



Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology

# **Katsaus Pariisin ilmastosopimuksen vaikutuksista sähköjärjestelmiin ja yleisesti teollisiin prosesseihin**

## **Review of impact of Paris climate agreement in electrical systems and generally in industrial processes**

Kim Nyysönen

## **TIIVISTELMÄ**

Kim Nyyssönen  
LUT School of Energy Systems  
Sähkötekniikka  
Jarmo Partanen

### **Katsaus Pariisin ilmastosopimuksen vaikutuksista sähköjärjestelmiin ja yleisesti teollisiin prosesseihin**

2017

Kandidaatintyö.

24 s.

Pariisin ilmastosopimus on vuonna 2015 solmittu kansainvälinen sopimus, jonka tarkoituksena on ilmastomuutoksen pysäyttäminen. Tässä työssä tehdään katsaus kirjallisuustutkimuksena Pariisin sopimuksen vaikutuksiin liikenteessä, energiantuotannossa, sähköjärjestelmissä ja teollisissa prosesseissa. Liikenteen päästövähennykset toteutetaan pääasiassa sähköistämällä tieliikenneajoneuvoja ja korvaamalla fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla. Uusiutuvien energianlähteiden osuus on kasvussa, mikä on hyvä näkymä tulevaisuudelle. Sähköjärjestelmissä olisi kannattavaa siirtyä smart grid -ratkaisuihin, jotka tukisivat siirtymää uusiutuviin energianlähteisiin ja helpottaisivat sähköautojen latauspisteiden järjestämistä. Myös sähkön varastointiin tulisi kehittää ratkaisuja. Teollisissa prosesseissa tehokas tapa vähentää päästöjä on päästöjen varastoiminen, mutta yritykset ovat haluttomia tekemään sitä, sillä se on vain ylimääräinen meno sille.

Työssä käsitellään myös sopimuksen taustoja, kuten sen syntyperää ja tarkoitusta, sekä tehdään katsausta siihen, miten eri valtiot aikovat panostaa sopimukseen. Työn lopuksi on esitetty vielä erilaisia päätelmiä Pariisin sopimuksen toteutumisesta ja vaikutuksista, esimerkiksi miten sähkön merkitys tulee muuttumaan tulevaisuudessa. Tällä hetkellä valtioiden panos on riittämätön, jotta tavoitteet saavutettaisiin ja erityisesti teollisuuden prosessien päästöjen vähentäminen on erityisen haastavaa.

**ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
LUT School of Energy Systems  
Electrical Engineering

Kim Nyyssönen

**Review of impact of Paris climate agreement in electrical systems and generally in industrial processes**

2017

Bachelor's Thesis.

24 p.

Examiner: professor J.P.

The Paris climate agreement is an international agreement that was signed in 2015. Its purpose is to stop climate change. Literature overview was made in this work to examine agreement's effects on transportation, energy production, electric systems and industrial processes. Traffic emission reductions will be implemented primarily through the electrification of road vehicles and by replacing fossil fuels with biofuels. Share of renewable energy is growing which is good sign. Electrical systems should implement smart grids which support transition to renewable energy sources and help to facilitate electric vehicle charging points. Electric systems should also implement electricity storage systems. An effective way to reduce emissions from industrial processes is to store emissions but companies are reluctant to do it, because it just costs extra for them.

The thesis also deals with background of the agreement, like its origin and purpose. Also, review is made on how some countries intend to invest in agreement. Finally, at the end of this paper some conclusions are made on how the Paris agreement is going to be fulfilled and what are its impacts. For example, what is the importance of electricity in future. Now the contribution of the states is insufficient to achieve objectives of Paris agreement. Also emissions of industrial processes are very problematic.

## SISÄLLYSLUETTELO

### Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

1. Johdanto.....	6
2. Pariisin ilmastopimus.....	6
2.1 Miksi sopimus tehtiin? .....	8
3. Vaikutus liikenteeseen.....	9
4. Teolliset prosessit .....	11
5. Energiajärjestelmät .....	12
5.1 Sähköjärjestelmät .....	17
6. Pariisin sopimuksen toteutuminen eri valtioissa .....	18
7. Päätelmiä .....	19
Lähteet .....	21

**KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET**

CER	Community of European Railway and Infrastructure Companies, eurooppalaisten rautatie- ja infrastruktuuriyhtiöiden yhteisö
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidin kemiallinen kaava
COP	Conference of Parties, YK:n jäsenten ilmastokokous
EGS	Enhanced Geothermal System, paranneltu geoterminen järjestelmä, energiantuotantomuoto, jolla tuotetaan maalämmöstä myös sähköä
EPA	Environmental Protection Agency, Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto
EU	Euroopan Unioni, 28 Euroopan valtion taloudellinen ja poliittinen liitto
EVI	Electric Vehicle Initiative, IEA:n sähköajoneuvoaloite
GCF	Green Climate Fund, Vihreä ilmastorahasto
GMBM	Global Market-based Measure, Globaaleihin markkinoihin perustuva mitta
GWEC	Global Wind Energy Council, kansainvälinen tuulienergianeuvosto
ICAO	International Civil Aviation Organization, kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö
IEA	International Energy Agency, kansainvälinen energiajärjestö
IMO	International Maritime Organization, Kansainvälinen merenkulkujärjestö
INDC	Intended Nationally Determined Contribution, aiottu kansallinen panos Pariisin sopimuksen edistämiseksi
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development, taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö
PEV	Plug-in Electric Vehicle, ladattava sähköajoneuvo
UIC	International Union of Railways, kansainvälinen rautatieliitto
UNFCCC	United Nations Climate Change Conference, YK:n ilmastonmuutoskonventti
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
WRI	World Resources Institute, maailman luonnonvarojen instituutti

## 1. JOHDANTO

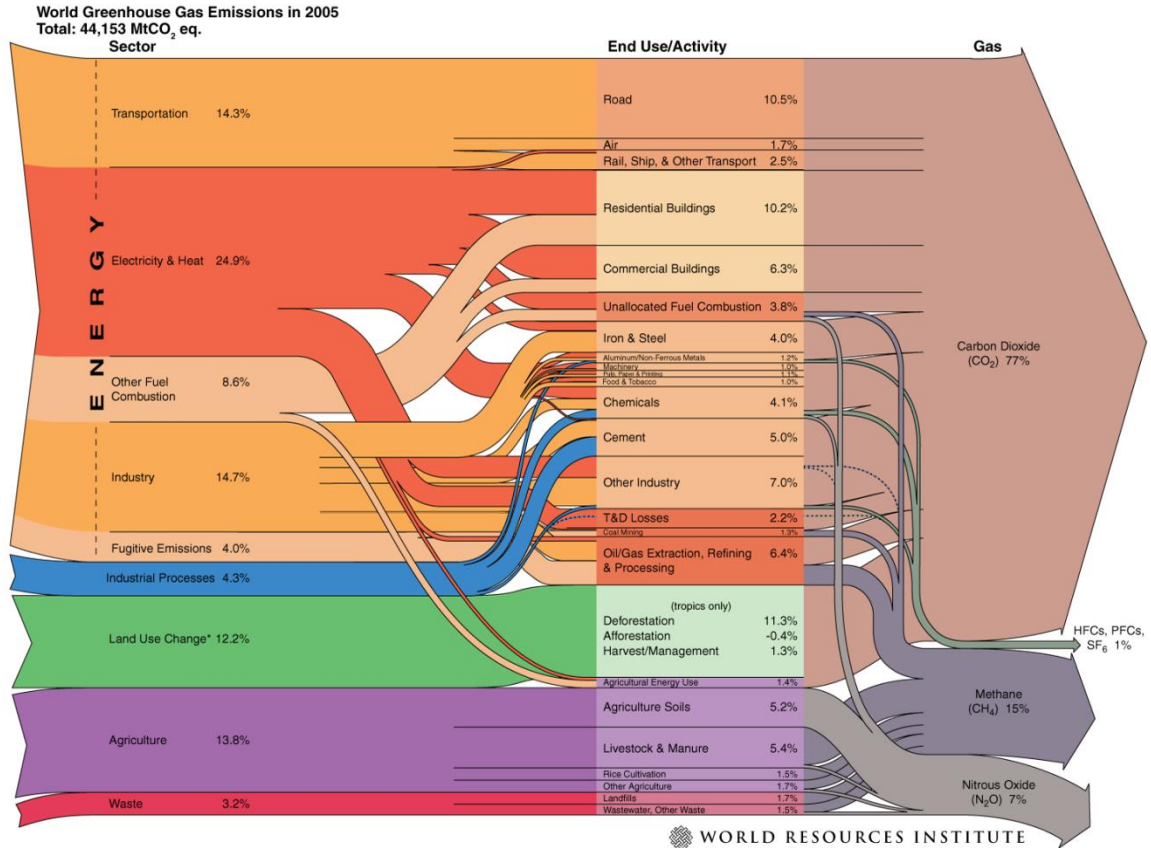
Pariisin ilmastosopimus on joulukuussa 2015 solmittu kansainvälinen sopimus, jonka tavoitteena on alentaa maapallon keskilämpötilan nousu vuoteen 2050 mennessä kahteen celsius asteeseen ja tavoitella sen pitämistä puolessatoista. Sopimus astui voimaan marraskuussa 2016, kun 55 % sopimuksen maista oli solminut sopimuksen. Suomessa sopimus ratifioitiin lokakuussa 2016 (ympäristöministeriö, 2016). Jotta tavoite täytyisi, tarvitaan valtiolta ja sen kansalaisilta suuri panos. Suomi toteuttaa sopimuksen tavoitteet osana EU:ta.

Tämän työn tarkoituksena on tehdä katsaus sopimuksen vaikutuksista teollisuuden prosesseihin, liikenteeseen, energiantuotantoon ja sähköjärjestelmiin. Työssä selvitetään sopimuksen taustoja, kuten mitä se pitää sisällään, miksi se luotiin, mitkä maat ovat ratifioineet sopimuksen, ja arvioidaan, missä maissa sitä aiotaan noudattaa, sekä miten se näissä maissa tulee näkymään. Vaikka sopimus on laillisesti sitova, sen noudattamatta jättämisestä ei seuraa mitään rangaistuksia.

