



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Vesi ja vähähiilinen talous

Jussi Tiainen

TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2020

TIIVISTELMÄ

Vesi ja vähähiilinen talous

Jussi Tiainen

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö 2020, 29 sivua

Työn ohjaaja yliopistolla: Heini Postila

Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan vesi ja vähähiilistä taloutta. Aihe on todella laaja, joten sitä on hieman rajattu. Työssä käydään läpi mitä vesi ja vähähiilinen talous tarkoittavat, miten vähähiiliseen talouteen päästään ja kuinka vesi liittyy tähän. Lyhyesti myös esitetään, mitä ovat uusiutuvat energiamuodot ja kuinka niitä tuotetaan Suomessa ja kansainvälisellä tasolla. Vuonna 2018 Suomessa tuotettiin uusiutuvilla energiamuodoilla sähköä 47 % kokonaissähkötuotannosta, pääosin vesi- ja tuulivoimalla. Työssä myös perehdytään Pariisin ilmastopimukseen, koska se on yksi tärkeimmistä suunnan näyttäjistä kohti vähähiilistä taloutta. Työ on toteutettu kirjallisuusselvityksenä.

Sekä vähän vettä kuluttava, että vähähiilinen talous edellyttävät oikeanlaisten energiamuotojen valitsemista. Molempia talouksia tukevia energiamuotoja ovat ydinvoima, aurinkovoima ja tuulivoima. Näissä kolmessa energiamuodossa on suhteessa tuotettuun energiamäärään pienet kasvihuonepäästöt, mutta myös pieni veden tarve.

Asiasanat: vähähiilinen talous, veden päästöt, hiilidioksidipäästöt

ABSTRACT

Water and low carbon economy

Jussi Tiainen

University of Oulu, Environmental engineering

Bachelor thesis 2020, 29 pages

Supervisor at the university: Heini Postila

The topic of this thesis is water and low-carbon economy. This topic is extensive, so it has been restricted. This thesis focuses on what water and low-carbon economy mean, how to reach low-carbon economy and how water can be associated with this. This thesis also displays what renewable energy sources are and how they are generated in Finland and internationally. In 2018 Finland generated 47 percent of its total electricity production by renewable energy sources, mainly by hydropower and wind power. This thesis also discusses the Paris Climate Agreement, since it is one of the main predecessors towards low carbon economy. This thesis has been carried out as a literature review.

The choice of energy sources is essential for reaching an economy that uses little water and carbon. Energy sources that maintain both economies are nuclear power, solar power, and wind power. These three sources of energy have low greenhouse gas emissions in contrast to the amount of energy produced, but also have low water demand.

Keywords: low carbon economy, water emissions, carbon dioxide emissions,

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto	4
2 Vähähiilinen talous.....	6
2.1 Vähähiilinen talous.....	6
2.2 Kasvihuonekaasupäästöt	7
2.3 Keinoja vähähiiliseen talouteen pääsemiseksi	11
2.4 Vähähiilinen talous maailmanlaajuisesti	14
2.4.1 Pariisin ilmastopimus	14
2.4.2 Uusiutuvan energian tuotanto Euroopan tasolla	15
3 Vesi vähähiilisessä taloudessa	18
3.1 Energiatuotannossa	19
3.2 Talousveden käytön päästöt ja vesijalanjälki	20
4 Yhteenveto	22
LÄHDELUETTELO	24

1 JOHDANTO

Vähähiilinen talous tarkoittaa taloutta, jossa energialähteet ovat vähähiilisiä. Täten ilmakehään pääsevät kasvihuonepäästöt ovat vähäisiä. Myös vähän fossiilisia polttoaineita käyttävä talous tai hiilidioksidipäästötön talous tarkoittavat samaa, kuin vähähiilinen talous. Fossiilisia polttoaineita ovat esimerkiksi öljy, kivihiili ja maakaasu, kun taas kasvihuonepäästöjä ovat esimerkiksi metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O), otsoni (O₃) ja jo mainittu hiilidioksidi (CO₂). (Scherbenske ja Perjo 2015)

