



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Elisa Kallio

Uusiutuvan energian hyödyntäminen Suomen sähköntuotannossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

8.11.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Elisa Kallio Uusiutuvan energian hyödyntäminen Suomen sähkötuotannossa 46 sivua 8.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkötekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Jukka Karppinen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus on lisätä tietoutta lukijalle uusiutuvasta energiasta sähköntuotannossa, miksi sen käyttöä halutaan lisätä ja kuinka sitä voitaisiin hyödyntää enemmän tulevaisuudessa.</p> <p>Työssä tutkittiin Suomen ja EU:n energia- ja ilmastopolitiikkaa sekä ilmastopimuksia, joihin on sitouduttu. Energia- ja ilmastopolitiikan sopimusten pohjalta on kehitetty energiatukijärjestelmiä, jotka edesauttavat uusiutuvan energian kehitystä sekä kapasiteetin kasvua. Lisäksi käsiteltiin erilaisia sähköntuotantomuotoja, jotka hyödyntävät uusiutuvaa energiaa. Tällaisia ovat myös pientuotantolaitokset, joiden uskotaan yleistyvän tulevaisuudessa. Työssä tarkasteltiin myös yksilön mahdollisuuksia vaikuttaa niin kuluttajana kuin tuottajana. Ajantasaisen tiedon saamiseksi työssä hyödynnettiin hyvin pitkälti verkkoaineistoa mutta myös kirjallisuutta käytettiin tutkimuksessa.</p> <p>Työssä saatiin havainnollistettua, kuinka uusiutuvaa energiaa hyödynnetään ja miltä uusiutuvan energian tulevaisuus näyttää johtuen tarpeesta vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ilmaston kannalta. Työstä voi huomata kuinka yksittäisen kuluttajan ja pientuotannon rooli on merkittävä sähköntuotannon murroksessa. Uusiutuva energia ja siinä hyödynnettävä teknologia ovat avainasemassa tulevaisuudessa. Valmiilla työllä aikaansaatiiin lukijalle tietopaketti uusiutuvasta energiasta nyt ja tulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	uusiutuva energia, sähköntuotanto, energialähteet

Author Title	Elisa Kallio Utilization of Renewable Energy in Electricity Production in Finland
Number of Pages Date	46 pages 8 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Professional Major	Electrical power engineering
Instructors	Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis study is to increase the reader's awareness of renewable energy in electricity generation: why we want to increase its use and how it could be utilized more in the future.</p> <p>The work examined the energy and climate policies of Finland and the EU and the climate agreements to which they are committed. Based on the agreements on energy and climate policy, energy support systems have been developed to promote the development of renewable energy and increase its capacity.</p> <p>In addition, various forms of electricity generation using renewable energy are discussed in the thesis. This is also the case for small production facilities, which are expected to become more common in the future. The thesis also looks at the possibilities of the individual to function both as a consumer and as a producer. In order to obtain up-to-date information, online material was often used in the work, but field-related literature was also used in the research.</p> <p>The work illustrates how renewable energy is utilized and what the future of renewable energy looks like from a climate perspective, due to the need to reduce greenhouse gas emissions. The work shows how the role of the individual consumer and small-scale production plays a significant role in the transformation of electricity production. Renewable energy and the technology to be utilized in it will play a key role in the future. The completed work provides the reader with an information package of the renewable energy now and in the future.</p>	
Keywords	renewable energy, electricity production, sources of energy

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Uusiutuva energia sähköntuotannossa ja nykytilanne Suomessa	1
2.1	Tuulivoima	3
2.2	Aurinkovoima	7
2.3	Bioenergia	9
2.4	Vesivoima	10
2.5	Hiilidioksidipäästöt uusiutuvassa energiassa	12
3	Suomen ja EU:n energia- ja ilmastopolitiikka	14
3.1	Suomen energia- ja ilmastotavoitteet	14
3.2	Euroopan unionin ilmastopolitiikka	16
3.3	Ilmastopuitesopimus	17
3.4	Kioton pöytäkirja	19
3.5	Pariisin ilmastopöytäkirja	20
3.6	Kasvihuonekaasupäästöjen seuranta ja raportointi	21
3.7	Syöttötariffi ja muut energiatukijärjestelmät	22
4	Yksilön vaikutukset sähkönkulutuksessa ja -tuotannossa	24
5	Uusiutuvien energialähteiden tulevaisuus	33
6	Yhteenveto	38
	Lähteet	39

Lyhenteet

CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto.
EU	Euroopan unioni. Taloudellinen ja poliittinen liittoutuma, johon kuuluu 28 Euroopan valtiota.
IEA	Kansainvälinen energiajärjestö. Vuonna 1974 perustettu järjestö, jonka tarkoitus on edistää kansainvälistä yhteistyötä energia-alalla.
LULUCF	Maankäyttö, maankäytön muutos ja metsätalous -sektori. LULUCF käsittää metsien, maatalousmaiden ja kosteikkojen päästöt ja nielut.
m/s	Metriä sekunnissa. Nopeuden yksikkö SI-järjestelmässä.
MVA	Megavoltttiampeeri. 1 000 000 voltttiampeeria. Voltttiampeeri on näennäistehon yksikkö SI-järjestelmässä.
MW	Megawatti. 1 000 000 wattia. Watti on tehon yksikkö SI-järjestelmässä.
TW	Terawatti. 1 000 000 000 000 wattia. Watti on tehon yksikkö SI-järjestelmässä.
TWh	Terawattitunti. 1 000 000 000 000 wattituntia. Wattitunti vastaa watin tehoa tunnin ajan. Terawattituntia käytetään, kun ilmaistaan tuotettu energiamäärä.
UNEP	Yhdistyneiden kansakuntien ympäristöohjelma. Huolehtii ihmisten asuin- ja elinympäristöstä sekä edistää alan kansainvälistä yhteistyötä ja maapallon kestäväää kehitystä.
YK	Yhdistyneet kansakunnat. Kansakuntien yhteistyöjärjestö, joka on perustettu vuonna 1945. Järjestön tarkoitus on estää uusien sotien syttyminen ja edistää turvallisuutta, ihmisoikeuksia, kestäväää kehitystä sekä kansainvälistä oikeutta.

1 Johdanto

Kiihtyvä ilmastonmuutos on vakava ympäristöuhka. Energiatuotannolla on tähän merkittävä vaikutus. Fossiiliset polttoaineet aiheuttavat suuren osan kasvihuonekaasupäästöistä. Suomen tavoitteena on olla tulevaisuudessa hiilineutraali valtio ja yhdessä muiden valtioiden kanssa rajata maapallon lämpeneminen 1,5 asteeseen. Tämän myötä uusiutuvaa energian osuutta halutaan lisätä myös Suomessa. Tavoite on, että 2020-luvulla uusiutuvan energian osuus loppukulutuksesta on yli 50 prosenttia.

Tässä työssä tutkitaan uusiutuvan energian hyödyntämistä sähköntuotannossa ja tulevaisuudennäkymiä. Uusiutuvan energian käyttö on lisääntynyt paljon mutta silti tavoitetta on hyödyntää sitä vielä paremmin tulevaisuudessa. Uusiutuvan energian käyttöä lisää tavoite päästä fossiilisista energialähteistä eroon ja rajoittaa ilmastonlämpenemistä.

Tämän työn tavoitteena on luoda tietopaketti uusiutuvasta energiasta ja sen nykytilasta Suomessa sekä sen tulevaisuudennäkymistä. Työssä käsitellään erinäisiä uusiutuvan energian lähteitä ja paneudutaan niiden mahdollisiin ympäristövaikutuksiin. Näillä keinoin pyritään luomaan kokonaiskuvaa uusiutuvan energian hyödyntämisestä sähköntuotannossa ja erilaisten tuotantomuotojen kestävydestä tulevaisuudessa. Lisäksi työssä selvitetään mitä energia- ja ilmastotavoitteita Suomella on ja minkälaisia ovat kansainväliset ilmastositoumukset sekä EU:n ilmastopoliittika.

2 Uusiutuva energia sähköntuotannossa ja nykytilanne Suomessa

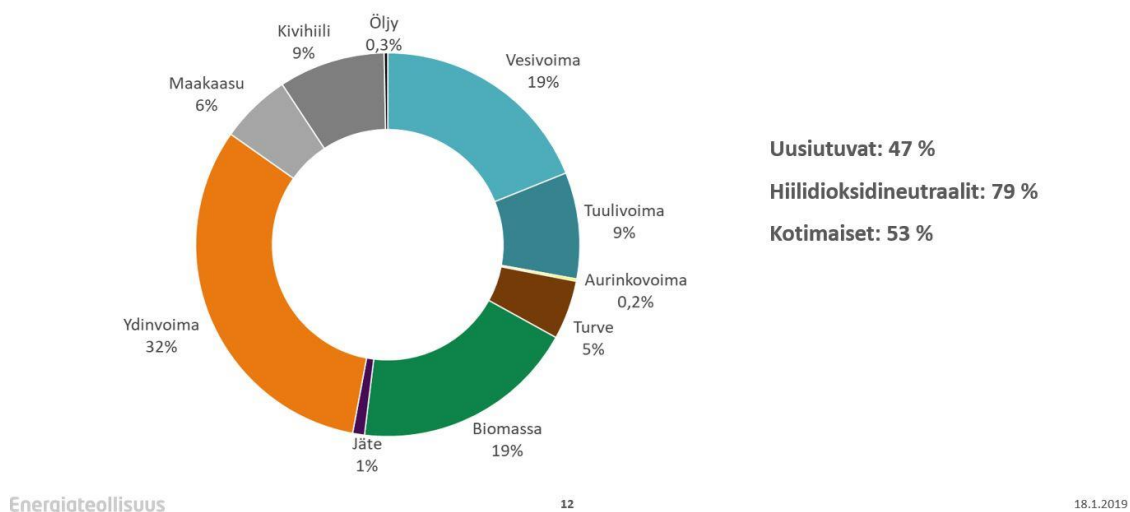
Suomi on maailman johtavia maita uusiutuvien energialähteiden hyödyntämisessä. Eri-tyisesti kotimaista bioenergiaa hyödynnetään paljon. Uusiutuvien energioiden lisääntyvä käyttö perustuu siihen, että irrottaudutaan fossiilisista polttoaineista sekä vähennetään hiilidioksidipäästöjä. Uusiutuvan energian hyödyntämisen katsotaan myös lisäävän energian omavaraisuutta, työllisyyttä sekä sen katsotaan tukevan alan teknologian kehitystä.

[1.]

Uusiutuvan energian tuotanto on saavuttanut oman ennätöksensä, 47 % osuuden sähköntuotannossa. Hiilidioksidipäästöt ovat myös pienentyneet ja niiden määrä on 5800 tuhatta tonnia. [2.]

Kuvasta 1 voidaan huomata uusiutuvien energialähteiden osuuden sähköntuotannossa ja sen kuinka se on jakautunut. Vesivoiman ja biomassan osuudet ovat suurimmat molempien ollessa 19 % ja tämän jälkeen tuulivoima 9 %. Aurinkovoiman osuus on pienin eli 0,2 %. [3.]

Sähköntuotanto energialähteittäin 2018 67 TWh



Kuva 1. Sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2018 [3.]

Uusiutuvan energian määrää halutaan kuitenkin nostaa lisää nykyisestä. Tavoite on, että uusiutuvan energian määrä loppukulutuksessa on yli 50 prosenttia 2020-luvun aikana. [4.]

Suomella on tavoitetila olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja tästä nopeasti hiilinegatiivinen. Uusiutuvan energian määrän nosto on yksi tärkeä tekijä tässä tavoitteessa. [5.]

2.1 Tuulivoima

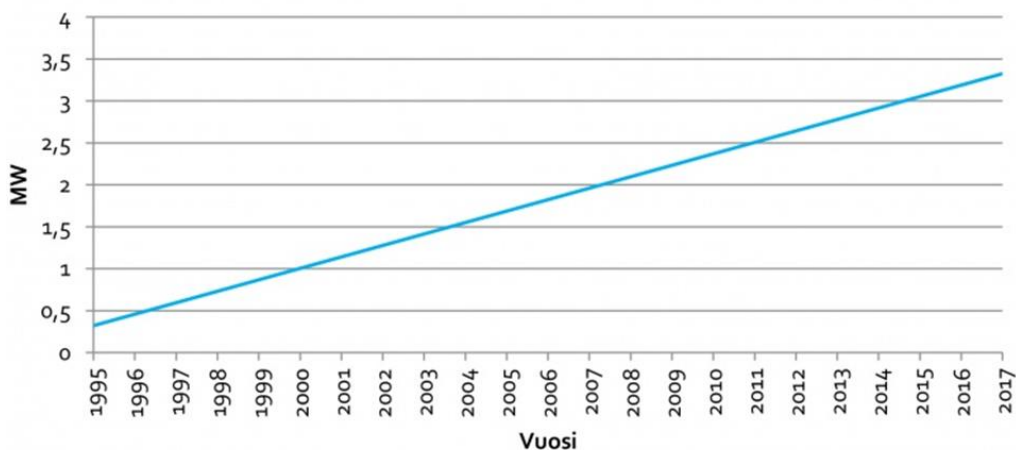
Tuulivoimassa tuulen liike-energia muunnetaan tuuliturbiinien avulla sähköksi. Tuotannossa ei synny välitöntä päästöä maahan, ilmaan tai veteen. Tuulivoimalaitos tarvitsee käynnistyäkseen tuulen nopeudeltaan 3,5 m/s. Voimalan tuotanto lisääntyy tuulen nopeuden kasvaessa. Tuulen nopeuden ollessa yli 25 m/s voimalat yleensä pysäytetään, että vältettäisiin laitevauriot. Tuulituotannon tuotantokapasiteetti vaihtelee paljon sään/tuulisuuden mukaan, mutta edes tuulettomina päivinä tämä ei tuota ongelmia tuotannon ollessa hajautettua ympäri Suomen ja tuulivoiman ollessa vain osa sähköntuotantoa. Suomessa tuulivoimaa ajatellen paras tuotantoaika on talvisin, koska siihen vuodenaikaan Suomessa on tuulisinta. Suomessa tuulivoima on vielä suhteellisen uusi asia. Voimaloita on vähitellen ruvettu rakentamaan enemmän. [6.]

Tuulivoimakapasiteettia voisi kuitenkin edelleen kasvattaa reilusti nykytilanteeseen verrattaessa. Tuulivoimaloita olisi parhaan hyötysuhteen saadakseen hyvä sijoittaa Lappiin, rannikolle sekä merialueille mutta teknologian kehittyessä myös sisämaalle sijoittaminen on vaihtoehto. [7.]

Maailmalla tuulivoima on tehokkaimmin kasvanut sähköntuotantomuoto 1990-luvulta lähtien. Euroopassa vuonna 2016 tuulivoimasta tuli toiseksi suurin tuotantomuoto ja näin se syrjäytti hiilen energiantuotannossa. [8.]

Suomessa tuulivoimaloiden rakentaminen alkoi myöhemmin kuin muualla Euroopassa. Tuulivoimalarakentaminen pääsi kuitenkin hyvin vauhtiin 2012–2013 ja rakennus- sekä tuotantotilastoja on rikottu vuosittain. Kuvassa 2 on esitetty tuulivoimaloiden keskitehon kasvu, joka on noussut vuosittain. Suomessa rakennettavien tuulivoimaloiden koko keskiteholtaan on sama kuin muuallakin maailmassa. [9.]

