SUOMI ENERGIAMURROKSESSA – MITEN PARHAITEN VÄHENNETÄÄN ENERGIANTUOTANNON PÄÄSTÖJÄ?

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2024

Noora Savolainen

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Noora Savolainen

Suomi energiamurroksessa – Miten parhaiten vähennetään energiantuotannon päästöjä?

Energiatekniikan kandidaatintyö

2024

39 sivua, 2 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

Avainsanat: Kasvihuonekaasupäästöt, fossiiliset polttoaineet, uusiutuva energia, energiapolitiikka, energiastrategia, ilmastostrategia, sektori-integraatio, energiatehokkuus

Tässä kandidaatintyössä käsitellään Suomen energiantuotannon päästöjen vähentämistä energia- ja ilmastopoliittisesta näkökulmasta. Työssä esitellään Suomen energia- ja ilmastopolitiikan nykytilanne, viimeisimmät toimintastrategiat sekä niiden vaikutusarviot. Työn tarkoitus on toimia tiivistelmänä energiantuotannon merkittävimmistä päästönlähteistä ja ratkaisuista päästöjen vähentämiseen. Työn pohjana on käytetty energiapolitiikan nykytilannetta kuvaamaan Sanna Marinin hallituksen vuonna 2022 laatimaa Hiilineutraali Suomi 2035-ilmasto- ja energiastrategiaa.

Energiantuotannon päästöjen vähentämisessä keskitytään erityisesti fossiilisten energiantuotantotapojen korvaamiseen uusiutuvalla energialla. Fossiilisten polttoaineiden käytön rajoittamisessa tehokkaimpina keinoina voidaan pitää niiden käytöstä aiheutuvia taloudellisia rasitteita, kuten EU:n päästökauppaa sekä kansallista energiaveroa. Uusiutuvista energiantuotantomuodoista lupaavimpia korvaamaan fossiilisten energiantuotantolaitosten kapasiteettia ovat tuuli- ja aurinkovoima sekä erityisesti lämmöntuotannossa biopolttoaineet. Työssä painotetaan myös tehokkaiden sähkönsiirtoverkkojen, sektori-integraation sekä energiatehokkuuden roolien merkittävyyttä energiajärjestelmän päästöttömyyden mahdollistamisessa.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

LUT School of Energy Systems

Energy Technology

Noora Savolainen

Energy transition in Finland- What is the most efficient way to reduce emissions in energy production?

Bachelor’s thesis

2024

39 pages, 2 figures and 1 table

Examiners: Professor Esa Vakkilainen

Keywords: Greenhouse gas emissions, fossil fuels, renewable energy, energy politics, energy strategy, climate strategy, sector integration, energy efficiency

This bachelor's thesis discusses the reduction of emissions from Finland's energy production from a political perspective. The thesis presents the current state of Finland's energy and climate policy, the latest action strategies, and their impact assessments. The purpose of the work is to serve as a summary of the most significant sources of emissions in Finland's energy production and the solutions for reducing these emissions. The basis of the work is the Carbon Neutral Finland 2035 - climate and energy strategy, prepared by Sanna Marin's government in 2022, which describes the current state of Finnish energy politics.

In reducing emissions from energy production, the focus is particularly on replacing fossil energy production methods with renewable energy. The most effective means of limiting the use of fossil fuels can be considered the economic burdens caused by their use, such as the EU's emissions trading system and national energy taxes. Among renewable energy production methods, the most promising to replace the capacity of fossil energy production plants are wind and solar power, and biofuels especially in heat production. The thesis also emphasizes the importance of efficient electricity transmission networks, sector integration, and the roles of energy efficiency in enabling a carbon-neutral energy system.

LYHENNELUETTELO

COP	YK:n sopimuspuolten konferenssi (Conference of Parties)
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
HIISI	Hiilineutraali Suomi 2035- ilmasto- ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset
WEM	Perusskenaario (With Existing Measures)
WAM	Politiikkaskenaario (With Additional Measures)
WAM-H	Uudempi politiikkaskenaario
KAISU	Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma
PPA	Pitkäaikainen sähkönostosopimus (Power Purchase Agreement)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1 Johdanto 6
2 Suomi energiamurroksessa 7
2.1 Suomen energiapolitiikkaa ohjaavat kansainväliset sopimukset 7
2.2 EU:n ilmastopolitiikan keskeisimmät tavoitteet 9
3 Fossiilisen energian käytön vähentäminen 10
3.1 Päästökauppa 11
3.2 Kansalliset ohjauskeinot 13
3.3 Hiilen energiakäytön kieltolaki 13
4 Uusiutuvien energiantuotantomuotojen lisääminen Suomen energiajärjestelmään 15
4.1 Energiapolitiikan linjaukset ja strategiat 16
4.2 Ilmasto- ja energiastrategian vaikutusarviot 19
4.2.1 Tavoitteiden toteutuminen 22
4.3 Sektori-integraatio 25
5 Energiankulutuksen hillitseminen ja energiatehokkuus 28
5.1 Toimenpiteet energiatehokkuuden edistämiseksi 28
6 Johtopäätökset 30
7 Yhteenveto 34
8 Lähteet 35

1 Johdanto

Suomen ilmastolaissa (Finlex, 10.6.2022/423) on määrätty tavoite, jonka mukaan vuonna 2035 kasvihuonekaasupäästöt saavat olla enintään yhtä suuret kuin hiilinielujen poistamat kasvihuonekaasumäärät. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan raskas poliittinen, taloudellinen ja sosiaalinen energiamurros. Poliittisia toimia energiamurroksen aikaansaamiseksi on jo tehty muun muassa muodostamalla ilmasto- ja energiastrategiat suuntaviivoiksi kohti hiilineutraalia Suomea.

Energiamurrokseen sisältyy kolme osa-aluetta: fossiilisen energiantuotannon poistaminen Suomen energiajärjestelmästä, uusiutuvien energiantuotantomuotojen lisääminen sekä energiankulutuksen vähentäminen. Kaikkia näistä kolmesta tekijästä tarvitaan, jotta hiilineutraaliustavoitteeseen olisi mahdollista päästä. Kun pohditaan keinoja päästöjen vähentämiseksi, tulee asiaa tarkastella sekä suoraan teknisestä näkökulmasta että laajemmasta poliittisesta näkökulmasta. Tekninen näkökulma kattaa alleen uusien päästöttömien energiantuotantokeinojen kehittämistyön sekä erilaiset tekniset keinot päästöjen vähentämiseksi, esimerkiksi muutokset voimalaitosten prosesseihin tai polttoaineisiin. Poliittisella näkökulmalla taas tarkoitetaan energiamurrosta koskevia poliittisia linjauksia ja kansainvälisiä sopimuksia, jotka toimivat ohjeina sekä suuntaviivoina päästötavoitteisiin pääsemisessä ja määräävät, millä keinoilla ja aikataululla energiajärjestelmää on lähdettävä muuttamaan.

Tässä työssä tarkastellaan keinoja energiantuotannon päästöjen vähentämiseen poliittisesta näkökulmasta. Tarkoitus on käsitellä jo olemassa olevia energia- ja ilmastopoliittisia strategioita sekä linjauksia, ja esittää niiden pohjalta optimaalisin kokonaisuus päästötavoitteiden saavuttamiseen. Tarkastelu on rajattu Suomen alueelle. Työssä käydään läpi kaikki kolme energiamurroksen osa-aluetta ja esitellään perusteltuina toimivimmat keinot kunkin osa-alueen edistämiseen sekä niitä rajoittavat tekijät. Rajoittavilla tekijöillä tarkoitetaan niitä poliittisia, taloudellisia ja sosiaalisia tekijöitä, jotka määräävät esimerkiksi, kuinka paljon mitäkin uusiutuvaa energiantuotantomuotoa voidaan lisätä Suomen energiajärjestelmään, miksi fossiilisista polttoaineista luopuminen ei ole yksinkertainen ja nopea prosessi ja mihin asti energiankulutusta voidaan vähentää realistisesti ilman negatiivisia vaikutuksia.

2 Suomi energiamurroksessa

Ilmastonmuutoksen hidastamiseksi vaaditaan merkittäviä toimia erityisesti energiasektorilla. Vuonna 2022 energiantuotanto kattoi yli 70 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (SVT, 2023a). Vaadittavia muutoksia energiasektorilla ovat erityisesti fossiilisista polttoaineista luopuminen, uusiutuvaan energiantuotantoon panostaminen sekä energiankulutuksen hillitseminen.

Energiamurroksen onnistuminen vaatii mahdollisimman sulavan ja nopean siirtymän täysin uusiutuvaan energiantuotantoon, muutoksia poliittisiin linjauksiin sekä kansalaisten aktiivisuutta ja motivaatiota kiinnittää huomiota energiankulutukseen. Poliittista osa-aluetta ohjaavat erilaiset kansainväliset ilmastosopimukset sekä Euroopan Unionin ilmastopolitiikka, joiden pohjalta Suomen omat energiapoliittiset tavoitteet on määritetty ilmastolakiin. Ilmastolain (Finlex, 10.6.2022/423) mukaan kokonaiskasvihuonepäästöjen tulee vähentyä vuoteen 2030 mennessä 60 %, vuoteen 2040 mennessä 80 % ja vuoteen 2050 mennessä vähintään 90 % vuoden 1990 referenssitasosta.

Kasvihuonekaasupäästöihin kuuluvat merkittävimmän, eli hiilidioksidin, lisäksi myös metaani ja typpioksidi. Kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää voidaan mitata hiilidioksidiekvivalentin avulla, jossa metaani- ja typpidioksidipäästöt on suhteutettu hiilidioksidipäästöihin selkeyden vuoksi. (SVT, 2024a)

2.1 Suomen energiapolitiikkaa ohjaavat kansainväliset sopimukset

Kansainväliset sopimukset toimivat perustuksina Suomen kansalliselle ilmastopolitiikalle. Kansainväliset sopimukset määräävät ilmastopolitiikalle universaalit tavoitteet sekä aikataulun, jossa Suomenkin ilmastopoliittisten päätösten täytyy toteutua. Merkittävimmät ja vaikutusvaltaisimmat kansainväliset ilmastosopimukset ovat YK:n ilmastosopimus, YK:n ilmastosopimukseen kuuluva Kioton pöytäkirja sekä Pariisin ilmastosopimus.

YK:n ilmastosopimus tehtiin vuonna 1992 ja pantiin täytäntöön vuonna 1994. YK:n ilmastosopimuksen vahvisti 197 maata. YK:n ilmastosopimuksen tavoite on Finlexin ilmastonmuutosta koskevan YK:n puitesopimustekstin (61/1994) 2 artiklan mukaan seuraavanlainen:

”Tavoitteena on yleissopimuksen asiaankuuluvien määräysten mukaisesti saada aikaan kasvihuonekaasujen pitoisuuksien vakiintuminen ilmakehässä sellaiselle tasolle, ettei ihmisen toiminnasta aiheudu vaarallista häiriötä ilmastojärjestelmässä.” Lisäksi tavoitteeseen on kirjattu, ettei tarvittavia muutoksia saa tehdä liian nopeasti, vaan aikatauluttamisessa on otettava huomioon ekosysteemien vaatima sopeutumisaika, jolloin saadaan turvattua elintarviketuotanto sekä kestävä kehitys.