Tutkimus tehdään, jotta saataisiin arvio siitä, tulevatko sopimuksessa esitetyt tavoitteet toteutumaan, sillä kunnianhimoisen sopimuksen astuessa voimaan, tämä näyttää todella haastavalta tehtävältä. Tutkimus tehdään käyttäen kirjallisuusmenetelmää.

## 2. PARIISIN ILMASTOSOPIMUS

Kuvassa 2.1 on havainnollistettu maailman kasvihuonekaasupäästöt ja niiden aiheuttajat. Näistä liikenteen, energian, lämmityksen ja teollisuuden alle kuuluu n. kaksi kolmasosaa kaikista päästöistä. Pariisin sopimuksen myötä päästöjen ja hiilinielujen välille on saatava nollan nettopäästöt 2050-2100 mennessä. Vuonna 2005 maailmanlaajuisesti ihmisen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä arvioitiin olevan 44 GtCO<sub>2</sub>e (WRI, 2005).

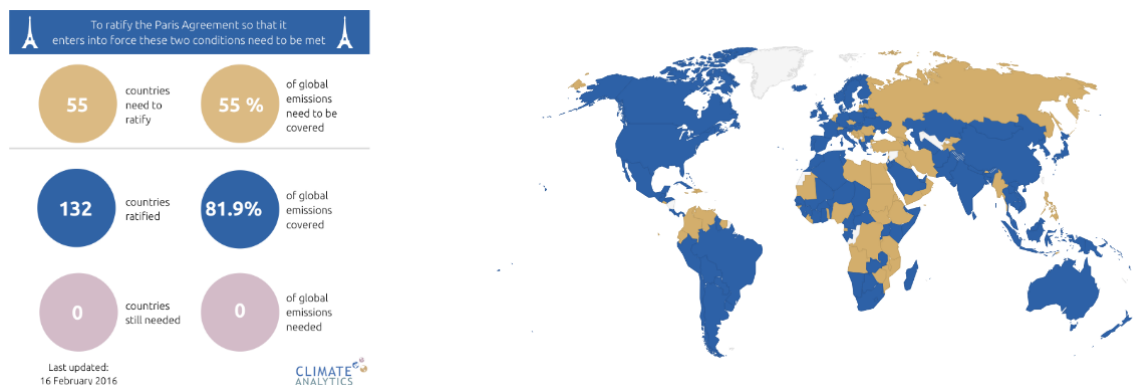


Kuva 2.1 Maailman kasvihuonepäästöt ja niiden aiheuttajat (WRI, 2005).

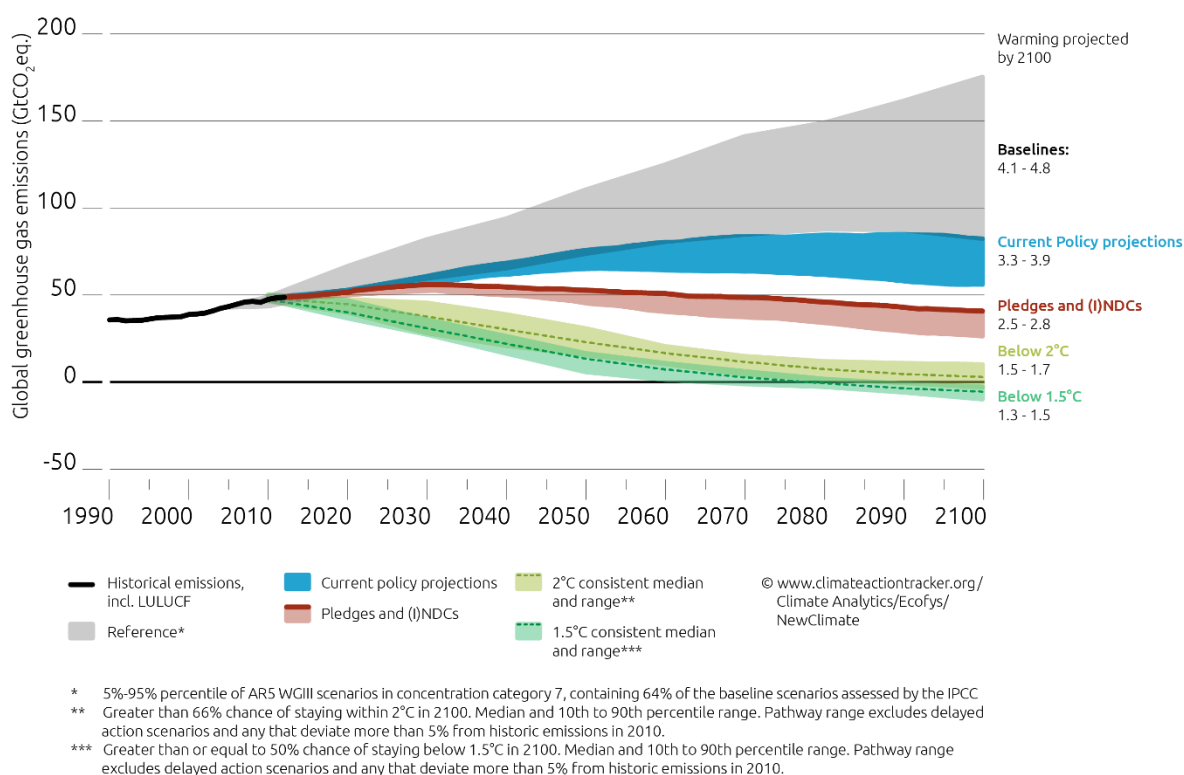
Pariisin ilmastopöytäkirja on ensimmäinen sopimus, joka on koonnut lähes kaikki maailman valtiot toimimaan ilmastonmuutosta, eli ihmisen aiheuttamaa globaalia ilmaston lämpenemistä, vastaan. Sopimuksen tavoitteena on hillitä lämpeneminen 1,5-2 celsius asteeseen. Ihmiskunnalla on IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli) laskemien mukaan varaa 1000 gigatonnin hiilidioksidipäästöihin ja jos nykyiset päästöt eivät vähene, tämä määrä tulee täyteen vuonna 2030.

Maat, jotka ovat ratifioineet sopimuksen, ovat sitoutuneet laatimaan viiden vuoden välein INDC:n (Intended Nationally Determined Contribution eli aiotun kansallisen panoksen), johon kuuluu tavoitteet koskien ilmastonmuutoksen vähentämistä, teknologian siirtämistä ja rahoitusta. Uuden INDC:n tulee olla aina edellistä kunnianhimoisempi, mutta valtiot saavat itse päättää millainen. Koska INDC:t ovat valtiokohtaisia, ne voidaan ilmaista eri tavoin, esimerkiksi kehitysmaat ilmoittavat sen vähennysprosenttina päästökehityksestä ja länsimaat historiavuodesta. Valtioiden pitää myös ilmoittaa omat kasvihuonekaasupäästöt tilastoina. Helmikuussa 2017 INDC:t kattoivat 190 valtiota ja näiden valtioiden päästöt kattoivat 98.9 % maailmanlaajuisista päästöistä (World Resources Institute, 2017).

Sopimuksen ratifioineet valtiot (kuva 2.2) ovat velvoitettuja tekemään viiden vuoden välein myös tilannearvion siitä, että riittävätkö päästövähennykset tavoitteiden saavuttamiseksi. Jos tavoitteet eivät arvioiden mukaan tule täyttymään, tulee INDC:tä muuttaa tiukemmaksi tuleville vuosille. Kuvasta 2.3 nähdään, että nykyisillä INDC:illä ei tulla saavuttamaan alle 2 asteen tavoitetta, vaan näillä päästäisiin vuoteen 2100 mennessä ehkä 2,7 asteen lämpenemiseen. Onkin käyty keskustelua, että 1,5 asteen tavoitetta tulisi tavoitella tulevissa tavoitteissa entistä aggressiivisemmin, että päästäisiin lähemmäs kahta astetta.



Kuva 2.2 Pariisin sopimuksen allekirjoittaneet ja ratifioineet valtiot (Climate analytics, 2017)



Kuva 2.3 Kasvihuonekaasujen ja ilmaston lämpenemisen suhde erilaisilla tavoitteilla (Climate Action Tracker, 2017)

## 2.1 Miksi sopimus tehtiin?

Pariisin sopimuksen juuret ovat vuonna 1992 perustetussa UNFCCC:ssä (United Nations Framework Convention on Climate Change, YK:n ilmastomuutoskonventti), jonka ansiosta saavutettiin vuonna 1997 laadittu Kioton ilmastopöytäkirja. Kioton ilmastopöytäkirjassa päätettiin, että tietyt kehittyneet valtiot sitoutuvat vähentämään päästöjään. Kioton sopimuksen toinen vaihe alkoi 2013 ja jatkuu vuoteen 2020, jonka aikana sopimuksen ratifioineet valtiot ovat sitoutuneita laskemaan päästöjään 18 %: sen alapuolelle siitä, mitä ne olivat vuonna 1990. Sopimuksen heikkous piilee siinä, että jotkin näistä valtioista eivät enää osallistu tähän toiseen vaiheeseen, esimerkiksi Venäjä ja Japani, joten sopimus kattaa