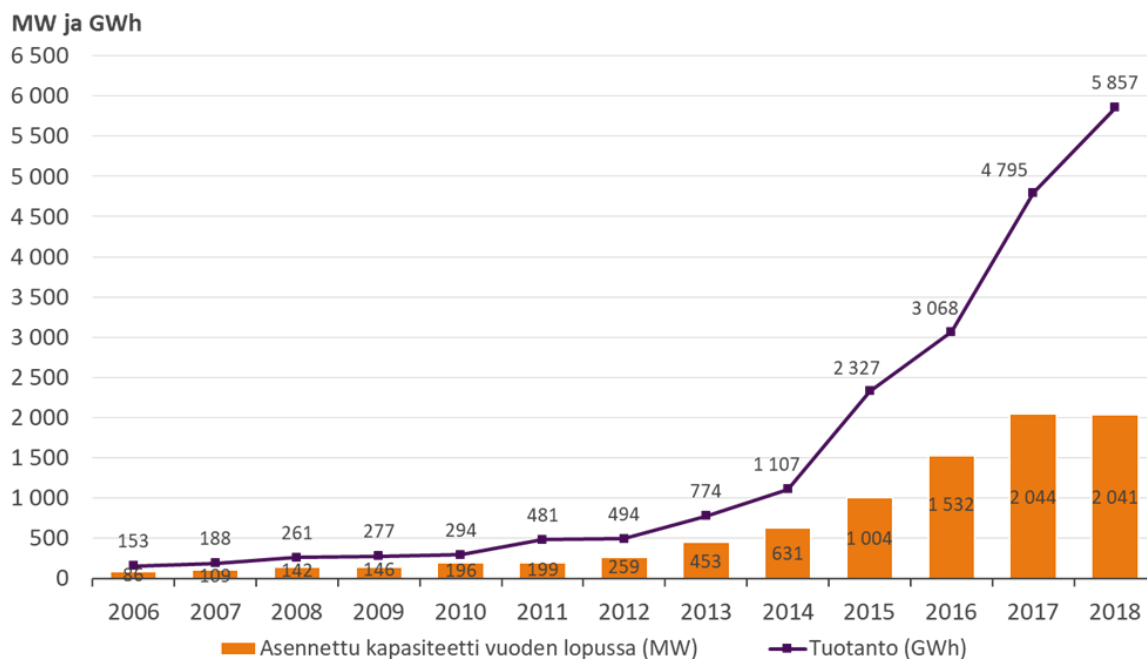
Asennettujen tuulivoimaloiden keskimääräinen koko (Trendiviiva)



Kuva 2. Suomeen asennettujen tuulivoimaloiden keskimääräinen koko 2017. [10.]

Tuulivoima tarvitsee vielä yhteiskunnallista tukea johtuen alhaisesta sähkön hinnasta. Aikaisemmin tuulivoimaa tukimekanismina on käytetty syöttötariffia mutta tästä luovuttiin 1.11.2017. Syöttötariffin ansiosta tuulivoimatuotanto kasvoi merkittävästi lyhyessä ajassa. Uusimpana tukimekanismina on ollut käytössä tuotantotuen kilpailutus, joka on myös muualla maailmalla ollut käytössä. Tuen kilpailutuksen tarkoitus on, että tuulivoimaloita pystytään rakentamaan ilman tukea, ainoastaan sähkön markkinahinnan turvin. Ensimmäinen kilpailutus järjestettiin vuonna 2018 joista valittiin seitsemän tuen saajaa, jotka kaikki olivat tuulivoimaan perustuvia hankkeita. [9;11.]

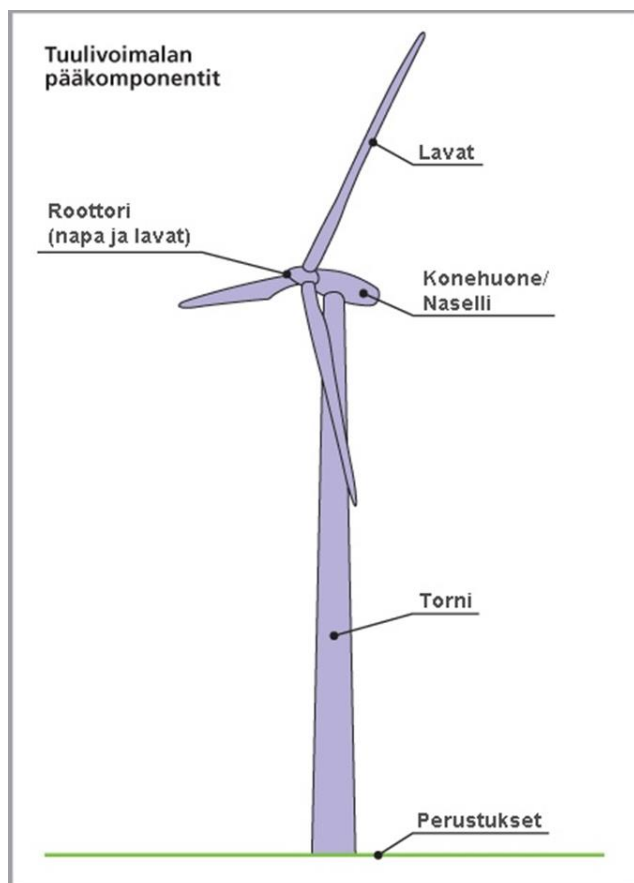
Suomessa tuulivoimaloita rakennettiin tehokkaimmin vuonna 2016, jolloin uusia voimaloita tuli 182 näiden yhteiskapasiteetin ollessa 570 MW. Tuulivoimakapasiteetti vuonna 2018 oli Suomessa 2041 MW, jolla sähköä tuotettiin noin 5,9 TWh. Tämä vastasi Suomen sähköntuotannon kulutuksen osuudesta 7 %. Kuvassa 3 esitetään tuulivoiman kapasiteetin sekä tuotannon kehitys. [9; 12.]



Kuva 3. Tuulivoimatuotanto ja kapasiteetti. [12.]

Suurin osa voimaloista sijoittuu Pohjois-Pohjanmaalle osuuden ollessa 42 %. Suomen suurin tuulipuisto sijaitsee Pohjanmaalla Kristiinankaupungin Metsälässä. Tuulipuistossa on 34 tuulivoimalaa. Eniten tuulivoimaloita sijaitsee Kalajoella, jossa on 64 voimalaa. [9.]

Kuvassa 4 on esitetty tuulivoimalan rakenne, johon kuuluu torni, perustukset, roottori, joka käsittää navan ja lavat, sekä konehuone eli naselli. [13.]



Kuva 4. Tuulivoimalan osat. [14.]

Tuulivoimalan koosta puhuessa voidaan käyttää joko nimellistehoa eli tuulivoimalan enimmillään tuottamaa tehoa (MW), napakorkeutta, vuosituottoa tai roottorin halkaisijaa. Yleisimmin koosta puhuttaessa käytetään kuitenkin nimellistehoa. Tuulivoimala ei tuota kuitenkaan koko ajan nimellistehollaan, tuulen nopeuden vaikuttaessa tuotantoon. Tuotannon tehokkuuteen vaikuttaa myös roottorin pyyhkäisyypinta-alan koko. Myös napakorkeus vaikuttaa, koska tuotanto on tehokkaampaa mitä korkeammalla ollaan tuulen ollessa voimakkaampaa ja tasaisempaa. [13.]

Yleisimpinä voimaloina nykyaikana käytetään vaaka-akselisia, kolmelapaisia ja roottori sijaitsee tuulen yläpuolella. Nimellisteho on 2–5 MW välillä. Hyötysuhde näissä malleissa on hyvä, ja ne ovat taloudellisesti edullisin ratkaisu. [15.]

Vaaka-akselisen voimalan pyyhkäisyypinta-ala määräytyy lapojen kärkien piirtämän ympyrän kattavasta pinta-alasta. Pyyhkäisyypinta-ala on vaaka-akselisessa voimalassa iso, jolloin tuotanto myös kasvaa. Roottorissa ollessa kolme lapaa on pyörähdyssymmetria tasapainossa, ja kaikkien akseleiden suhteen massahitusvoimat ovat myös tasapainossa. Jos käytettäisiin vähemmän kuin kolmea lapaa, aiheuttaisi tämä koneistoa rasittavaa värinää, jonka aiheuttaa se, ettei massahitusvoimat ole tasapainossa vaaka- ja pystyakseleiden suhteen. On katsottu, ettei lapojen lisääminen roottoriin lisää tuotantoa yhtään enempää kuin lapojen ollessa kolme, kun huomioidaan kustannukset, joita lavan lisääminen tuo. [16.]

2.2 Aurinkovoima

Auringon säteilyn energiamäärä on suuri, tehon ollessa maan pinnalla 170 000 TW, mutta siitä pystytään hyödyntämään vain pieni osa. [17.]

Aurinkosähkön tuotanto perustuu auringon säteilyenergian hyödyntämiseen. Auringon säteilyenergia liikkuu fotonien avulla. Fotonien osuessa aurinkokennoihin ne luovuttavat energiansa kennojen materiaalin elektroneille. Elektronit taas muodostavat sähkövirtaa aurinkokennojen virtajohtimiin. Kennojen kytkentöjä muuttamalla saadaan tehtyä haluttu suuruinen virta ja jännite. Aurinkopaneelien jännite koostuu sarjaan kytkettyjen kennojen jännitteiden summasta. Kokonaisvirta koostuu rinnan kytkettyjen kennojen virtojen summasta. Aurinkopaneeli tuottaa tasasähköä, joka poikkeaa sähköverkossa olevasta vaihtovirrasta. [18.]

Paneelien tuottamaa tasasähköä pystytään hyödyntämään seuraavasti:

- Suoraan sähkölaitteisiin, jotka käyttävät tasasähköä (esim. kodinkoneet) kohteessa, jota ei ole liitetty sähköverkkoon.
- Tasasähkö muuntamalla vaihtosähköksi hyödyntäen vaihtosuuntaajaa eli invertteriä. Sitten voidaan vaihtosähköä käyttää sähkölaitteisiin, jotka käyttävät vaihtosähköä kuten kodinkoneissa tai lämminvesivaraajassa. Tämä on yleistä kohteissa, jotka on liitetty sähköverkkoon.
- Varastoimalla se akkuihin, joista se voidaan purkaa taas myöhemmin käyttöön joko tasa- tai vaihtosähköä. (Sähköverkkoon liitetyissä kohteissa

akkuihin on lisätty invertteri, jolloin akusta purkautuva sähkö tulee vaihtosähkönä.)

- Syöttämällä tuotanto verkkoon mutta suosituksena on käyttää tuotanto itse kohteessa. [18.]

Suomen etu aurinkoenergian hyödyntämisessä on ympäristön matala lämpötila, koska aurinkopaneelit toimivat sitä paremmin, mitä viileämpi ilma on. Aurinkoenergian kerryttäminen onnistuu hyvin myös talvella, auringon paistaessa matalalta. Erityisesti seinäpaneeliasennukset julkisivuissa tuottavat hyvin talvisaikaan, eikä julkisivujen asennuksiin kerry lunta häiritsemään paneelien tuotantoa. Kirkkaina talvipäivinä, joita on eritoten maaliskuussa lumen heijastuksen lisätessä säteilyä, tuotanto paneeleissa lisääntyy. Suomen sähköntuotannossa aurinkoenergian osuus on vielä melko vähäinen mutta aurinkoenergian käyttö on lisääntynyt ja tulevaisuudessa osuus Suomen sähköntuotannossa on odotettavasti suurempi. Kansainvälisen energiajärjestö IEA:n raportissa vuodelta 2017 Suomessa aurinkoenergian tuotanto oli 80,4 MW ja kasvua vuoteen 2016 tuli 43 MW. Jos odotettu kasvu toteutuu niin vuonna 2022 Suomessa aurinkovoiman osuus sähköntuotannossa on 1 prosentti. [19.]

Tavoitteeseen päästääkseen tulisi varmistaa kuntien ja valtioiden aktiivisuus esteiden ja byrokratian raivauksessa. Tulisi selvittää yhtenäisiä menettelytapoja, miten sähköenergian tunnin sisäinen nettomittaus olisi toteutettavissa. Kuntien rakennustoimien tulisi höllentää byrokratiaa mitä tulee paneeleihin ja etenkin kattoasennuksiin. [19.]

Maailmanlaajuinen kapasiteetin kasvu on pienentänyt moduulien hintoja aina 20 % tarkoittaen, että kun kapasiteetti kasvaa tuplaten lähtee viidennes moduulien hinnoista. Aurinkosähköjärjestelmien hintojen pudotessa on aurinkosähköstä tullut edullisin sähköntuotantomuoto lähes kaikkialla maailmassa. Suomessa aurinkoenergia tuotantomuotona on taloudellisesti kilpailukykyinen, jos sitä pystytään hyödyntämään mahdollisimman paljon itse kohteessa. [19.]

Suomessa on lähestulkoon yhtä paljon aurinkoa kuin Saksassa tai Tanskassa. Saksassa tuotanto on 300 kertaa ja Tanskassa 15 kertaa enemmän kuin Suomessa asukasta kohden. Saksan ja Tanskan vauhdittajia aurinkoenergian käytössä on syöttötariffi eli takuu-hinta tuotetulle sähkölle. Suomessa käytössä ovat verokannustimet eli kotitalousvähennykset ja isompiin yli 100 kilovoltiampeerin hankkeisiin voi saada investointitukea. [19.]

Pitkällä aikavälillä aurinkovoima voi olla pääasiallinen tuotantomuoto taloudellisuutensa vuoksi. Myös varastointi tulee tulevaisuudessa tehostumaan. Vesivoimaa, tuulivoimaa ja bioenergiaa hyödynnetään kuitenkin niillä alueilla, joilla sen katsotaan olevan luontevasti käytettävissä. [19.]

2.3 Bioenergia

Bioenergia on Suomessa merkittävä energianlähde. Bioenergiaa saadaan erinäisistä biomassoista, joita saadaan metsistä, pelloilta, maataloudesta ja teollisuuden sivuvirroista ja jätteistä. [20.]

Biomassa on eloperäistä fotosynteesin kautta syntynyttä kasvimassaa, josta valmistetaan biopolttoaine. Valtaosa bioenergiasta koostuu puuperäisestä energiasta, joka tuotetaan metsäteollisuuden laitoksissa. [21.]

Biomassan poltossa vapautuu hiiltä mutta tämä sitoutuu pidemmällä aikavälillä takaisin kasvavaan biomassaan. Bioenergian käytössä on monia hyötyjä. Korvattaessa fossiiliset polttoaineet biomassalla vähennetään kasvihuonepäästöjä. Samalla voidaan vähentää raskasmetalli- ja rikkipäästöjä. Kotimaisia biomassoja hyödynnettäessä lisätään omavaraisuutta energiantuotannossa ja lisäksi lisätään työpaikkoja maaseuduille. [22.]

Suomessa biomassan osuus energian kokonaiskulutuksesta on korkea verrattessa muihin teollisuusmaihin ja puun merkitys biomassassa on keskeinen. Puun osuus uusiutuvasta energian käytöstä Suomessa on noin 75 %. [22.]

Peltobiomassa, kierrätyspolttoaine, biokaasu ja biopohjaiset polttonesteet ovat tois-
taiseksi melko pienessä roolissa energiantuotannossa. Niiden käytön uskotaan kuitenkin lisääntyvän, kun etsitään korvaavia energianlähteitä fossiilisten polttoaineiden tilalle. [22.]