YK:n ilmastosopimus toteaa teollisuusmaiden suuren roolin ilmastonmuutoksessa ja siksi nimittääkin teollisuusmaat edelläkävijöiksi ilmastonmuutoksen vastaisessa taistelussa. Sopimus kehottaa pyrkimään päätöksenteossa mataliin kustannuksiin ja mahdollisimman laajaan vaikutusalueeseen sekä valtioiden väliseen yhteistyöhön. Vaikka YK:n ilmastosopimukseen ei ole kirjattu lukuarvoja sille, miten suuresti päästöjä tulee vähentää missäkin ajassa, velvoittaa se sopimusvaltioita laatimaan omat ohjelmansa ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi sekä raportoimaan määräajoin ohjelmiensa kulusta ja tehdyistä toimista laskelmien kera sopimuspuolten konferenssin (Conference of Parties, COP), tarkistettavaksi. COP-konferensseja pidetään nykyään vuosittain. (Finlex, 61/1994, 7 artikla)

YK:n ilmastosopimusta täydentämään hyväksyttiin vuoden 1997 COP:ssa Kioton pöytäkirja, joka tuli voimaan vuonna 2005. Lisääntyvät tieteelliset tutkimukset kasvattivat tietämystä ilmastonmuutoksen vakavuudesta, joten alkuperäisen ilmastosopimuksen keinoja ei koettu riittäviksi ilmastonmuutoksen hidastamiseen. Kioton pöytäkirjaan laadittiin lisävelvoitteita kehittyneille maille hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Pöytäkirjan ensimmäiselle velvoitekaudelle vuosille 2008–2012 laadittu tavoite oli 5 %:n lasku hiilidioksidipäästöissä vuoden 1990 tasoon nähden. (Finlex, 13/2005)

Kioton pöytäkirjan toinen velvoitekausi hyväksyttiin vuonna 2012 Dohan kokouksessa. Toinen velvoitekausi kattoi vuodet 2013–2020, joiden aikana sopimusmaiden tavoitteena oli yhdessä laskea kokonaiskasvihuonekaasupäästöjään 20 %:lla vuoden 1990 tasoon nähden. (Euroopan unionin virallinen lehti, 2015/1339)

Kioton pöytäkirjan seuraajaksi laadittiin vuoden 2015 COP:ssa (COP21) Pariisin ilmastosopimus täydentämään YK:n ilmastosopimusta vuoden 2020 jälkeiselle ajalle. Pariisin ilmastosopimuksessa tavoitellaan maapallon keskilämpötilan nousun pitämistä alle 2 °C:ssa esiteollisen ajan keskilämpötilasta ja pyritään pysäyttämään keskilämpötilan nouseminen 1,5 asteeseen konkreettisilla toimilla. Pariisin ilmastosopimuksen sopimusvaltioiden tulee

esittää viiden vuoden välein tilannekatsauksissa omat kansalliset panoksensa ilmastosopimuksen tavoitteiden toteutumisen edistämiseksi. Kansallisten panosten tulee olla tavoitteellisia ja jokaisen uuden ohjelman olla kehittyneempi kuin edellinen, sillä tavoitteena on hyödyntää jokaisen sopimusvaltion maksimaalinen päästövähennyspotentiaali. (Pariisin ilmastosopimus, 2015)

2.2 EU:n ilmastopolitiikan keskeisimmät tavoitteet

EU:n ilmastopolitiikka pohjautuu kansainvälisiin ilmastosopimuksiin. Euroopan komissio on luonut Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteiden pohjalta EU:n jäsenmaiden yhteisen strategian, jolla pyritään saamaan aikaan tarvittavat muutokset lämpötilatavoitteiden saavuttamiseksi.

Euroopan komission vihreän kehityksen ohjelmassa unionin pitkän aikavälin tavoitteeksi on kirjattu päästä vuoteen 2050 mennessä kasvihuonekaasujen nettopäästöistä kokonaan eroon ja pyrkiä tämän jälkeen negatiivisiin päästömääriin lisäämällä hiilinieluja. Pitkän aikavälin tavoite auttaa saavuttamaan Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteet kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti, oikeudenmukaisesti sekä kustannustehokkaasti. Vuoden 2050 tavoitteen onnistumisen todennäköisyyden parantamiseksi ilmastolakiin on kirjattu välitavoite vuodelle 2030. Välitavoitteena on vähentää vuoteen 2030 mennessä kasvihuonekaasujen nettopäästöjä vähintään 55 % vuoden 1990 tasoon nähden. Tavoitteiden saavuttamiseksi EU:n jäsenmaiden tulee tehdä nopeita ja merkittäviä vähennyksiä kasvihuonekaasupäästöihin sekä lisätä hiilinieluja päästömäärien tasapainottamiseksi. Ilmastolaissa määrätään, että komission täytyy laatia välitavoite myös vuodelle 2040. Vuoden 2040 välitavoite julkaistiin helmikuussa 2024 ja se on 90 % päästönvähennys vuoden 1990 referenssitasosta (Euroopan unionin virallinen lehti, 2024). Osana vuoden 2040 välitavoitteen laatimista oli myös ohjeellisen kasvihuonekaasubudjetin luominen kaudelle 2030–2050, joka määrittelee kasvihuonekaasupäästöjen nettomäärän kyseisellä kaudella. Budjettien laatimisessa käytetään päästömäärien suureena hiilidioksidiekvivalenttia ja siinä otetaan huomioon nettopäästömäärien lisäksi hiilinielujen aiheuttamat päästöpoistumat. (Euroopan unionin virallinen lehti, 2021)

3 Fossiilisen energian käytön vähentäminen

Fossiilisen energian osuus energian kokonaiskulutuksesta oli Suomessa vuonna 2023 noin 30 %. Tähän lasketaan myös turve, joka kattaa enää noin 2 % energian kokonaiskulutuksesta. Muita käytössä olevia fossiilisia polttoaineita ja niiden osuuksia kokonaiskulutuksesta vuonna 2023 olivat öljy (18 %), hiili (4 %) sekä maakaasu (3,2 %). (SVT, 2024b)

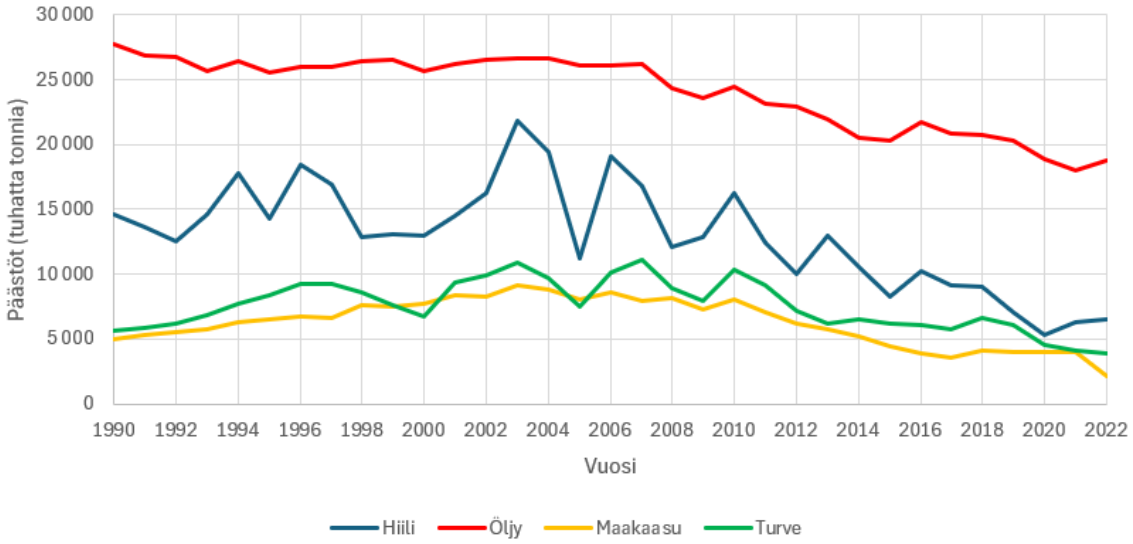
Fossiilisten polttoaineiden poltosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ovat aina muodostaneet ja muodostavat edelleen valtaosan Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä. Kokonaispäästöillä tarkoitetaan yhteenlaskettuja hiilidioksidi-, metaani- sekä dityppioksidipäästöjä, joihin ei lasketa mukaan biohiiliperäisiä hiilidioksidipäästöjä ja joista on vähennetty nettohiilinielumäärä. Taulukossa 1 on esitetty yleisimpien fossiilisten polttoaineiden, eli hiilen (kivihiili ja ruskohiili), öljyn, maakaasun sekä turpeen, poltosta syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen prosentuaaliset osuudet kasvohuonekaasujen kokonaispäästöistä vuosina 1990–2022. Taulukosta nähdään, kuinka merkittävästi erityisesti hiilen sekä öljyn poltosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt vaikuttavat kokonaispäästöihin. Yhteensä fossiilisten polttoaineiden osuus kokonaispäästöistä on jokaisena tarkasteltavana vuotena yli 70 %.

Taulukko 1. Fossiilisten polttoaineiden polton päästöjen osuus Suomen kokonaispäästöistä vuosina 1990–2022 (SVT, 2024c)

Vuosi	Hiili (%)	Öljy (%)	Maakaasu (%)	Turve (%)
1990	20,5	38,9	7,1	7,9
1995	19,9	35,5	9,0	11,7
2000	18,5	36,5	10,9	9,5
2005	16,1	37,4	11,6	10,8
2010	21,5	32,4	10,6	13,7
2015	14,8	36,3	7,9	11,1
2020	11,1	39,7	8,5	9,6
2022	14,2	41,0	4,6	8,6

Kuvan 1 kuvaajassa näkyy fossiilisten polttoaineiden poltosta syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen määrien kehitys polttoaineittain eroteltuna vuosina 1990–2022. Kuvasta nähdään öljyn selkeä johtoasema kasvihuonekaasupäästöjen tuottajana. Öljyn päästöistä suurin osa

kuitenkin liittyy sen jalostusprosessin kasvihuonekaasupäästöihin sekä rooliin liikenteen polttoaineena. Tarkastellessa vain sähkön- ja lämmöntuotannosta aiheutuvia päästöjä fossiilisista polttoaineista eniten päästöjä aiheuttavat kivihiili sekä maakaasu.



Kuva 1. Fossiilisten polttoaineiden poltosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt vuosina 1990–2022 (SVT, 2024b)

Fossiilisen energian vähentämiseksi polttoaineesta riippumatta tehokkain keino on taloudellinen rasitus, joka aiheutuu sen käytöstä syntyvien kasvihuonekaasupäästöjen hinnasta. Fossiilisten polttoaineiden käytölle on asetettu taloudellisesti rajoittavia tekijöitä sekä EU:n laajuisesti että kansallisella tasolla.

3.1 Päästökauppa

Kasvihuonekaasujen tuottamiseksi kaikilta teholtaan yli 20 MW:n polttolaitoksilta sekä samassa verkossa olevilta pienemmiltä kaukolämpölaitoksilta vaaditaan päästölupa sekä päästöjen tarkkailusuunnitelma. Tämä on kirjattu päästökauppalakiin. (Finlex, 28.12.2023/1270)

Päästökauppalaki on perustettu Euroopan unionin päästökauppadirektiivin mukaisesti keinoksi sekä liikenteen että energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Päästökauppaa käydään hiilidioksidiekvivalenteissa. Hiilidioksidiekvivalentteihin suhteuttamalla päästökaupassa huomioidaan myös muut kasvihuonekaasut. Päästökauppaa käydään kausittain, ja jokaiselle kaudelle määrätään erikseen ilmastotavoitteiden mukainen päästöjen enimmäismäärä sekä siitä edelleen laskettu myönnettävien päästöoikeuksien määrä

kyseisellä kaudella. Päästöoikeuden ostamalla energiantuottaja saa oikeuden yhden hiilidioksidiekvivalenttitonnin päästämiseen ilmakehään sovittuna ajanjaksona. Päästöoikeuksien kauppa käydään yleensä huutokauppaamalla, joten hiilidioksidiekvivalenttitonnien hinta määräytyy kausittain kysynnän ja tarjonnan mukaan. (Finlex, 28.12.2023/1270)

Fossiilisen energian käytön, ja sitä kautta kasvihuonekaasupäästöjen, vähentämiseksi päästökaupassa käytetään lineaarista vähennyskerrointa. Myönnettävien päästöoikeuksien määrä vähenee vuosittain lineaarisen vähennyskertoimen mukaisen prosenttiosuuden verran. Päästökauppalakiin kirjattu vähennyskerroin vuosina 2021–2023 oli 2,2 %, josta se nostettiin 4,3 %:iin vuosiksi 2024–2027. (Finlex, 28.12.2023/1270)

Yksi päästökaupan periaatteista on päästöoikeuden hinnan suhteuttaminen päästöjen vähentämistoimien kustannuksiin. Jos päästöoikeuden ostaminen tulee halvemmaksi kuin kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen laitosteknisillä muutoksilla, päästöoikeuden ostaminen on kannattavampaa. Jos taas päästöoikeuden hinta on korkeampi kuin vastaavan kasvihuonekaasupäästömäärän vähentämisen kustannukset, on vähentämistoimien toteuttaminen kannattavampaa. (TEM, 6.6.2024)

Kaupattavien päästöoikeuksien määrän lineaarinen vähentyminen markkinoilla kaudesta toiseen kasvattaa yhden hiilidioksidiekvivalenttitonnin hintaa huutokaupassa. Mitä korkeammalle päästöoikeuden hinnat nousevat, sitä useammin tuotantolaitokset joutuvat tilanteisiin, joissa päästöjen vähentämistoimet tuovat vähemmän kuluja kuin päästöoikeuksien ostaminen. Tämä edistää yleisesti fossiilisia polttoaineita käyttävien energiantuotantolaitosten päästöjen vähenemistä ja johtaa lopulta siihen, ettei energian tuottaminen fossiilisilla polttoaineilla ole enää taloudellisesti kannattavaa. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisemassa ja Sanna Marinin hallituksen laatimassa Hiilineutraali Suomi 2035- kansallisessa ilmasto- ja energiastrategiassa (2022) EU:n päästökauppaa ja päästöoikeuksien hinnan nostamista pidetään tehokkaimpana keinona energiantuotannon päästöjen vähentämiseen, sillä sen on nähty vaikuttavan päästömääriin hyvin voimakkaasti jo tässä vaiheessa. Päästöoikeuksien hinnannousua vauhditettaessa ongelmaksi muodostuu fossiilisten energialähteiden korvaaminen päästöttömillä energiantuotantomuodoilla tarpeeksi nopeasti. Tästä syystä muutoksia tehtäessä on otettava ilmasto- ja päästöttömyystavoitteiden ankarien muutosaikataulujen lisäksi huomioon myös energiainfrastruktuurin kestävien muutosten vaatima aika, ja löydettävä näiden välille eräänlainen kultainen keskitie. Siirtyminen fossiilisista polttoaineista täysin uusiutuvaan energiaan vaatii onnistuakseen myös pitkälle suunniteltua järjestelmäintegraatiota.