Vähähiilisessä taloudessa fossiiliset polttoaineet ovat pääosin tai kokonaan korvattu uusiutuvilla energiamuodoilla, kuten aurinko- ja tuulivoimalla. Vähähiilisessä taloudessa myös keskitytään energiavarojen viisaaseen ja tehokkaaseen hallintaan ja käyttöön. Esimerkiksi, jos energiatehokkuutta mietitään yksittäisen tuotteen näkökulmasta, niin ensinnäkin sen tuotantoprosessin täytyy olla energiaa säästävää sekä tuotteen elinkaaren hiilijalanjäljen mahdollisimman pieni. Lisäksi tuotteen tuotantotilojen käyttämän energia tulisi olla uusiutuvilla polttoaineilla tuotettu. Tärkeää on myös mahdollisten tuotannon sivuvirtojen hyödyntäminen. Vähävesisessä taloudessa puolestaan kiinnitetään huomiota veden käyttöön ja kulutukseen. Siellä pyritäänkin löytämään energiantuotantomuotoja, jotka kuluttavat mahdollisimman vähän vettä sekä hyödyntämään keinoja veden käytön hillitsemiseksi. (Karjalainen 2017)

Siirtyminen kohti vähähiilistä taloutta on merkittävä mahdollisuus, mutta toisaalta valtava haaste. Useilla mailla, kuten myös Suomella, on tavoitteena olla hiilineutraaleita. Suomi pyrkii olemaan hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Vuoteen 2030 mennessä Suomi pyrkii siihen, että yli 55 % energian käytöstä olisi uusiutuvaa energiaa. Siirtyminen vähähiiliseen talouteen on valtava haaste, koska aurinko- ja tuulienergia ovat riippuvaisia säästä ja tällöin esim. ympärivuorokautisen energiavarmuuden saavuttaminen ei ole helppoa. Energiajärjestelmää täytyy myös päivittää, jos halutaan siirtyä kohti puhtaampaa energiantuotantoa. Energiajärjestelmän päivityksellä tarkoitetaan esimerkiksi hiilivoimaloiden sulkemista. (Öörni 2020)

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on perehtyä keinoihin, joilla voidaan pyrkiä kohti vähän vettä kuluttavaa ja vähähiilistä taloutta. Työssä käydään läpi asiaan liittyviä ongelmakohtia sekä esitellään ratkaisuja. Työssä pyritään selvittämään jo olemassa olevia keinoja, joilla voidaan pyrkiä kohti vähähiilistä taloutta, mutta myös tulevaisuudessa mahdollisia keinoja. Työssä myös paneudutaan kasvihuonepäästöihin sekä vedellisiin energiamuotoihin. Työ toteutetaan kirjallisuusselvityksenä.

2 VÄHÄHIILINEN TALOUS

2.1 Vähähiilinen talous

Vähähiilinen talous linkittyy moneen asiaan. Selkeimmin vähähiilinen talous linkittyy energia-alalle, jossa pyritään vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä, joka samalla vähentää niistä aiheutuvia kasvihuonepäästöjä. Toisin sanoen, samalla pyritään lisäämään uusiutuvien biopolttoaineiden käyttöä (Waters 2019). Uusiutuviin energialähteisiin luetaan mukaan vesi-, tuuli- ja aurinkovoima sekä bioenergia. Bioenergia voidaan jaotella neljään eri ryhmään: puu ja puumainen biomassa, nurmikasvien biomassa, vesibiomassa sekä eläin- ja ihmisjätteen biomassa. (Jin ym. 2019)

Toinen toimiala vähähiiliseen talouteen liittyen on hieman vähemmän selkeä eli ravintola-ala. Esimerkiksi Fazerin Amica-ravintoloissa on myyty tarjolla olevista lounasvaihtoehdoista vähiten päästöjä tuottavaa lounasannosta nimellä Ilmastolounas. Tällöin kuluttajalle tarjoutuu helppo ratkaisu tehdä osansa vähähiilisestä taloudesta helpolla päätöksellä. (Sitra 2020)

Kolmantena esimerkkinä voisi olla erilaiset koulutukset, kuten ProAgrian pitämä ”Vähähiilinen maaseutu – maaseudun uusiutuvat energiat”. Koulutuksessa käsiteltiin mm. maatilojen ja maaseutuyritysten energiatehokkuuden parantamista, energian talteenottoa lannasta ja biomateriaalien kierrätyksen ja energiavirtojen kierrätyksen edistämistä. (Proagria 2020) Lisäksi vähähiilinen talous näkyy mainittujen esimerkkien lisäksi myös esimerkiksi seuraavissa toimitissa:

- Lattian tai katon eristys
- Energiatehokkaiden ikkunoiden asennus
- Sähkölaitteiden turhan päällä pidon välttäminen
- Perinteisten hehkulamppujen korvaaminen LED-lampuilla
- Pienemmän lämpötilan ylläpitäminen asunnossa (varsinkin talvisin) (Energysage 2020)

2.2 Kasvihuonekaasupäästöt

Kasvihuonekaasuja ovat kaasut, jotka ilmakehässä ollessaan päästävät lähes kaiken auringonsäteilyn lävitseen, mutta estävät valtaosan maan pinnalta lähtevästä lämpösäteilystä päätyvästä avaruuteen. Tämä aiheuttaa kasvihuoneilmion, eli lämpöenergian määrä maapallolla kasvaa. Tällaisia kaasuja ovat luonnossakin esiintyvät hiilidioksidi (CO₂), typpioksidi (NO), otsoni (O₃), metaani (CH₄) ja vesihöyry (H₂O). Lisäksi monet ihmisten valmistamista kemikaaleista ovat kasvihuonekaasuja, esimerkiksi fluoriyhdisteet, bromiyhdisteet sekä kloorifluoratut hiilivedyt. Yhdysvalloissa vuonna 2018 hiilidioksidin osuus kaikista kasvihuonepäästöistä oli n. 81 %, metaanin osuus n. 10 %, typpioksidin n. 7 % ja fluoripitoisten kaasujen n. 3 %. (Epa 2020) Edellä mainittujen kasvihuonekaasujen osuudet % ovat hyvin lähellä toisiaan teollistuneissa länsimaissa, kuten esimerkiksi Suomessa (SVT 2018), Yhdysvalloissa (Epa 2020) ja Puolassa (Cop24 2020) (Taulukko 1).

Taulukko 1. Vuoden 2018 kasvihuonekaasupäästöjen osuudet (%) Suomessa (SVT 2018), Yhdysvalloissa (Epa 2020) ja Puolassa (Cop24 2020).

	Suomi	USA	Puola
Hiilidioksidi	82	81	81
Metaani	8	10	12
Typpioksidi	8	7	5
Fluoripitoiset kaasut	2	3	2

Kasvihuonekaasujen haitallisuutta voidaan arvioida kahdella eri tavalla: niiden elinajan pituudella sekä kasvihuonekaasun lämmityspotentiaalilla (Silvonen 2020). Kasvihuonekaasujen elinikä ilmakehässä vaihtelee todella paljon. Esimerkiksi metaanin elinikä ilmakehässä on noin 12 vuotta, kun taas typpioksidilla se on 121 vuotta (Taulukko 2). Voidaan huomata, että myös säteilytehokkuus muuttuu eri kasvihuonekaasujen kohdalla. Eri kasvihuonekaasujen ilmastoja lämmittävän vaikutuksen arvioimiseksi ja helpottamiseksi on käytetty kerrointa, GWP (Global Warming Potential). Hiilidioksidi saa GWP-arvon 1, jonka avulla saadaan muille kasvihuonekaasuille arvo. Säteilytehokkuus varsinkin kloorifluorihiihivedyllä (CCL₂CF₃) on erityisin suuri ja se on n. 14 600 kertaa suurempi, kuin hiilidioksidilla (Myhre ym. 2013). Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi yhdellä grammalla kyseistä

yhdistettä on yhtä suuri vaikutus ilmakehän lämpenemiseen, kuin 14 600 grammalla hiilidioksidia (Silvonen 2020).

Taulukko 2. Kasvihuonekaasujen tietoja (mukaillen Mythre ym. 2013).

Nimi	Kemiallinen kaava	Elinikä (vuosissa)	Säteilytehokkuus ($W m^{-2} ppb^{-1}$) ¹	AGWP ² 20 vuodessa ($W m^{-2} yr kg^{-1}$)	GWP ³ 20 vuodessa	AGWP 100 vuodessa ($W m^{-2} yr kg^{-1}$)	GWP 100 vuodessa
Hiilidioksidi	CO ₂	-	1.37e ⁻⁵	2.49e ⁻¹⁴	1	9.17e ⁻¹⁴	1
Metaani	CH ₄	12.4	3.63e ⁻⁴	2.09e ⁻¹²	84	2.61e ⁻¹²	28
Fossiilinen metaani	CH ₄	12.4	3.63e ⁻⁴	2.11e ⁻¹²	85	2.73e ⁻¹²	30
Typpioksididi	N ₂ O	121.0	3.00e ⁻³	6.58e ⁻¹²	264	2.43e ⁻¹¹	265
(CFC-115)	CCl ₂ CF ₃	1020.0	0.20	1.46e ⁻¹⁰	5860	7.03e ⁻¹⁰	7670