Bioenergiaa jätteestä saadaan joko polttamalla jätettä suoraan jätevoimaloissa, mekaanisesti valmistamalla kierrätyspolttoainetta tai jalostamalla edelleen se biokaasuksi tai nestemäiseksi polttoaineeksi. Kierrätyspolttoainetta saadaan yhdyskuntien ja yritysten

polttokelpoisesta, kuivasta, kiinteästä ja lajitellusta jätteestä. Kierrätyspolttoaineeksi lasketaan myös kierrätyspuu sekä lajittelematon yhdyskuntajäte, joka mekaanisesti lajittelemalla ja käsittelemällä valmistetaan polttoaineeksi. Sekajätteessä ja kierrätyspolttoaineessa on yleensä mukana muovia, joka on fossiilisista raaka-aineista valmistettu. Tämän vuoksi näistä lähteistä ei tuoteta pelkästään bioenergiaa. [21.]

Taulukko 1. Bioenergian tuotanto luokiteltuna polttoaineittain. Modifoitu, jätetty vain oleelliset tiedot. [21.]

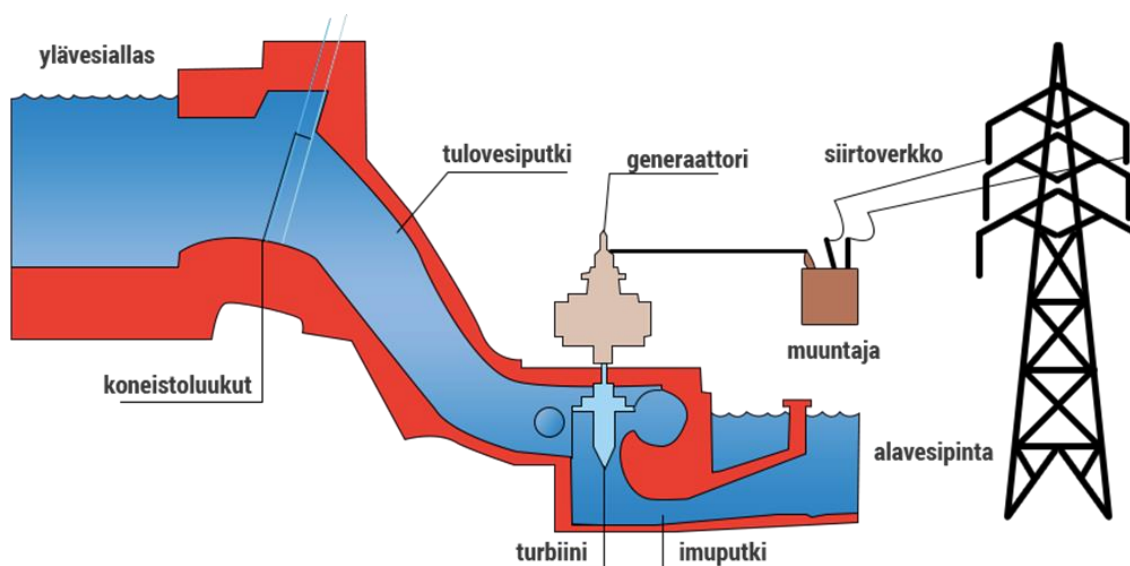
Polttoainetyyppi	Perusteknologia	Raaka-aine	Sivutuotteet
Kasviöljyt ja eläinrasvat	1) Käyttö liikennepolttoaineena joko moottorien toimintaa muuttamalla tai muuntamalla kasviöljyjä soveltuvaksi perinteisissä moottoreissa käytettäväksi 2) Sähkön ja/tai lämmön tuotanto	1) Rapsiöljy, auringonkukkaöljy ja muut kasviöljyt, jättekasviöljy 2) Rapsiöljy, palmuöljy, jatrophaöljy ja muut kasviöljyt, eläinrasva	Kasvijäännöksen puriste rehuksi
Biokaasu (CH ₄ , CO ₂ , H ₂)	-Biomassan fermentointi Käyttö joko hajautetussa energiantuotantojärjestelmässä tai syöttö maakaasulinjaan (puhdistettuna biometaanina) -Sähkön ja/tai lämmön tuotanto -Käyttö liikennepolttoaineena	Biohajoava jäte (biojäte, lietteet, lannat), energiakasvit (maissi, nopeakasvuinen puu, monisatoiset kasvit)	Mädäte lannoitukseen (ravinteiden kierrätys)
Kiinteät biopolttoaineet	1) Biomassan tiivistäminen (densification) kuivaamalla (torrefaction) tai hiiltämällä 2) Jäännös sähkön ja/tai lämmön tuotantoon	Puu, vilja, kuiva kotitalousjäte, muu biohajoava jäte	

Taulukossa 1 on huomioitu ainoastaan polttoainetyypit, joita hyödynnetään sähköntuotannossa. Suomessa bioenergiaa hyödynnetään lisäksi yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon. [21.]

2.4 Vesivoima

Vesivoiman osuus Suomen uusiutuvan energiantuotannossa on merkittävä. Vesivoiman osuus on viime vuosina ollut 10–20 % sähköntuotannossa Suomessa vesivuodesta riippuen. [23.]

Vesivoimaloissa tuotetaan energiaa kahden eri vesitason korkeuseroja hyödyntäen. Veden virratessa alas turbiinin kautta turbiini pyörittää generaattoria, joka tuottaa veden liike-energiasta sähköä. Tuotantoperiaate on esitetty lisäksi kuvassa 5. [23.]



Kuva 5. Vesivoimalaitoksen toimintaperiaate. [24.]

Suomen vesivoimalaitosten tuotanto on yhteensä 3100 MW. Vesivoima jaetaan suur-, pien- ja minivesivoimaan voimalan nimellistehon mukaan. Suurvesivoimala tuottaa yli 10 MW, pienvesivoimala 1–10 MW ja minivesivoimala alle 1 MW. [23.]

Vesivoiman etuna on se, kun vettä pystytään varastoimaan suuriin varastoaltaisiin ja käyttämään silloin, kun sähkönkulutus on huipussaan. Sääolosuhteet vaikuttavat kuitenkin vesivoimatuotantoon. Vähäsateisina vuosina sekä vuosina, jolloin lumen sulamisvettä kertyy vähän voi olla pulaa vedestä, jota voidaan varastoida. Esimerkiksi Pohjoismaissa normaalissa tilanteessa tuotanto on n. 200 TWh, mutta kuivina vuosina tuotanto voi jäädä 170 TWh:n [23.]

Suomessa on vesivoimaloita yli 220 joista suurin osa sijaitsee Pohjois- ja Kaakkois-Suomessa. Yli puolet Suomen vesivoimasta saadaan Ii-, Kemi- ja Oulujoesta. [25.]

Suomessa on jonkin verran hyödyntämätöntä vesivoimapotentiaalia. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisussa on kuitenkin selvitetty, että suuri osa potentiaalista jää alueelle, joiden vesistöt ja rajajoet on uusilta vesivoimalaitoksilta suojeltu. Parhaimmat mahdollisuudet tuotannon kasvussa olisi nykyisten voimaloiden peruskorjauksessa ja täten laitosten tehon kasvattamisessa. [26.]

Vesivoima on päästötöntä mutta sillä on kuitenkin ympäristövaikutuksia, joskin ne jäävät paikallisiksi. Vesivoimalaitos ja sen yhteyteen mahdollisesti rakennettu tekoallas voivat heikentää valjastetun vesistön sekä tekoaltaan alle jäävän maa-alueen ekologista tasapainoa. Tekoaltaan alle jäävässä maaperässä voi olla haitallisia aineita, kuten raskasmetalleja, ja näiden päästessä liukenemaan veteen ne kertyvät lopulta kaloihin ja muihin eliöistöihin. [26.]

Ongelmia voi lisäksi esiintyä voimaloiden yläpuolisissa sekä osin myös alapuolisissa vesistöissä. Voimaloiden toiminnan edellytyksenä on vesistöjen patoaminen ja usein laajojen tekoaltaiden rakentaminen. Täyttövaiheen aikana hiiltä ja metaania pääsee vapautumaan tekojärvistä. Hiili- ja metaanipäästöt ovat suurempia ja jatkuvat pidempään, mikäli tekoaltaaseen jätetään suoalueita tai raivaamatonta metsää. [27, s.59.]

2.5 Hiilidioksidipäästöt uusiutuvassa energiassa

Tuulivoimasta syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat 10 g/kWh, ja ne muodostuvat lähinnä tuulivoimaloiden rakentamisesta, kuljetuksista sekä huollosta syntyvistä päästöistä. Tuulivoimala tuottaa kuitenkin takaisin alle vuodessa tai jopa puolessa vuodessa sen energian, joka kuluu niin valmistuksessa, kuljetuksessa, rakentamisessa, käytössä ja purkamisessa. [28.]

Tuulivoimaloiden rakentamisessa käytetään erilaisia koneita, kuten esimerkiksi nostureita ja rekkoja. Näiden käyttämiseen tarvitaan fossiilisia polttoaineita. Voimalan materiaalien tuottamiseen tarvitaan rautakaivoksia sekä sementin tuottamista, ja näihin kuluu paljon uusiutumaton energiaa. Terästä jota käytetään tuulivoimaloiden valmistuksessa, valmistetaan hyödyntäen hiiltä ja maakaasua. Tuulivoimaloiden lavat valmistetaan useimmiten laminaatista, vaahdosta tai balsapuusta mutta niiden käsittelyssä

tarvitaan korkeita lämpöasteita ja tämä saavutetaan hyödyntämällä useimmiten maakaasua. Voimaloiden vaihteisto tarvitsee toimiakseen voiteluöljyä. [29.]

Aurinkoenergia on päästötöntä energiantuotantovaiheessa. Aurinkopaneelien valmistuksessa syntyy kuitenkin energiankulutusta sekä hiilidioksidipäästöjä eikä näitä oteta yleensä lainkaan huomioon päästöjen tarkastelussa. [30, s. 30.]

Käytöstä poistuvien aurinkopaneelien hiilijalanjälkeä voidaan parantaa kierrättämällä materiaalit käytöstä poiston jälkeen. Piipohjaiset aurinkopaneelit ovat helpommin kierrätettävissä orgaanisiin paneeleihin verrattuna. Tämä antaa piipohjaisille paneeleille etulyöntiaseman hiilidioksidipäästöjä tarkastellessa. [31; 30, s. 29.]

Vesivoimalla tuotettu sähkö on lähes päästötöntä muttei kuitenkaan täysin. Pohjois-Euroopassa päästölukemat jäävät kuitenkin huomattavasti pienemmiksi kuin fossiilisia polttoaineita käytävissä voimaloissa. Vesivoimasta on tehty päästötutkimuksia, joissa lukemiksi on havaittu 15 g/kWh kylmässä ilmastossa. [32.]

Biomassaa poltettaessa syntyy hiilidioksidipäästöjä samalla tavalla kuin fossiilisia polttoaineita käytettäessä. Bioenergian hiilineutraaliudessa kuitenkin oleellista on kestävä tuotanto, jossa poltettaessa vapautuu hiilidioksidia saman verran kuin biomassan kasvussa on sitoutunut. [33.]

Biomassan nollapäästöisyydessä on yhdessä sovittu YK:n ilmastopöytäkirjassa maailmanlaajuisesti. Biomassan nollapäästöisyys energiantuotannossa perustuu EU:n lainsäädäntöön mm. päästökauppalaissa ja uusiutuvan energian direktiivin kautta. Lainsäädännön kautta katsotaan, että biomassa on päästötöntä päästökaupassa. [33.]

Kaikki biomassan päästöt lasketaan ns. LULUCF-sektorilla, eli maankäyttö, että maankäytön muutokset sekä metsätalous -sektorilla. Käytännössä tämä tarkoittaa, että metsässä kaatuu puu, se merkitään tilastoissa päästöiksi huolimatta siitä, miten ja millä sektorilla puuta tullaan käyttämään. [33.]

Biomassan käytöllä on siis vaikutusta Suomen nettopäästöihin. Jotta vältettäisiin päästöjen kaksinkertainen laskenta, niin metsäbiomassan päästöt lasketaan

maankäyttösektorilla, ei energiasektorilla. Tämä tarkoittaa käytännössä, että jos metsää hakataan enemmän kuin se kasvaa, hiilinielu heikkenee ja tämä huomioidaan maan kokonaispäästöjen laskennassa. Kokonaispäästöjen pienentämiseksi tulisi vähentää hiilidioksidipäästöjä ja kasvattaa hiilinieluja. Energiasektorilla päästökaupan tulisi olla ensisijainen keino päästöjen vähentämiseen. Maankäyttösektorin avulla tulisi huolehtia hiilinieluista ja niiden kasvusta. [33.]

3 Suomen ja EU:n energia- ja ilmastopolitiikka

3.1 Suomen energia- ja ilmastotavoitteet

Suomella on tavoite olla tulevaisuudessa hiilineutraali yhteiskunta. Suomen tulee vähentää kasvihuonekaasupäästöjään vuoteen 2050 mennessä 80–95 prosenttia vuoden 1990 tasosta. Tämän vuoksi Suomessa on linjattu kansallinen energia- ja ilmastostrategia, jossa on kerrottu konkreettisia toimia sekä tavoitteita, joilla saavutetaan kansalliset sekä EU:ssa sovitut tavoitteet, jotka tulee saavuttaa vuoteen 2030 mennessä ja joiden avulla saavutetaan johdonmukaisesti myös 2050 vuoden tavoitteet. [34.]

Sipilän hallituksen linjaaman Suomen energia- ja ilmastostrategia vuoteen 2030 taustalla ovat olleet Suomen ja EU:n tavoitteet energiapolitiikassa ja ilmastopolitiikassa. Vuonna 2009 Eurooppa-neuvoston määrittämän linjauksen mukaisesti EU:n tulee vähentää päästöjä vuoteen 2050 mennessä 80–95 prosenttia vuoden 1990 päästöihin nähden. Lisäksi vuonna 2015 Pariisissa solmittiin uusi ilmastosopimus, jossa sovittiin, että maapallon lämpeneminen tulee rajata alle 1,5 asteen. Sipilän hallitus hyväksyi strategian vuonna 2016 jonka vaikutus kestää vuoteen 2030. [35; 36.]

Strategiassa tarkoitus on saavuttaa mm. seuraavat tavoitteet:

- Päästöttömän, uusiutuvan energian käytön lisääminen niin, että sen osuus 2020-luvun aikana ylittää 50 prosenttia ja energian omavaraisuus 55 prosenttia.
- Hiilen käytöstä luovutaan energiantuotannossa.
- Sähkön kysynnän ja tarjonnan joustavuutta lisätään.

- Vuosina 2018–2020 valmistellaan teknologianeutraalit tarjouskilpailut. Näiden pohjalta myönnetään tukea kustannustehokkaille sähköntuotannoille, jotka perustuvat uusiutuvaan energiaan. [35; 36.]

Suomen uusimmassa hallitusohjelmassa on otettu kantaa myös sähköntuotantoon. Ohjelman tavoitteena on, että sähköntuotanto on lähes päästötöntä 2030-luvun loppuun mennessä. Tavoitteessa otetaan kuitenkin huomioon huolto- ja toimitusvarmuuden toteutuminen. [37, s. 33.]

Keinoiksi tavoitteiden toteutumisessa katsotaan energiaverotuksen kokonaisuudistus vuoden 2020 budjettiriiheen mennessä. Yhdessä päästökaupan kanssa uudistus edistää hiilineutraalia kiertotaloutta. [37, s. 33.]

Ensimmäisessä vaiheessa veromuutoksia tulee mm:

- merituulivoimaloiden kiinteistöveroihin
- sähkön varastoinnin kaksinkertaiseen verotukseen, joka tulee poistumaan. Tämä koskee niin pumppuvoimaloita kuin pienempiä akkuja [37, s. 34.]