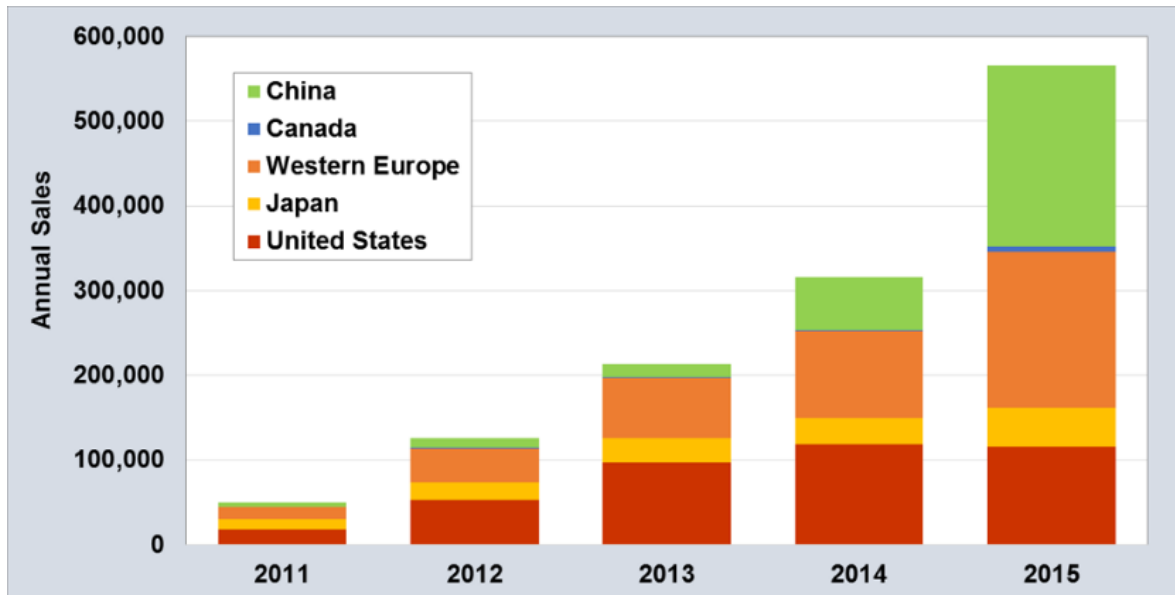
vain noin 14 % maailman päästöistä (Council of the European Union, 2016). Myöskään Yhdysvallat, joka on merkittävä päästöjentuottaja, ei koskaan ratifioinut sopimusta.

Maailmanlaajuisia ilmastoasioita varten järjestetään kerran vuodessa (vuodesta 1995 alkaen) UNFCCC:n puitteissa osapuolien välisiä konferensseja (COP, Conference of Parties). Erityismainintoina näistä konferensseista ovat COP3, jossa Kioton sopimus omaksuttiin, COP15, jossa päätettiin Kioton sopimuksen jatkosta, COP 17, jossa perustettiin GCF (Green Climate Fund, Vihreä ilmastorahasto), jonka tarkoituksena on kehitysmaiden vähähiilistä ja ilmastokestävää kehitystä, ja COP21, jossa Pariisin sopimus luotiin. Sopimus oli luotava sen takia, että saadaan muitakin valtioita mukaan taisteluun ilmastonmuutosta vastaan kuin kehittyneitä valtioita, sekä Kioton sopimuksesta lähteneitä valtioita. Yhdysvallat oli tärkeä saada mukaan, sillä se on suurimpia kasvihuonekaasujen tuottajia. Yhdysvaltojen silloinen presidentti Obama kävi menestyksekkäitä neuvotteluja Intian ja Kiinan presidenttien kanssa, joiden ansiosta Yhdysvallat saatiin mukaan sopimukseen (Clemencon, 2016).

### **3. VAIKUTUS LIIKENTEeseen**

Pariisin ilmasopimus ei erikseen mainitse mitään liikenteestä, mutta siitä syntyvät päätöt ovat kuitenkin merkittävä osa (n. 14 %) globaaleista päästöistä ja esimerkiksi Suomessa liikenteestä syntyy noin 20 prosenttia Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (Liikennevirasto 2016). Liikenteestä syntyvät päästöt ovat myös nopeammassa kasvussa kuin muut energian loppukäytön sektorit. Jos muutosta ei tapahdu, vuonna 2050 päästöt ovat 50 prosenttia suuremmat kuin nyt. (LPAA, 2015)

Jotta liikenteen aiheuttamat emissiot asettuisivat siihen rajaan, jota Pariisin sopimuksen tavoitteet vaativat, tulisi maantieliikenteen sähköistyä 20 prosenttisesti ja rautatieliikenteen kokonaan (LPAA, 2015). IEA (International Energy Agency, kansainvälinen energiajärjestö) pyrkii edistämään sopimuksen tavoitetta EVI:llä (Electric Vehicle Initiative, sähköajoneuvoaloite), joka on poikkikansallinen politiikan foorumi, joka pyrkii kiihdyttämään sähköautojen käyttöönottoa maailmanlaajuisesti. EVI myös tukee teknologisia yhteistyöohjelmia, hybridi- ja sähköautoja ja kehittyneempiä polttokennoja (IEA, 2015). IEA:n mukaan sähköautojen tulee edustaa 35 prosenttia globaaleista ajoneuvojen myynneistä vuonna 2030 (LPAA, 2015). Koska akkujen hinnat ovat laskussa kehittyvän teknologian johdosta, voi sähköautojen hintakin laskea niin paljon, että myynnit kääntyisivät jyrkempään nousuun. Sähköautojen myynnit ovatkin kasvussa (kuva 3.1). Kuvassa 3.2 on esitetty esimerkiksi, miten Yhdysvalloissa päästöt jakautuvat eri liikennemuotojen välillä.



Kuva 3.1 Kevyen liikenteen sähköautojen kansainväliset myynnit vuosittain (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2016)

Ajoneuvojen ja polttoaineen verotus on maailmalla keskimäärin ollut laskussa vuodesta 2010. Ajamisen hinta on halvimmillaan yli 20 vuoteen, kun ottaa huomioon verot, bensiinin hinnan ja autojen polttoainetehokkuuden. Tilanne on nurinkurinen, sillä autoilun hintaa tulisi nostaa Pariisin sopimuksen vaatimien tavoitteiden johdosta (Luomi et al. 2016). Suomessa tieliikenteestä syntyviä päästöjä tullaan rajoittamaan liikenne- ja viestintäministerin toimesta nostamalla polttoaineen hintaa ja ajoneuvoverotusta siten, että enemmän päästävästä autosta maksetaan enemmän veroa (Autoalan tiedotuskeskus, 2017).

Lentoliikenteen aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä johtuu 4,9 % ihmisen aiheuttamasta ilmastomuutoksesta (Transport and Environment, 2016). Lentoliikenteen aiheuttamat päästöt ovat erityisen haitallisia ilmakehälle, koska päästöt tapahtuvat korkealla, joidenkin arvioiden mukaan ne ovat 1,7-5,0 kertaa haitallisempia kuin matalammalla vapautettavat päästöt (Mathiesen et al. 2010). Päästöt ovat tältä osin myös kasvussa, sillä lentopetrolia ei veroteta ja matkustajamäärät ovat kasvussa. Sopimusta tehdessä päätettiin, ettei kansallisessa sopimuksessa ei sisällytetä lentoliikenteestä syntyviä päästöjä, mutta ICAO:n (Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö) tulisi pyrkiä vähentämään niitä.

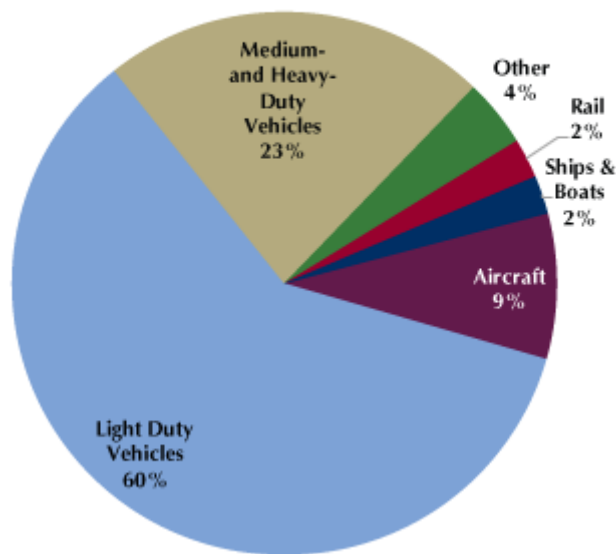
Lokakuun 6. päivänä 2016 hallituksen, teollisuuden ja kansalaisyhteiskunnan edustajat päättivät ICAO:n kanssa uudesta globaaleihin markkinoihin perustuvasta toimenpiteestä (GMBM), jolla säädellään lentoliikenteestä syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Sen tarkoitus on rajoittaa lentoliikenteestä syntyvät hiilidioksiditasot vuoteen 2020, jonka jälkeen ne eivät enää kasva. Toimenpiteessä ovat mukana 65 valtiota, jotka kattavat n. 85 % maailman lentoliikenteestä (AINonline, 2016). Lentoliikenteessä nollapäästöihin päästään käytännössä vain biopolttoaineilla, sillä se on ainoa puhdas tapa korvata lentokerosiini, sillä niissä on tarpeeksi korkea energiatiheys verrattuna muihin energianlähteisiin.

Laivaliikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä aiotaan IMO:n (International Maritime Organisation, kansainvälinen merenkulkujärjestö) mukaan toteuttaa vasta vuonna 2023 (The Guardian, 2016). Laivaliikenteen päästövähennyksiä toteutetaan käytännössä korvaamalla fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla ja maakaasulla. IMO on myös päättä-

nyt, että kaikkien laivojen tulee lipusta huolimatta olla vuonna 2025 30 % energiatehokkaampia vuoden 2014 valmistettuihin laivoihin nähden (IMO, 2017)

UIC (International Union of Railways, kansainvälinen rautatieliitto) on ottanut kontolleen rautatiesektorin ympäristöystävällisemmän ja kestävämmän kehityksen. Päästöjä se pyrkii vähentämään nostamalla energiatehokkuutta sekä vähentämällä paljon päästöjä aiheuttavan teknologian tarvetta. Rautatieliikenteen osuus liikenteen hiilidioksidipäästöistä on kuitenkin erittäin vähäistä (n. 1,5 %) (CER, 2014). Joillekin valtioille, esimerkiksi Intialle, rautatieliikenteen päästöt aiheuttavat toimenpiteitä, jotta Pariisin sopimuksen tavoitteisiin päästäisiin. Junaliikenteen sähköistäminen on kuitenkin suhteellisen helppoa ja se tukee uusiutuvia energianlähteitä todella hyvin, jonka johdosta esimerkiksi Intia aikoo lisätä rautatieyhteyksiään vain entisestään (IEA, 2016).