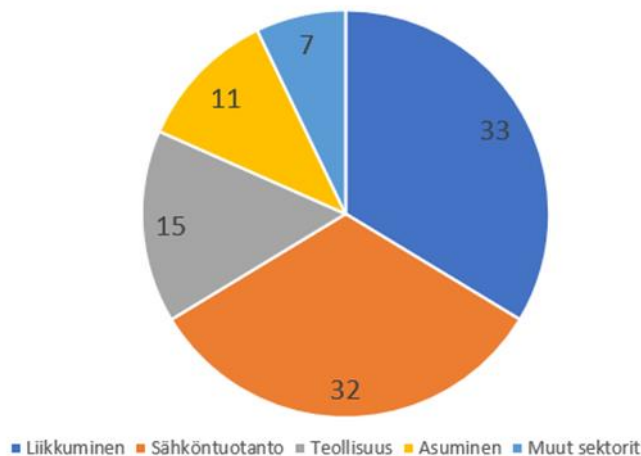
¹ppb = (parts per billion) = (miljardisosa)

²AGWP (Absolute Global Warming Potential) = (Absoluuttinen lämmityspotentiaali)

³GWP (Global Warming Potential) = (Lämmityspotentiaali)

Hiilidioksidi

Hiilidioksidi esiintyy luonnollisestikin maapallon ilmakehässä osana maapallon hiilenkiertoa ilmakehän, valtamerien, maaperän, kasvien ja eläinten välillä. Ihmisten toiminta kuitenkin on muuttanut tätä luonnollista kiertokulkua, mikä lisää hiilen joutumista ilmakehään. Tämä osaltaan johtuu esimerkiksi metsien hakkuista. Hakatut metsät ovat aiemmin pystyneet varastoimaan hiilidioksidia. Kuitenkin valtaosa hiilidioksidipäästöistä tulee fossiilisista polttoaineista liikkumisen, sähköntuotannon yms. kautta. Liikkuminen, joka sisältää ihmisten liikkumisen ja tavaroiden kuljettamisen tuotti n. 33 % Yhdysvaltojen hiilidioksidipäästöistä vuonna 2018 (Kuva 1). Tähän kuuluvat maantie-, rautatie- ja lentoliikenne sekä merikuljetukset. Toiseksi suurin hiilidioksidipäästöjen tuottaja on sähköntuotanto (esim. Yhdysvaltojen CO₂-päästöistä 32 %). Tämä selittyy osaltaan sillä, että valtaosa sähköstä tuotetaan hiiltä polttamalla. Tällöin syntyy paljon hiilidioksidipäästöjä. Loput hiilidioksidipäästöistä tulevat teollisuudesta, asumisesta ja muista sektoreista. (Epa 2020)



Kuva 1. Yhdysvaltojen hiilidioksidipäästöt sektoreittain (%) vuonna 2018 (mukailten Epa 2020).

Hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet Yhdysvalloissa n. 5,8 % vuosien 1990 ja 2018 välillä. Toisaalta väkiluku, talous, uusi tekniikka sekä vuodenaikojen lämpötilat ovat muuttuneet tänä aikana. Vuosien 1990 ja 2018 välillä tapahtuva hiilidioksidipäästöjen kasvu vastaa aika tarkasti väkimäärän sekä lisääntyvän energiakäytön tarvetta. Tehokkain tapa vähentää hiilidioksidipäästöjä on vähentää fossiilisten polttoaineiden kulutusta. Muita tapoja ovat esimerkiksi: rakennusten eristysten parantaminen, energiatehokkaampien sähkölaitteiden käyttö, matkustaminen polttoainetehokkaammilla kulkuvälineillä, henkilökohtaisen energiankulutuksen vähentäminen, energian tuotanto uusiutuvista lähteistä ja hiilidioksidin talteenotto ja sitominen. (Epa 2020)