Painopiste siirtyy energiatukijärjestelmän kehityksen myötä uuden energiateknologian investointi- ja demonstraatiotukiin ja täten tuotantotuet vähenevät [37, s. 34].

Kivihiili poistuu viimeistään vuoden 2029 toukokuussa. Energiayhtiöitä, jotka luopuvat kivihiilestä viimeistään vuoteen 2025 mennessä, tullaan tukemaan kivihiiltä korvaavissa investoinneissa. [37, s. 34.]

Yhteiskunnan käyttäessä enemmän sähköä ja energijärjestelmien (sähkö-, lämpö- ja liikenne) sulautuessa toisiinsa tulee uusiutuvan sähköntuotannon lisääntyä huomattavasti [37, s. 34].

Tuulivoiman osuutta energiantuotannossa lisätään. Tähän vaikutetaan merituulivoiman rakentamista helpottamalla. Maatuulivoiman lisäämisen katsotaan tapahtuvan markkinaehtoisesti. Tuulivoiman rakentamista parannetaan poistamalla kaavoitukseen liittyviä ja muita vastaavanlaisia esteitä. [37, s. 35.]

Hallitusohjelmassa on otettu kantaa huoltovarmuuden parantamiseen. Keinoiksi on katsottu älykkäämmän sähköverkon kehittäminen, siirtoyhteyksien parantaminen sekä uusien energian varastointimahdollisuuksien hyödyntäminen. [37, s. 35.]

Sääntelyn ja verotuksen kehityksen ytimessä on energian pientuotannon hyödyntämisen helpottaminen kaikille, mukaan lukien taloyhtiöt, pientalot sekä maatilat [37, s.35].

3.2 Euroopan unionin ilmastopolitiikka

Vuoteen 2020 saakka ilmastotoimia toteutetaan YK:n ilmastopuitesopimuksen sekä Kioton pöytäkirjan johdolla ja näiden lisäksi käytössä on EU:n sisäinen 2020- ilmasto- ja energiapaketti [38].

Seuraavat lainsäädännöt koskevat Ilmasto- ja energiapakettia 2020:

- uudistettu päästökauppadirektiivi (ETS) (2003/87/EY, 2009/29/EY)
- taakanjakopäätös (ESD) (406/2009/EY)
- direktiivi hiilen talteenotosta ja varastoinnista (2009/31/EY)
- direktiivi uusiutuvan energian edistämisestä (2009/28/EY) [38].

Uusiutuvan energian edistämistä käsittävä direktiivissä tulee vuoteen 2020 mennessä nostaa uusiutuvan energian määrää loppukulutuksessa 20 prosenttiin. Tähän tavoitteeseen Suomi oli asettanut maakohtaiseksi tavoitteekseen nostaa uusiutuvan energian määrä 38 prosenttiin ja se saavutti tavoitteensa jo vuonna 2014. [38.]

Ilmasto- ja energiapakettia 2030 koskevat seuraavat lainsäädännöt:

- uudistettu päästökauppadirektiivi (ETS) (2018/410/EU)
- taakanjakoasetus (ESR) (2018/842/EU)
- LULUCF-asetus (2018/841/EU)
- energiaunionin hallintomalliasetus
- uusiutuvan energian direktiivi
- energiatehokkuusdirektiivi [38].

Uusiutuvan energian direktiivissä on sovittu vuoteen 2030 mennessä nostaa uusiutuvan energian osuus 32 prosenttiin loppukulutuksesta. Jäsenmailta odotetaan omia ehdotuksia tavoitteesta kansallisessa ilmasto- ja energiastrategiassa. Tavoitteita voidaan tarvittaessa kuitenkin päivittää, jos katsotaan, että siten saavutetaan paremmin EU:n tavoite. Direktiivissä otetaan kantaa kestävyyskriteereihin kiinteille ja kaasumaisille biomassapolttoaineille sähkön- ja lämmöntuotannossa. [38.]

EU:n ilmastopolitiikan tavoitteita vuoteen 2050 on esitetty Euroopan komission tekemässä julkaisussa. Julkaisussa on esitetty tavoitteita, joiden avulla voidaan saavuttaa 80 prosentin kasvihuonekaasupäästöjen vähennys vuoteen 2050 mennessä. [38.]

Julkaisussa on esitetty, että sähköllä on keskeinen osa tulevaisuuden vähähiilisessä taloudessa. Se edellyttää kuitenkin, että tuotanto tapahtuu hyvin pitkälti uusiutuvan energian avulla. Tämän vuoksi panostus energiaverkkojen uusimiseen on katsottu myös olevan tärkeää. Uusiutuvan energian lisäksi uusimisen on katsottu parantavan hajautettua tuotantoa, luovan paremmat edellytykset kysyntäpuolen tehokkuudelle ja mahdollistavan lisäksi liikenteen sähköistymisen. [39, s. 6]

3.3 Ilmastopuitesopimus

Vuonna 1994 tuli voimaan YK:n ilmastomuutosta koskeva puitesopimus, jota myöhemmin alettiin kutsua ilmastopuitesopimukseksi. Ilmastopuitesopimuksen alla on Kioton pöytäkirja sekä Pariisin ilmastopuitesopimus. [40.]

Ilmastopuitesopimuksen tarkoituksena on sopia tavoitteet, joilla vähennetään ihmistoinnasta syntyneitä päästöjä. Kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä tulisi vähentää tasolle, josta ei syntyisi vaaraa vaan ekosysteemit ehtisivät sopeutua ilmastomuutokseen luonnollisella tavalla. Sopimuksessa on myös tavoitteena turvata elintarviketuotanto sekä kestävä taloudellinen kehitys. [40.]

Ilmastopuitesopimuksessa on asetettu tavoitteet, periaatteet ja muut yleiset puitteet kansainvälisellä tasolla, joilla pyritään ilmastomuutoksen hillitsemiseen. Erityisesti kehittyneet maat on veloitettu johtamaan toimia, joilla ilmastomuutosta hillitään. Kaikilla

osallistujamailla on kuitenkin oltava suunnitelmia, joilla ilmastonmuutosta hillitään ja sopeutumista edistetään. [40.]

Kaikkien sopimusten osapuolten tulee raportoida kasvihuonekaasupäästöistä sekä nieluista. Osapuolten tulee myös edistää hiilivarastojen ja nielujen säilymistä tai parantaa niitä. Määrällisesti päästöjen vähennykseen ei ole otettu kantaa, tai nämä on otettu tarkemmin huomioon Kioton pöytäkirjassa, josta on kerrottu tarkemmin omassa luvussaan. [40.]

Joulukuussa 2015 ilmastopuitesopimusta tarkennettiin Pariisin ilmastopöytäkirjan yhteydessä. Pariisin ilmastopöytäkirja käsittää vuoden 2020 jälkeisen ajan. Pariisin ilmastopöytäkirja ja Kioton pöytäkirja eroavat toisistaan siten, että Pariisin sopimuksessa ei ole määrällisiä päästövähennysvelvoitteita, vaan sopimusosapuolten tulee valmistella, tiedottaa, ylläpitää ja saavuttaa peräkkäiset asettamansa päästötavoitteensa. Pariisin ilmastopöytäkirjasta on kerrottu tarkemmin omassa luvussaan. [40.]

Ilmastopöytäkirjan osapuolet sitoutuvat:

- laatimaan ja toteuttamaan kansallisia ilmastonmuutosta hillitseviä ja siihen sopeuttavia toimenpiteitä
- selvittämään kasvihuonekaasupäästöjen määrän ja raportoimaan niistä ilmastopöytäkirjan sihteeristölle.
- suojelemaan hiilivarastoja ja hiilinieluja
- tukemaan ilmastohavainnointia ja siihen liittyvää tutkimusta
- hillitsemään ilmastonmuutosta teollisuusmaiden johtamin toimin
- tukemaan vauraimpien teollisuusmaiden johdolla kehitysmaita rahoituksen, asiantuntija-avun ja teknologian avulla esimerkiksi raportoinnissa ja hillitsemis- sekä sopeutumisohjelmien luomisessa [40].

Ilmastopöytäkirjan osapuolten toimia seurataan raportoinnin avulla. Osapuolten tulee siis raportoida vuosittain päästönsä ja hiilinielunsa YK:n ilmastopöytäkirjan sihteeristölle. Tämän lisäksi maiden tulee 3–4 vuoden välein raportoida ilmastopoliittisista toimista, joita ne tekevät ilmastopöytäkirjan tavoitteiden saavuttamisen puolesta. EU:n jäsenmaat tekevät vielä näiden raporttien lisäksi kahden vuoden välein maaraaportin, jossa kerrotaan poliittisista toimista sekä niiden vaikutuksista kasvihuonekaasupäästöihin. [40.]

3.4 Kioton pöytäkirja

Kioton pöytäkirja on YK:n ilmastopuitesopimuksen alaisuudessa edistään tavoitteiden toteutumista asettamalla velvoitteita kehittyneiden maiden kasvihuonekaasupäästöjen rajaamiseksi. Päästövähennysvelvoitteissa huomioidaan myös hiilinielut ja niiden vaikutus päästöihin. [41.]

Kioton pöytäkirja astui voimaan vuonna 2005. Se on ensimmäinen sopimus, jonka avulla päästöjä on vähennetty kansainvälisellä tasolla. Ensimmäinen velvoitekausi oli vuosina 2008–2012. Vuonna 2002 Euroopan unionin jäsenmaat ratifioi Kioton pöytäkirjan Suomi mukaan lukien. Suomen tavoite tällöin oli pitää päästöt vuoden 1990 tasolla ja tässä tavoitteessa onnistuttiin. Toisesta velvoitekaudesta, joka kattaa vuodet 2013–2020 päätettiin vuonna 2012 Dohassa osapuolikokouksessa. [41.]

Toiseen velvoitekauteen osallistuu 38 teollisuusmaata mukaan lukien EU ja sen 28 jäsenmaata. Toisella kaudella velvoitetaan osallistujamaita vähentämään päästöjään 18 % vuoden 1990 päästöistä. EU on sitoutunut vähentämään päästöjään 20 % vuoden 1990 vuoden päästöihin nähden. [42.]

Kioton pöytäkirjan suureksi heikkoudeksi katsotaan, että se vaatii toimia vain teollisuusmailta. Kioton pöytäkirjan piiriin kuuluu vain 14 % maailman päästöistä. Yli 70 kehitysmaata sekä teollisuusmaata on kuitenkin hyväksynyt erilaisia ei-sitovia velvoitteita, joiden keinoin vähennetään ja rajoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä. [42.]

Vuosittain osallistujamaat raportoivat Kioton pöytäkirjan velvoitteiden toteutumisesta YK:n ilmastopuitesopimuksen sihteeristölle. EU:ssa Kioton pöytäkirjan velvoitteita toteutetaan EU:n ilmasto- ja energialainsäädännöllä. Lainsäädännön merkittävämät vaikutuskeinot ovat teollisuutta ja energiantuotantoa säätelevä päästökauppa, tavoitteet uusiutuvan energian ja energiatehokkuuden lisäämiseksi sekä taakanjakoasetus, joka säätelee päästökaupan ulkopuolelle jäävien sektoreiden päästöjä. [41.]

3.5 Pariisin ilmastopöimur

Ilmastonmuutoksen rajoittamiseksi on luotu Pariisin ilmastopöimur joulukuussa 2015, ja sen on allekirjoittanut 196 maata. Sopimuksessa on sovittu, että lämpeneminen rajoitetaan alle 1,5 asteen. YK:n ympäristöohjelma UNEP:n raportissa on linjattu, että kaikista hiilidioksidipäästöistä on päästävä eroon vuoteen 2050 mennessä. Vuoteen 2080 mennessä on taas saavutettava kasvihuonepäästöissä nollatoleranssi. Nämä toimenpiteet voivat mahdollistaa, että lämpeneminen jää 1,5 asteeseen 50 %:n todennäköisyydellä. Tämä tarkoittaa, että fossiilisten polttoaineiden tunnetuista varannoista 70 % tulee jättää maahan. [43.]

Pariisin ilmastopöimur täydentää vuonna 1992 solmittua YK:n puitesopimusta, joka koskee ilmastonmuutosta. Pariisin ilmastopöimur käsittää vuoden 2020 jälkeisen ajan. Kioton pöytäkirjan toinen velvoitekausi päättyy tuohon aikaan. [44.]

Pariisin sopimuksen voimaan saamiseksi siihen vaadittiin vähintään 55 osallistujamaata, joiden osuus maailmanlaajuisista kasvihuonekaasupäästöistä yhteensä vähintään 55 prosenttia. Voimaantulokynnys ylitettiin lokakuussa 2016, kun mm. EU ratifioi sopimuksen. Sopimus astui näin voimaan 4.11.2016. Suomi hyväksyi sopimuksen 14.11.2016. [44.]

Pariisin sopimuksen tavoitteena on saavuttaa kasvihuonekaasupäästöjen huippu mahdollisimman nopeasti ja vähentää tehokkaasti päästöjä sen jälkeen niin, että kasvihuonekaasujen päästöt sekä nielut ovat tasapainossa tämän vuosisadan jälkipuoliskolla. Tavoitteiden edistymistä seurataan viiden vuoden välein maailmanlaajuisin kokonaistarkastuksin. Ensimmäinen kokonaistarkastelu on tulossa vuonna 2023. [44.]

Pariisin sopimuksessa ei ole määrällisiä veloitteita asetettu päästöjen vähennykseksi mutta jokaiselta osallistuneelta osapuolelta odotetaan kunnianhimoisia tavoitteita. Osapuolten tulee valmistella, tiedottaa, ylläpitää ja saavuttaa asettamansa kansalliset päästötavoitteet. Sopimusten osapuolilla on velvollisuus valmistella kansallinen panos, joka viides vuosi, ja jokaisen panoksen tulee olla edellistä kunnianhimoisempi. [44.]

Kansallisesti määritetyt panokset säilytetään YK:n ilmastopimussihteeristön ylläpitämässä väliaikaisessa rekisterissä. [44.]

Pariisin sopimuksen toimeenpanosta sovittiin YK:n ilmastopimuksen 24. osapuolikouksessa joulukuussa 2018. Säännöt ovat kattavat, ja ne koskettavat kaikkia osapuolia, joskin kehittyvät maat saivat joitakin helpotuksia. [44.]

Pariisin sopimuksen toimeenpanosta sovittiin mm:

- päästövähennystavoitteita kirittävästä mekanismista, joka koskee maailmanlaajuisen kokonaistarkastelun toimeenpanoa
- tarkemmasta ohjeistuksesta kansalliseen panokseen
- ohjeesta, joka koskee raportointia, tarkastusta ja arviointia
- ilmastorahoituksen raportoinnin säännöistä
- toimeenpanot koskien teknologian kehitystä ja siirtoa
- sopeutumistiedonantojen ohjeista
- komitean toiminnasta, joka edistää sopimuksen täytäntöönpanoa ja noudattamista [44].

Tässä tapaamisessa ei kuitenkaan saatu sovittua Pariisin sopimuksen alaisten markkinamekanismien toimeenpanosta. Näitä neuvotteluja vielä siis jatketaan. Myöskin raportoinnin teknisiä yksityiskohtia jalostetaan vielä jatkossa. Tällä hetkellä osallistujamaiden tavoitteet ja toimet eivät ole riittävät kattamaan sopimuksessa asetettuja tavoitteita lämpötilan nousun rajaamiseen. Siksi odotetaan, että maat päivittävät kansalliset panoksensa vuoteen 2020 mennessä. [44.]