### 2013 U.S. Transportation Sector CO2 Emissions, by Source



Kuva 3.2 Liikenteen päästöt Yhdysvalloissa sektoreittain vuonna 2013 (Center for climate and energy solutions, 2017)

## 4. TEOLLISET PROSESSIT

Teollisuuden prosessit, kuten kemian-, metalli-, ja metsäteollisuus, ja näistä erityisesti terästeollisuus ja sementin valmistus, synnyttivät vuonna 2010 n. 21 % maailman kasvihuonekaasupäästöistä. (Fischedick et al. 2014). Teollisuuden päästöt syntyvät pääosin malmien, kuten rautamalmin, jalostuksesta, alumiinin sulatuselektrolyysissä, klinkkerin poltosta ja epäsuorasti esimerkiksi muovisen jätteen poltosta. Kevyessä teollisuudessa, kuten lääke- ja elektroniikkateollisuudessa päästöt ovat verrattain vähäisiä (Åhman & Nilsson, 2015). Teollisuuden tuottamia päästöistä on vaikea määrittää kuuluvatko ne energiantuotannon vai teollisen prosessin sektoriin, sillä osa päästöistä syntyy polttoaineen poltosta. Muilla sektoreilla, kuten liikenne- rakennus ja energiantuotannon sektoreilla, hiilineutraali teknologia on kehittynyt todella paljon kahdenkymmenen vuoden aikana (esimerkiksi kehittyneet biopolttoaineet ja aurinkopaneelit), kun taas energiantensiivisillä teollisuuden aloilla kehitystä ei ole tapahtunut juurikaan näin paljon, joten tavoitteisiin pääseminen tu-

lee olemaan todella hankalaa. Parhaalla mahdollisella teknologialla päästään juuri ja juuri 15-30 prosentin päästövähennyksiin. Tämä johtuu siitä, että tällaisten teollisuuden alojen investointisyklit ovat pitkiä (20-40 vuotta) ja niissä on suuret riskit (Åhman, Nilsson & Johansson, 2016).

Jotta Pariisin sopimuksen vaatimiin päästötasoihin päästäisi, teollisuudenaloilla tulisi käyttää ei-fossiilisia polttoaineita ja raaka-aineita, kuten biomassaa, sekä lisätä hiilidioksidin talteenottoa.

Hiilidioksidin varastointi on tehokas tapa vähentää päästöjä, jopa 80 % päästöistä pystytään vähentämään, mutta teknologian liittäminen teollisuuden laitoksiin on hankalaa, koska teollisissa laitoksissa on yleensä paljon ulostuloja päästöille, joissa päästöillä on erilaisia konsentraatioita. Hiilidioksidin varastointi on teollisuuden yrityksille myöskin kannattamaton teknologia, sillä se tuo tuotteelle vain turhaan lisää hintaa, sillä päästöjen vapauttaminen ilmakehään on paljon edullisempää (Åhman & Nilsson, 2015).

Edellä mainitut strategiat saattavat kasvattaa tavallisten teollisuuden tuottamien raaka-aineiden, kuten metallien, hintoja, joka voi johtaa epäreiluun kansainväliseen kilpailuun tai tuotannon siirtämiseen sellaisiin maihin, joissa ilmastopolitiikan aiheuttaman kustannukset ovat pienemmät.

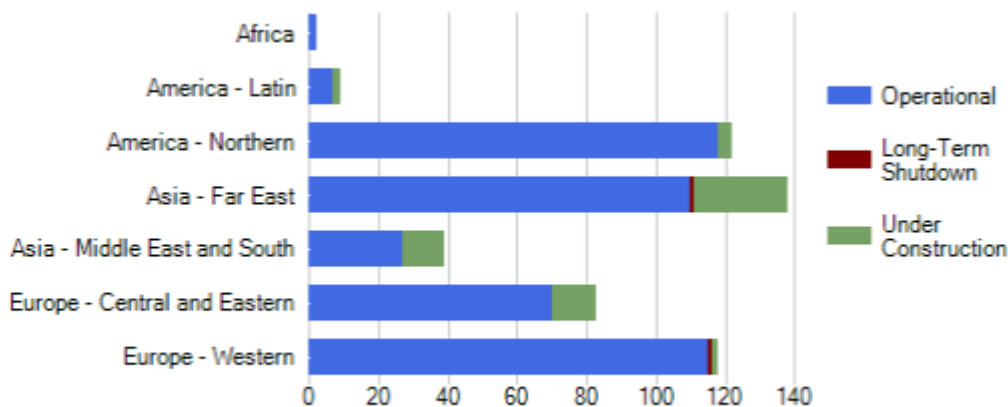
## 5. ENERGIAJÄRJESTELMÄT

Energiantuotannon päästöttömyys on tärkeässä roolissa Pariisin ilmasopimuksessa. Tämä vaatii tiukkoja linjauksia valtioilta, esimerkiksi Suomessa aiotaan vuoteen 2030 mennessä kieltää kivihiilen käyttö kokonaan (Hartikainen, 2016). Fossiilisia polttoaineita aiotaan korvata esimerkiksi ydinvoimalla, bioenergialla ja maakaasulla. Urakka on tältäkin osalta vaativa, esimerkiksi Aasiassa on rakenteilla satoja voimaloita, jotka tulisi sulkea jo kymmenen vuoden sisään, jotta tavoitteisiin päästäisiin.

**Maakaasuteollisuus** on yksi Pariisin sopimuksessa ”voittaneista” aloista, sillä maakaasu tulee olemaan EU:ssa yksi merkittävimpiä kivihiilen korvaajia päästöttömänä energianlähteenä. Maakaasu ei kuitenkaan pysty kokonaan korvaamaan kivihiiltä EU:ssa tai muuallaakaan maailmassa, koska sitä on rajallisesti ja teknologia ei ole siihen riittävä. Maakaasu tulee kuitenkin toimimaan hyvänä joustavana varaenergianlähteenä ja todennäköisemmin näyttää tärkeämpää roolia lämmityksessä ja liikenteen polttoaineena. Myöskin mahdollisuuksista maakaasun käytöstä hiilidioksidivarastona on keskusteltu. Päästöttömän energian kannalta maakaasu siis tulee olemaan hyvä vaihtoehto lyhyelle aikavälille energianlähteenä ja pitkällä aikavälillä sen muut sovellukset lienevät tehokkaampia, kuten edellä mainittu hiilidioksidin varastoiti, koska energiantuotannon kannalta maakaasulle täytyy luoda pitkäkestoisilla investoinneilla tehokkaampia teknologioita (Luomi et al. 2016).

**Ydinvoima** on puhdas ja luotettava energiantuotantotapa, sillä siitä ei synny kasvihuonekaasuja tai muita haitallisia päästöjä. Vaikka ydinenergia on aiheuttanut pelkoa maailmalla, esimerkiksi vuoden 2011 Fukushima onnettomuuden takia, se tulee olemaan monen maan tärkeä energianlähde nykyään ja tulevaisuudessa (kuvassa 5.1 ydinvoimaloiden määrä maailmalla), mutta esimerkiksi edellä mainitun onnettomuuden seurauksena Saksa aikoo luopua kokonaan ydinvoimasta (Yle, 2011). Sähköntuotannon sektorilla pitäisi laskelmien mukaan tehdä 70 % päästövähennyksiä ja nykyisestä teknologiasta ydinvoima on yksi par-

haista päästöttömistä energianlähteistä. Vaikka öljy on nykyään melko edullista, sen hinnan pelätään lähitulevaisuudessa kasvavan, mikä tekee ydinvoimasta edullisemman vaihtoehdon. Ydinvoimaan tarvittava uraani on vain murto-osa ydinenergian kokonaishinnasta. Jotta ydinenergiaa saataisiin valjastettua tehokkaammin käyttöön, se vaatii isoja investointeja nyt. Nykyisissä INDC:issä 10 maata sisällyttää ydinvoiman ilmastostrategioissaan. Näistä maista viidellä on jo ydinohjelma (Argentiina, Intia, Iran, Japani ja Kiina), kahdella valmisteilla olevat reaktorit (Yhdistyneet Arabiemiirikunnat ja Valko-Venäjä) ja kolme ovat mahdollisia käyttäjiä (Jordan, Niger ja Turkki) (IAEA, 2016). Ydinenergiaan sijoittaminen myös avaa myös uusien laitosten myötä uusia työpaikkoja tuotantoteollisuudella, rakennusallalla ja palvelualalla, mikä johtaa talouden kasvuun (IAEA, 2016). Maailmassa on yhteensä 449 toiminnassa olevaa reaktoria, 60 valmisteilla olevaa ja noin 400 GW<sub>e</sub> asennettua kapasiteettia (IAEA PRIS, 2017).



Kuva 5.1 Ydinvoimalat jaoteltuna alueittain (IAEA PRIS, 2017)

**Geotermisellä energialla** on mahdollista vähentää kasvihuonepäästöjä ja varmistaa pitkäaikaista energiantuotantoa. Geotermisen energiantuotanto on luotettavaa, koska ilmastonmuutos ei todennäköisesti tule vaikuttamaan sen tehokkuuteen merkittäväällä tavalla, sekä puhdasta, sillä siitä ei synny hiilidioksidipäästöjä. Maasta voidaan saada lämmön lisäksi myös sähköä, EGS:t (Enhanced Geothermal System) tuottavat sähköä suoraan maasta saatavasta energiasta. Geotermistä voimalaa ei ole kuitenkaan kannattavaa rakentaa mihin vain. Vulkaanisilla alueilla, kuten Islannissa, voimalaitoksen rakentaminen on edullisempaa, koska ei tarvitse porata niin syväälle kuin ei-vulkaanisilla alueilla. Geotermisen voimalaitos vaatii myös suurehkot alkuinvestoinnit (Edehofer et al. 2016).