3.2 Kansalliset ohjauskeinot

Kansallisella tasolla fossiilisen energian kulutusta ohjataan muun muassa verotuksella sekä erilaisilla tuilla ja vähentämistoimilla. Energiavero koskee nestemäisiä polttoaineita, sähköntuotantoa sekä joidenkin fossiilisten polttoaineiden tuotantoa. Nestemäisistä polttoaineista veronalaisia ovat kaikki moottoripolttoaineet, lämmitykseen käytettävät hiilivetypolttoaineet sekä bensiini, useat biopolttoaineet, polttoöljyt, lentoliikenteen polttoaineet, metanoli, nestekaasu ja eetterit. Jokaiselle veronalaiselle nestemäiselle polttoaineelle ja niiden eri muodoille sekä käyttötarkoituksille on määritetty omat verotasonsa. Muita valmisteveronalaisia fossiilisia polttoaineita ovat kivihiili, maakaasu, biokaasu, mäntyöljy sekä polttoturve. Polttoaineiden valmistevero koostuu hiilidioksidiverosta sekä energiansisältöverosta ja siihen lisätään yleensä myös huoltovarmuusmaksu. Sähköntuotantoon käytettävät polttoaineet kuitenkin vapautetaan polttoaineverosta ja hiilidioksidivero puolittuu polttoaineissa, joita käytetään yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Tämän vuoksi useiden fossiilisten polttoaineiden, kuten korkeimmin verotetun kivihiilen, verotus ei ole loppujen lopuksi kovin suuri eikä verotuksen nostaminen ole itsessään tehokas kannustin fossiilisista polttoaineista luopumiseen sähkön- ja lämmöntuotannossa. (Verohallinto, 2023)

Fossiilisista polttoaineista luopumista kannustamaan on luotu myös energiatukiohjelma yhteistyönä Työ- ja elinkeinoministeriön sekä innovaatiorahoituskeskus Business Finlandin kesken. Energiatukiohjelma tukee kansainvälisten, EU:n sisäisten sekä kansallisten ilmastotavoitteiden saavuttamista edistäviä hankkeita. Erityisesti tukiohjelmalla pyritään kannustamaan uusia teknologiainnovaatioita sekä erilaisia selvitys- ja investointihankkeita. (TEM, 7.6.2024)

3.3 Hiilen energiakäytön kieltolaki

Fossiilisten polttoaineiden merkittävin rooli Suomessa on sähkön- ja lämmön yhteistuotannon polttoaineina sekä huoltovarmuusvarastoina. Erityisesti kivihiilen rooli huoltovarmuuden ylläpitämisessä on merkittävä, sillä sen varasointikustannukset ovat alhaiset ja se on markkinahinnaltaan suhteellisen halpaa. Vuonna 2019 tuli voimaan laki kivihiilen energiakäytön kieltämisestä vuodesta 2029 alkaen. Laki kieltää kivihiilen käyttämisen energiantuotannon polttoaineena kaikissa voimalaitoksissa ja lämpölaitoksissa. Kivihiiltä voidaan

kuitenkin edelleen pitää varmuusvarastoissa, sillä vakavissa sähkön- tai lämmöntuotannon häiriötilanteissa kieltolaista voidaan poiketa väliaikaisesti. (Finlex, 416/2019)

Kivihiilen poistuessa energiantuotannon käytöstä kokonaan, tullaan se todennäköisimmin korvaamaan biomassalla. Lyhyellä aikavälillä kivihiilestä biomassaan siirtyminen ei vähennä hiilidioksidipäästöjä, mutta koska biomassa sitoo kasvaessaan hiilidioksidia saman verran kuin sitä polttaessa vapautuu, biomassa on kokonaisuudessaan polttoaineena hiilineutraalia. Kaukolämmön tuotannossa hiili korvataan osittain kasvattamalla lämpöpumppujen roolia lämmöntuotannossa sekä lisäämällä biomassaa polttavia lämpölaitoksia. Kiellon pitkä voimaantuloaika mahdollistaa biomassaa polttoaineena käyttävän kapasiteetin rakentamisen hyvissä ajoin ennen voimaantuloa, jolloin kivihiililaitosten kapasiteettia korvattaessa ei ole tarpeen lisätä muita fossiilisia polttoaineita hyödyntävien lämpölaitosten käyttöä eikä muutoksesta siten aiheudu ylimääräisiä kasvihuonekaasupäästöjä. (Eduskunta, HE 200/2018)

Kivihiilen käytöstä poistamisen on laskettu vähentävän Suomen hiilidioksidipäästöjä jopa miljoonalla tonnilla vuodessa. Kaukolämpöverkoissa hiilidioksidipäästöjä aiheutuisi vielä kiellon jälkeenkin, sillä hiilen tilalla tultaisiin käyttämään osittain vielä muita fossiilisia polttoaineita. Silti kokonaisvaikutus ilman puhtauteen Suomessa on suuri kivihiilen käyttökiellon vähentäessä myös rikkidioksidipäästöjä sekä typen oksidien päästöjä. (TEM, 2019)

4 Uusiutuvien energiantuotantomuotojen lisääminen Suomen energiajärjestelmään

Suomen sähköntuotannosta jo noin 90 % on fossiilitonta, johon sisältyy sekä uusiutuva energiantuotanto että ydinvoima (SVT, 2023b). Energian loppukulutuksesta pelkän uusiutuvan energian osuus on yli 40 %. (TEM, 13.3.2024). Ilmastonmuutoksen hidastamisessa uusiutuvan energian lisäämisen rooli on valtava, sillä energian tuotanto ja kulutus aiheuttavat jopa 80 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (TEM, 2022). Ilmastotavoitteiden mukainen täydellinen irtaantuminen fossiilisesta energiantuotannosta vaatii siinä menetetyn energiantuotantokapasiteetin korvaamisen täysin uusiutuvalla energialla. Uusiutuvan energian käytön lisääminen ei pelkästään vähennä kasvihuonekaasupäästöjä, vaan se mahdollistaa kehityksen kohti taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävää yhteiskuntaa parantamalla Suomen energiaomavaraisuutta sekä luomalla uusia työpaikkoja teknologia-, rakennus- ja suunnittelualoilla.

Käytetyin uusiutuvan energian muoto Suomessa on biopolttoaineet, joista merkittävin rooli on puupolttoaineilla. Vuonna 2023 puupolttoaineet kattoivat 28 % Suomen energian kokonaiskulutuksesta (MMM, 2024). Bioenergian lisäksi merkittävimpiä uusiutuvan energian muotoja Suomessa ovat vesivoima, tuulivoima sekä maalämpö.

Tulevaisuudessa siirtyminen täysin uusiutuvaan energiaan vaatii toimenpiteitä eri energiantuotannon sekä kulutuksen osa-alueilla. Uusiutuvaan energiantuotantoon siirtyminen vaatii fossiilisesta energiasta luopumisen, joka taas vaatii onnistuakseen suuria investointeja uusiutuvaan energiaan sekä uuden energiantuotantoteknologian kehitysprosesseihin. Energiajärjestelmän tehokkuutta ja hyötysuhdetta parantamaan sekä toimitusvarmuutta takaamaan tarvitaan taas sektori-integraation kehitystä ja uusien sähköverkkojen rakentamista. Uusiutuvaan energiaan siirtymisen täydellinen onnistuminen vaatii osaltaan myös muutoksia ihmisten uusiutuvaa energiaa sekä ilmastonmuutosta koskeviin ennakkoluuloihin, sillä todelliseen muutokseen tarvitaan myös kansalaisten motivaatiota ja panostusta toimenpiteisiin kotitalouksien tasolla esimerkiksi energiatehokkuuden edistämiseksi.

4.1 Energiapolitiikan linjaukset ja strategiat

Tällä hetkellä Suomen ilmasto- ja energiapolitiikan perustuksena on entisen pääministerin Sanna Marinin hallituksen vuonna 2022 julkaisema Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Nykyinen Petteri Orpon hallitus valmistelee uutta kansallista energia- ja ilmastostrategiaa, jonka on määrä olla valmis vaikutusarvioineen vuoden 2025 keväällä.

Tämänhetkinen ilmasto- ja energiastrategia kokoaa yhteen kaikki toimet, joilla Suomi pyrkii osaltaan saavuttamaan EU:n vuodelle 2030 asettamat ilmastotavoitteet sekä vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteen. Strategiassa painotetaan mahdollisimman kustannustehokasta, vaikuttavaa sekä kestävää vihreää siirtymää ottaen huomioon päästökauppasektorin lisäksi myös takaanjakosektorin, maankäyttösektorin sekä hiilinielut. (TEM, 2022)

Ilmasto- ja energiastrategiassa on määritelty suuri määrä uusia uusiutuvaa energiaa koskevia poliittisia linjauksia ja siinä esitetään myös ennen strategian julkaisemista jo voimassa olleet linjaukset. Yksi merkittävimmistä uusista linjauksista strategiassa on uusi energiatukiasetus, jossa uusiutuvan energian teknologiahankkeiden edistämiseen varattua rahoitusta nostetaan entisestään. Myös pienempien uusiutuvan energian hankkeiden sekä energiatehokkuushankkeiden tukeminen halutaan varmistaa entistä paremmin uusilla rahoitusratkaisuilla. Energiatukiasetus pyrkii tukemaan polttoon perustumatonta lämmöntuotantoa sekä erityisesti järjestelmäintegraatiota sekä energian varastointiratkaisuja, joita ei aikaisemmassa energiatukiasetuksessa huomioitu riittävästi suhteessa niiden merkittävyyteen osana vihreää siirtymää. Polttoon perustumatonta lämmöntuotantoa pyritään edistämään panostamalla geotermiseen energiaan, maalämpöön, lämpöpumpputeknologiaan sekä hukkalämmön hyödyntämiseen. (TEM, 2022)

Strategiassa esitetään linjauksia myös liikenteelle ja erityisesti uusiutuvien polttoaineiden hyödyntämiselle liikenteessä. Uusiutuvien polttoaineiden käyttöä pyritään edistämään jakeluvelvoitteilla kuten tähänkin mennessä, tukemalla uusien uusiutuvien polttoaineiden kehitysprosesseja ja niiden lisäämistä jakeluvelvoitteeseen sekä kehittämällä nykyisten biopolttoaineiden kuten biokaasun tuotantoa ja käyttöä. Biokaasun hyödyntämisen edistämiseksi on jo tehty lukuisia toimenpiteitä, kuten erilaisia tukiohjelmia biokaasun jakeluinfrastruktuurille, kaasukäyttöisille raskaan liikenteen ajoneuvoille sekä biokaasun tuotantolaitoksille. (TEM, 2022)

Suuri osa ilmasto- ja energiastrategian uusiutuvan energian linjauksista koskee merituulivoimahankkeita sekä tuulivoimaa yleisesti. Merituulivoiman demonstraatiohanke pyritään toteuttamaan hankkimalla siihen EU-rahoitusta. Myös merituulivoiman edellyttämiä hallintoprosesseja sekä säädöksiä pyritään kehittämään yleistajuisempaan suuntaan selkeämmäksi kannustamaan hankkeisiin investointia. Maatuulivoiman rakentamisen helpottamiseksi rahoitusta lisätään tuulivoimaselvityksiin sekä valtakunnallisella että kuntien tasolla. Tuulivoimarakentamisen kaavoitus- ja luvitusprosesseja pyritään helpottamaan panostamalla lupaviranomaisten kapasiteettiin, jolloin tavoitteena olisi 12 kuukauden enimmäiskesto tärkeiden investointien lupakäsittelylle. Tällä hetkellä lupakäsittelyn määräajat ovat sähköntuotantokapasiteetiltaan yli 150kW:n hankkeille kaksi vuotta ja pienemmille yksi vuosi (ELY-keskus, 2024). (TEM, 2022)

Osana ilmasto- ja energiastrategiaa on myös kansallinen vetystrategia. Vedyn käyttö sille suunnitellussa mittakaavassa ei ole vielä taloudellisesti kannattavaa, mutta vetystrategiassa luetellaan tarvittavat toimet vetyratkaisujen valmistelemiseen myöhempää käyttöönottoa varten. Uusiutuvalla energialla tuotetun vedyn käyttöä kaavaillaan ensisijaisesti liikenteessä, teollisuudessa sekä energiajärjestelmissä. Vedyn tuotantokapasiteettia pyritään kasvattamaan jopa 1000 MW:n tasolle vuoteen 2030 mennessä, minkä vuoksi investointeja tarvitaan myös vedyn siirtoverkkojen kehittämiseen. (TEM, 2022)