Typpioksidi

Kuten hiilidioksidi, niin myös typpioksidi on luonnollisesti läsnä ilmakehässä osana typpisykliä. Vuonna 2018 Yhdysvalloissa typpioksidi vastasi 6,5 % kasvihuonekaasuista. Typpioksidia muodostuu valtavasti varsinkin maataloudesta ja maatalous tuotti 78 % kaikesta typpioksidipäästöistä. Maataloudessa typpioksidia muodostuu varsinkin synteettisten ja orgaanisten lannoitteiden levityksestä ja lannan käsittelystä. (Epa 2020)

Loput 22 % typpioksidista muodostuu useiden tapojen kautta. Typpioksidia vapautuu esimerkiksi, kun polttoaineita poltetaan. Vapautuvan typpioksidin määrä riippuu paljon

polttoaineen tyypistä. Typpioksidia myös syntyy useiden kemikaalien sivutuotteena, kuten typpihapon valmistuksessa tai kotitalousjätevesien käsittelyssä. (Epa 2020)

Vuosien 1990 ja 2018 välillä typpioksidin kasvihuonekaasupäästöt ovat pysyneet Yhdysvalloissa hyvin samoina. Tämä johtuu siitä, että vaikka typpioksidipäästöt liikenteestä on vähentyneet n. 63 %, niin samaan aikaan maatalouden typpioksidipäästöt ovat lisääntyneet n. 7 %. Tämä johtuu valtaosin typpilannoitteiden lisääntyneestä käytöstä. Tehokkain tapa vähentää typpioksidipäästöjä on typpilannoitteiden käytön vähentäminen tai lannoitteiden tehokkaampi käyttö. Muita keinoja ovat esimerkiksi polttoaineenkulutuksen vähentäminen, koska typpioksidi muodostuu sen sivutuotteena. (Epa 2020)

Metaani

Metaanin osuus Yhdysvaltojen kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2018 oli n. 9,5 %. Sitä muodostuu varsinkin karjankasvatuksessa osana eläinten normaalia ruuansulatusprosessia, mutta myös esimerkiksi maakaasujärjestelmien vuotojen yhteydessä. Metaania muodostuu myös jäteveden käsittelyssä, kun kotitalous- ja teollisuusjätevesiä käsitellään sekä kaatopaikoilla jätteen hajoamisen yhteydessä. Metaania muodostuu myös luonnollisissa lähteissä, kuten kosteikoilla, joissa bakteerit hajottavat orgaanisia materiaaleja ilman happea. Muita luonnollisia lähteitä metaanin tuotantoon ovat esimerkiksi valtameret ja tulivuoret. On kuitenkin arvioitu, että maailmanlaajuisesti 50-65 % kaikista metaanipäästöistä tulisi ihmisten toiminnan aiheuttamana. (Epa 2020)

Vuosien 1990 ja 2018 välillä metaanipäästöt ovat vähentyneet Yhdysvalloissa n. 18 %, mikä osaltaan johtuu siitä, että kaatopaikoilla tapahtuva metaanin muodostuminen on vähentynyt sekä maakaasujärjestelmät ovat parempia, kuin aiemmin. Toisaalta samaan aikaan metaanipäästöt ovat lisääntyneet maatalouden toiminnasta, mutta suunta on silti oikea. (Epa 2020)

Yksi tehokkaimmista tavoista Yhdysvalloissa olisi kehittää ja uudistaa maakaasun liittyvää toimintaa, koska maakaasu- ja öljyjärjestelmät yhdessä tuottivat n. 28 % metaanikaasupäästöistä. Tämä tarkoittaa, että täytyisi uudistaa maakaasun ja öljyn

tuottamiseen, varastointiin sekä kuljetuksiin liittyvät toimet, jotta varsinkin maakaasuvuotojen määrä olisi pienempi. Vertailun vuoksi vuonna 2018 saman verran metaanipäästöjä tuottivat kaatopaikat sekä lannan käsittely. (Epa 2020)

Fluoripohjaiset kaasut

Fluoripohjaiset kaasut, fluoratut kaasut (ts. F-kaasut) eroavat merkittävästi muista kasvihuonekaasuista, koska näitä ei löydy luonnollisesti ilmakehästä ja niitä muodostuu vain ja ainoastaan ihmisten toimesta. Nämä ovat ongelmallisia kaasuja, koska niiden elinikä ilmakehässä on useista sadoista vuosista jopa kymmeneen tuhansiin vuosiin, kun se esimerkiksi metaanilla on 12,4 vuotta. Pitkä elinikä yksinään ei ole ongelmallinen vaan, sen lisäksi monilla fluoratuilla kaasuilla on korkea potentiaali ilmastonlämpenemiseen (GWP-kerroin). GWP kerroin riippuu paljolti kyseisestä kaasuyhdistelmästä, ja se vaihtelee 10 000 – 23 000 vuoden välillä. (Epa 2020)