**Auringosta** saatavaa energiaa voidaan muuntaa hyödynnettävissä olevaan muotoon, sähköenergiaksi tai lämpöenergiaksi, aurinkopaneeleilla. Aurinkoenergia on halventunut vuosien saatossa, esimerkiksi 70-luvulla Yhdysvalloissa yksi watti aurinkoenergiaa maksoi 100 dollaria, kun nykyään sama määrä maksaa yhden dollarin (Vattenfall, 2017). Aurinkopaneelien asennusmäärät ovat nousussa (Taulukot 1 ja 2). Kasvu alkoi Saksassa, mutta nykyään eniten asennuksia tehdään Aasiassa, esimerkiksi Kiinassa ja Japanissa asennettiin vuonna 2015 50 % maailman uudesta kapasiteetista. Saksassa aurinkoenergian tehokkuuden lisääminen on erittäin tärkeää, sillä se tarvitsee puhdasta energiaa korvaamaan ydinvoimaa, josta se aikoo luopua vuoteen 2022 mennessä. Aurinkoenergian suurin haaste piilee siinä, että sitä ei voida tuottaa jatkuvalla syötöllä, johtuen vuodenaajoista ja vuorokauden mukaan vaihtuvasta valon määrästä. Jotta sähköä voitaisiin tuottaa jatkuvasti, tarvitaan varastoja, joista energiaa voitaisiin siirtää kuluttajille yöaikaan. Nämä varastot ovat kuitenkin

kin vielä toistaiseksi kalliita. Aurinkoenergia ei siis yksistään ratkaise puhtaan energiantuotannon ongelmia.

Taulukko 1 Aurinkopaneelimarkkinoiden ennustetut muutokset maailmalla (SolarPower Europe, 2016)

	2015 Total Capacity (MW)	2020 Total Capacity Medium Scenario by 2020 (MW)	2016 - 2020 New Capacity (MW)	2016 - 2020 Compound Annual Growth Rate (%)
China	43,381	130,381	87,000	25%
USA	25,910	85,310	59,400	27%
India	5,048	57,398	52,350	63%
Japan	34,347	63,347	29,000	13%
Pakistan	610	9,985	9,375	75%
Mexico	205	9,080	8,875	114%
Australia	5,093	12,248	7,155	19%
Brazil	69	6,509	6,440	149%
Korea	3,421	9,821	6,400	23%
Egypt	16	4,859	4,843	214%
Philippines	156	3,956	3,800	91%
Canada	2,371	6,056	3,685	21%
Chile	854	4,509	3,655	39%
Thailand	1,444	4,654	3,210	26%
Algeria	268	3,053	2,785	63%
Taiwan	1,176	3,726	2,550	26%
South Africa	1,122	3,457	2,335	25%
Saudi Arabia	100	2,285	2,185	87%
UAE	24	1,786	1,763	138%
Israel	870	2,220	1,350	21%

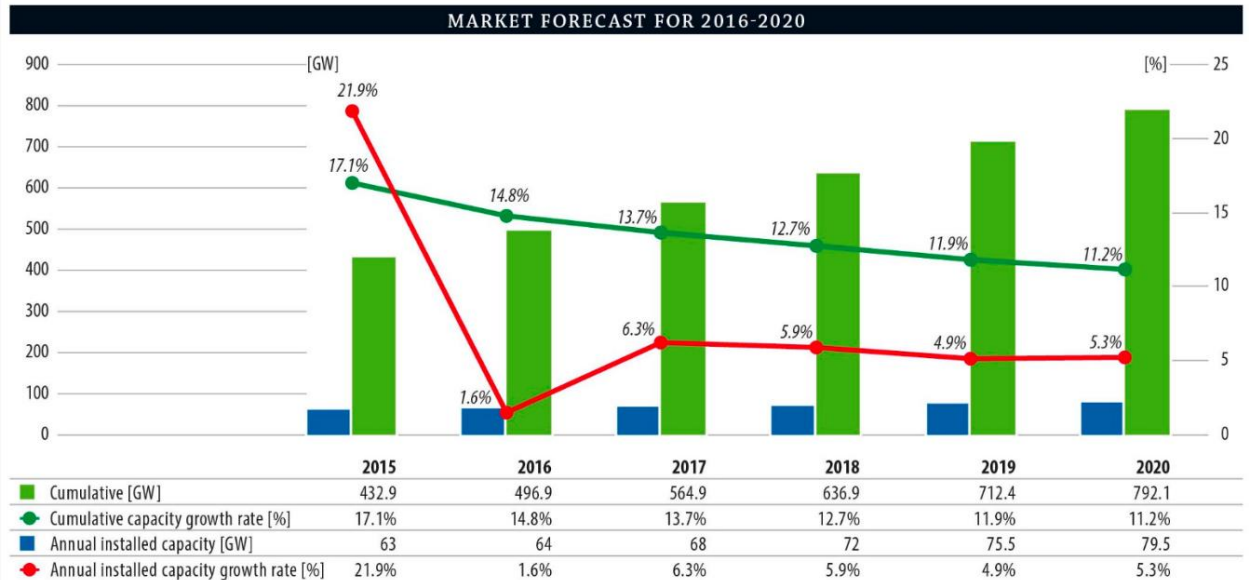
Taulukko 2 Aurinkopaneelimarkkinoiden ennustetut muutokset Euroopassa (SolarPower Europe, 2016)

	2015 Total Capacity (MW)	2020 Total Capacity Medium Scenario by 2020 (MW)	2016 - 2020 New Capacity (MW)	2016 - 2020 Compound Annual Growth Rate (%)
Germany	39,696	48,396	8,700	4%
Turkey	266	8,698	8,433	101%
France	6,511	12,781	6,270	14%
United Kingdom	9,149	14,174	5,025	9%
Italy	18,613	22,613	4,000	4%
Netherlands	1,394	5,044	3,650	29%
Austria	935	3,985	3,050	34%
Spain	5,445	7,205	1,760	6%
Poland	84	1,702	1,618	82%
Denmark	791	2,291	1,500	24%
Switzerland	1,394	2,675	1,281	14%
Greece	2,606	3,691	1,085	7%
Belgium	3,241	3,966	725	4%
Romania	1,325	1,925	600	8%
Ireland	4	512	508	160%
Rest of Europe	5,672	10,393	4,720	13%

**Biomassan** suosio poltto- ja raaka-aineena on kasvanut ja sen tuottamat vaikutukset ovat hyviä. Esimerkiksi sementin tuotannossa biomassa voisi pienentää päästöjä puoleen nykyisestä. Biomassan heikkous on siinä, että sen saatavuus on huono, koska monet muut alat kilpailevat sen käytöstä ja sen tuotanto voi vahingoittaa biodiversiteettiä. Biomassa voi avata myös uusia ovia teollisuudelle edullisille markkinoille, koska liikenteen muuttuessa ympäristöystävällisemmäksi, fossiilipolttoaineiden kysyntä laskee ja biojalostamojen kehitys kasvaa, mikä johtaa biomassan parempaan saatavuuteen (Åhman & Nilsson, 2015). Suomessa biomassaa on saatavilla suhteellisen paljon jo nyt, mutta tulevaisuudessa sitä voi olla jopa enemmän, koska ilmastonmuutoksen johdosta kasvukausi pitenee, ilmasto lämpenee ja ilmaston hiilidioksidipitoisuus kasvaa. On myös olemassa riski, että Suomen metsien puulajiston rakenne muuttuu, joka voi johtaa biomassan saatavuuden heikkenemiseen (Kellomäki, Alam, Kilpeläinen, 2012).

**Tuulivoiman** kapasiteettia on nostettu maailmalla eniten kaikista uusiutuvista energianlähteistä ja esimerkiksi Euroopassa tuulivoimalla säästettiin vuonna 2009 106 miljoona tonnia hiilidioksidia tuulivoimalla, joka vastaa samaa säästöä, joka syntyisi, jos 25 % kaikista Euroopan autoista otettaisiin pois käytöstä (Clausen et al. 2011). Yhdysvalloissa vuonna 2030 arvioidaan tuotettavan 20 % sen sähköstä tuulivoimalla, kun vuonna 2015 tämä osuus oli 4,7 %. (American Wind Energy Association, 2016). Kansainvälinen tuulienergianeuvosto

(Global Wind Energy Council, GWEC) uskoo, että vuoden 2015 tuulivoiman asennettu kapasiteetti tulee tuplaantumaan viidessä vuodessa, johtuen Kiinan ja Euroopan merkittävästä panoksista (GWEC, 2015). Kuva 5.4 kuvaa ennustettua tuulivoimamarkkinoiden kasvua maailmanlaajuisesti ja siitä nähdään, että kasvun on ennustettu olevan suhteellisen tasaista.

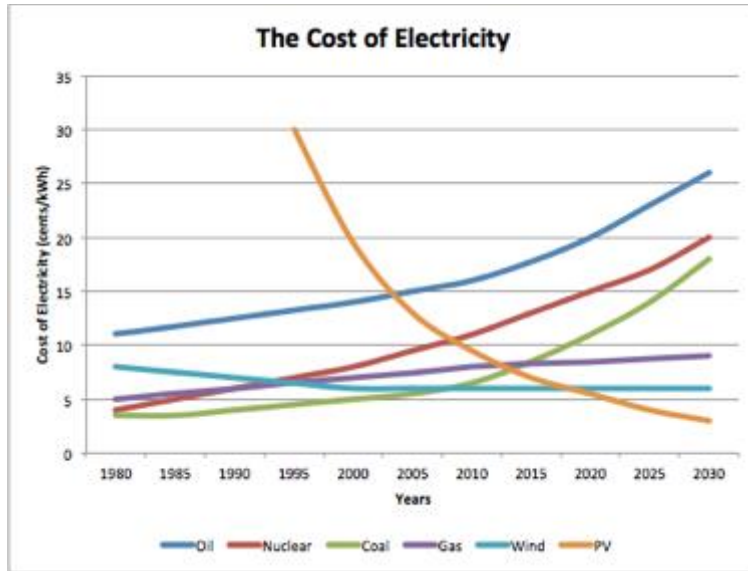


Kuva 5.2 Tuulivoimamarkkinoiden ennustettu kasvu (GWEC, 2015)

**Vesivoima** on yksi suosituimmista uusiutuvan energian tuotantotavoista, vuonna 2010 85 % maailman uusiutuvasta energiasta oli vesivoimalla tuotettua ja 16 % sähköstä tuotettiin vesivoimalla. Vesivoiman osuus verrattuna muihin uusiutuviin energianlähteisiin on laskussa, mutta tämä johtuu siitä, että muita uusiutuvia energianlähteitä on alettu kehittää ja lisätä tehokkaammin. Vesivoima on arvokasta, koska se on suhteellisen edullista, lähes päästötöntä ja tyydyttää nopeasti sähkön kysynnän huiput. Vesivoimasta syntyy epäsuorasti kasvihuonepäästöjä voimalaa rakennettaessa ja tekojärvien täytössä. Vesivoima ei kuitenkaan ole paras mahdollinen ratkaisu Pariisin ilmastopimuksen vaatimuksiin, sillä sen lisääminen on hidasta tai jopa paikoitellen mahdotonta, koska lähes kaikki vesivoimalle otolliset paikat on jo valjastettu käyttöön. Toisaalta vesivoimalla on nykyään erittäin suuri merkitys sähköntuotannossa, joten tärkeintä on sen nykyisen tuotantomäärän säilyttäminen. Vesivoiman tehokkuutta voidaan kuitenkin parantaa esimerkiksi suurentamalla nykyisten vesivoimalaitoksien kapasiteettia tai rakentamalla uusia, pienempiä vesivoimaloita (Center for Climate and Energy Solutions, 2017).