Energiatehokkuuden osalta ilmasto- ja energiastrategiassa esitettävistä linjauksista suurin osa koskee jo olemassa olevien energiatehokkuustoimien tulevaisuuden turvaamista sekä toiminnan tehostamista. Energiatehokkuussopimustoiminnan jatkuminen pyritään varmistamaan myös nykyisen sopimuskauden jälkeen ja sopimukseen liittyjille luodaan kannustimia energiatehokkuuden edistämiseksi. Resursseja turvataan Suomen roolin nostattamiseksi EU:n uusien energiatehokkuutta koskevien asetusten ja direktiivien suunnittelussa sekä myöhemmin näiden uusien direktiivien toimeenpanon vaatimien energiatehokkuustoimien mahdollistamiseksi. Myös kansallisella tasolla resursseja käytetään riittävän energiatuen varmistamiseksi. Kuluttajatasolla pyritään turvaamaan resursseja riittävästi toteuttamaan informaatio-ohjaustoimintaa sekä energianeuvonnan antamista, jotta kuluttajat saavat tulevaisuudessakin ajantasaista, riippumatonta ja todenmukaista ohjausta energiansäästötoimiin sekä uusiutuvan energian hyödyntämiseen kotitalouksissa. Linjauksissa pyritään edistämään myös liikenteen muuttumista entistä energiatehokkaammaksi autokannan sekä koko liikennejärjestelmän muutoksilla. Rakennusten sekä korjausrakentamisen energiatehokkuutta

tarkastellaan ja niitä koskeviin vaatimuksiin tehdään tarvittavat muutokset. Yleisen kansallisen tason energiatehokkuuden parantamiseksi tehdään myös investointeja uuteen energiatehokkaaseen ja – tehokkuutta parantavaan teknologiaan sekä pyritään rahoittamaan uutta teknologiaa kehittäviä toimijoita. (TEM, 2022)

Tärkeänä osana ilmasto- ja energiastrategiaa on myös toimet energian toimitus- ja huoltovarmuuden turvaamiseksi. Muuttuva energiajärjestelmä vaatii toimiakseen yhä tehokkaampaa ja vähähiilisempää huoltovarmuutta, joka pyritään mahdollistamaan integroimalla Suomen energiajärjestelmään muitakin huoltovarmuuskeinoja nykyisen polttoainevarastoinnin lisäksi. Tulevaisuudessa hyödynnettäviä huoltovarmuuskeinoja ovat esimerkiksi erillinen vähähiilisesti mahdollistettava lämpöhuolto sekä varmuusvarastoitavien polttoaineiden vaihtaminen vähähiilisiin polttoaineisiin. Merkittävänä huoltovarmuuden turvaamiskeinona on myös järjestelmäintegraation systemaattinen kehittäminen, joka poistaa riippuvuuden yksittäisistä energialähteistä. Mitä enemmän eri energialähteitä integroidaan samaan verkkoon, sitä enemmän eri järjestelmille saadaan mahdollisia varajärjestelmiä sekä edelleen varajärjestelmien varajärjestelmiä, jolloin energian huoltovarmuus on turvattavissa. (TEM, 2022)

Ilmasto- ja energiastrategiassa esitetään huoltovarmuuskeskuksen oma toimintastrategia. Huoltovarmuusstrategian ohjelman tavoitteena on systemaattinen ja toimintaympäristön muutoksiin mukautuva energiayritysten varautumisen kehittäminen. Ohjelman pääpainona on yhteyskunnalle elintärkeiden kriittisten arvoketjujen erittely ja niiden huoltovarmuusriskien tunnistaminen sekä varautumiskeinojen määrittely. Mahdolliset riskit määritellään erikseen kansallisella ja alueellisilla tasoilla ja niitä varten laaditaan selkeät suunnitelmat, joissa vastuut on jaettu selkeästi eri toimijoiden välillä. Myös riskitilanteista toipumiseen pyritään panostamaan, jolloin energiajärjestelmän palautuminen takaisin normaaliin on nopeampaa. Järjestelmäintegraation kehityksen myötä huoltovarmuusorganisaation energiahuoltosektori on voitu jakaa niin sanottuun poolirakenteeseen, jossa käsiteltäviä pooleja ovat sähköpooli, lämpöpooli, polttonestepooli sekä kaasupooli. Poolirakenteessa kullekin poolille on luotu omat huoltovarmuussuunnitelmat, jonka lisäksi poolit on suunniteltu toimimaan yhteistyössä toistensa kanssa, eli ne voivat parhaimmillaan toimia toistensa korvaajina mahdollisissa riskitilanteissa. (TEM, 2022)

4.2 Ilmasto- ja energiastrategian vaikutusarviot

Ilmasto- ja energiastrategian vaikutusarviot pohjautuvat suureen määrään dataa, aineistoja sekä niiden pohjalta suoritettuja laskelmia. Strategiaa varten suoritettua taustaselvitystä kutsutaan HIISI- hankkeeksi (Hiilineutraali Suomi 2035 – ilmasto -ja energiapolitiikan toimet ja vaikutukset), ja tässä taustaselvityksessä laadittiin vaikutusarviot päästösektoreiden lisäksi myös ihmisille, toimialoille sekä luonnolle. HIISI-hanke saatiin päätökseen marraskuussa 2021. Hallituksen päätösten energia- ja kansantaloudellisten vaikutusten sekä suorien kasvihuonekaasuvaikutusten selvittämiseksi ja päivittämiseksi julkaistiin myöhemmin vuonna 2022 HIISI- hankkeen jatkoselvitys. (TEM, 2022)

Ilmasto- ja energiastrategiassa esitettyjen toimien riittävyyttä ilmastotavoitteiden saavuttamiseen on arvioitu kolmen eri skenaarion avulla, joista jokainen ottaa huomioon hieman eri näkökulmat. Alun perin HIISI- hankkeessa määriteltiin kaksi skenaariota: WEM- ja WAM-skenaariot. WEM (With Existing Measures) -skenaario edustaa niin sanottua perusskenaariota, jossa otetaan huomioon vain ennen vuotta 2020 toimeenpannut ilmasto- ja energiapoliittiset linjaukset. WEM-skenaario ottaa huomioon kehitykset teknologiassa, toimialoilla, markkinoilla sekä infrastruktuurissa. WEM-skenaarion laskenta on suoritettu seuraamalla kehityksen ja poliittisten päätösten trendejä ja tekemällä niiden pohjalta mallitarkasteluja, eikä siinä ole määritelty kasvihuonekaasupäästöille tiettyjä määrällisiä tavoitteita. WAM (With Additional Measures) -politiikkaskenaario taas ottaa huomioon vuosille 2030, 2040 ja 2050 asetetut ilmastotavoitteet, ja skenaariossa on määritetty niiden pohjalta kasvihuonekaasupäästöille maksimimäärät. Koska WAM-skenaario ei ota huomioon tämän hetken muuttuvia poliittisia ohjaustoimia, eikä se siten toimi realistisena kuvana kasvihuonekaasupäästöjen kehityksestä, laadittiin Sanna Marinin hallituksen päätösten perusteella uusi WAM-H-skenaario korvaamaan vanhaa politiikkaskenaariota. Uudessa WAM-H-skenaariossa on otettu huomioon myös vuoden 2020 jälkeiset energia- ja ilmastopoliittiset toimet, joihin sisältyy myös ilmasto- ja energiastrategiassa linjatut toimet sekä Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelman (KAISU) linjaukset päästökauppasektorin ulkopuolisista toimenpiteistä. Suurimmat energiapoliittiset erot WAM- ja WAM-H-skenaarioiden välillä ovat tuulivoiman ja turpeen käytön kehityksessä. WAM-H-skenaariossa on otettu huomioon suuresti aikaisempaa vuoden 2020 arviota nopeampi tuulivoiman lisääntyminen. Myös polttoturpeen poistuminen energiantuotannon käytöstä on ollut aikaisempia vuoden 2020

arvioita nopeampaa päästöoikeuksien hintojen nousun sekä kysynnän voimakkaan laskun myötä. Molemmat näistä muutoksista on huomioitu vain WAM-H-skenaariossa. WAM-H-skenaario toimii laskennassa samalla tavalla kuin WEM-skenaario eli ilman määrällisiä kasvihuonekaasupäästötavoitteita sekä seuraamalla energia- ja ilmastopoliittisten toimien aiheuttamia muutoksia. Ilmasto- ja energiapoliittisen strategian vaikutusarvioiden tarkastelussa olennaisimpia skenaarioita ovat vain WEM- ja WAM-H-skenaariot, joista WEM-skenaario toimii vertailuskenaariona. (Koljonen et al., 2022)

WEM-skenaarion laskentatuloksien mukaan fossiilisten polttoaineiden osuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta laskisi vuoden 2019 tasosta (42 %) ensin vuonna 2030 noin 33 %:iin, vuonna 2040 noin 25 %:iin ja lopulta vuonna 2050 noin 20 %: iin. WAM-H-skenaariossa fossiilisen energian rooli vähenee voimakkaammin ja toisin kuin WEM-skenaariossa myös maakaasun käytön odotetaan vähentyvän huomattavasti. Molemmissa skenaarioissa on huomioitu erityisesti kivihiilen sekä turpeen energiakäytön väheneminen, jolloin niitä korvaavan bioenergian sekä muiden uusiutuvan energian muotojen osuus primäärienergian kulutuksessa kasvaa. Energian kulutuksen on skenaarioissa ennustettu pysyvän ensin suhteellisen samalla tasolla vuoteen 2035 asti, jolloin erityisesti loppukäyttösektorin sähköistymisen aiheuttamat säästöt energiankulutuksessa tulevat näkyville. Sähkön kokonaiskulutus oli vuonna 2019 noin 85 TWh, josta sen odotetaan nousevan sähköistymisen vaikutuksesta vuoteen 2030 mennessä WEM-skenaarion mukaan 92 TWh:n tasolle ja WAM-H-skenaariossa 95 TWh:n tasolle. Vuoteen 2050 mennessä sähkön kokonaiskulutuksen odotetaan olevan WEM-skenaariossa jo 100 TWh ja WAM-H-skenaariossa 120 TWh. Sähköistymisen positiiviset vaikutukset kokonaisenergiankulutukseen näkyvät viiveellä, koska aluksi lisääntynyt sähkönkulutus nostaa kokonaisenergiankulutusta. Kuitenkin sähköistymisen vaikutuksesta myöhemmin polttoaineiden sekä lämmön käyttö vähenevät, jolloin energian kokonaiskulutus kääntyy lopulta laskusuuntaan. Molemmissa skenaarioissa fossiilisesta sähköntuotannosta pystytään irtautumaan kokonaan vuoteen 2030 mennessä, joten tulevaisuuden kasvava sähkön kokonaiskulutus ei lisää kasvihuonekaasupäästöjä. (Koljonen et al., 2022)

Molemmissa skenaarioissa uusiutuvan energian osuus kasvaa merkittävästi vuoden 2019 tasoon (34 % primäärienergiasta) verrattuna. WEM-skenaariossa uusiutuvan energian osuuden primäärienergiasta ennustetaan olevan 43 % vuonna 2030 ja 51 % vuonna 2050. WAM-H-skenaariossa kasvu on jälleen hieman voimakkaampaa, sillä osuus nousee vuoteen 2030 mennessä 47 %:iin ja vuoteen 2050 mennessä 57 %:iin. Erot skenaarioiden välillä tulevat

WAM-H-skenaarion puupolttoaineiden ja biopolttoaineiden käytön hieman suuremmasta osuudesta sekä tuuli- ja aurinkoenergian merkittävästä kasvusta. Vuonna 2019 tuulivoiman osuus uusiutuvasta energiasta oli 4,4 %, josta WAM-H-skenaariossa se kasvaa vuoteen 2030 mennessä 13 %:iin ja 2050 mennessä 26 %iin perustuen tietoihin Suomen tuulivoimainvestoinneista. WAM-H-skenaariossa myös aurinkosähkö lisääntyy erittäin voimakkaasti, mutta hieman hitaammin kuin tuulivoima. Suuren aurinkosähkön läpimurron ennustetaan tapahtuvan vuosina 2040–2050. Yhdistynyt sähkön- ja lämmöntuotanto (CHP) vähenee molemmissa skenaarioissa vuoteen 2050 mennessä noin 6–7 TWh:n tasolle ja fossiilinen CHP-tuotanto loppuu lähes kokonaan. Jäljelle jäänyt CHP-tuotanto on kokonaan bioenergialla tuotettua. Loput aikaisemmin fossiilisesti tuotetusta kaukolämmöstä tuotetaan lämpöpumpuilla. Kaukolämmön kulutuksen odotetaan putoavan puoleen nykytasosta vuoteen 2050 mennessä molemmissa skenaarioissa, jolloin poistuvan fossiilisen kaukolämmön korvaaminen uusiutuvalla energialla on helpompaa. (Koljonen et al., 2022)