Fluoripohjaisia kaasuja käytetään hyvin paljon kylmäaineina ja esimerkiksi palonestoaineina. Näitä kaasuja myös vapautuu ilmakehään teollisten prosessien yhteydessä, kuten alumiinin ja puolijohdeiden valmistuksessa. Rikkifluoridia käytetään sähkönsiirtolaitteissa eristävänä kaasuna. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli on arvioinut rikkifluoridin kaikista voimakkaimmaksi kasvihuonekaasuksi. (Epa 2020)

Vuosien 1990-2018 välillä Yhdysvalloissa fluorattujen kaasujen päästöt ovat lisääntyneet jopa 83 %. Helpointen päästöjä saisi pienennettyä parantamalla kaasujen käsittelyyn liittyviä toimia sekä korvaamalla korkean GWP-kertoimen kaasuja kaasuilla, joilla on pienempi GWP-kerroin. Kaasujen käsittelyyn liittyvät toimet tulisivat mahdollisesti pienentämään kaasuvuotojen määrää. (Epa 2020)

2.3 Keinoja vähähiiliseen talouteen pääsemiseksi

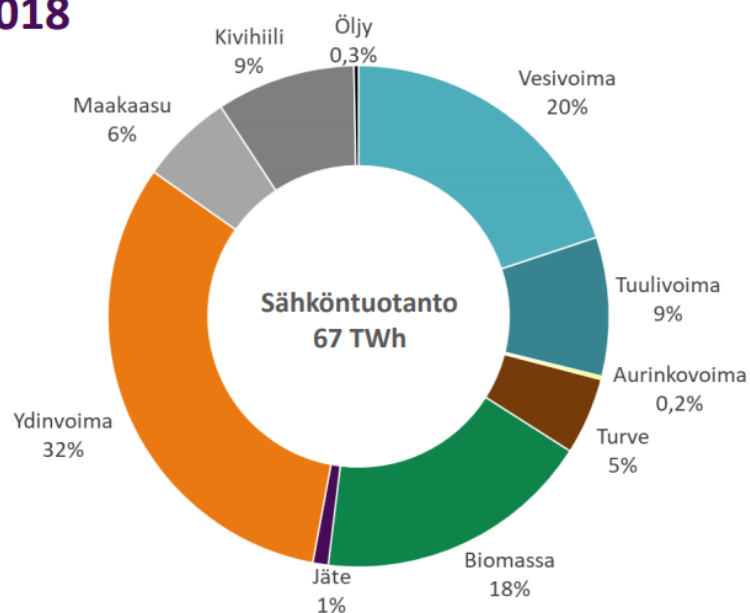
Suomessa valtaosa kasvihuonepäästöistä tulee energiasektorilta (Taulukko 3), joten suunta kohti vähähiilistä taloutta on tehokkainta aloittaa sieltä. Vuonna 2018 Suomessa tuotettiin sähköä 67 TWh. Tästä 47 % oli tuotettu uusiutuvilla energialähteillä (Kuva 2). Suomessa tuotetusta energiasta 79 % on hiilidioksidineutraalia energiaa. Suomessa käytettäviä uusiutuvia energialähteitä ovat vesi-, aurinko ja tuulivoima sekä biomassa.

Hiilidioksidineutraaleita energialähteitä ovat edellä mainitut sekä ydinvoima. Suomessa käytetään suhteellisen paljon uusiutuvia energialähteitä verrattuna koko EU:n alueen keskimääräiseen tilanteeseen (EU:n alueella keskimäärin 27 % energiantuotannosta vuonna 2016). (Energiateollisuus ry 2019)

Taulukko 3. Suomen vuoden 2018 kasvihuonepäästöt sektoreittain GWP-kertoimella (mukaillen SVT 2018).