Uusiutuvan energian hinta on ollut laskussa 1990-luvun taitteesta. Hiilen, öljyn ja ydinvoiman hinta on alkanut viime vuosina sen sijaan nousta, kuten kuvasta 5.5 voidaan huomata. Kuva on muuten hyvin suuntaa antava, mutta tuulivoima on vielä 1980-luvulla ollut huomattavasti kalliimpaa, jopa yli 50 snt/kWh ja saavuttanut oheisen kuvan tasot vasta 1990-luvun puolessa välissä (AWEA, 2017)



Kuva 5.3 Energian hinnan kehitys erilaisilla tuotantotavoilla (Peak Oil, 2013)

## 5.1 Sähköjärjestelmät

Sähkön kysyntä tulee IEA:n arvion mukaan kasvamaan vuoteen 2050 mennessä 79 %. Tähän sisältyy liikenteen sähkön kysyntä, joka kattaa tästä n. 7 % (OECD, 2016).

Älykkäät verkot (smart grids) ovat tärkeä keino taistelussa ilmastonmuutosta vastaan. Ne myös lisäävät sähköjärjestelmien luotettavuutta (esimerkiksi sähkökatkokset kuluttajille eivät olisi enää pitkiä) ja tehostavat uusiutuvien energianlähteiden kehitystä. Älykkäät verkot tarkoittavat verkkoja, jotka pystyvät omatoimisesti säätelemään toimintaansa johon vaikuttavat sähköntuottajat ja sen kuluttajat. Sähköverkkojen digitalisointi myös lisää tietoverkkoturvallisuutta ja energiatehokkuutta. Käytännössä älykkäät verkot koostuvat verkoista, johon on liitetty älykkäitä mittareita, jotka mittaavat dataa siitä. Ne pystyvät myös tekemään hinnan allokaatiota, vika-analyysiä ja kysynnän hallintaa. Älykkäät verkot eivät pelkästään helpota sähkön säätelyä, niistä voi olla myös apua esimerkiksi ladattavien sähköautojen (Plug-in electric vehicle, PEV) latauspisteiden suunnittelussa, paikallisessa sähköntuotannossa ja energian varastoinnissa, jotka ovat kaikki hyviä keinoja torjua kasvihuonekaasupäästöjä. IEA väittää, että älykkäiden verkkojen avulla voitaisiin säästää vuosittain 0,9-2,2 Gt CO<sub>2</sub> päästöjä (Clastres, 2011). Muutamissa valtioissa, kuten Italiassa, Kiinassa, Japanissa, Etelä-Koreassa ja Yhdysvalloissa, on tehty kymmenien ja satojen miljoonien dollareiden suuruisia investointeja älykkäiden verkkojen asennuksen ja kehityksen edistämiseksi (IEA, 2016).

Älykkäitä verkkoja aiotaan tulevaisuudessa myös viedä kehitysmaihin. Älykkäillä verkoilla on helpompi tarkkailla ei-teknisiä häviöitä, kuten sähkön varastamista, sekä parantaa sähkövoiman laatua. Verkkojen asentaminen kehitysmaihin vaatii suuria investointeja, mutta se on tarpeellista, jotta kasvava sähkön kysyntä saadaan tyydytettyä kehitysmaissa

kasvattamatta perinteistä, vähemmän ympäristöystävällistä, generaattorikapasiteettia (Depuri et al. 2011).

Eräs merkittävistä sähköjärjestelmien kehityskohteista on sähkön varastointi. Sähkön varastoinnin tavoite on tehdä energiajärjestelmistä edullisempia ja resurssitehokkaampia. Koska osa uusiutuvista sähköntuotantotavoista ovat epävarmoja (esimerkiksi tuulivoiman ja aurinkovoiman jatkuvuutta on vaikea taata), on tärkeää kehittää reservejä, joista sähköä voidaan jakaa, kun sitä tuotetaan vähemmän tai ei lainkaan. Sähköenergiaa voidaan varastoida esimerkiksi akkuihin, superkondensaattoreihin, vetykaasuun tai paineilmaan.

Energiansäästöä sähköntuotannon puolella tehdään myös tulevaisuudessa entistä enemmän kysyntäjoustolla, jota on lisättävä uusiutuvien energiantuotantotapojen lisääntyessä. Kysyntäjousto on sähkönkäytön siirtoa edullisemmille ajankohdille tai sen tehotasapainon hallintaa. Kysyntäjoustopon avulla voivat erilaiset yrityksetkin osallistua markkinoille pien-tuotannon avulla. Suomessa Fingrid kehittää alati uusia sovelluksia kysyntäjoustopon. Fingridillä on mm. kehitteillä projekteja, joissa esimerkiksi kotitalouksien sähkölämmityksiä hyödynnettäisiin kysyntäjoustopona sekä pakkasvarastoja hyödynnettäisiin taajuusohjatuiksi käyttöreserveiksi (Fingrid, 2017)

## 6. PARIISIN SOPIMUKSEN TOTEUTUMINEN ERI VALTIOISSA

EU:lla on kaikkein kunnianhimoisimmat tavoitteet INDC:issä, mutta sillä on ollut vaikeuksia pysytellä mukana pitkän aikavälin tavoitteessaan. Vaikeuksia tuottavat Itä-Euroopan maiden oikeistolaistuneet ”hiilivaltiot”, joiden kanssa on ollut hankaluuksia löytää yhteistä linjausta puhtaamman energiantuotannon puolesta, ja etenkin Puola, jonka energiantuotanto nojaa pääasiassa kivihiiileen. EU voi vaarantaa oman taloutensa, sillä teollisuus voi siirtyä ulkomaille halvempien energianlähteiden, kuten öljyn, perässä, jos muut maat eivät lähde mukaan kamppailuun päästöjä vastaan (Luomi et al. 2016)

Yhdysvaltojen osallistuminen Pariisin sopimukseen näyttää huolestuttavalta, sillä vasta valittu republikaanien Presidentti Donald Trump on uhannut jättäytyä pois sopimuksesta, lopettaa kehitysmaiden ilmastomuutostuen ja leikata puhtaamman energiantuotannon rahoituksesta. Tämä on kuitenkin epävarmaa, sillä Trump on myös antanut lausuntoja jälkeinpäin, joissa on osoittanut olevansa avoimempi sopimusta kohtaan. Mikäli Yhdysvallat jättäytyy sopimuksesta pois, mutta muut valtiot pysyvät, menetetään IEA:n laskelmien mukaan 10 % maailman päästövähennyksistä. Yhdysvallat eivät voi kuitenkaan välittömästi jättäytyä pois sopimuksen noudattamisesta, sillä se joutuu noudattamaan 4 vuoden odotusaikaa. Presidentti Trumpin kuitenkin pelätään lakkauttavan Yhdysvaltain ympäristöhallinnon, EPA:n (Environmental Protection Agency) ja ennestään tavoitteiden saavuttamisen huomioon ottaen riittämättömän puhtaan energian suunnitelman (Clean Power Plan), joka on yksi Yhdysvaltain tärkeimpiä suunnitelmia ilmastomuutosta vastaan (Plumer, 2017).

Intialla on maailman valtioista kolmanneksi suurimmat kasvihuonekaasupäästöt. Intialla on ollut aikaisemmin jo vapaaehtoinen tavoite vähentää sen bruttokansantuotteesta 20-25 prosenttia päästöistä verrattuna vuoden 2005 päästöihin vuoteen 2020 mennessä. Intialla on myös kunnianhimoiset tavoitteet uusiutuvan energian lisäämiseksi, onkin arvioitu, että Intialla olisi vuonna yli 250 GW aurinko- ja tuulivoimakapasiteettia (Clemencon, 2016). Intian INDC:ssä tärkeitä rooleja on puhtaalla energialla, vaikka fossiililla polttoaineilla on suuri merkitys vielä lähivuosisikymmeninä, ja metsäpinta-alan kasvatuksella, jolla nostetaan Intian hiilinielujen kokoa. Intian INDC antaa selkeän kuvan sen säännöistä, joilla se aikoo

osallistua Pariisin Sopimuksen tavoitteiden saavuttamiseen, mutta sen tavoitteet ovat epämääräisiä (Mitra et al. 2015). Intian esittämät tavoitteet ovat erittäin löyhiä, joten se tulee saavuttamaan todennäköisesti ne.