Uusiutuvan energian osuus energian kokonaisloppukulutuksesta WAM-H-skenaariossa kasvaa huomattavasti nopeammin kuin WEM-skenaariossa. WAM-H-skenaariossa uusiutuvan energian osuus energian loppukulutuksesta on 60 % vuonna 2030 ja saavuttaa 75 %:n tason vuoteen 2050 mennessä. Tämä täyttää jo EU:n uusiutuvan energian direktiivissä Suomelle vuoteen 2030 mennessä määrätyn 60 %:n uusiutuvan energian osuuden ohjeellisen tavoitteen. (Koljonen et al., 2022)

Myös kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärä vähenee WAM-H-skenaariossa nopeammin kuin WEM-skenaariossa. WEM-skenaariossa päästömäärät vähenevät samassa tahdissa kuin 2000-luvun alussa vielä vuoden 2020 jälkeenkin. Vuonna 2020 kasvihuonekaasupäästöjen määrä oli kokonaisuudessaan 48 Mt, mikä on vertailuvuoteen 1990 verrattuna jo 32 % vähemmän. WEM-skenaariossa kokonaispäästövähennys vuoteen 1990 verrattuna 46 % vuonna 2030 ja WAM-H-skenaariossa 57 %. Molemmissa skenaarioissa suurimmat päästövähennykset tapahtuvat sähkön- ja lämmöntuotannossa uusiutuvan energian lisääntymisen, sähköistymisen sekä päästöoikeuksien hinnannousun vauhdittaman fossiilisten polttoaineiden poistumisen vaikutuksesta. Skenaariolaskelmissa huomataan, että kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on energiantuotannossa helpointa verrattuna muihin päästölähteisiin kuten teollisuussektoriin. (Koljonen et al., 2022)

Energian kulutuksessa kokonaiskulutuksen huippu WEM-perusskenaarion mukaan nähdään vuonna 2035, jonka jälkeen kokonaiskulutus lähtee laskuun. WEM-skenaario ei kuitenkaan

täysin päde nykyhetkeen, sillä skenaariolaskentaan on otettu huomioon sittemmin peruttu Hanhikivi 1 -ydinvoimalaitosyksikkö, jonka oli vielä laskennan aikaan määrä tulla käyttöön vuonna 2032. Osaltaan tämän muutoksen aiheuttamaa laskentavirhettä kompensoi Loviisan ydinvoimalaitoksen molempien laitosyksiköiden pidennetty käyttöikä 2050 vuoden loppuun asti, josta ei vielä WEM-skenaariota laskettaessa tiedetty. Ero alkuperäiseen WEM-skenaarion vaikutusarvioon ei tämän myötä ole niin suuri, että skenaario jouduttaisiin toteamaan täysin epärealistiseksi. (Koljonen et al., 2022)

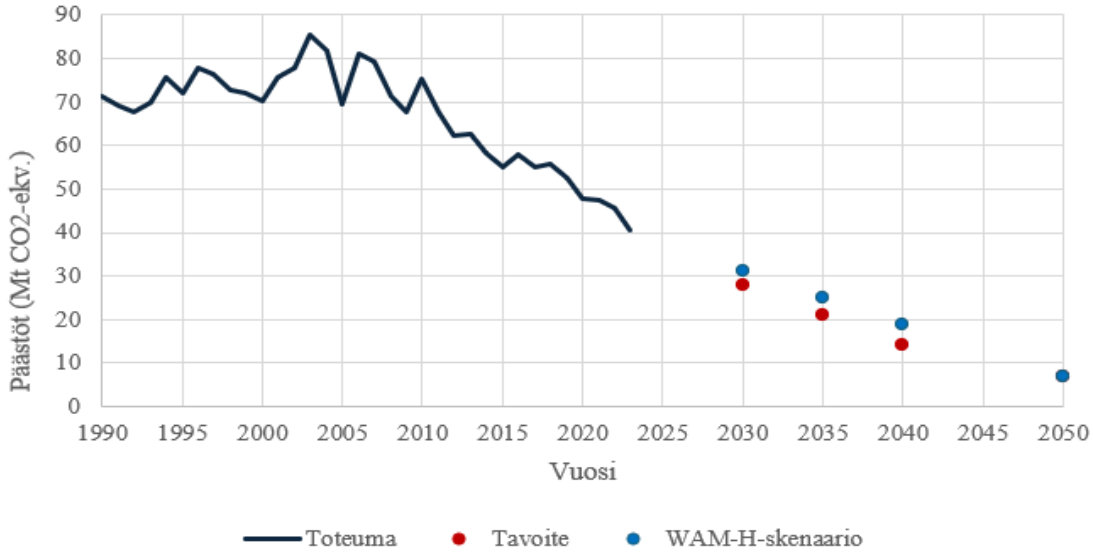
Primäärienergian hankinnan kehitys perusskenaariossa painottuu sitä enemmän uusiutuvaan energiaan, mitä kauemmas tulevaisuuteen skenaariossa edetään. Uusiutuvan energian osuuden kasvaessa fossiilisten polttoaineiden ja polttoturpeen osuuden on WEM-skenaariossa laskettu vähenevän vuoteen 2030 mennessä noin 33 %:iin, vuoteen 2040 mennessä 25 %:iin ja vuoteen 2050 mennessä edelleen 20 %:iin. Merkittävin fossiilisen energian osuuden lasku tapahtuu erityisesti kivihiilen sekä turpeen energiakäytön vähenemisen vaikutuksesta. WEM-skenaariossa turpeen energiakäyttö loppuu kokonaan vuoteen 2040 mennessä. (Koljonen et al., 2022)

Sekä WEM- että WAM-H-skenaarioissa voidaan nähdä sähköistymisen merkittävä vaikutus energian kokonaiskulutukseen. Myös vetytalouden tulevaisuus vaikuttaa suuresti skenaarioiden energiankulutuksen ja -tuotannon kehitykseen. Suurin muuttuja vetytalouden skenaariovaikutuksissa on sen kaupallistumisnopeus. Jos vetytalouden kaupallistuminen on tulevaisuudessa nopeaa, lisää se puhtaan uusiutuvan sähköntuotannon määrää. Investoidessaan vetytalouteen yritykset tekevät PPA-sopimuksia (pitkäaikainen sähkönostosopimus) usein uusiutuvan energian sähköntuottajien kanssa varmistaakseen vedyn tuotantoketjun päästöttömyyden. Tämä kasvattaa esimerkiksi tuulivoiman osuutta energiantuotannossa WAM-H-skenaariossa laskettua kasvua nopeammin. (TEM, 2022)

4.2.1 Tavoitteiden toteutuminen

WEM-skenaarion 46 %:n ja WAM-H-skenaarion 57 %:n kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset vuoteen 1990 verrattuna toteuttavat hyvin EU:n yhteisen vuodelle 2030 asetetun 40 %:n päästövähennystavoitteen. Uutta ilmastolaissa ehdotettua 60 %:n vähennystä vuoteen 2030 mennessä ei kuitenkaan saavuteta edes WAM-H-skenaariossa, vaan päästövähennykset jäävät vajaaksi muutamalla prosenttiyksiköllä ja hiilidioksidiekvivalenttitonneilla

laskettuna 2 Mt CO_2-ekv:lla. Myös kansallista vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitetta ei ihan näillä keinoilla saavuteta. Hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi sallittujen hiilidioksidipäästömäärien tulee olla samalla tasolla kuin hiilinielujen määrän. Hiilinielujen määräksi on laskettu vuonna 2035 WEM-skenaarion 18 Mt CO_2-ekv:n hiilinielujen sekä hallituksen uusien maankäyttösektorin 3 Mt CO_2-ekv:n hiilinielulinjausten summana 21 Mt CO_2-ekv:a, joka toimii samalla kasvihuonekaasupäästöjen maksimimääränä. Vaikka WAM-H-skenaariossa kasvihuonekaasupäästöjen lasku on huomattavasti nopeampaa kuin WEM-skenaariossa, vuoden 2035 päästötavoitetta ei silti saavuteta. WAM-H-skenaariossa vuoden 2035 päästöt on laskettu olevan 25 Mt CO_2-ekv:a, mikä tarkoittaa 4 Mt CO_2-ekv:n kuilua sallittuun päästömäärään. WAM-H-skenaariossa on oletettu SSAB:n Raahen terästehtaan siirtyvän fossiilittomaan tuotantoon vasta vuoden 2035 jälkeen. SSAB kuitenkin tiedottaa, että tavoite on siirtyä fossiilivapaaseen tuotantoon jo vuonna 2030, jolloin muutos ehtisi jo vaikuttaa vuoden 2035 kasvihuonekaasupäästöihin. Jos SSAB onnistuu tavoitteessaan, päästöt vähenevät WAM-H-skenaariossa 3–4 Mt CO_2-ekv: a. lisää. Tällöin vuoden 2035 päästötavoitteeseen pääseminen voisi juuri ja juuri olla mahdollista, mutta vain jos WAM-H-skenaarion kaikki muut oletukset ja laskenta pitävät paikkansa. Vuodelle 2040 asetetusta 80 %:n päästönvähennystavoitteesta (päästömäärät 19 Mt CO_2-ekv: a.) jäädään myös vajaaksi n. 5 Mt CO_2-ekv:n verran, mutta vuoden 2050 tavoite voisi WAM-H-skenaarion mukaan olla saavutettavissa. Vuoden 2050 päästötavoitteena on vähintään 90 % päästövähennys, jolloin päästöjen maksimimääräksi jää 7 Mt CO_2-ekv: a. WAM-H-skenaarion kokonaiskasvihuonekaasupäästömäärä vuodelle 2050 on juuri 7 Mt CO_2-ekv:a, jolloin päästökuilua ei ole. Kokonaispäästöjen kehitys vuodesta 1990 sekä WAM-H-skenaarion vertailu ilmastolain päästötavoitteisiin on esitetty kuvassa 2. Skenaarioiden laskentaan liittyy kuitenkin huomattavia epävarmuuksia, ja mitä pidemmän aikavälin tavoite on kyseessä, sitä enemmän epävarmuustekijöitä siihen kumuloituu. Vuoden 2050 tavoitteeseen pääsy WAM-H-skenaariossa perustuu pitkälti olettamuksiin uudesta teknologiasta sekä suurista uusiutuvan energian ja vetytalouden investoinneista, joiden toteutumista ei voida mitenkään realistisesti ennustaa. Tavoitteeseen pääseminen edellyttää myös massiivista hiilinielujen lisäämistä sekä bioenergian ja hiilidioksidin talteenoton yhdistelmän käyttöönottoa. (Koljonen et al., 2022)



Kuva 2. Kasvihuonekaasupäästöjen kehitys vuosina 1990–2023 (SVT, 2024d), ilmastolain päästötavoitteet sekä WAM-H-politiikkaskenaarion ennusteet (Koljonen et al., 2022)

Kokonaispäästötavoitteisiin on laskettu mukaan vuoden 2035 hiilineutraaliustavoite ja siihen kuuluva maankäyttösektorin 21 Mt CO_2-ekv:n nettohiilinielumäärä. Kuvassa 2 on esitetty skenaarioista ainoastaan WAM-H-politiikkaskenaario, sillä WEM-perusskenaario on vain vertailuskenaario, eikä sitä siksi ole hyödyllistä tarkastella tavoitteiden saavuttamisen näkökulmasta tässä yhteydessä.

4.3 Sektori-integraatio

Fossiilisiin polttoaineisiin perustuvan energiantuotannon poistuessa Suomen energiajärjestelmästä tulee vastaava energiantuotantokapasiteetti korvata uusiutuvalla energialla. Suurin osa fossiilista energiaa tuottavista laitoksista on lauhdevoimalaitoksia sekä yhdistettyjä sähkön- ja lämmöntuotantolaitoksia, joiden rooli Suomen energiajärjestelmän toimitusvarmuuden ylläpitämisessä on suuri. Jotta vastaava toimitusvarmuus voidaan taata myös näiden fossiilisen energian laitosten poistuessa energiajärjestelmästä, täytyy eri energiamuodot ja -järjestelmät linkittää toisiinsa hyödyntämällä sektori-integraatiota, jolloin samaan kantaverkkoon liitetyt eri järjestelmät toimivat toistensa korvaajina.

