen tuottajamaata (Muokattu IEA 2017)

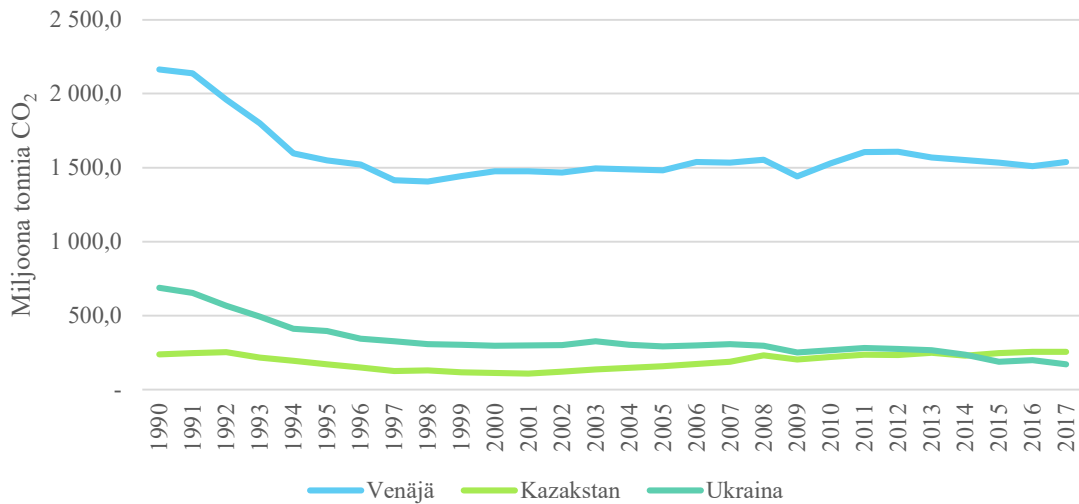
Muut Euroopan OECD maat lukuun ottamatta pieniä valtioita on esitetty kuvassa 14. Lähes kaikki maat ovat vähentäneet päästöjä vuoden 2010 jälkeen. Ruotsi on vähentänyt hiilidioksidipäästöjä reilusti 70-luvulta asti. Pohjoismaista Suomi ja Tanska ovat myös vähentäneet päästöjä, varsinkin 2000-luvulla. Norja sen sijaan ei ole vähentänyt päästöjä merkittävästi, vaan hiilidioksidipäästöjen määrä on kasvanut 2000-luvulle asti, jonka jälkeen päästöt ovat pysyneet melko vakiona. Määrällisesti Norja tuottaa päästöjä kuitenkin vähemmän kuin Suomi, jossa väkiluku on lähes yhtä suuri. Kreikassa päästöt ovat kasvaneet vuoteen 2008 asti, jonka jälkeen päästöt ovat laskeneet alle 90-luvun tason. Myös Portugalissa ja Irlannissa päästöjen määrä on kasvanut vielä 2000-luvulla, mutta kääntynyt laskuun kuitenkin ennen 2010-lukua.