Kiina on maailman suurin kasvihuonekaasupäästäjä, vuonna 2005 se tuotti 5,4 Gt kasvihuonekaasupäästöjä (World Resources Institute, 2016). Kiina on edeltävissä ilmastokouksissa ollut haluton osallistumaan päästöjen vähennyksiin, mutta Pariisin kokoukseen mennessä sen asenteet uusiutuvia energiamuotoja kohtaan on muuttunut parempaan suuntaan. Kiinan nykyisen asenteen johdosta uskotaan, että se pystyy toteuttamaan INDC-tavoitteensa ja arvioiden mukaan Kiinan päästöt voivat saavuttaa huippunsa jo vuonna 2025. Vuoteen 2050 mennessä Kiinan uskotaan pystyvän kattamaan 60 % energiatarpeistaan uusiutuvalla energialla. Kiina aikoo myös kolminkertaistaa ydinvoiman kapasiteettinsa. Kivihiilen käyttö on Kiinassa ollut jo vuodesta 2014 laskussa (Luomi et al. 2016).

Japanilla, joka kuuluu maailman suurimpiin päästöntuottajiin, on edessä vaikeat ajat, mikäli se aikoo noudattaa sopimusta. Vuoden 2011 Fukushima onnettomuuksien johdosta maa lakkautti kaikki ydinvoimalansa, ja on joutunut korvaamaan niistä saatua energiaa hiilellä ja maakaasulla. Japani on asettanut itselleen melko matalat tavoitteet ja se tulee todennäköisesti pysymään niissä, ilman että sen täytyy hankkia energiaa ulkomailta (Luomi et al. 2016).

Latinalaisen Amerikan uusiutumattomien energianlähteiden osuus, joka on n. 70 %, on alle koko maailman keskiarvon, joka on 82 %. Latinalaisella Amerikalla on myös maantieteellisten ominaisuuksien puolesta mahdollista lisätä uusiutuvia energianlähteitä, esimerkiksi Argentiinalla on paljon rantaviivaa, jolle voi rakentaa runsaasti tuulivoimaloita. On arvioitu, ettei Latinalainen Amerikka pysty itse rahoittamaan siirtymäänsä uusiutuviin energianlähteisiin, koska sen maiden hallitukset ovat suhteellisen velkaantuneita, joten sen on saatava kehitysmatuke muilta Pariisin sopimukseen osallistuvilta valtioilta tai houkutellessa itselleen yksityisiä sijoittajia, jotta sopimuksen tavoitteisiin päästäisiin. Brasilia INDC ansaitsee myös erityismaininnan, sillä se on Climate Action Trackerin mukaan yksi kunnianhimoisimmista suunnitelmista. Se sisältää muun muassa biopolttoaineiden lisäystä (Brasilia on yksi maailman suurimmista biopolttoaineiden tuottajista) ja sademetsän laittoman hakkuun lopettamisen, perinteisen uusiutuvan energian lisäämisen lisäksi (Clémenton, 2016).

Valtioiden ei tarvitse välttämättä tukea pelkästään tukea omaa kehitystään Pariisin sopimuksen tavoitteiden edistämiseksi, vaan ne voivat myös vaikuttaa globaalisti yhteisen tavoitteen saavuttamiseksi. Tämä voi tapahtua esimerkiksi antamalla kehitysmaalle tukea ilmasto-osaamisen kehittämisessä (Ekholm & Lindroos, 2016).

## 7. PÄÄTELMÄ

Pariisin sopimus on melko löyhä, sillä se ei aseta mitään laillisesti sitovia tavoitteita valtioille, sen ei mielletä johtavan tarpeeksi jyrkkiin päästövähennyksiin ja se ei sisällä todellisten keinojen esittelyä tavoitteiden saavuttamiseksi. Se ei myöskään aseta tavoitteita monillekaan ilmastonmuutoksen kannalta tärkeille asioille, esimerkiksi hiilivoimalaitosten rakentamisen lopettamiselle tai fossiilisten polttoaineiden syrjäyttämiseksi. Laillisesti sitova ja kaikille reilu sopimus olisi mitä luultavimmin ollut mahdotonta solmia valtioiden erilaisien asemien vuoksi. Sopimus on silti parempi kuin ei mitään, sillä nyt ollaan saatu ensimmäistä kertaa mukaan näin suuri osa maailman valtioista yhteiseen kamppailuun ilmaston-

muutosta vastaan. Pääsääntöisesti Pariisin sopimusta on pidetty uskottavana ja etenkin tutkimusorganisaatiot ovat suhtautuneet siihen erityisen positiivisesti. Kritiikkiä sopimus on saanut kansalaisjärjestöiltä ja liike-elämän organisaatioilta (Ekholm et al. 2017). Mikäli sopimuksen uskottavuus järkkyy, voi sopimuksen toteutuminen olla vaakalaudalla.

Sähköntuotannon merkitys maailmassa tulee kasvamaan mm. liikenteen sähköistymisen ja lisääntyvän kotien sähkölämmityksen johdosta. Sähköllä voi olla iso merkitys myös maataloudessa, mikäli sähkön avulla pystytään tekemään hiilidioksidista rehua ja ruokaa. Tästä tekee tutkimusta VTT ja Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto (Maaseudun Tulevaisuus, 2016). Sähkön hinta voi kallistua hiilineutraaleihin energianlähteisiin siirryttäessä, mutta esimerkiksi Suomessa suurin osa tuotetusta sähköstä on hiilineutraalisti tuotettua, joten hinta ei tule kuluttajille muuttamaan merkittävästi, ainakaan välittömästi. Tällä hetkellä sähkön hinta on laskussa, vaikka uusia uusiutuvaan energiaan perustuvia järjestelmiä asennetaan jatkuvasti. Tämä johtuu mm. ylituotannosta ja matalista hiilidioksidipäästömaksuista (OECD, 2016).

Sähkömarkkinat voivat kohdasta haasteita lähitulevaisuudessa, kun markkinoille saapuu suuret määrät muuttuvaa uusiutuvaa energiaa, jonka tuotannon suuruus vaihtelee olosuhteiden mukaan ja on sähkömarkkinoita vääristävää, jos se on ulkopuolisesti tuettua toimintaa. Sähkömarkkinoita ei ole nykyisellään suunniteltu toimimaan tähän tapaan tuotetun sähkön kanssa, mikä voi johtaa häiriöihin sähkön hinnassa. On myös mahdollista, että jos tukemattomasta sähköntuotannosta tulee liian epäkannattavaa, voi sähkön toimitusvarmuus olla uhattuna äkillisten sääolosuhteiden ja sen sellaisten vaikutuksesta. Fingrid, yhtiö joka ylläpitää ja kehittää Suomen sähkönsiirron kantaverkkoa, on arvioinut, että tulevaisuuden hiilineutraaleissa sähköjärjestelmissä on kaksi kehityspolkua, ”markkinat” ja ”keskusohjattu sähköjärjestelmä”, joista ensimmäinen tarkoittaa nykyistä sähkömarkkinajärjestelmää ja jälkimmäinen poliittisiin päätöksiin perustuvat tuet ja veroratkaisut ohjaavat investointeja. Jälkimmäisellä on vaikea muodostaa uskottavaa markkinahintaa, koska kustannuksia rahoitetaan suoraan kuluttajien veroista, mikä johtaa siihen, että markkinatoimijat eivät pysty kunnolla optimoimaan omaa toimintaansa (Fingrid, 2016). Sähkön hinta kääntyy tulevaisuudessa laskuun, kun uusista uusiutuvia energianlähteitä hyödyntävistä sähköjärjestelmistä saadaan kehittyneempiä ja energiatehokkaampia.

Liikenteen ja energiajärjestelmien muuttamiseen hiilineutraaleiksi on selkeät sävelet (liikenteen sähköistys, uusiutuvien energiantuotantomuotojen lisääminen ja fossiilisten polttoaineiden vähentäminen), mutta esimerkiksi teollisuuden prosessit ovat erityisen hankalia Pariisin sopimuksen toteutumisen kannalta, koska toisin kuin esimerkiksi energiantuotannon muuttaminen hiilineutraaliksi, teollisuuden prosesseihin ei löydy tarpeeksi tehokkaita ratkaisuja. Päästöttömät prosessit vaativat yrityksiltä suuria investointeja, joihin on sitouduttava vuosikymmeniksi. Tälle alalle tarvittaisiin uudenlaista, reilumpaa rahoitusmekaniikkaa, jotta kilpailu voitaisiin pitää reiluna.

Pariisin sopimus on parempi kuin mitä sen odotettiin olevan, mutta silti riittämätön. YK:n raportin, joka kattaa 189 maata, mukaan päästöt saadaan laskuun, mutta ei riittävän nopeasti, jotta selvästi alle 2 asteen keskilämpötilan nousuun päästäisiin (Ympäristö, 2016). 1,5 celsiusasteen tavoite vuoteen 2100 on vielä saavutettavissa, mutta se näyttää tällä hetkellä utopistiselta. Jo vuonna 2018 tapahtuu ensimmäinen INDC:iden tarkastelu, jotta päästövähennystavoitteista saataisiin kunnianhimoisempia.