Sektori-integraatiolla tarkoitetaan energiantuotannon eri sektoreiden eli sähköntuotannon, lämmöntuotannon, kaasuverkoston sekä liikenteen kytkemistä toisiinsa. Sektori-integraatiossa energiaa siirretään tehokkaasti käyttäjältä toiselle ja muunnetaan verkoston sisällä eri käyttäjien tarpeisiin. Pohjana kyseisessä järjestelmässä toimii lisääntyvä päästötön sähköntuotanto sekä jo olemassa oleva kaukolämpöverkosto. Tulevaisuudessa paikallisiin sähköverkkosysteemeihin voitaisiin integroida entistä enemmän myös sähkön pientuotantoa. (TEM, 2021)

EU:n energiajärjestelmän integrointistrategiassa (Euroopan komissio, 2020) sektori-integraatiolle on määritetty kolme perusperiaatetta. Ensimmäisenä periaatteena on energiajärjestelmän pohjautuminen entistä enemmän kiertotalouteen sekä energiatehokkuuteen. Tällä tarkoitetaan kaiken energiantuotantoon soveltuvan jätteen ja hukkalämmön hyödyntämistä jälleen energiaksi sekä mahdollisimman vähäkulutuksisten prosessien käyttäminen energiajärjestelmässä. EU:n strategiassa mainitaan kiertotalouden keinoina teollisuuden sekä datapalvelinkeskusten hukkalämmön hyödyntäminen kaukolämpöverkossa sekä jätevedenpuhdistamojen jätteen ja biojätteen käyttäminen energiantuotantoon. Suomessa onkin jo käytössä useiden datakeskusten hukkalämmön hyödyntäminen, sillä muun muassa Kajaanissa sijaitseva LUMI-supertietokone on kytkettynä paikalliseen kaukolämpöverkkoon ja sen hukkalämmöllä tuotetaan 20 % Kajaanin kaukolämmöstä (CSC.fi, 2023). Myös Fortum tavoittelee Espoo Clean Heat -projektissaan täysin hiiletöntä kaukolämpöä vuoteen 2030 mennessä, mistä merkittävä osa pyritään tuottamaan hyödyntämällä Microsoftin suuria datakeskuksia (Fortum.fi, n.d.).

Toinen ja kolmas sektori-integraation perusperiaatteista EU:n strategiassa liittyvät erityisesti energian loppukäyttösektoriin. Toinen periaate liittyy loppukäyttösektorin sähköistämiseen. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi sähköautojen lisäämistä liikenteeseen, lämpöpumppujen käyttämistä rakennusten lämmittämisessä sekä sähköuunien hyödyntämistä niihin soveltuvilla teollisuudenaloilla. Loppukäyttösektorin sähköistäminen liittyy ensisijaisesti sektori-integraation vaiheeseen, jossa jo lähes kaikki sähkö tuotetaan uusiutuvilla energiantuotantomuodoilla. Integroimalla loppukäyttösektori osaksi uusiutuvan sähkön järjestelmää saadaan energian käytöstä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä vähennettyä merkittävästi. Kolmas periaate liittyy loppukäyttösektorin niihin osa-alueisiin, joissa sähköistäminen ei ole mahdollista joko taloudellisen kannattavuuden, tehokkuuden tai toteuttamisvaikeuksien takia. Näitä loppukäyttökohteita ovat esimerkiksi raskas liikenne, osa teollisuuden prosesseista sekä lento- ja meriliikenne. Nämä käyttökohteet vaativat uusia uusiutuvista materiaaleista tuotettuja vähähiilisiä polttoaineita sekä mahdollisesti uusiutuvalla sähköllä tuotetun vedyn käyttämistä fossiilisten polttoaineiden tilalla esimerkiksi teollisuudessa sekä raskasliikenteessä. (Euroopan komissio, 2020)

Vedyn merkittävä rooli sektori-integraatiossa perustuu sen monikäyttöisyyteen poltto- ja raaka-aineena. Vety mahdollistaa eri energiajärjestelmien, kuten sähkö-, lämpö-, kaasu- sekä liikennejärjestelmien yhdistämisen sekä niiden vähähiilisyyden. Vetyä tuotetaan elektrolyysillä vedestä erottamalla sähkövirran avulla vety- ja happimolekyylit toisistaan. Palaessaan vetykaasusta vapautuu runsaasti energiaa ja palamisen lopputuotteena syntyy vettä. Vety toimii hyvin Suomen energiajärjestelmässä myös siirrettävyytensä ansiosta. Laajamittaisen vedynsiirron tehokkuuden takaamiseksi siihen vaaditaan kuitenkin oma siirtoverkko. Polttoaineeksi soveltuvan vetykaasun tuottaminen vaatii suuria määriä sähköä, mikä hankaloittaa vedyn roolia päästöttömänä polttoaineena. Osana tulevaisuuden täysin uusiutuvaan energiaan perustuvaa sektori-integraatiojärjestelmää vety voitaisiin valmistaa uusiutuvalla sähköllä ja tällöin sen elinkaareen ei liity kasvihuonekaasupäästöjä. Osa sähköstä menee edelleen hukkaan vedyn valmistusprosessissa, joten ollakseen kannattavaa teollisessa mittakaavassa vedynvalmistuksen prosessit vaativat vielä kehittämistä hyötysuhteiden parantamiseksi. Tulevaisuudessa vetyä voitaisiin hyödyntää tasaamaan uusiutuvan energiantuotannon, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, huippuja varastoimalla ylijäämäsähkö vetyä tuottamalla. Tämä olisi mahdollista integroimalla vetylaitoksia paikallisesti aurinko- ja tuulipuistojen verkkoihin. (TEM, 2021)

Ylijäämäsähkön varastoiminen elektrolyysilla vetyyn on hyvä esimerkki sektori-integraation onnistumiselle elintärkeistä sähkön varastointiratkaisuista. Koska tulevaisuudessa pyritään täysin hiilivapaaseen energiantuotantoon, tullaan sähköverkkoihin lisäämään valtava määrä uusiutuvan energian tuotantoa. Uusiutuva energia ei ole täysin ongelmatonta, sillä sen tuotanto on hyvin vaihtelevaa ja vaihtelevuus vaarantaa energiajärjestelmille tärkeää tuotantovarmuutta. Ratkaisuna tähän ongelmaan on joustavuutta parantavien varastointiteknologioiden integroiminen sähköverkkoon sekä laajemmalla tuotantotasolla että kotitalouksien mittakaavan ratkaisuilla. Vaihtoehtoina tuotantotason varastointiratkaisuille on elektrolyysin lisäksi esimerkiksi suuret akkuvarastot sekä pumppuvoimalaitokset. Pumppuvoimalaitoksissa sähköenergiaa varastoidaan veden potentiaalienergiana. Kun sähköä on tarjolla ylimäärä, pumppuvoimalaitoksessa vettä pumpataan sähköenergiaa käyttäen korkeammalle tasolle varastointialtaaseen. Kun sähköä taas tarvitaan, varastoitu vesi lasketaan alemmalle tasolle turbiinien kautta, jotka muuttavat veden liike-energian takaisin sähköenergiaksi. Esimerkiksi Pohjolan Voima kaavailee jo 500 MW:n pumppuvoimalaitoksen perustamista Kemijärvelle (pohjolanvoima.fi, 2024).

Haasteena sektori-integraatiossa on sähköistämiseen vaadittava energiantuotantokapasiteetti, sillä loppukäyttösektorin sähköistymisen onnistumisen vaatimuksena on riittävä uusiutuva sähköntuotanto. Tämä vaatii suuria investointeja uusiutuvaan energiaan, kuten aurinko- ja tuulipuistoihin. Suuret energiainfrastruktuurihankkeet vievät aikaa, sillä esimerkiksi tuulivoimalahankkeet vaativat pitkän luvitusprosessin. Toinen sektori-integraatiota jarruttava tekijä on nykyisten sähkönsiirtoverkkojen kapasiteetin riittämättömyys tulevaisuuden siirtotarpeisiin. Suurimmat uusiutuvan energian voimalahankkeet sijoittuvat Pohjois-Suomeen, sillä pohjoisessa on esimerkiksi tuulivoimalle suotuisempia alueita kuin Etelä-Suomessa. Sähkönkulutuksen huiput sen sijaan sijoittuvat Etelä-Suomeen, joten Pohjois-Suomessa tuotettu uusiutuva sähkö tulee saada siirrettyä mahdollisimman tehokkaasti käyttökohteisiin. Tämä vaatii riittäviä sähkönsiirtoyhteyksiä, jotta sähkön siirron kustannukset eivät horjuta Suomen sähkönhintojen tasapainoa ja hinnat saadaan pysymään samalla tasolla koko maassa tasa-arvon ylläpitämiseksi. Myös kaukolämpöverkon integroiminen muuhun energiaverkostoon tulevaisuuden tarpeita varten ei nykyisellään vielä onnistu, sillä kaukolämpöjärjestelmät ovat kiinteästi hinnoiteltuja sekä suljettuja. Sektori-integraation onnistuminen vaatii siis vielä lukuisia uusia innovaatioita eri puolilla Suomen energiajärjestelmää, suuria investointeja sekä kilpailukykyisiä uusia tuotanto- ja hankintatapoja nykyisten rinnalle. (TEM, 2021)

5 Energiankulutuksen hillitseminen ja energiatehokkuus

Energiankulutuksen muutokset vaikuttavat suorasti energiankulutuksesta aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin ja sitä kautta epäsuorasti myös energiantuotannon päästöihin. Energiankulutuksen väheneminen mahdollistaa uusiutuvan energian roolin kasvun Suomen energiajärjestelmässä, sillä pienempään energiankulutukseen on helpompi vastata täysin uusiutuvalla energialla. Energiatehokkuus edistää myös Suomen energiaomavaraisuutta vähentämällä tuontienergian tarvetta. Optimaalisessa energiatehokkuustilanteessa Suomen energiankulutus olisi samalla tasolla kotimaisen uusiutuvan energian tuotannon kanssa ja energiajärjestelmän täydellinen omavaraisuus sekä hiilineutraalius olisi mahdollista.

5.1 Toimenpiteet energiatehokkuuden edistämiseksi

Vuonna 2012 Euroopan Unioni asetti ensimmäisen energiatehokkuutta koskevan direktiivin edistääkseen EU:n primäärienergian kulutuksen 20 %:n säästötavoitetta vuoteen 2020 mennessä. Vuonna 2007 Eurooppa-neuvosto huomasi 20 %:n säästötavoitteen toteutumisen mahdottomuuden sen aikaisilla toimenpiteillä, ja tilanteen korjaamiseksi energiatehokkuuden roolia tavoitteiden saavuttamisessa pyrittiin kasvattamaan. Energiatehokkuuden kehittämistä yritettiin ensin pienimuotoisemmilla energiapoliittisilla toimenpiteillä ja aloitteilla, mutta myöhemmin heikon edistymisen vuoksi laadittiin vuoden 2012 energiatehokkuusdirektiivi määrätietoisemmaksi keinoksi. Tämän jälkeen EU:n päästö- ja energiatehokkuustavoitteiden muuttuessa energiatehokkuusdirektiiviin tehtiin muutos ensin vuonna 2018 ja myöhemmin vuonna 2023.