3.6 Kasvihuonekaasupäästöjen seuranta ja raportointi

Ilmastopoliitikkaa tulee seurata ja kehittää. Tähän on otettu avuksi käyttöön kasvihuonekaasupäästöjen seuranta ja tuloksien raportointi. Se auttaa varmistamaan, onko poliittisesti sovitussa päästörajoissa pysytty. [45.]

YK:n ilmastopimus, Kioton pöytäkirja ja EU:n kasvihuonekaasupäästöjen seurantajärjestelmä velvoittajat osallistujamaita raportoimaan kasvihuonekaasujen päästömäärät

vuosittain. Suomi raportoi omat päästömääränsä vuosittain Euroopan komissiolle sekä YK:n ilmastopimuksen sihteeristölle. Näiden lisäksi myös hiilinieluista tulee pitää seuranta ja raportoida. Raportoinnin tuottamiseksi on perustettu kansallinen kasvihuonekaasuinventaariojärjestelmä, josta vastaa Tilastokeskus. Päästöjen raportointia valvotaan, että se toteutuu Kioton pöytäkirjan velvoittamalla tavalla. Kansainvälinen tarkastajaryhmä arvioi osallistujamaiden raportit, ja mikäli raportoinnissa havaitaan olevan puutteita, voi tästä seurata sanktioita. [45.]

YK:n ilmastopimuksen jäsenmaiden tulee lisäksi toimittaa neljän vuoden välein ns. maaraaportit, joissa kuvataan päästöjen lisäksi arvioita tulevasta päästökehityksestä, poliittisia toimia, sopeutumista ilmastonmuutokseen, rahoitusta, tutkimusta, koulutusta sekä kansallisia olosuhteita. [45.]

Kahden vuoden välein tulee lisäksi toimittaa ns. kaksivuotisraportit, joiden sisältöön kuuluu osa maaraaporttien vaadittavasta sisällöstä. Poliittisista toimista tulee myös raportoida EU:n komissiolle kahden vuoden välein. [45.]

3.7 Syöttötariffi ja muut energiatukijärjestelmät

Syöttötariffijärjestelmä on otettu käyttöön Suomessa vuonna 2011. Syöttötariffi on siis tuotantotukea, jota maksetaan tuulivoiman, metsähakkeen, biokaasun ja puupolttoaineen avulla tuotetulle sähkölle. [46.]

Syöttötariffissa maksetaan tavoitehinnan ja sähkön markkinahinnan erotuksen mukainen tukimäärä. Tuotannon tavoitehintana on 83,5 €/MWh. Uusille tuulivoimaloille on asetettu korkeampi tavoitehintana (105,3 €/MWh) tuulivoimaloiden rakentamisen edistämiseksi. Voimalat voivat kuulua syöttötariffijärjestelmään enintään 12 vuoden ajan. Päätöksen maksettavan syöttötariffin suuruudesta tekee Energiavirasto ja myös maksaa tämän tuen sähköntuottajalle. [47.]

Energiavirasto on koostanut luettelon voimaloista, jotka kuuluvat syöttötariffin piiriin. Elokuussa 2019 syöttötariffi oli hyväksytty 185 voimalaitokselle, joista 125 tuulivoimaloille,

55 metsähakevoimalaitokselle ja 4 biokaasuvoimalaitokselle sekä yhdelle puupolttoainevoimalaitokselle. [47.]

Syöttötariffijärjestelmä sulkeutui uusien tuulivoimaloiden osalta 1.11.2017, biokaasuvoimaloiden sekä puupolttoainevoimaloiden osalta 1.1.2019. Metsähakevoimaloita hyväksytään syöttötariffijärjestelmään vielä 1.2.2021 asti. Voimaloille, jotka on hyväksytty syöttötariffijärjestelmään, maksetaan kuitenkin tukea niin pitkään, kuin oikeutta syöttötariffiin on. [46.]

Syöttötariffijärjestelmän lisäksi yksi hyvin keskeinen tuki uusiutuvalle energialle on energiatuki, joka on investointeihin myönnettävä tuki. Energiatuen tärkeimpiä tavoitteita on muuttaa energiajärjestelmää vähähiiliseksi uusien innovatiivisten ratkaisujen avulla. [48.]

Energiatukea myönnetään investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka edistävät:

- uusiutuvan energian tuotantoa ja kulutusta merkittävästi tai hankkeella olisi muutoin positiivinen energiavaikutus
- energiansäästöä ja tuotannon ja kulutuksen tehostamista
- energiajärjestelmän muokkaamista vähähiilisemmäksi [48].

Energiatukea saavat ensisijaisesti hakijat, jotka hyödyntävät uudenlaista teknologiaa eli ratkaisuja, joita ei ole laajasti aiemmin hyödynnetty. Tukea ei myönnetä hakijoille, jotka ovat aloittaneet toimintansa ennen tukipäätöstä. [48.]

Keväällä 2019 on Suomessa otettu käyttöön preemiojärjestelmä. Preemiojärjestelmä on tukijärjestelmä uusiutuvalle energialle, joka on teknologianeutraali. Energiavirasto hallinnoi preemiojärjestelmän toimintaa. Voimalat valittiin järjestelmään kilpailutuksen avulla. Tarjouskilpailuun saivat osallistua sähköä tuottavat tuuli-, aurinko- ja aaltovoimalat sekä biokaasulla ja biomassalla toimivat voimalat. Energiavirasto on laatinut luonnoksen ohjeesta preemiojärjestelmään sähköntuottajille. Ohje ei ole vielä lopullinen, ja sitä työstehtään Energiaviraston toimesta. On arvioitu, että sähkön markkinahinnan ollessa 35 euroa per megawattitunti ja hyväksytyjen preemioiden suuruuden ollessa keskimäärin 10 euroa, valtiolle vuosittain syntyvät kustannukset olisivat noin 7 miljoonaa euroa. Koska sähkön markkinahinta on kuitenkin epävarma muuttuja, on valtiolle preemiojärjestelmästä syntyviä todellisia kustannuksia haastava arvioida. [49; 50; 51.]

Maatalouden investointituessa on otettu uusiutuvan energian hyödyntäminen huomioon. Investointituen tarkoitus on lisätä toimintaedellytystä, parantaa kilpailukykyä, lisätä maatalouden tehokkuutta ja laatua kestäväen kehityksen mukaisesti. [52.]

Esimerkiksi investointitukea voidaan myöntää maatilalle lämpökeskuksen rakentamiseen, korjaamiseen tai laajentamiseen, jos lämpökeskus toimii uusiutuvaa energiaa hyödyntäen. Lämpökeskuksen tulee lisäksi tukea kokonaan tai osa maatilan tuotantotoiminnasta. Investointitukea voidaan lisäksi myöntää, jos rakennetaan biokaasulaitos, jonka avulla biomassasta tuotetaan kaasua rakennusten lämmitykseen tai muuksi energiaksi. Biokaasulaitoksella käytettävästä biomassasta yli puolet tulisi olla peräisin investointituen hakijan maatilalta. [52.]

4 Yksilön vaikutukset sähkönkulutuksessa ja -tuotannossa

Ilmastonmuutos ja energian hinnan nousu yhdessä tuovat haasteita yksityiselle kuluttajalle asumisen näkökulmasta. Asunnon käyttö vaikuttaa ympäristöön, kun energiaa kuluu niin asunnon lämmityksessä, valaisemisessa, pyykinpesussa, ruoanlaitossa, tietokoneen tai television käytössä ja monissa muissa joka päiväisissä toiminnoissamme. Päivittäisillä valinnoilla voi kuitenkin vaikuttaa omaan kulutukseensa. Huonelämpötilan laskeminen sekä turhaan päällä olevien sähkölaitteiden sammuttaminen vaikuttavat jo merkittävästi ympäristökuormitukseen. [53, s. 167.]

Sähköä kuluttavien laitteiden määrä kasvaa koko ajan ja vaikka vanhoja laitteita vaihdetaan uusiin vähemmän energiaa kuluttaviin laitteisiin, tästä huolimatta kotien sähkönkulutus on kasvussa. Jos käyttöön valitaan aina laitetta hankkiessa markkinoiden energiatehokkain malli, tämän myötä sähkönkulutusta pystytään kuitenkin minimoimaan. [53, s.168.]

Ekologisinta asumismuotoa ei pystytä nimeämään. Omakoti-, rivi- ja kerrostaloista kaikista voi rakentaa energiatehokkaita. Myöskään olemassa olevassa rakennuskannassa ei ole suuria eroja energiatehokkuutta tarkastellessa erityisesti ekotehokkuuden parantamisen näkökulmasta katsottuna. Ihmisen elämäntyyli eli miten asuu ja elää vaikuttaa enemmän kuin asumismuoto/rakennustyyppi. [53, s. 170.]

Nykyisissä omakotitaloissa on hyvin pitkälti käytetty sähkölämmitystä. Tämä kuluttaa huomattavasti enemmän energiaa kuin kaukolämmityksen hyödyntäminen tai biopolttoaineella toimivan keskuslämmityksen käyttäminen. Jos sähkölämmitteinen omakotitalo sijaitsee julkisten kulkuneuvojen ulottumattomissa ja käytössä on auto, tällä tavalla eläminen tuottaa yli puolitoista kertaa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna elämiseen kerrostalossa, jossa lämmitys tapahtuu kaukolämmöllä ja raideliikenne on hyödynnettävissä liikkumisessa. Tähän vertailuun ei vaikuta lämpötila, jota kodissa pidetään, sähkölaitteiden käyttökapasiteetti tai veden kulutus. [53, s. 171.]

Sähkön hinnan nousun takia omakotitalojen lämmitysmuodot ovat kuitenkin kehityksessä, kun monet vanhojen talojen omistajat haluavat siirtyä esimerkiksi hyödyntämään maa- ja/tai ilmalämpöpumppuja, kun taas uusissa taloissa pyritään hyödyntämään enemmän kaukolämpöä tai puupellettejä. Myös tuuli- ja aurinkosähkön oma tuottaminen on lisääntynyt. [53, s. 171.]

Pientuotanto ja mikrotuotanto

EU:n tahtotila lisätä uusiutuvan energian käyttöä, ja ilmastotavoitteet sekä kuluttajien halu pienentää energialaskuaan ja huoli ympäristön tilasta ovat lisänneet kiinnostusta omaa tuotantoa kohtaan. [54].

Myös tämän myötä sähköverkkoihin investoidaan voimakkaasti, ja 2020-luvun loppuun mennessä investointia on tehty yhteensä 8 miljardin euron edestä. Jakeluverkot rakennetaan hyvin pitkälti siis uudestaan. Ilmajohdoista siirrytään maakaapeleihin ja tässä yhteydessä rakennetaan älykäästä verkkoa täydentämällä kokonaisuutta tietoliikenneverkolla ja älykkäällä energiankäytön seurannalla. Tämän myötä saadaan älykäs sähköjärjestelmä, joka soveltuu paremmin käyttöön tulevaisuudessa. [55.]

Kiinteistökohtainen mikrotuotannon lisääntyminen johtaa verkon käyttötapojen muutokseen mikä vaatii älykäästä sähköjärjestelmää, jonka takia päivitys on myös hyvä toteuttaa [55].

Hajautetun energian tuotannon avulla vähenee myös energian siirrossa tapahtuvat häviöt, mikä vaikuttaa positiivisesti myös päästöihin [56, s. 7].

Laissa on määritetty, että sähkön pientuotantoa on kaikki teholtaan alle 2 MVA:n jäävät tuotantolaitteistot. Yleisesti sähkön pientuotantoa tuotetaan aurinkoenergialla, tuulivoimalla ja pienvesivoimalla. Näiden lisäksi myös biokaasua käytetään pientuotannossa esimerkiksi maataloilla. [57.]

Maatilojen biokaasuvoimalaitoksilla saadaan hyödynnettyä lannan ja kasvibiomassan avulla uusiutuvaa energiaa. Tällä keinoin saadaan vähennettyä myös maatilojen kasvihuonekaasupäästöjä. Tuotettua biokaasua voidaan hyödyntää yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa (CHP), pelkässä lämmön tuotannossa, tai siitä voidaan jalostaa liikennepolttoainetta. Suomessa biokaasuvoimalaitoksia on käytössä kuitenkin vielä suhteellisen vähän. [58.]

Mikrotuotanto on yleistynyt hyvin paljon ja erityisesti aurinkosähkön osalta. Mikrotuotannolla tarkoitetaan käyttöpaikkaan yhdistettyä sähköntuotantolaitosta, jonka tuotanto käytetään pitkälti itse kohteessa. Mikrotuotannon tehorajana on pidetty yleisesti 100 kVA:a. Laitteistojen teho on muutamista kilowateista muutama kymmeniin kilowatteihin. [57.]

Omakotitalot, maatilat sekä pienyritykset, jotka sijaitsevat sopivalla paikalla, voisivat harvita tuottavansa sähköä omiin tarpeisiin esimerkiksi pientuulivoimalan, aurinkopaneelien tai biokaasuvoimalaitoksen avuin. [57.]

Verkonhaltijan tehtävänä on tarjota luotettava verkko sähköntuottajalle sekä taata sähkönjakelun toimivuus ja turvallisuus kaikille verkon käyttäjille voimalan liittämisen jälkeen. Jos tuotannosta tulee ylijäämää, voi tämän myydä sähkönmyyjälle mutta suositeltavaa on kuitenkin käyttää tuotanto itse kohteessa ja näin vähentää ostettavan sähkön osuutta. [57.]

Sähköverkkoon liittämistä varten suunnittelevan tulee ottaa selvää paikalliselta verkko-yhtiöltä tuotantolaitoksen velvoitteet ja ohjeet. Sähköverkkoliitännän ja sähköisten ominaisuuksien tulee tuotantolaitoksessa täyttää sähköturvallisuusstandardien ja sähkömagneettisten yhteensopivuusstandardien vaatimukset. Tällä taataan sähköverkossa työskentelevien asentajien turvallisuus ja se, että verkon jännitteen laatu pysyy asianmukaisena tuottajalle itselle sekä naapureille. Ainoastaan sähköalan ammattilainen saa tehdä tuotantolaitoksen asennustyöt. [57.]

Pientuotannolle sekä mikrotuotannolle on saatavilla tukea kotitalousvähennyksen ja energiatuen muodossa [59].

Kotitalousvähennykseen on oikeutettu, jos rakentaa aurinkosähköjärjestelmän omakotiin tai vapaa-ajan asuntoon. Energia-avustus, joka myönnetään pientalojen lämmitystapamuutoksiin, ei ole este kotitalousvähennyksen saamiselle. Vähennys myönnetään ainoastaan asennustyön osalta eli se ei koske matkakuluja tai tarvikkeita. Kotitalousvähennystä voi saada maksimissaan 2400 euroa vuodessa, ja se on henkilökohtainen. [59.]

Uusiutuvia energialähteitä hyödyntävät pientuotannot voivat saada energiatukea, joka on maksimissaan 40 prosenttia investoinnista. Aurinkosähköjärjestelmissä ohjeellinen tukimäärä on 30 prosenttia. Energiatukea voidaan myöntää yrityksille, kunnille sekä muille yhteisöille, jotka investoinnillaan edistävät uusiutuvan energian käyttöä. Tukea ei myönnetä yksityisille kansalaisille. [59.]

Maatiloilla toimivat biokaasulaitokset tai muuta uusiutuvaa energiaa hyödyntävät laitokset voivat saada maatalouden investointitukirahoitusta. Tuen tarkoitus on lisätä energian tuotantoa ja sen hyödyntämistä itse kohteessa ja parantaa sen kannattavuutta. Investointitukea voi hakea maaseutuvirastolta. Tämän lisäksi Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmasta voidaan hakea tukea bioenergia-alan mikroyrityksille. [59;56, s. 10.]