## LÄHTEET

Autoalan tiedotuskeskus, Autoala ja ilmaston muutos [verkkodokumentti] [viitattu 10.3.2017] Saatavissa

[http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/ymparisto/autoala\\_ja\\_ilmastonmuutos](http://www.autoalantiedotuskeskus.fi/ymparisto/autoala_ja_ilmastonmuutos)

AWEA, The Cost of Wind Energy in the U.S. [verkkodokumentti] [viitattu 19.3.2017] Saatavissa <http://www.awea.org/falling-wind-energy-costs>

Carey B, ICAO Approves Carbon-Offsetting Scheme for Global Aviation [verkkodokumentti] [viitattu 11.11.2016]. Saatavissa <http://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2016-10-06/icao-approves-carbon-offsetting-scheme-global-aviation>

Center for Climate and Energy Solutions, Hydropower [verkkodokumentti] [viitattu 2.2.2017] Saatavissa <https://www.c2es.org/technology/factsheet/hydropower>

CER, Facts and Figures September 2015 [verkkodokumentti] [viitattu 12.11.2016] Saatavissa

<http://www.cer.be/sites/default/files/publication/Facts%20and%20figures%202014.pdf>

Cléménçon R, The Two Sides of the Paris Climate Agreement: Dismal Failure or Historic Breakthrough? [verkkodokumentti] [viitattu 23.12.2016]. Saatavissa <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1070496516631362>

Climate Action Tracker, Effect of current pledges and policies on global temperature (2017) [verkkodokumentti] [viitattu 5.1.2017] Saatavissa

<http://climateactiontracker.org/global.html>

Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Seyboth K, Matchoss P, Kadner S, Zwickel T, Eickemeier P, Hansen G, Schlömer S, Von Stechow C, Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation; Chapter 4: Geothermal [verkkodokumentti] [viitattu 4.12.2016] Saatavissa [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf)

Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., von Stechow, C. and Matschoss, P. (eds.) (2011) Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Saatavissa <https://www.cambridge.org/core/books/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/3B81067C8A69D047CD41F000E7EDED4B>

Ekholm T, Kulovesi K, Laine A, Lindroos T, Siljander R, Sulkinoja M, Tynkkynen O, Pariisin ilmastopimuksen kansainvälinen vastaanotto ja tulevaisuudennäkymät [verkkodokumentti] [viitattu 26.11.2016] Saatavissa

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2016/VTT-R-02661-16.pdf>

Ekholm T, Lindroos, T, Pariisin ilmastopimus – panoksia jo pöydällä, riittävätkö ne? [verkkodokumentti] [viitattu 10.12.2016] Saatavissa

<http://tietokayttoon.fi/documents/1927382/2116852/Pariisin+ilmastopimus%E2%80%9393>

[panok-sia+jo+p%C3%B6yd%C3%A4ll%C3%A4%2C+riitt%C3%A4v%C3%A4tk%C3%B6+ne/05564fa4-6731-4028-8288-8f9fc7632090?version=1.0](http://panok-sia+jo+p%C3%B6yd%C3%A4ll%C3%A4%2C+riitt%C3%A4v%C3%A4tk%C3%B6+ne/05564fa4-6731-4028-8288-8f9fc7632090?version=1.0)

Fingrid, Kysyntäjousto [verkkodokumentti] [viitattu 27.12.2016] Saatavissa <http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/Kysyntajousto/Sivut/default.aspx>

Fingrid, Sähkömarkkinat korjauksen tarpeessa – mitä voimme tehdä? [verkkodokumentti] [viitattu 7.3.2017] Saatavissa <http://www.fingrid.fi/fi/ajankohtaista/Ajankohtaista%20liitteet/Lehdist%C3%B6tiedoteliitteet/2016/FINGRID-Sahkomarkkinat-tulevaisuus-2016-WEB.PDF>

Fischedick M., J. Roy, A. Abdel-Aziz, A. Acquaye, J.M. Allwood, J.-P. Ceron, Y. Geng, H. Khesghi, A. Lanza, D. Perczyk, L. Price, E. Santalla, C. Sheinbaum, and K. Tanaka, 2014: Industry. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change; Chapter 10: Industry [verkkodokumentti] [viitattu 29.11.2016] Saatavissa <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>

Global Wind Energy Council, Market Forecast for 2016-2020 [verkkodokumentti] [viitattu 5.12.2016] Saatavissa <http://www.gwec.net/global-figures/market-forecast-2012-2016/>

Hartikainen J (Helsingin Sanomat), Hallitus aikoo tehdä Suomesta ensimmäisen valtion, joka kieltää lailla kivihiilen käytön – “Se olisi naisten äänioikeuteen verrattava linjaus”, [verkkodokumentti] [viitattu 15.1.2017] Saatavissa <http://www.hs.fi/politiikka/art-2000002928319.html>

IAEA PRIS, The Database on Nuclear Power Reactors [verkkodokumentti] [viitattu 2.2.2017] Saatavissa <https://www.iaea.org/pris/>

IAEA, Climate Change and Nuclear Power 2016, [verkkodokumentti] [viitattu 10.12.2016] <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/CCANP16web-86692468.pdf>

IEA, Support for the Electro-Mobility Declaration and Call to Action (2016) [verkkodokumentti] [viitattu 1.11.2016] Saatavissa <http://newsroom.unfccc.int/media/523498/international-energy-agency.pdf>

IEA, Technology Roadmap; Smart Grids (2011) [verkkodokumentti] [viitattu 13.12.2016] Saatavissa [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids\\_roadmap.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf)

IMO, Low carbon shipping and air pollution control [verkkodokumentti] [viitattu 10.3.2017] Saatavissa <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/GHG/Pages/default.aspx>

Kellomäki S, Alam A, Kilpeläinen A, Climate Change and Energy Systems; Chapter 8. Forest biomass for fuel production – potentials, management and risks under warmer climate (2012) [verkkodokumentti] [viitattu 3.11.2016] Saatavissa [http://www.eclise-project.eu/content/mm\\_files/do\\_815/Norden%20report%20-%20renewable%20energy%20and%20climate.pdf](http://www.eclise-project.eu/content/mm_files/do_815/Norden%20report%20-%20renewable%20energy%20and%20climate.pdf)

Liesimäki P, Ruokaa ilmasta ja sähköstä – ihmisruokaan vielä pitkä matka [verkkodokumentti] [viitattu 12.2.2017]. Saatavissa <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/ruokaa-ilmasta-ja-s%C3%A4hk%C3%B6st%C3%A4-ihmisruokaan-viel%C3%A4-pitk%C3%A4-matka-1.169389>

LCAA, Paris Declaration on Electro-Mobility and Climate Change and Call to Action [verkkodokumentti] [viitattu 19.3.2017] Saatavissa <http://newsroom.unfccc.int/media/521376/paris-electro-mobility-declaration.pdf>

Luomi M, Barret S, Heffron R, Mitchell J, Robinson D, Grimston M, Ladislav S, Hilton I, Hollanda L, Sen A, Buchan D, Howard A, Lawrence F, Johnson P, Dings J, Caldecott B, Kruitwagen L, Kok I, A Quarterly Journal for debating energy issues and policies; COP21 and the implications of energy, 2016

Mitra A, Damassa T, Fransen T, Stolle F, 5 key takeaways from India's new climate plan (INDC), [verkkodokumentti] [viitattu 5.3.2017]. Saatavissa <http://www.wri.org/blog/2015/10/5-key-takeaways-india%E2%80%99s-new-climate-plan-indc>

Nilsson J, Åhman, M, Trade and Industrial Policy Strategies, Chapter 5: Decarbonising industry in the EU – climate, trade and industrial policy strategies (2015) [verkkodokumentti] [viitattu 14.11.2016] Saatavissa <http://portal.research.lu.se/portal/files/5866806/8862121.pdf>

OECD, Energy Transition after the Paris Agreement: Policy and Corporate Challenges [verkkodokumentti] [viitattu 13.2.2017] Saatavissa <https://www.oecd.org/sd-roundtable/papersandpublications/Energy%20Transition%20after%20the%20Paris%20Agreement.pdf>

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, FACT #918: MARCH 28, 2016 GLOBAL PLUG-IN LIGHT VEHICLE SALES INCREASED BY ABOUT 80% IN 2015 [verkkodokumentti] [viitattu 2.2.2017] Saatavissa <https://energy.gov/eere/vehicles/fact-918-march-28-2016-global-plug-light-vehicle-sales-increased-about-80-2015>

Peak Oil, Trends In The Cost of Energy (2013) [verkkodokumentti] [viitattu 10.3.2017] Saatavissa <http://peakoil.com/alternative-energy/trends-in-the-cost-of-energy>

Plumer B (Vox), Trump plans to roll back Obama's Clean Power Plan. Here's how he'll do it. [verkkodokumentti] [viitattu 1.3.2017] Saatavissa <https://www.theguardian.com/us-news/2017/feb/02/donald-trump-plans-to-abolish-environmental-protection-agency>

SolarPower Europe, Global Market Outlook For Solar Power / 2016-2020, [verkkodokumentti] [viitattu 2.2.2017] Saatavissa [http://www.solareb2b.it/wp-content/uploads/2016/06/SPE\\_GMO2016\\_full\\_version.pdf](http://www.solareb2b.it/wp-content/uploads/2016/06/SPE_GMO2016_full_version.pdf)

The Guardian, Shipping industry criticised for failure to reach carbon emissions deal (2016) [verkkodokumentti] [viitattu 10.3.2017] Saatavissa <https://www.theguardian.com/environment/2016/oct/28/shipping-industry-fails-agreement-cap-carbon-emissions>

Transport and Environment, Aviation emissions and the Paris Agreement (2016) [verkkodokumentti] [viitattu 2.11.2016] Saatavissa <https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/Aviation%202030%20briefing.pdf>

Vattenfall, Aurinkoenergian tulevaisuus [verkkodokumentti] [viitattu 27.12.2017] Saatavissa <https://corporate.vattenfall.fi/tietoa-energiasta/sahkon-jalammontuotanto/aurinkoenergia/aurinkoenergian-tulevaisuus/>

World Resources Institute, World Greenhouse Gas Emissions in 2005 (2009) [verkkodokumentti] [viitattu 11.11.2016]. Saatavissa <http://www.wri.org/publication/world-greenhouse-gas-emissions-2005>

World Resources Institute, CAIT Climate Data Explorer [verkkodokumentti] [viitattu 28.12.2016]. Saatavissa <http://cait.wri.org/>

YLE, Saksa sulkee kaikki ydinvoimalansa vuoteen 2022 mennessä [verkkodokumentti] [viitattu 28.11.2016]. Saatavissa <http://yle.fi/uutiset/3-5368386>

Ympäristö, Neuvottelut Pariisiin ilmastopimuksen toimeenpanosta käynnistyvät Bonnissa [verkkodokumentti] [viitattu 1.2.2017] Saatavissa [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Neuvottelut\\_Pariisiin\\_ilmastopimuksen\\_t\(39169\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Neuvottelut_Pariisiin_ilmastopimuksen_t(39169))

Ympäristöministeriö, Pariisin ilmastopimus [verkkodokumentti] [viitattu 1.11.2016] Saatavissa <http://www.ymparisto.fi/pariisi2015>

Åhman M, Nilsson L, Decarbonizing Industry in the EU: Climate,