**Kuva 14.** Hiilidioksidipäästöt Euroopan muissa maissa (Muokattu IEA 2017)

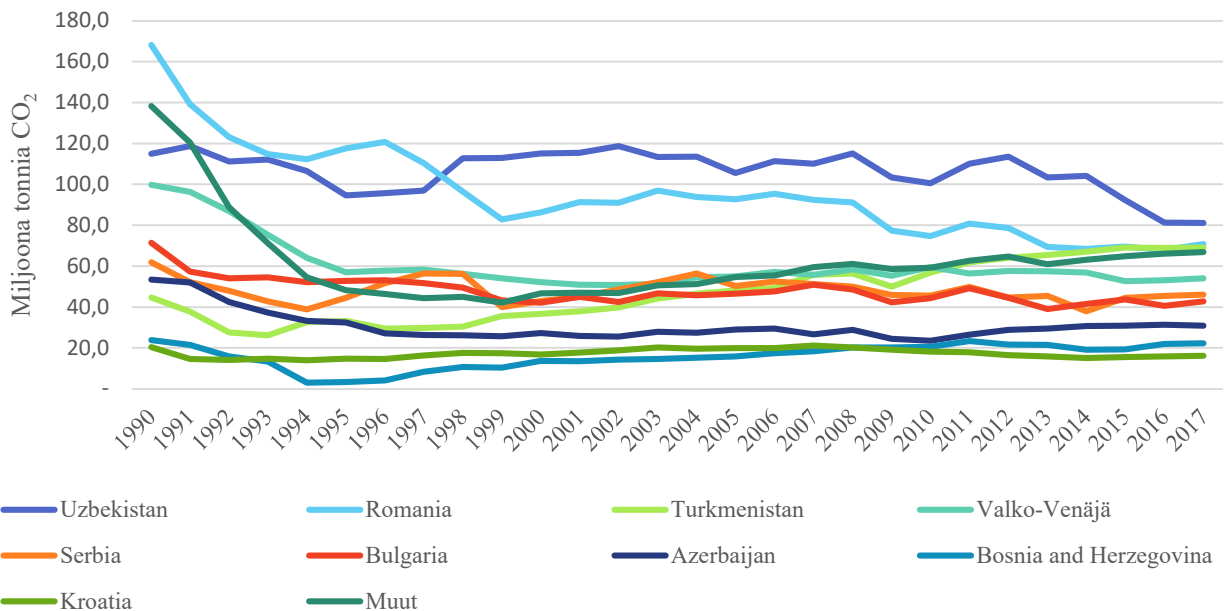
## 4.8 Muu Eurooppa ja Euraasia

Tässä kappaleessa käsitellään Euroopan muut kuin OECD valtiot sekä Euraasia. Neuvostoliiton hajoaminen on otettava huomioon sen jälkeen itsenäistyneiden valtioiden kohdalla. Tämän kappaleen kuvissa on sen takia aloitettu valtiokohtainen tarkastelu vasta vuodesta 1990. Entisen Neuvostoliiton alueella päästöt ovat olleet 2000-luvulla pienemmät kuin Neuvostoliiton aikana 70-luvun puolesta välistä hajoamiseen asti. Venäjä on vähentänyt hiilidioksidipäästöjään 90-luvulla reilusti, ollen vuonna 1997 pienimmillään, jonka jälkeen päästöt eivät ole alittaneet sen vuotista lukemaa. Ukrainassa hiilidioksidipäästöjen määrä on vähentynyt lähes vuosittain 90-luvulta asti, ollen vuonna 2017 alimmillaan.



**Kuva 15.** Venäjän, Kazakstanin ja Ukrainan hiilidioksidipäästöt (Muokattu IEA 2017)

Muut Euroopan ja Euraasian valtiot ovat esitetty kuvassa 16. Nämä valtiot ovat vähentäneet reilusti hiilidioksidipäästöjä 90-luvulla, johtuen osaltaan Neuvostoliiton hajoamisesta. 2010-luvulla päästöt eivät ole juurikaan vähentyneet, lukuun ottamatta Romaniaa ja Uzbekistania. Myös Kroatian hiilidioksidipäästöt ovat laskeneet vuodesta 2010.



**Kuva 16.** Muut Euroopan ei OECD maat ja Euraasia (Muokattu IEA 2017)



## 5 YHTEENVETO

Merkittävin kasvihuonekaasu on hiilidioksidi. Hiilidioksidin osuus ilmakehässä on kasvanut huomattavasti esiteollisesta ajasta. Elokuussa 2020 hiilidioksidin osuus ilmakehässä oli noin 412 ppm (parts per million), (NOAA, 2020) kun ennen teollistumista osuus oli 280 ppm.

Ilmakehän suojeleun alettiin kiinnittää kansainvälisesti huomiota myrkyllisten aineiden, kuten freonien, osalta rajoittamalla niiden käyttöä sekä kehittämällä korvaavia aineita niiden tilalle. Hiilidioksidin ja muiden kasvihuonekaasujen kohdalla käytön rajoittaminen ei ole niin suoraviivaista, sillä kyseiset kaasut eivät ole myrkyllisiä, eikä kaikkia niiden lähteitä voida käsitellä pistekuormittajina. Kioton pöytäkirja oli ensimmäinen kansainvälinen ilmastopopimus, mutta Pariisin ilmastopopimus on ensimmäinen kansainvälinen ilmastopopimus, jossa on mukana sekä kehittyviä että kehittyneitä maita.

Yleisesti voidaan havaita, että lähinnä Euroopan alueen maissa hiilidioksidipäästöjä on alettu systemaattisesti vähentämään, erityisesti 2000-luvulla. Myös Yhdysvallat on vähentänyt päästöjä 2000-luvulla, mutta niiden määrä on edelleen 90-luvun tasolla. Samanlaista systemaattista kehitystä ei voida huomata vielä muissa maailmanosissa. Euroopan alueen erilaiseen päästöjen kehitykseen voi vaikuttaa muun muassa Euroopan unionin työ kasvihuonekaasujen vähentämiseksi. Euroopan unionin ilmastopolitiikka on vaikuttanut jäsenmaidensa kasvihuonekaasujen määrään. Myös Kioton ilmastopopimuksessa oli lopulta mukana lähinnä Euroopan maita. Neuvostoliiton hajoaminen 90-luvulla vaikutti huomattavasti alueen kasvihuonekaasujen määrään.