Sektori	Kasvihuonepäästöjen osuus
Energiasektori	75 %
Maatalous	11 %
Teollisuusprosessit ja tuotteiden käyttö	10 %
Jätteiden käsittely	3 %

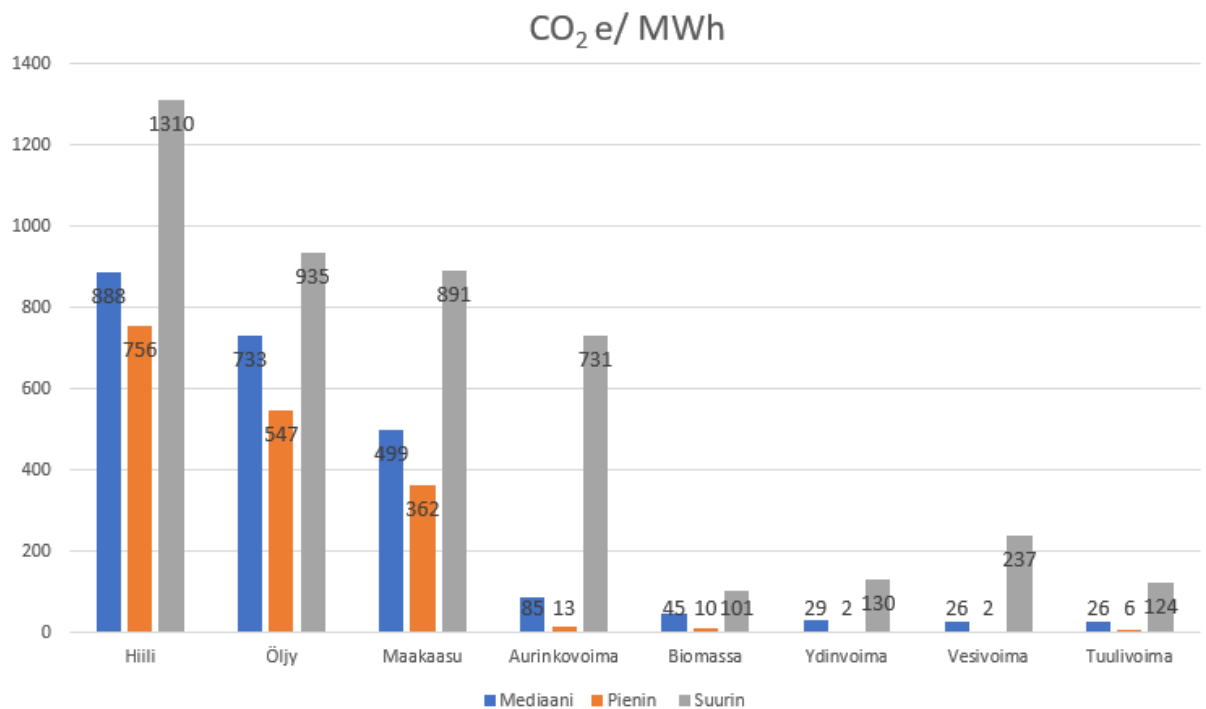
2018



Kuva 2. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2018 (Energiateollisuus ry 2019).

Suurin yksittäinen keino kohti vähähiilistä taloutta on fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen. Suomessa sähköntuotannossa käytettyjä fossiilisia polttoaineita ovat kivihiili (9 %), maakaasu (6 %), turve (5 %) ja öljy (0,3 %), jotka yhdessä vastaavat sähköntuotannosta n. 20 %. Yksi keino tarkastella energiantuotannon päästöjä on suhteuttaa päästöt tuotettuun energian määrään, ja miettiä sitä kautta tehokkaimpia

vähentämismuutoksia. Hyvin usein päästöt ovat yhtenäistetty CO₂ suhteen vertailun helpottamiseksi. Päästöistä on ilmoitettu 5-14 laitoksen arvoista pienin, suurin sekä mediaani. Kivihiilellä on kaikista korkein hiilidioksidiekvivalenttiarvo suhteessa tuotettuun energian määrään ja se on n. 34 kertaa suurempi kuin vesi- tai tuulivoimalla (Kuva 3.; Energiateollisuus ry 2019).



Kuva 3. Hiilidioksidipäästöt suhteessa tuotettuun energiaan (MWh) CO₂e = Hiilidioksidiekvivalentti, mikä tarkoittaa sitä CO₂ määrää, jolla olisi vastaava ilmaston lämpenemisvaikutus. (Mukaiillen World Nuclear Association 2020).