Pientuotannon lisääntyessä tulevaisuudessa tulevat tukimekanismit luultavasti uudestaan tarkasteluun [59;56, s. 10].

Aurinkosähkön potentiaali pientuotannossa

Valtioneuvoston teettämässä ja Pöyry Management Consulting Oy:n tekemässä selvityksessä vuodelta 2017 on tutkittu teoreettisen aurinkosähkön potentiaalia ja pientuotannon potentiaalia [56, s. 10–11].

Aurinkosähkön potentiaali Suomessa on tutkittu perustuen aurinkopaneeleille soveltuvaan kattopinta-alaan. Tässä ei siis oteta lainkaan huomioon maa-asennuksia, jotka

voisivat olla mahdollisia esimerkiksi mautiloilla. Katon pinta-ala antaa kuitenkin hyvän arvion maksimipotentialille sillä kohteissa esim. omakotitalot, joissa olisi tilaa maasennuksille ei ole tarpeeksi suurta kulutusta, että kaikki tuotanto saataisiin käytetyksi itse kohteessa. Kerrostaloissa taas, jossa kulutus on suurta katon pinta-ala asettaa realistisen rajan enimmäistuotannolle. [56, s. 10–11.]

Taulukossa 2 on esitetty teoreettisen aurinkopotentialin laskennan tulokset. Laskennassa paneelin kapasiteetiksi on oletettu 0,156 kW/m² [56, s. 10-11].

Taulukko 2. Teoreettinen aurinkopotentiali Suomessa. [56, s.10-11]

Taulukko 2-2 Teoreettinen kattoaurinkopaneelien tuotantopotentiali Suomessa (Muokattu lähteistä: Tilastokeskus 2015a, Gaia 2014)

Talotyyppi	Kerrosala yhteensä (Mm ²)	Kerroksien lukumäärä keskimäärin	Kattopin-ta-ala yhteensä (Mm ²)	Keskiaarvo katto-pinta-ala (m ²)	Käytettävä pinta-ala	Potentiaali-nen kapasiteetti (GW)
Erilliset pientalot	160.1	1.0	160.1	140	25 %	7.5
Rivi- ja ketjutilat	33.8	1.5	22.4	282	25 %	1.0
Asuinkerrostalot	95.3	4.7	20.4	346	30 %	1.3
Liikerakennukset	29.2	2.4	12.1	283	40 %	0.8
Toimistorakennukset	19.4	4.3	4.6	420	40 %	0.3
Liikenteen rakennukset	12.6	1.9	6.6	116	40 %	0.4
Hoitoalan rakennukset	12.1	3.2	3.8	442	40 %	0.2
Kokoontumisrakennukset	9.5	2.1	4.6	331	10 %	0.1
Opetusrakennukset	18.3	2.6	7.1	803	40 %	0.4
Teollisuusrakennukset	48.8	2.1	23.6	552	40 %	1.5
Varastorakennukset	19.7	1.7	11.7	391	40 %	0.7
Muut rakennukset	1.9	1.8	1.1	189	25 %	0.0
Yhteensä	461		278.0			14.2

Laskettaessa kapasiteetti yhteen saadaan arvoksi yli 14 GW, mikä vastaa lähes samaa määrää kuin Suomen voimalaitosten nimelliskapasiteetti vuonna 2016 (16,2 GW) ja se on huomattavasti enemmän kuin keskimääräinen kulutus kesäaikaan (n.8 GW). 14 GW:n kapasiteetilla aurinkosähköä saisi tuotettua 13 TWh vuodessa, mikä vastaa 14

prosenttia ennustetusta sähkön loppukulutuksesta vuonna 2030. Laskelman perusteella voidaan havaita, että jo kattojen pinta-alalla saavutetaan merkittävä potentiaali aurinkosähköntuotannolle. Vielä kun otetaan huomioon, kuinka aurinkosähköä voidaan tuottaa hajautetusti suurempina järjestelminä maa-asennuksia hyödyntäen. Tilapotentiaali ei aseta rajoituksia aurinkosähköjärjestelmän kehitykselle, vaan rajoituksia syntyy muista tekijöistä kuten kannattavuudesta sekä kulutuksen ja tuotannon kohtaamisesta. [56, s.10–11.]

Pientuulivoiman potentiaali tulevaisuudessa

Pientuulivoimaa voidaan tuottaa omaan käyttöön vastaavasti kuin aurinkosähköäkin. Selvityksessä potentiaalin havainnollistamista on vaikeuttanut kattavan tuulidatan puuttuminen 10–20 metrin korkeudelta, johon pientuulivoimalat yleensä asennetaan. Tuuliatlas mallintaa tuuliolosuhteet Suomessa matalimmillaan 50 metrin korkeudelta ja se ei siksi ole hyödynnettävissä potentiaalin tarkastelussa. Valtioneuvoston selvityksessä käytettiin tämän vuoksi hyväksi Ilmatieteenlaitoksen raporttia nimeltään Tilastoja Suomen ilmastosta 1981–2010 (Ilmatieteenlaitos 2012). Raportti sisältää tuulennopeuden keskiarvot 28 säähavaintoasemalta eri puolelta Suomea. Asemat sijaitsevat hyvin pitkälti tasaisilla alueilla, joten ne soveltuvat melko hyvin pientuulivoimaloiden sijoituspaikoiksi. [56, s.11–12.]

Potentiaalin selvityksessä hyödynnettiin kannattavuuslaskelmia, joihin arvioitiin viiden Suomessa myynnissä olevan pientuulivoimalan elinkaarikustannukset sekä voimaloiden energiantuotanto vuodessa 5, 6 ja 7 m/s keskituulennopeudella. Esimerkkinä olevien voimalaitosten investointikustannuksia, jotka ovat 3900–7200 €/kW, verrattiin globaaleilla markkinoilla olevien voimalaitosten kustannuksiin ja todettiin, että investointikustannukset edustavat hyvin markkinahintoja. [56, s.11–12.]

Tarkasteluissa havaittiin, että pientuulivoima olisi kannattavaa taloudellisesti, kun keskituulennopeus ylittää 6 m/s. Siten pientuulivoimaloita olisi järkevää sijoittaa vain saaristoon sisämaalla keskituulennopeuden ollessa heikompi. Jotta potentiaalista saataisiin merkittävä Suomessa, tulisi teknologian voimaloissa kehittyä tai tulisi pientuulivoimaloiden investointikustannusten puolittua, että pientuulivoima muuttuisi kannattavaksi 5 m/s tuulella, jota pidetään alarajana pientuulivoiman taloudelliselle kannattavuudelle

maailmalla. Tarpeeksi tuulisten paikkojen löytyminen tuottaa myös haasteita, joten pientuulivoimalla ei katsota olevan hirveän suurta potentiaalia vielä Suomessa hajautetussa sähköntuotannossa. Pientuulivoimaa voi silti miettiä hyödynnettävän aurinkoenergian rinnalla. Parhaiten se olisi hyödynnettävissä sähköjärjestelmien ulkopuolella esimerkiksi saaristossa. [56, s.11–12.]

Uusiutuvan energian sähkösovimukset

EKOenergia on ympäristömerkki uusiutuvalla energialle. Sen on perustanut ympäristöjärjestöt ympäri maailman ja Suomessa sitä edistää Suomen Luonnonsuojeluliitto. EKOenergiaa myy muutamat sähkömyyjät Suomessa ja sitä voi hankkia joko yritykset tai yksittäiset kuluttajat. EKOenergian tarkoitus on edistää kestävästi tuotetun uusiutuvan sähkön myyntiä ja käyttöä. [60;61;62, s. 5.]

EKOenergia merkitty sähkö takaa, että;

- vihreän sähkön hinnasta osa käytetään ympäristön hyväksi
- vihreän sähkön myynnissä saadusta lisähinnasta käytetään edistämään uusiutuvan sähkön käyttöä ja lisäämään tietoa ja kokemuksia aiheesta
- sähkön alkuperällä ja myyntitavoilla on noudatettu EKOenergian kriteereitä, jotka perustuvat eurooppalaisen ympäristö-, energia- ja kuluttajansuojalainsäädäntöön
- kuluttajat saavat luotettavasti ja yksityiskohtaisesti tietoa ostamastaan sähköstä [62, s. 5].

EKOenergian kriteereitä ovat seuraavat:

- Kuluttajainformaatio eli tuleville ja nykyisille asiakkaille on pystyttävä kertomaan ainakin myytävän sähkön alkuperämaa sekä tuotantotapa.
- Uusiutuvuus, kestävä kehitys ja ilmasto eli tuotannon tulee tapahtua ainoastaan uusiutuvalla energialla, tuotannossa tulee noudattaa kaikkia sille asetettuja lakeja, lupa ja lupaehtoja sekä EKOenergiana myydyistä sähköstä osa sijoitetaan EKOenergian ilmastorahastoon ja rahaston varoja käytetään uusiutuvan energian lisäämiseen sähköntuotannossa.
- Toiminta EKOenergian hyväksymien jäljitysmekanismien mukaisesti, kaksoislaskentaa pyritään ehkäisemään, jotta varmistettaisiin, ettei kukaan toinen kuluttaja vaadi samaa vihreää sähköä, jota toinen kuluttaja käyttää.

- Auditointi ja varmennus tapahtuu EKOenergian laatiman toimenpidelistan mukaisesti, jossa tarkastajana voi viimekädessä toimia ulkopuolinen tilintarkastaja. [62, s. 6–16; 63.]

On myös olemassa muita uusiutuvan energian sähkösopimuksia, joilla kuluttajat pystyvät ostamaan uusiutuvalla energialla tuotettua sähköä. Uusiutuvalle energialle on olemassa alkuperäjärjestelmä, jonka avulla varmistetaan, että kuluttajien käyttämä määrä tuotetaan kuluttajien haluamalla tavalla. [64.]

Vuodesta 2014 lähtien on ollut olemassa alkuperätakuu, joka on ainut hyväksyttävä tapa todistaa uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön alkuperä. Alkuperätakuu myönnetään uusiutuvilla energialähteillä tuotetulle tai tehokkaalla yhteistuotannolla tuotetulle sähkölle. Tehokkaan yhteistuotannon sähkö on hyötylämmön tuotantoon liittyvän prosessin aikana ja energiatehokkuusdirektiivin liitteessä I säädetyn menetelmän mukaan laskettua sähköä. [65.]

Sähkönmyyjän tulee varmentaa kuluttajalle uusiutuvalla energialla tuotetun sähkön alkuperä. Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön määrä tai sen osuus myydystä sähköstä tulee varmentaa viimeistään Energiamarkkinaviraston määräämänä ajankohtana vastaavalla määrällä peruutettuja alkuperätakuita. Jos osuus ilmoitetaan kuitenkin Energiamarkkinaviraston julkaisemassa jäännösjakaumassa ei ole enää tarvetta varmentaa erikseen uusiutuvien energialähteiden osuutta. [65.]

Kuluttajat voivat edistää myös uusiutuvan energian avuin tuotetun sähköntuotantoa vuokraamalla oman aurinkopaneelin voimalasta. Aurinkopaneelien vuokraus mahdollistuu ympäri Suomen, kuten esimerkiksi Helsingissä, Tampereella, Keravalla ja Turussa. Helsingissä Helenin aurinkovoimalat sijaitsevat Kivikossa, Messukeskuksessa sekä Suvilahdessa. Suvilahden aurinkovoimala on esitetty kuvassa 6. [66.]



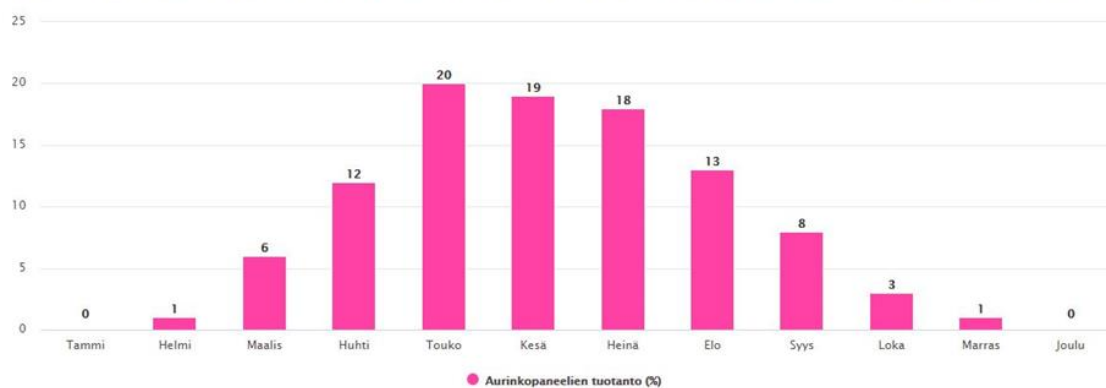
Kuva 6. Helsingin Suvilahdessa sijaitseva aurinkovoimala. [67.]

Aurinkopaneelien vuokraus mahdollistaa tuottajaksi ryhtymisen ilman, että joutuu itse hankkimaan aurinkopaneeleja. Se soveltuu tätä myötä hyvin kerros- tai rivitaloasujalle tai pienyritykselle. [66.]

Helenin sivuilla on esitelty arviota tuotannon jakautumisesta Suomessa kuvassa 7. Kesäkuukausina tuotanto on suurimmillaan. [66.]

AURINKOPANEELIEN TUOTANTO SUOMESSA

Alla keskimääräinen arvio aurinkopaneelien tuotannosta Suomessa. Paneeliesi sähköntuotanto jakautuu siten, että kesäkuukausina tuotto on suurinta.



Kuva 7. Kuukausinäkömä aurinkopaneelien tuotannosta Suomessa. [66.]

Paneeleiden tuottaman sähkön määrä hyvitetään sähkölaskussa pörssihinnan mukaan. Hyvityksen määrä riippuu pörssisähkön hinnasta ja tuotannon määrästä [68].

Voitolle vuokrauksella ei kuitenkaan jää. Kun paneelien vuokraukset Kupittaalla ovat Turussa alkaneet, on Turun Energiakin myöntänyt, ettei voittoa vuokrauksella voi tavoitella. Paneelien menekki kertoo kuitenkin siitä, että kuluttajat haluavat tukea ja lisätä uusiutuvan energian käyttöä Suomen sähköntuotannossa. [69.]

5 Uusiutuvien energialähteiden tulevaisuus

Tulevaisuudessa energiajärjestelmä tulee olemaan älykäs sekä joustava. Tulevaisuudessa energian kulutusta voidaan ohjata energiantuotannon lisäksi. Kulutusta sovitettaiisiin tuotannon mukaan joustavasti. Hybridijärjestelmät, jotka yhdistävät eri tuotantomuotoja tulevat yleistymään. [70, s.6.]

Kysynnän jouston myötä myös kuluttajan vaikutus muuttuu. Kuluttaja on perinteisen roolin lisäksi niin energian tuottaja sekä myös varastoija. Energiatehokkuutta pyritään lisäämään entisestään sen kasvihuonekaasuja vähentävän kyvyn vuoksi. [70, s.6.]

Investoinnit uusiutuvaan energiaan ovat jo kasvaneet vuodesta 2015 lähtien johtuen aurinko- ja tuulivoimateknologian hintojen laskusta. Fossiilisten polttoaineiden käyttö vähennee merkittävästi 2020-luvun aikana jo kivihilestä luopumisen myötä. Samaan aikaan uusiutuvan energian hyödyntäminen lisääntyy. Uusiutuvan energian käyttöä lisää myös energianvarastointiteknologian kehittyminen sekä hintojen aleneminen. [70, s.6.]