Kuitenkaan monissa maissa hiilidioksidipäästöjen systemaattista vähentämistä ei voida vielä havaita. Varsinkin maissa, jossa teollistuminen on tapahtunut myöhemmin, voidaan huomata, että päästöjen määrä ei ole vielä vähentymässä. Tulevaisuudessa kehittyvien maiden osuus maailman energiantuotannosta kasvaa. Ratkaisevaa on, vastataanko kasvavaan energiantarpeeseen tuottamalla energiaa fossiilisilla polttoaineilla vai päästöttömillä energianlähteillä.

## LÄHDELUETTELO

African Development Bank Group, Drivers of Greenhouse Gas emissions in Africa: Focus on agriculture, forestry, and other land use. 29.7.2020, [verkkosivusto]. [viitattu 3.10.2020]. Saatavissa: <https://blogs.afdb.org/climate-change-africa/drivers-greenhouse-gas-emissions-africa-focus-agriculture-forestry-and-other>

Coley, D. A. 2008. Energy and climate change: creating a sustainable future. Chichester: Wiley.

Erkki J. Hollo, Tuomas Kuokkanen, Robert Utter. 2011. Ilmasto-oikeus, Helsinki: Talentum

IEA. 2020. CO2 Emissions from Fuel Combustion [verkkosivusto]. [viitattu 1.10.2020]. Saatavissa: <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/co2-emissions-statistics>

IEA. 2017. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, 2017 edition [viitattu 9.9.2020] Saatavissa: <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/co2-emissions-statistics>

IEA, Middle East, 2020. [verkkosivusto]. [viitattu 3.10.2020]. Saatavissa: <https://www.iea.org/regions/middle-east>

IEA, Australia, 2020. [verkkosivusto]. [viitattu 3.10.2020] Saatavissa: <https://www.iea.org/countries/australia>

Ilmasto-opas. 2019. Sopimukset ohjaavat kansainvälistä ilmastopoliittikkaa [verkkosivusto] [viitattu 18.1.2020]. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/f65a78bb-dc8e-41a5-b09a-6fa36661880b/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopoliittikkaa.html>

NASA, National Aeronautics and Space Administration, 2020. GISS Surface Temperature Analysis (v4) [verkkosivusto]. [viitattu 3.12.2020] Saatavissa: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>

Nevanlinna, Heikki. 2008. Muutamme ilmastoa: Ilmatieteenlaitoksen tutkijoiden katsaus ilmastomuutokseen. Helsinki: Karttakeskus

NOAA, National Oceanic & Atmospheric Administration. 2020. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide [verkkosivusto] [viitattu 3.10.2020]. Saatavissa: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>

OPEC, Organization of the Petroleum Exporting Countries. 2019. OPEC share of world crude oil reserves. [verkkosivusto] [viitattu 3.10.2020] Saatavissa: [https://www.opec.org/opec\\_web/en/data\\_graphs/330.htm](https://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/330.htm)

Serreze, M. 2010. Understanding Recent Climate Change. Conservation Biology, 24(1), pp. 10-17.

Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030, 31.1.2017, Työ- ja elinkeinoministeriö, toim. Riku Huttunen

The White house, 2021. Paris Climate Agreement. [verkkosivu]. [viitattu 1.2.2021]. Saatavissa: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/01/20/paris-climate-agreement/>

Ympäristöministeriö, a. Kioton pöytäkirja [verkkosivu]. [viitattu 3.10.2020]. Saatavissa: <https://ym.fi/kioton-poytakirja>

Ympäristöministeriö, b. Pariisin ilmastosopimus [verkkosivu]. [viitattu 4.10.2020]. Saatavissa: <https://ym.fi/pariisin-ilmastosopimus>

Ympäristöministeriö, c. Euroopan unionin ilmastopolitiikka [verkkosivu]. [viitattu 1.2.2021]. Saatavissa: <https://ym.fi/euroopan-unionin-ilmastopolitiikka>

Ympäristöministeriö. 2015. [Tiedote] [viitattu 3.10.2020] Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/-/suomi-hyvaksyi-kioton-poytakirjan-toisen-sitoumuskauden>