Vuoden 2023 uudistuksen tavoitteena oli niin sanotun Energiatehokkuus ensin- periaatteen omaksuminen politiikan kaikilla osa-alueilla ja energiatehokkuuden käsitteleminen erillisenä energialähteenä. Muutoksena aiempiin direktiiveihin uudistuksessa asetetaan uusi tavoite EU:n primäärienergian loppukulutuksen vähentämiseksi 11,7 %:lla vuoteen 2030 mennessä vuoden 2020 viiteskenaarioon verrattuna. Tavoitteiden toteutumisen takaamiseksi jäsenvaltiot velvoitetaan vahvistamaan kansalliset panoksensa tavoitteen edistämiseksi. Uudistuksessa esitetään myös tavoite vuotuisten energiansäästöjen lisäämisestä keskimäärin 1,49 %:lla kaudella 2024–2030 sekä julkisen sektorin energiankulutuksen vähentämisestä

1,9 %:lla vuosittain. Uudistettu direktiivi asettaa suurimpia vaatimuksia rakennusalalle sekä liikenteelle. Rakennusalan vaatimuksia ovat esimerkiksi rakennusten peruskorjausten määrän kasvattaminen sekä niiden muuntaminen mahdollisimman lähelle nollaenergiarakennuksia. Liikenteeseen vaadittavia uudistuksia ovat erityisesti vihreän liikkumisen edistäminen tarjoamalla enemmän latauspisteitä sähkökäyttöisille ajoneuvoille. Liikenteen ja rakennusten lisäksi direktiivi asettaa vaatimuksia myös kuntien lämmitys- ja jäähdytyssuunnitelmille, kaukolämmölle, yritysten energianhallintajärjestelmille sekä datakeskuksille. (Euroopan parlamentti ja neuvosto, 2023/1791)

Suomen sisäisistä poliittisista energiatehokkuustoimista suurinta tulosta tähän päivään asti ovat tuottaneet vapaaehtoiset energiatehokkuussopimukset. Energiatehokkuussopimukset ovat Suomelle yksinkertaisin keino vastata EU:n asettamiin energiatehokkuusvelvoitteisiin ja nämä sopimukset ovat olleet käytössä jo 1990-luvulta lähtien. Energiatehokkuussopimukset koskevat useita eri toimialoja, kuten kiinteistöjä, elinkeinoelämää sekä kuntia. Sopimukseen liittyminen on täysin vapaaehtoista ja se on hyödyksi siihen liittyneille toimijoille, sillä energiatehokkuus säästää energiakustannuksia sekä parantaa toiminnan kannattavuutta. Valtio myös tukee sopimukseen liittyneiden toimijoiden energiatehokkuusinvestointeja ja energiatehokkuutta edistävän uuden teknologian käyttöönottoa. Sopimukseen liittyessä toimija määrittää itse itselleen omiin tavoitteisiinsa sopivan määrällisen energiatehokkuustavoitteen ja sitoutuu tarvittaviin toimenpiteisiin, joilla tavoite saavutetaan. Sopimukseen liittyneiltä edellytetään myös energiatehokkuuden edistämiseksi säännöllistä vuosittaista raportointia kuluneena vuotena suoritetuista toimenpiteistä, joista Suomi raportoi eteenpäin EU:lle. (Energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi, 24.6.2024)

Energiatehokkuussopimukset on laadittu erikseen elinkeinoelämälle, kunnille sekä kiinteistöille. Elinkeinoelämän energiatehokkuussopimus koskee energia- sekä palvelualoja. Kuntaalan energiatehokkuussopimus koskee kuntia, kaupunkeja sekä kuntayhtymiä. Kiinteistöalan sopimus kattaa kaikki vuokra-asuntokiinteistöt sekä toimitilakiinteistöt, joista molemmille on laadittu omat toimenpideohjelmansa. Kiinteistöalan sopimus kulkee osittain käsi kädessä kunta-alan sopimuksen kanssa, sillä osana sopimusta kaikki kunta-alan energiatehokkuussopimukseen liittyneiden alueiden asuinrakennukset liitetään kiinteistöalan sopimuksen toimenpideohjelmaan. (Energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi, 24.6.2024)

6 Johtopäätökset

Kun mietitään parhaita tapoja energiantuotannon päästöjen vähentämiseen, ei kyse ole yhdestä tietystä poliittisesta toimesta tai teknologisesta innovaatiosta, jolla pysäytetään kasvihuonekaasupäästöjen pääsy ilmakehään lopullisesti. Onnistunut energiantuotannon päästöjen vähentäminen on monen kompleksin tekijän summa, ja onnistumiseen vaikuttavia muuttujia on useita. Myös se, miten onnistunut päästöjen vähentäminen määritellään, riippuu täysin tarkastelunäkökulmasta. Tässä työssä käsitellään Suomen energiantuotannon päästöjen vähentämistä poliittisesta sekä lainsäädännöllisestä näkökulmasta, jolloin indikaattorina kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksen onnistumisesta voidaan pitää todennäköisyyttä saavuttaa kansalliset ilmastolaissa määrätyt päästönvähennystavoitteet. Energiapoliittiset toimet voidaan nähdä riittävinä, jos niiden toimeenpanosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöjen vähennykset mahdollistavat päästöneutraaliuden tavoiteajassa. Suomen ilmastolaissa säädetyt tavoitteet päästönvähennyksille ovat vuoden 1990 kokonaiskasvihuonekaasupäästöjen referenssitasosta 60 %:n vähennys kokonaispäästöihin vuoteen 2030 mennessä, 80 %:n vähennys vuoteen 2040 mennessä sekä vähintään 90 %:n vähennys vuoteen 2050 mennessä.

Arvioidessa tapoja energiantuotannon päästöjen vähentämiseen niiden toimivuuden kannalta, on tässä tapauksessa luontevinta aloittaa tarkastelu nykyhetken energiapoliittisista toimista ja niiden vaikutusarvioista. Nykyisten toimien vaikutukset ja arvioitu riittävyys päästönvähennystavoitteisiin pääsemiseksi antaa pohjan kehityskohtien esittämiselle. Suomen energiapolitiikan pohjana toimii tällä hetkellä vuonna 2022 julkaistu Sanna Marinin hallituksen Hiilineutraali Suomi 2035- kansallinen ilmasto- ja energiastrategia siihen asti, kunnes nykyinen Petteri Orpon hallitus julkaisee uuden ilmasto- ja energiastrategian vuoden 2025 keväällä. Uuden ilmasto- ja energiastrategian mukana tulevat myös uusien energianpoliittisten toimien vaikutusarviot ja samalla määritelmät perus- sekä politiikkaskenaarioille muuttuvat.

Ilmasto- ja energiastrategian vaikutusarvioissa esitetty WAM-H-skenaario toimii tässä työssä vertailukohteena ja lähtökohtana päästönvähennysten kannalta parhaiden energiapoliittisten keinojen löytämiseen. WAM-H-skenaariossa on huomioitu vuoden 2020 jälkeen tehdyt energia- ja ilmastopoliittiset linjaukset ja niiden vaikutukset sekä itse ilmasto- ja energiastrategiassa esitetyt toimet. WAM-H-skenaariossa esillä ovat erityisesti uusiutuvien

energiantuotantomuotojen nopea kasvu verrattuna muihin skenaarioihin sekä nopeampi fossiilisen energian roolin pieneneminen. Tämä ero muihin skenaarioihin johtuu enimmäkseen WAM-H-skenaariossa arvioiduista suurista tuuli- ja aurinkovoiman investoinneista. Tuulivoiman osuuden uusiutuvasta energiasta on arvioitu kasvavan vuoteen 2050 mennessä 26 %:iin ja aurinkosähkössä on arvioitu tapahtuvan suuri läpimurto vuosina 2040–2050. Päästöoikeuksien hintojen nousun on arvioitu olevan merkittävin tekijä fossiilisen energian poistumisen nopeuttamisessa yhdessä polttoturpeen sekä kivihiilen käytöstä poiston kanssa. WAM-H-skenaariossa kaukolämmön fossiiliset polttoaineet korvataan puu- ja biopolttoaineilla. Sähköistyminen tuo osaltaan suuren hyödyn laskemalla energian kokonaiskulutusta voimakkaasti ja siten helpottamalla uusiutuvan sähköntuotannon osuuden kasvua. WAM-H-skenaariossa fossiilisesta sähköntuotannosta on arvioitu pystyttävän luopumaan vuoteen 2030 mennessä.

WAM-H-skenaarion toteutuessa kasvihuonekaasupäästöt vähenisivät 57 % vuoden 1990 vertailutasoon nähden. Vuoden 2030 EU:n yhteinen 40 %:n kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoite toteutuisi näillä toimilla helposti, mutta Suomen ilmastolain 60 %:n vähennystavoite sekä vuoden 2035 hiilineutraaliustavoite eivät kumpikaan toteudu. 60 %:n vähennystavoitteesta jäädään WAM-H-skenaariossa vajaaksi hiilidioksidiekvivalenttitonneilla laskettuna 2 Mt-CO_2-ekv:lla ja vuoden 2035 hiilineutraaliustavoitteesta 4 Mt-CO_2:lla. Mitä pidemmälle vuosikymmenissä skenaarion vaikutusarvioissa edetään, sitä lähemmäs tavoitelukemia päästään. Tähän liittyy kuitenkin suuria epävarmuustekijöitä, sillä arviot pitkille aikaväleille harvoin pitävät paikkansa maailman muuttuessa. WAM-H-skenaariolla päästään kuitenkin lähemmäksi tavoitteita kuin muilla skenaarioilla ja ennustusten tuulivoimainvestoinneista sekä uusista päästöttömistä energiantuotantoteknologioista pitäessä paikkansa, skenaarion toimilla vuoden 2050 päästönvähennystavoitteen saavuttaminen voisi hyvin teoreettisella tasolla olla mahdollista.

Mahdollisia kehityskohteita, joilla varmistettaisiin pääsy päästönvähennystavoitteisiin, voidaan lähteä etsimään energiasektorin jokaiselta osa-alueelta fossiilisten polttoaineiden energiajärjestelmästä poistumisen vauhdittamisesta, uusiutuvan energian lisäämisestä sekä sektori-integraatiosta ja energiatehokkuudesta. Fossiilisen energian poistaminen ja uusiutuvan energian lisääminen kulkevat energiamurroksessa käsi kädessä, sillä fossiilista energiaa vähennettäessä tulee poistettu energiantuotantokapasiteetti korvata uusiutuvilla menetelmillä. Fossiilisten polttoaineiden käyttöön voidaan vaikuttaa monella eri tavalla, joista tähän asti

toimivimmiksi on havaittu päästöoikeuksien hintojen nostaminen sekä totaaliset käyttökieltolait kuten kivihiilen vuoden 2029 käyttökieltolaki. Päästöoikeuksien hinnat määräytyvät kysynnän ja tarjonnan mukaan EU:n päästökauppamarkkinoilla, joten hintojen nousuun ei voida suoraan kansallisella tasolla vaikuttaa. Liikkeelle laskettavien päästöoikeuksien määrä kuitenkin muuttuu päästökauppakausina vuosittain kaudelle määrätyn lineaarisen vähennyskertoimen mukaisesti. Suurentamalla lineaarista vähennyskerrointa voidaan päästöoikeuksien hintojen nousua vauhdittaa. Pienempi määrä päästöoikeuksia markkinoilla kasvattaa niiden markkinahintaa. Kun päästöoikeuksien hinta nousee tarpeeksi suureksi, teollisuusyritysten on kannattavampaa tehdä päästöjä vähentäviä muutoksia laitoksiin kuin ostaa päästöoikeuksia. Päästöoikeuksien hintojen nousu myös ohjaa energiateollisuuden investointeja uusiutuvaan energiaan, sillä fossiilisen energian taloudellinen kannattavuus laskee. EU:n tasolla päästöoikeuksien määrän vähentäminen on yksi tehokkaimmista, ellei tehokkain keino fossiilisen energiantuotannon ajamiseen ulos energiajärjestelmistä.

Sähkön- ja lämmöntuotannossa fossiilisista polttoaineista eniten päästöjä aiheutuu kivihiilen sekä maakaasun polttokäytöstä. Kivihiilen osuus on kuitenkin jatkuvassa laskussa johtuen sille vuonna 2019 asetetusta käyttökieltolaista, joka pakottaa kivihiiltä käyttävien energiantuotantolaitosten siirtymisen uusiutuviin biopolttoaineisiin tai tuotantokapasiteetin korvaamisen kokonaan uusilla biopolttoaineita hyödyntävillä tuotantolaitoksilla. Laskentojen mukaan kivihiilen käytöstä poistaminen vähentää hiilidioksidipäästöjä jopa miljoona tonnia vuodessa. Kivihiilen käyttökieltolaki toimii hyvänä esimerkkinä lainsäädännön merkittävästä asemasta energiantuotannon päästöjen vähentämisessä. Tulevaisuudessa esimerkiksi maakaasun ja turpeen käyttöä rajoittavat lait voisivat vauhdittaa energiajärjestelmän muuttumista fossiilittomaksi. Myös energiavero ohjaa fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja sitä nostamalla sekä sähköntuotannon polttoaineiden verohelpotusten lieventämisellä voidaan osaltaan kannustaa uusiutuvan energian käyttöön. Taloudelliseen rasitteeseen perustuvissa menetelmissä tulee kuitenkin muistaa energiantuotannon kustannusten vaikutus energian hintoihin. Tästä syystä ennen suuria muutoksia lainsäädäntöön tai energiaverotukseen tulee varmistaa, että poistuvan kapasiteetin korvaaminen uusiutuvilla energianlähteillä on mahdollista ja muutoksille tulee antaa tarpeeksi aikaa tarvittaessa uuden infrastruktuurin rakentamiselle.

Fossiilisen energian poistuessa energiajärjestelmästä osa korvaavasta kapasiteetista voidaan hakea esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoimasta. Tuulivoima on yksi nopeimmin kasvavista

uusiutuvan energian tuotantomuodoista Suomessa, ja sen rooli nykyisessäkin energia- ja ilmastostrategiassa on merkittävä. Energia- ja ilmastostrategiassa tuulivoimaa koskevia linjauksia ovat muun muassa merkittävät lisäykset tuulivoimahankkeiden rahoitukseen, kaavoitus- ja luvitusprosessien helpottaminen sekä merituulivoiman käyttöönoton edistäminen. Hyvin pitkälti tuulivoimaan liittyy myös vetytalouden tulevaisuus. Vedyntuotanto ei vielä ole teollisessa mittakaavassa taloudellisesti kannattavaa, mutta kannattavuuden on skenaariolaskelmissa odotettu nousevan tulevina vuosina tuotantoteknologioiden kehittyessä. Kun vetytalous saavuttaa taloudellisen kannattavuuden, tuotantolaitokset tulevat tekemään vedyn päästöttömyyden takaamiseksi pitkäaikaisia sähkönostosopimuksia uusiutuvan energian tuottajien kanssa. Nouseva uusiutuvan energian kysyntä lisää investointeja juuri esimerkiksi tuulivoiman rakentamiseen ja vauhdittaa tuulivoiman osuuden kasvua energiantuotannossa.