Bioenergian on katsottu kattavan 50–60 prosenttia uusiutuvasta energiasta ainakin vuoteen 2030 asti. Bioenergian käyttöä rajoittaa kuitenkin ajatukset sen kestävydestä. Varsinkin laajasti käytettynä puun hyödyntäminen energiantuotannon raaka-aineena on pidetty kyseenalaisena. Puupohjaisen bioenergian lisääminen ja sen kehittyminen on riippuvainen näistä keskusteluista ja niiden loppupäätelmistä. [70, s.9.]

Muita uusiutuvia energialähteitä eli käytännössä tuuli- ja aurinkoenergiaa pyritään lisäämään enemmän tulevaisuudessa ja millä on vaikutusta myös bioenergiaan. Osaltaan pyritään myös siihen, että luonnonvaroja käytettäisiin mahdollisimman tehokkaasti. [71.]

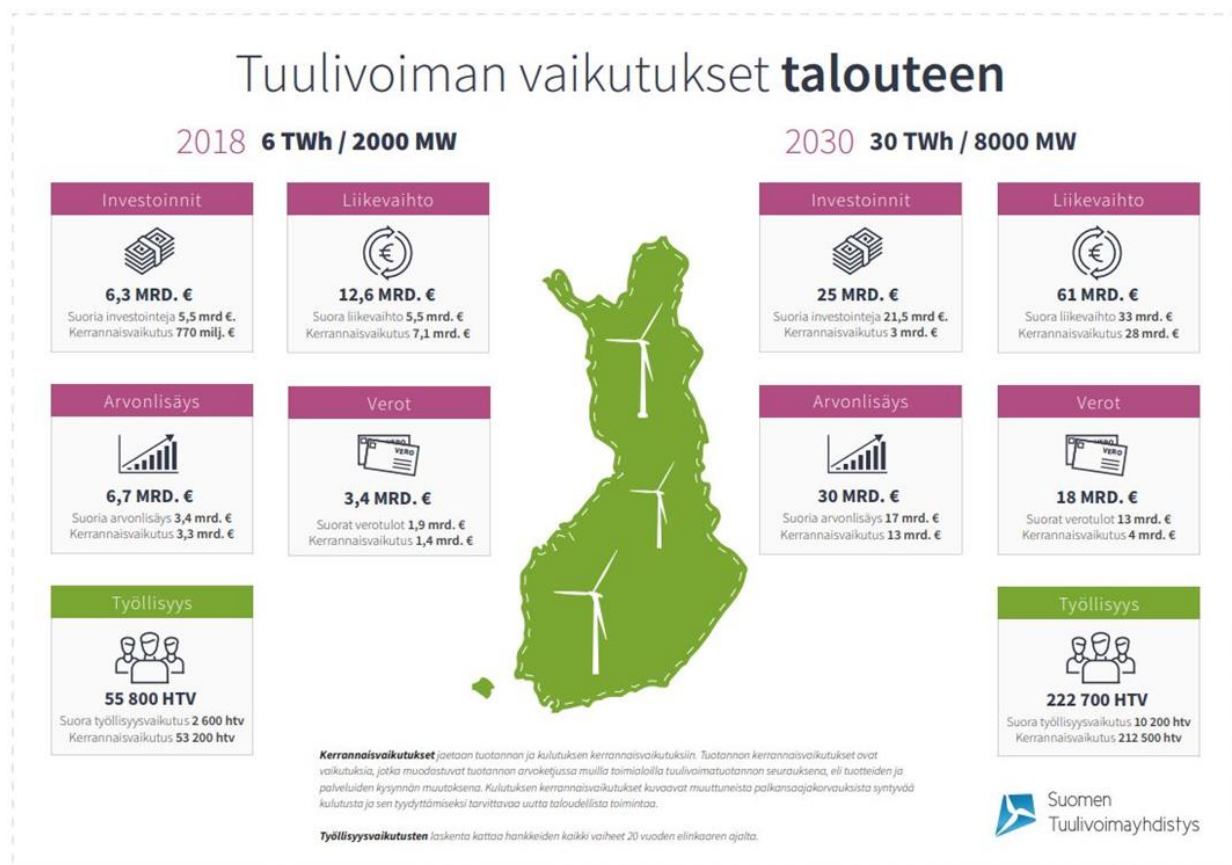
Tulevaisuudessa vuoden 2050 jälkeen aurinkoenergia voi olla pääasiallinen energian tuotantoratkaisu. Sen katsotaan olevan silloin erittäin taloudellista ja varastoinnin kehittyvän tehokkaaksi. Tuulivoimaa, vesivoimaa ja bioenergiaa hyödynnetään niillä alueilla, joissa sen katsotaan olevan luontevasti saatavilla. [19.]

Fossiilisten polttoaineiden käytöstä siirtyminen aurinkoenergian hyödyntämiseen kestää vuosikymmeniä, ja tämän vuoksi aurinkosähköjärjestelmiä tulisi ottaa nyt jo enemmän käyttöön. Aurinkopaneeleja voisi jo jokainen yksittäinen kuluttaja asentaa omalle katolle ja näin edistää hiilidioksidipäästöjen vähenemistä. [19.]

Yksi keino uusiutuvan energian lisäämiseen tulevaisuudessa on poistaa esteitä valtion ja kuntien toimesta ja helpottaa uusien tuuli- ja aurinkovoimaloiden rakentamista, jotta tämä kiihdyttäisi markkinoiden kehitystä. Tämä johtaisi uusiutuvan energian hinnan niin huomattavaan laskuun, että se voisi korvata hiilen polton. [19.]

Aurinko- ja tuulivoiman hyödyntäminen tuo myös haasteita monien hyötyjen lisäksi. Tuotantomuodot ovat hyvin riippuvaisia säästä, mikä lisää taloudellista kannattamattomuutta. Tuotannon ja kulutuksen molempien vaihdellessa paljon on sähköjärjestelmän tehotasapainon hallinta haastavaa. Sähköjärjestelmissä tuotannon ja kulutuksen tulisikin olla koko ajan tasapainossa. Jotta tehotasapainoa voitaisiin paremmin hallita, tarvitaan kysyntäjoustoa eli sähkön käytön rajoittamista ja kulutuksen ohjaamista eri ajankohtaan, kun hinta on edullisempaa. Sähkön varastointia tulisikin entistä enemmän kehittää niin, että lisättäisiin tehotasapainon hallintaa ja toimintavarmuutta. [19.]

Tuulivoiman odotetaan lisääntyvän 30 TWh:n vuosituotantoon vuoteen 2030 mennessä. Se vastaa viisi kertaa sitä määrää, mitä tuotettiin vuonna 2018. Tällä määrällä voidaan kattaa 30 prosenttia Suomen arvioidusta sähkönkulutuksesta vuonna 2030. Jotta tähän tavoitteeseen päästään tarvitaan 6000 MW:n voimarakapasiteetin lisäystä. Tämä määrän nosto luo myös uusia työpaikkoja, parantaa liikevaihtoa, tuo arvonlisäystä ja investointeja niin tuulivoimasektorilla kuin muillakin toimialoilla (kuva 8.). [72.]



Kuva 8. Tuulivoiman vaikutukset talouteen vuosina 2018 ja 2030. [73.]

Vesivoiman tulevaisuutta on pidetty jossain määrin epävarmana useiden yhtäaikaisten hallinnollisten hankkeiden heikentäessä vesivoimaa. Heikentäminen kohdistuu toimintaympäristön ennakoitavuuteen ja kilpailukykyyn, ja täten ne voivat johtaa vesivoiman säädettävyyteen. Nämä hankkeet ovat EU:n ja kansallisen vesilainsäädännön muutokset, kiinteistöveron muutokset ja kalatalousvelvoitteiden muutoshakemukset viranomaisien toimesta. Lisäksi huoli vesivoiman paikallisista vaikutuksista toimii jossain määrin esteenä vesivoiman tukemiselle ja kehitykselle. [74, s. 2.]

Vesivoiman on katsottu kuitenkin olevan tulevaisuudessa hyvä tuki tuuli- ja aurinkovoimalle sen hyvien säätöominaisuuksien ansiosta. Vesivoima on yksi edullisimmista sähkön tuotantotavoista mutta sen kilpailukykyä heikentävät jatkuvasti kasvavat ulkoiset kustannukset, kuten mm. kiinteistöverot, siirtomaksut ja ympäristövelvoitteet. [74, s.14.]

Vesivoiman lisääminen on epävarmaa myöskin, koska hyödyntämätöntä vesivoimapotentiaalia on erityisesti pienvesivoimaloiden osalta mutta niiden rakentamisen ei ole katsottu olevan taloudellisesti kannattavaa ja työläs toteutus hidastaa osaltaan rakentamista. Ympäristönsuojelu myös rajaa lisärakentamista ja näin potentiaalinen hyödyntäminen. Peruskorjauksen yhteydessä olevan tehonkorotuksen, kun on katsottu olevan yksi keino vesivoiman lisäämiseen mutta tätäkin on jo pitkälti toteutettu. [75.]

Suomen energiankulutusta on ollut haastava arvioida mutta todennäköisintä on, että kulutus pysyy samalla tasolla kuin nykyisin. Teollisuudessa on ollut jo nyt näköpiirissä energian käytön vähenemistä. Suomi tarvitsee kuitenkin paljon energiaa lämmittääkseen rakennuksia johtuen ilmastosta. Energiankulutuksen ei kuitenkaan katsota enää kasvavan, vaikka talouskasvu saattaisi luoda tähän paineita. Tähän luo edellytyksiä teknologian kehittyminen ja energiatehokkuuden lisääntyminen sekä elämäntapojen muutos säästeliäämpään ja vähemmän kuluttavaan suuntaan. Lisäksi on epäilyksiä, että ilmastomuutoksen aiheuttama ilmaston lämpeneminen vähentäisi rakennusten lämmitystarvetta. Liikenteessä sähkönkulutuksen on katsottu tulevaisuudessa kuitenkin lisääntyvän. Kuvassa 9 on havainnollistettu energia-alan muutokseen vaikuttavia tekijöitä. [76, s. 130–131.]



KUVIO 24. ENERGIA-ALAAN VAIKUTTAVAT TULEVAISUUDEN MUUTOSVOIMAT.

Kuva 9. Energia-alan muutosta edistävät tekijät. [76, s. 64.]

Suomi on riippuvainen tuontisähköstä vielä mutta uusiutuvan energian on katsottu lisäävän omavaraisuutta tulevaisuudessa. Uusiutuvien energialähteiden jakaantuessa tasaisemmin fossiilisiin energialähteisiin verrattuna mahdollistuu paremmin alueellistuminen energian tuotannossa ja energialähteet ovat aiempaa kansallisempia. [76, s. 133.]

Uusiutuvan energian investoinnit lisäävät työpaikkoja erityisesti perinteisin energiatoimialan ulkopuolelle. Työpaikkoja tulee olemaan laitevalmistuksessa, maanrakennus- ja rakentamistoimialalla, logistiikassa ja kuljetuksessa. Uusiutuvan energian työllistävyydessä EU-maiden osalta Suomi on toisena Tanskan jälkeen. Suomen ilmastostrategiassa vuoteen 2030 on katsottu, että erityisesti bioenergian tuotannossa työllisyys kasvaisi tulevaisuudessa. Tuulivoiman kasvun myötä odotetaan myös tulevan 400 henkilötyövuotta lisää. [76, s. 132–133.]

LUT-yliopisto on tehnyt tutkimuksen, jossa on mallinnettu, että vuonna 2050 voisi olla täysin uusiutuvaan energiaan perustuva sähköjärjestelmä. Uusi järjestelmä vaatii paljon muutosta ja kehitystä ja työtä. [77.]

Mallinnus on tehty vuodesta 2015 lähtien ja nykyisestä energiajärjestelmästä. Nykyinen energiajärjestelmä poistetaan käytöstä, kun se saavuttaa teknisen elinkaarensa pään. Mallinnuksessa tuotantoteho perustuu empiiriseen tietoon ja käyttöönoton tahtia on rajattu, jotta siirtymä ei olisi epärealistisen nopea. [77.]

Mallinnus osoitti järjestelmän olevan taloudellisesti kannattava tuolloin kustannusten ollessa huomattavasti edullisimpia nykyiseen. Mallinnuksessa aurinkosähkö kattaisi 70 prosenttia sähköntuotannosta ja tuulisähkö 18 prosenttia muiden uusiutuvien lähteiden osuuden jäädessä pienemmäksi. [77.]

Mallinnus toteutettiin viiden vuoden jaksoissa, joissa jokaiselle jaksolle oli määritetty energiajärjestelmä, joka on kustannustehokkain sekä lisäksi toimintamalli perustuen ennalta määritettyihin reunaehtoihin. Reunaehtoina olivat energiankulutus, käytettävissä olevat tuotanto- ja varastointiteknologiat, taloudelliset ja tekniset oletukset ja tuotantokapasiteettirajat käytettävälle teknologialle. [77.]

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia uusiutuvaa energiaa ja sen käyttöä sähkötuotannossa nyt ja tulevaisuudessa. Tämän myötä tutkittiin myös Suomen ja EU:n ilmasto- ja energiapolitiikkaa ja kuinka uusiutuva energiaa on siinä käsitelty. Työn kautta saatiin luotua tietopaketti, jossa kerrotaan uusiutuvan energian nykytilanteesta, mitä tavoitteita on kohdistettu uusiutuvalla energialle, millä keinoin tavoitteisiin voidaan päästä ja miten uusiutuvaa energiaa käytetään tulevaisuudessa.

Merkittävä osa sähköstä tuotetaan tulevaisuudessa hyödyntäen uusiutuvaa energiaa. Sen käyttöä pyritään edistämään tässä hetkessä. Poliittisissa päätöksissä ja sopimuksissa on nähtävissä myönteinen suhtautuminen uusiutuvan energian käyttöön. Poliitikassa on lisäksi jatkuvasti käsitellyssä ehdotelmia keinoista pienentää hiilidioksidipäästöjä ja lisätä uusiutuvan energian osuutta kokonaisenergiatuotannosta. Yksi tärkeimmistä vaikutuskeinoista on juuri lisätä uusiutuvaa energiaa ja huolehtia hiilinielujen riittävyydestä.

Suomessa on jo olemassa älykäs sähköverkko, mutta sitä kehitetään palvelemaan vielä paremmin tulevaisuuden energiantuotantoa, joka perustuu mahdollisimman pitkälti uusiutuvien energialähteiden hyödyntämiseen. Myös uusiutuvan energian tuotannossa kehitetään tekniikkaa jatkuvasti, jotta laitteistoille saadaan paras mahdollinen hyötysuhde.

Yksittäisen kuluttajan rooli on tärkeä ja pientuotantoa sekä mikrotuotantoa halutaan edistää erinäisin tukivaihtoehtoin. Nykyisin katsotaan kuitenkin, että tuotanto olisi parempi käyttää itse kohteessa.

Lähteet

- 1 Uusiutuva energia Suomessa. 2019. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö <<https://tem.fi/uusiutuva-energia>> Luettu 31.8.2019.
- 2 Laatikainen Tuula. 23.1.2018. Useita ennätyksiä rikki: Suomi tuotti uusiutuvilla ennätysellisen paljon sähköä - myös sähkön CO2-päästöt uuteen ennätyseseen. Verkkoaineisto. Tekniikka & Talous. <<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/useita-ennatyksia-rikki-suomi-tuotti-uusiutuvilla-ennatyksellisen-paljon-sahkoa-myo-sahkon-co2-paastot-uuteen-ennatykseen/ca1f5801-ea0a-317a-88b3-9a4f716ce573>> Luettu 31.8.2019.
- 3 Pasi, Jonna. 2019. Energiavuosi 2018 – Sähkö. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2018_-_sahko.html#material-view> Päivitetty 12.4.2019. Luettu 31.8.2019.
- 4 Uusiutuva energia Suomessa. 2019 Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa> Päivitetty 9.4.2019. Luettu 31.8.2019.
- 5 ”Suomella on hyvät mahdollisuudet kestävä kehityksen mukaiseen ekologiseen jälleenrakentamiseen”. 2019. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <<https://valtioneuvosto.fi/rinteen-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>> Luettu 31.8.2019.
- 6 Tietoa tuulivoimasta. 2019. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta>> Luettu 6.6.2019.
- 7 Tuulivoiman lisäämiseksi on potentiaalia. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkon-tuotanto/tuulivoima> Luettu 6.6.2019.
- 8 Tuulivoima Suomessa ja maailmalla. 2019. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla>> Luettu 16.6.2019.
- 9 Tuulivoima Suomessa. 2019. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa>> Luettu 16.6.2019.
- 10 Ramboll. 2019. Asennettujen tuulivoimaloiden keskimääräinen koko. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa->

tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoima-suomessa-ja-maailmalla/tuulivoima-suomessa> Luettu 16.6.2019.

- 11 Tuet Suomessa. 2019. Suomen tuulivoimayhdistys. Verkkoaineisto. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/ta-loudellisuus/uusiutuvan-energian-tukeminen/tuet-suomessa>> Luettu 14.10.2019.
- 12 Tuulivoimatuotanto ja kapasiteetti. 2019. Kuvaaja. Energiateollisuus. <https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energia-vuosi_2018_-_sahko.html#material-view> Luettu 16.6.2019.
- 13 Tuulivoimatekniikka. 2019. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka>> Luettu 16.6.2019.
- 14 Motiva. 2019. Tuulivoimaloiden osat. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka>> Luettu 16.6.2019.
- 15 Tuulivoimaloiden rakenne. 2019. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne>> Luettu 16.6.2019.
- 16 Eri voimalatyyppejä. 2019. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimatekniikka/tuulivoimaloiden-rakenne/eri-voimalatyyppeja-sis-linkki>> Luettu 16.6.2019.
- 17 Aurinkosähkö. 2019. Verkkojulkaisu. Energiateollisuus. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima> Luettu 16.6.2019.
- 18 Auringosta sähköä. 2019. Verkkojulkaisu. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa> Luettu 16.6.2019.
- 19 Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. 2019. Verkkoaineisto. LUT-yliopisto. <https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa> Luettu 3.7.2019.
- 20 Aarni, Milja. 2018. Bioenergia. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia> Päivitetty 23.11.2018. Luettu 9.7.2019.

- 21 Biomassan tuotanto ja polttoaineen käyttö ratkaisevassa roolissa bioenergian ilmastohyötyjä arvioitaessa. 2019. Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/c14a79cd-d384-41f4-a422-32338ecb35ca/bioenergia.html>> Luettu 16.7.2019.
- 22 Bioenergian käyttö. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto> Luettu. 9.7.2019.
- 23 Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköntuotantoa. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima> Luettu 12.8.2019.
- 24 Muut energiantuotantoprosessit – Vesivoima. 2019. Kuva. Ydinasiaa. <<https://ydinasiaa.fi/energian-tuotanto/muut-energiantuotantoprosessit/>> Luettu 12.8.2019.
- 25 Vedenpehmeää tietoa vesivoimasta! Pohjois-Suomessa tuotettavasta energiasta suurin osa tuotetaan vesivoimalla. 2019. Verkkoaineisto. Energiamaailma. <<https://energiamaailma.fi/mista-virtaa/uusiutuvat-energiالاhteet/vesivoima/>> Luettu 12.8.2019.
- 26 Vesivoima. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima> Luettu 12.8.2019.
- 27 Keskitalo, Jorma. 2011. Ihmiskunnan energiakriisi. Tallinna: Gaudeamus. Luettu 22.8.2019.
- 28 Tuulivoiman ympäristövaikutukset. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Tuulivoimayhdistys. <<https://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoiman-vaikutukset/ymparistovaikutukset>> Luettu 31.8.2019.
- 29 Luotola, Janne. 2016. Outo juttu: Tuulivoiman kasvu lisää öljynkulutusta, tässä syy. Verkkoaineisto. Tekniikka & Talous. <<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/outo-juttu-tuulivoiman-kasvu-lisaa-oljynkulutusta-tassa-syy/ed1d0523-c9c8-3715-bd54-d6a2c4a3d79b>> Luettu 16.10.2019.
- 30 Korhonen, Himmi. 2018. Aurinkoenergian hiilidioksidipäästöt. Insinööriyö. Oulun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Luettu 7.9.2019
- 31 Näin aurinkoenergian hiilijalanjälki saadaan pienemmäksi. 2010. Verkkoaineisto. CO2-raportti. <http://www.co2-raportti.fi/?page=ilmastouutisia&news_id=2715> Luettu 31.8.2019.

- 32 Vesisähkö. 2019. Verkkoaineisto. Solutions 2011. <<https://solutions2011.fi/vesisahko/>> Luettu 7.9.2019.
- 33 Jantunen, Pirjo. 2018. Miksi metsäenergia lasketaan nollapäästöiseksi? Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/yritys/vastuullisuus/ajankoh-taista/blogi/2018/nollapaastoisyys/>> Luettu 7.9.2019.
- 34 Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. 2017. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Luettu 15.9.2019.
- 35 Energia- ja ilmastotavoitteet. 2019. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<https://tem.fi/energia-ja-ilmastotavoitteet>> Luettu 15.9.2019.
- 36 Kansallinen energia- ja ilmastostrategia 2030. 2019. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<https://tem.fi/strategia2016>> Luettu 15.9.2019.
- 37 Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta. Pääministeri Antti Rinteen hallituksen ohjelma. 2019. Verkkoaineisto. Valtioneuvosto. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161662/Osallistava_ja_osaava_Suomi_2019_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Luettu 22.8.2019.
- 38 Euroopan unionin ilmastopolitiikka. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka> Päivitetty 19.9.2018. Luettu 15.9.2019.
- 39 Etenemissuunnitelma - siirtyminen kilpailukykyiseen vähähiiliseen talouteen vuonna 2050. 2011. Verkkoaineisto. Euroopan komissio. <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0112:FIN:FI:PDF>> Luettu 15.10.2019.
- 40 Kansainväliset ilmastoneuvottelut. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut> Päivitetty 25.3.2019. Luettu 15.9.2019.
- 41 Kioton pöytäkirja. 2019. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Kioton_poytakirja> päivitetty 29.3.2019. Luettu 7.9.2019.

- 42 Ilmastotoimia koskevat kansainväliset sopimukset. 2018. Verkkoaineisto. Eurooppa-neuvosto. <<https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/climate-change/international-agreements-climate-action/>> Päivitetty 7.6.2018. Luettu 7.9.2019.
- 43 Alakunnas, Tuomas. Uusiutuva energia tulee – halusit tai et. 2016. Verkkoaineisto. Lumen. <<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/119742/Alakunnas%20Lumen-lehti%203-2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Luettu 27.8.2019.
- 44 Pariisin ilmastopöytäkirja. 2015. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto-ja-ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta> Päivitetty 26.4.2019. Luettu 7.9.2019.
- 45 Tuotantotuki. 2019. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/tuotantotuki>> Luettu 23.9.2019.
- 47 Syöttötariffi. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/syototariffi> Päivitetty 18.10.2019. Luettu 20.10.2019.
- 48 Energiatuki. 2019. Verkkoaineisto. Business Finland. <<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>> Luettu 23.9.2019.
- 49 Preemiojärjestelmä. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/preemiojarjestelma> Päivitetty 8.4.2019. Luettu 23.9.2019.
- 50 Preemio-ohje, luonnos. 2019. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12854466/Preemio-ohje+luonnos.pdf/feb7bf5a-1a57-f3b4-bc0a-d8b70be10862/Preemio-ohje+luonnos.pdf>> Luettu 23.9.2019.
- 51 Energiavirasto: Tarjouskilpailu uusiutuvan energian sähkötuista. 2018. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ajankohtaista/tiedotteet/muut_tiedotteet/2018/energiavirasto_tarjouskilpailu_uusiutuvan_energian_sahkotuista.13718.news> Päivitetty 14.11.2018. Luettu 21.10.2019.

- 52 Maatalouden investointituet. 2019. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/maatalouden_investointituet> Päivitetty 17.5.2019. Luettu 23.9.2019.
- 53 Portin, Anja. 2008. Kaikesta jää jälki. Keuruu: Kustannusosakeyhtiö Avain. Luettu 26.9.2019.
- 54 Pientuotanto sopii Suomen energijärjestelmään. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka/uusiutuva_energia/pientuotanto> Luettu 27.9.2019.
- 55 Kohti älykästä energijärjestelmää. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/energiateollisuuden_edunvalvonta/energiapolitiikka/energia-verkot> Luettu 27.9.2019.
- 56 Pöyry Management Consulting Oy. 2017. Hajautetun uusiutuvan energiantuotannon potentiaali, kannattavuus ja tulevaisuuden näkymät Suomessa. Verkkoaineisto. Valtioneuvoston kanslia. <https://tietokayttoon.fi/documents/10616/3866814/5_2017_Hajautetun+uusiutuvan+energiantuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+näkymät+Suomessa/f7fa0126-2880-452d-954b-f52ea5f0a9a0/5_2017_Hajautetun+uusiutuvan+energiantuotannon+potentiaali%2C+kannattavuus+ja+tulevaisuuden+näkymät+Suomessa.pdf?version=1.0> Luettu 27.9.2019.
- 57 Hajautettua sähkönpientuotantoa. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto> Luettu 27.9.2019.
- 58 Winqvist, Erika, Luostarinen, Sari, Kässi, Pellervo, Pyykkönen, Ville ja Regina, Kristiina. 2015. Maatilojen biokaasulaitosten kannattavuus ja kasvihuonekaasujen päästövähennys. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/486091/luke_luobio_36_2015.pdf?sequence=4&isAllowed=y> Luettu 19.10.2019.
- 59 Pientuotannon tuet. 2016. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/sahkon_pientuotanto/kuluttaja_alle_50_kva/pientuotannon_tuet> Luettu 27.9.2019.
- 60 Uusiutuva energia sähkösopimuksen alkuperäksi. 2019. Verkkoaineisto. Fortum <<https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoa-kotiin/uusiutuva-energia>> Luettu 29.9.2019.

- 61 Osta EKOenergiaa kotiisi, mökillesi tai muuhun pienen sähkönkulutuksen kohteeseen. 2019. Verkkoaineisto. EKOenergia. <<https://www.ekoenergy.org/fi/buying-ekoenergy/>> Luettu 29.9.2019.
- 62 EKOenergia-verkosto ja -merkki. 2019. Verkkoaineisto. EKOenergia. <https://www.ekoenergy.org/wp-content/uploads/2013/06/Ekoenergy_Text_Finish.pdf> Luettu 29.9.2019.
- 63 Energian alkuperän jäljitettävyys. 2019. Verkkoaineisto. EKOenergia. <<https://www.ekoenergy.org/fi/ecolabel/tracking/>> Luettu 29.9.2019.
- 64 Uusiutuvaa energiaa edullisesti. 2019. Verkkoaineisto. Fortum. <<https://www.fortum.fi/kotiasiakkaille/sahkoa-kotiin/uusiutuva-energia/100prossuusiutuva>> Luettu 1.10.2019.
- 65 Ohje sähkön alkuperän varmentamisesta ja ilmoittamisesta. 2014. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12762067/Ohje+sähkön+alkuperän+varmentamisesta+ja+ilmoittamisesta.pdf/a33addc4-8f84-6041-888c-7df2de24df30/Ohje+sähkön+alkuperän+varmentamisesta+ja+ilmoittamisesta.pdf.pdf>> Luettu 1.10.2019.
- 66 Aurinkosähköä Messukeskuksesta. 2019. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/aurinko/kodit/aurinkosahko/messukeskus>> Luettu 1.10.2019.
- 67 Suomen suurin aurinkovoimala vihittiin käyttöön Helsingissä. 2015. Verkkoaineisto. Sähköala.fi <http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/uutiset/uutiskisto/2015/fi_FI/120315_Suvilahden_aurinkovoimala/> Luettu 1.10.2019.
- 68 Vuokraa aurinkopaneeli – ole mukana tuottamassa ympäristöystävällistä energiaa! 2019. Verkkoaineisto. KSS Energia. <<https://kssenergia.fi/vuokraa-aurinkopaneeli>> Luettu 1.10.2019.
- 69 Puolakka, Marjukka. 2016. "Jos ajattelee vain euroja, ei kannata" – Aurinkopaneelin tuotannolla pesee vuoden tiskit, silti viedään käsistä. Verkkoaineisto. Tekniikka & Talous. <<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/jos-ajattelee-vain-euroja-ei-kannata-aurinkopaneelin-tuotannolla-pesee-vuoden-tiskit-silti-viedaan-kasista/35807537-dea9-3ed8-ac52-90fecc5913b7>> Luettu 1.10.2019.
- 70 Salokoski, Pia. 2017. Tulevaisuuden energia 2030...2050. Verkkoaineisto. Tekes. <https://tem.fi/documents/1410877/2772829/332_2017_Tulevaisuuden+energia_2030_2050.pdf/4f1c0ec0-58fc-4c1c-9297-7f90ac01615b/332_2017_Tulevaisuuden+energia_2030_2050.pdf> Luettu 3.10.2019.

- 71 Bergqvist, Paula. 2018. Energiaratkaisut ja 2050-tavoitteet. Verkkoaineisto. Teknologian tutkimuskeskus VTT. <<https://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Energiaratkaisut-ja-2050-tavoitteet.aspx>> Luettu 3.10.2019.
- 72 Tuulivoiman tulevaisuudennäkymät. 2019. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/ajankohtaista/julkaisut-ja-tutkimukset/4552/tuulivoiman_tulevaisuudennakymat> Luettu 7.10.2019.
- 73 Tuulivoiman vaikutukset talouteen. 2019. Verkkoaineisto. Suomen tuulivoimayhdistys. <https://www.tuulivoimayhdistys.fi/filebank/1389-STY2019_aluetalousvaikutukset.pdf> Luettu 7.10.2019.
- 74 Veden voimalla kohti puhtaampaa tulevaisuutta. 2018. Verkkoaineisto. Fortum Oyj. <https://www.fortum.fi/sites/g/files/rkxjap156/files/documents/2018_04_fortum_energiakatsaus_vesivoima.pdf> Luettu 7.10.2019.
- 75 Vesivoimalla eniten uusiutuvaa sähköntuotantoa. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima> Luettu 7.10.2019.
- 76 Vepsäläinen, Jukka. 2017. Energia-alan osaamistarpeet tulevaisuudessa. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/energia-alan_osaamistarpeet_tulevaisuudessa.pdf> Luettu 7.10.2019.
- 77 Lampila, Jouko. 2019. Päästötön sähköjärjestelmä voidaan toteuttaa kannattavasti vuoteen 2050 mennessä. Verkkoaineisto. Kestävä energiatalous. <<https://www.energiatalous.fi/?p=2423>> Luettu 7.10.2019.