Yhdistävänä tekijänä fossiilisen energian poistumisen ja uusiutuvan energian lisäämisen välillä toimii sektori-integraatio. Sektori-integraatio mahdollistaa energiajärjestelmän huoltovarmuuden turvaamisen. Mitä suuremmaksi uusiutuvan energian rooli energiajärjestelmässä kasvaa, sitä kriittisempää sektori-integraatio on. Suuri osa uusiutuvan energian tuotantomuodoista, kuten tuuli- ja aurinkovoima, ovat tuotantoteholtaan vaihtelevia, sillä muun muassa sääolosuhteet voivat vaikuttaa tuotannon määrään. Tämä ongelma ratkeaa hyvin suunnitellulla sektori-integraatiolla. Sähköverkkoon voidaan integroida erilaisia varastointiratkaisuja, joihin ylijäämäsähkö voidaan varastoida sääolosuhteiden ollessa suotuisat, ja tätä ylijäämäenergiaa voidaan vapauttaa uudelleen sähköverkkoon tuotannon ollessa heikompaa. Mahdollisia varastointiratkaisuja löytyy vedyntuotannosta, erilaisista akkuvarastoista sekä veden potentiaalienergiaa hyödyntävistä pumppuvoimaloista. Sektori-integraation toimivuus on kuitenkin hyvin riippuvainen sähkönsiirtoverkkojen kapasiteetin riittävyydestä. Sähkö pitäisi pystyä siirtämään varastointipaikoista nopeasti ja tehokkaasti sitä tarvitseviin kohteisiin.

Myös energian kulutuksen rooli energiantuotannon päästöjen vähentämisessä on merkittävä. Fossiilisten energiantuotantolaitosten poistaminen energiajärjestelmästä nopeutuu sitä nopeammaksi, mitä pienempi on uusiutuvalla energialla vastattava puuttuvan kapasiteetin määrä. Jos energiankulutus vähenee, tarvittavan energian tuottaminen päästöttömästi on helpompaa, nopeampaa sekä taloudellisesti kannattavampaa.

7 Yhteenveto

Siirtyminen täysin päästöttömään energiantuotantoon on mahdollista viimeistään vuoteen 2050 mennessä, mutta se vaatii muutoksia nykyiseen energiajärjestelmään ja -politiikkaan. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä poistumisen vauhdittamiseksi vaaditaan teräviä lainsäädännöllisiä toimia, mutta realistisilla aikatauluilla. Hyvänä esimerkkinä tässä toimii kivihiilen käyttökieltolaki. Lainsäädännön lisäksi fossiilista energiantuotantoa voidaan ajaa ulos energiajärjestelmästä heikentämällä sen taloudellista kannattavuutta. Fossiilisten polttoaineiden energiaveron nostaminen toimii tehokkaana kansallisena vaikutuskeinona. Koko EU:n tasolla taas ylivoimainen keino fossiilisen energiantuotannon vähentämiseen on päästökauppakausien alussa markkinoille laskettavien päästöoikeuksien määrän merkittävä vähentäminen, mikä nostaisi yhden päästöoikeuden hintaa markkinoilla niin suureksi, että tuotantoyritysten on kannattavampaa vähentää päästöjä kuin maksaa niistä. Fossiilisen energiantuotannon kustannusten nousu vähentää siihen kohdistuvia investointeja, mikä tekee tuotannon rahoittamisesta entistäikin hankalampaa. Energiajärjestelmästä ajan myötä poistettu fossiilinen energiantuotantokapasiteetti voidaan korvata investoinneilla maatuulivoimaan, merituulivoimaan, aurinkovoimaan sekä vetytalouteen. Tuuli- ja aurinkovoiman lisäyskapasiteetti on valtava ja hankkeisiin on saatavilla rahoitusapua sekä kansallisella että EU:n tasolla. Uusi uusiutuvan energian tuotantokapasiteetti integroidaan energiajärjestelmään entistäkin tehokkaammalla sähkönsiirrolla sekä erilaisilla energian varastointitekniikoilla, jotka poistavat uusiutuvan energian epävakaisuudesta aiheutuvia ongelmia. Sektori-integraatiota kehittämällä ylimääräinen sähkö voidaan joko varastoida myöhempää käyttöä varten tai tehokkaalla sähkönsiirrolla siirtää sitä tarvitseville kohteille nopeasti ja kustannustehokkaasti. Kaiken tämän onnistuminen vaatii siis lukuisia investointeja eri puolille energiajärjestelmää, energian kulutuksen vähentämistä ja kansalaisten sekä päättäjien muutosmyönteisyyttä.

Lähteet

CSC.fi. 2023. Entistäkin ekotehokkaampi Kajaanin datakeskus [verkkojulkaisu]. Viitattu 8.6.2024. Saatavissa https://csc.fi/uutinen/entistakin-ekotehokkaampi-kajaanin-datakeskus/

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus). 2024. Uusiutuvan energian lupaneuvonta, lupakäsittelyn määräajat [verkkojulkaisu]. Viitattu 25.6.2024. Saatavissa https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/lupakasittelyn-maaraajat

Energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi. Sopimus [verkkojulkaisu]. Viitattu 24.6.2024. Saatavissa https://energiatehokkuussopimukset2017-2025.fi/sopimus/

Euroopan komissio. 2020. Käyttövoimaa ilmastoneutraalille taloudelle: EU:n energiajärjestelmän integrointistrategia [verkkojulkaisu]. Viitattu 8.6.2024. Saatavissa https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-FI/TXT/?from=EN&uri=CELEX%3A52020DC0299

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 2021/1119 [verkkojulkaisu]. Euroopan unionin virallinen lehti. Viitattu 27.1.2024. Saatavissa https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R1119&from=EN#d1e574-1-1

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2023/1791 energiatehokkuudesta ja asetuksen 2023/955 muuttamisesta [verkkojulkaisu]. 2023. Viitattu 24.6.2024. Saatavissa https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN-FI/TXT/?from=EN&uri=CELEX%3A32023L1791

Euroopan unionin neuvoston päätös ilmastonmuutosta koskevan Yhdistyneiden kansakuntien puitesopimuksen Kioton pöytäkirjaan tehdyn Dohan muutoksen tekemisestä Euroopan unionin puolesta ja siihen perustuvien velvoitteiden yhteisestä täyttämisestä 2015/1339 [verkkojulkaisu]. Euroopan unionin virallinen lehti. Viitattu 26.1.2024. Saatavissa https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32015D1339

Euroopan unionin viestinnän pääosasto. 2024. Vuoden 2040 välitavoite ilmastoneutraaliuden saavuttamiseksi vuoteen 2050 mennessä [verkkojulkaisu]. Euroopan unionin virallinen verkkosivusto. Viitattu 8.8.2024. Saatavissa https://commission.europa.eu/news/recommendation-2040-target-reach-climate-neutrality-2050-2024-02-06_fi

Fortum.fi. Datakeskusten hukkalämpöjen kierrätys edistää ilmastotavoitteita [verkkojulkaisu]. Viitattu 8.6.2024. Saatavissa https://www.fortum.fi/datakeskushanke

Hallituksen esitys eduskunnalle laeiksi hiilen energiakäytön kieltämisestä ja oikeudenkäynnistä markkinaoikeudessa annetun lain 1 luvun 2§:n muuttamisesta 2200/2018 [verkkojulkaisu]. Eduskunta. Viitattu 6.6.2024. Saatavissa https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_200+2018.aspx

Ilmastolaki 10.6.2022/423. Finlex. Viitattu 3.12.2023. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2022/20220423

Ilmastomuutosta koskeva Yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimuksen Kioton pöytäkirja 13/2005. Finlex. Viitattu 26.1.2024. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2005/20050013/20050013_2

Ilmastonmuutosta koskeva Yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimus 61/1994. 2 artikla. Finlex. Viitattu 26.1.2024. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1994/19940061/19940061_2

Ilmastonmuutosta koskeva Yhdistyneiden Kansakuntien puitesopimus 61/1994. 7 artikla. Finlex. Viitattu 26.1.2024. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1994/19940061/19940061_2

Koljonen, T., Lehtilä, A., Honkatukia, J. & Markkanen, J. (Teknologian tutkimuskeskus VTT) 2022. Pääministeri Sanna Marinin hallituksen ilmasto- ja energiapoliittisten toimien vaikutusarviot, Hiilineutraali Suomi 2023 (HIISI)- jatkoselvitys [verkkojulkaisu]. Viitattu 20.6.2024. Saatavissa https://publications.vtt.fi/pdf/technology/2022/T402.pdf

Laki hiilen energiakäytön kieltämisestä 416/2019. Finlex. Viitattu 6.6.2024. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2019/20190416

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). 2024. Puupolttoaineet Suomen energian tuotannossa [verkkojulkaisu]. Viitattu 14.3.2024. Saatavissa https://mmm.fi/documents/1410837/15430871/Puupolttoaineet+Suomessa.pdf/6daecf87-e080-2a6c-0ebe-b6952f964f01/Puupolttoaineet+Suomessa.pdf?t=1649085307397

Pariisin ilmastosopimus [verkkojulkaisu]. 2015. Viitattu 26.1.2024. Saatavissa https://ym.fi/documents/1410903/38439968/paris_agreement_english_-B334B5EC_B697_4C03_8F06_D42B87AA76E6-118495.pdf

Pohjolanvoima.fi. 2024. Pohjolan Voima selvittää sähkön varastointiin tarkoitetun pumppuvoimalaitoksen mahdollisuutta Kemijärven alueelle [verkkojulkaisu]. Viitattu 8.8.2024. Saatavissa https://www.pohjolanvoima.fi/pohjolan-voima-selvittaa-sahkon-varastointiin-tarkoitetun-pumppuvoimalaitoksen-mahdollisuutta-kemijarven-alueelle/

Päästökauppalaki 28.12.2023/1270. Finlex. Viitattu 6.6.2024. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2023/20231270

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2023a. Vuonna 2022 kasvihuonekaasupäästöt laskivat 4 % edellisvuodesta [verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 3.12.2023. Saatavissa https://www.stat.fi/julkaisu/cl8a46vp7vq8n0bvyqi4724gw

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2023b. Sähkön tuotanto tuulivoimalla ja ydinvoimalla nousivat vuonna 2022 [verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 6.6.2024. Saatavissa https://stat.fi/julkaisu/cl8mo29omxf8t0dukky5aa8i1

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2024a. Hiilidioksidiekvivalentin määritelmä [verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 3.12.2023. Saatavissa https://www.stat.fi/meta/kas/hiilidioksidiek.html

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2024b. Energian kokonaiskulutus energialähteittäin [verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 12.6.2024. Saatavissa https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12st.px/

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2024c. Energiakäytön polttoperäiset kasvihuonekaasupäästöt polttoaineryhmittäin [verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 31.7.2024. Saatavissa https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__khki/statfin_khki_pxt_13qn.px/

Suomen virallinen tilasto (SVT). 2024d. Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa, 1990–2023 [verkkojulkaisu]. Helsinki: Tilastokeskus. Viitattu 31.7.2024. Saatavissa https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__khki/statfin_khki_pxt_138v.px/

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Energiatuki [verkkojulkaisu]. Viitattu 7.6.2024. Saatavissa https://tem.fi/energiatuki

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Päästökauppa [verkkojulkaisu]. Viitattu 6.6.2024. Saatavissa https://tem.fi/paastokauppa

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Uusiutuva energia suomessa [verkkojulkaisu]. Viitattu 13.3.2024. Saatavissa https://tem.fi/uusiutuva-energia

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2019. Kivihiilen energiakäytön vuonna 2029 kieltävä laki voimaan huhtikuun alussa [verkkojulkaisu]. Viitattu 6.6.2024. Saatavissa https://tem.fi/-/kivihiilen-energiakayton-vuonna-2029-kieltava-laki-voimaan-huhtikuun-alussa

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2021. Sektori-integraatiotyöryhmän loppuraportti [verkkojulkaisu]. Viitattu 8.6.2024. Saatavissa https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163298/TEM_2021_47.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2022. Hiilineutraali Suomi 2025- kansallinen ilmasto- ja energiastrategia [verkkojulkaisu]. Viitattu 20.5.2024. Saatavissa https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/164321/TEM_2022_53.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Verohallinto. 2023. Energiaverotus [verkkojulkaisu]. Viitattu 6.6.2024. Saatavissa https://www.vero.fi/syventavat-vero-ohjeet/ohje-hakusivu/56206/energiaverotus4/