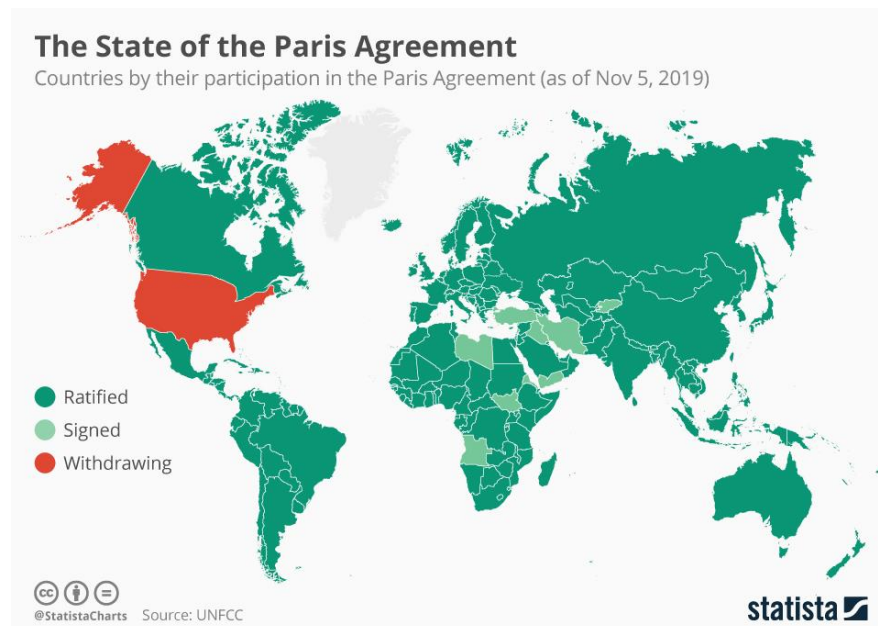
Muita keinoja, joilla kohti vähähiilistä taloutta pyritään, ovat esimerkiksi jätevesilaitoksien muuttaminen energiatehokkaammiksi, tai maatalouden päästöjen ohjaaminen biokaasuksi tai lämmöksi. Biokaasua muodostuu biologisen hajoamisprosessin tuloksena. Käytännössä kaikkea orgaanista ainesta voidaan mädättää, mutta se on tehokkainta jo luonnostaan hajoavalle materiaalille. Maataloudessa muodostuu eläinten lantaa sekä rehua, joten on luonnollista tuottaa energiaa tätä kautta. Esimerkiksi yhdestä märkämpainotunnista sianlantaa saadaan valmistettua n. 25-35 kuutiota biokaasua ja samasta määrästä biojätettä saadaan valmistettua n. 150-250 kuutiota biokaasua, riippuen biojätteen sisällöstä sekä veden määrästä. Ulkomailla, kuten Saksassa, biokaasua valmistetaan varsinkin lannasta, mutta myös maissista, joka on hyvin energiapitoinen kasvi. (Motiva Oy 2020) Toisaalta voidaan pohtia, onko

järkevää käyttää peltopinta-alaa maissin viljelyyn, joka käytetään biokaasun tuotantoon, kun saman peltopinta-alan voisi hyödyntää ruuan tuotannossa.

2.4 Vähähiilinen talous maailmanlaajuisesti

2.4.1 Pariisin ilmastopimus

Vuonna 2015 hyväksyttiin kansainvälinen sopimus, joka koskee kasvihuonepäästöjen vähentämistä vuodesta 2020 eteenpäin. Tämän sopimuksen voimaantumiseen tarvittiin vähintään 55 maata, jotka tuottavat vähintään 55 % maailman kasvihuonepäästöistä. Pariisin ilmastopimus astui voimaan jo 2016 vuoden lopulla, kun voimaantulokynnys ylittyi. (Cop23 2018) Nykyisin tämän sopimuksen on hyväksynyt 197 maata ja näistä 179 maata on ratifioinut sen, eli lopullisesti vahvistanut ja saattanut sopimuksen voimaan (Kuva 4). Pariisin ilmastopimus täydentää jo aiemmin, vuonna 1992 solmittua YK:n ilmastomuutosta koskevaa puitesopimusta. (Denchak 2018)



Kuva 4. Maat, jotka ovat ratifioineet, allekirjoittaneet tai vetäytyneet Pariisin ilmastopimuksesta (Armstrong 2019).

Sopimuksen osapuolet ovat sitoutuneet toimiin päästöjen vähentämiseksi. Pariisin ilmastopimuksen mukaan maat kuitenkin saavat määritellä itse päästövähennystavoitteensa sekä laatia politiikkatoimet näiden tavoitteiden

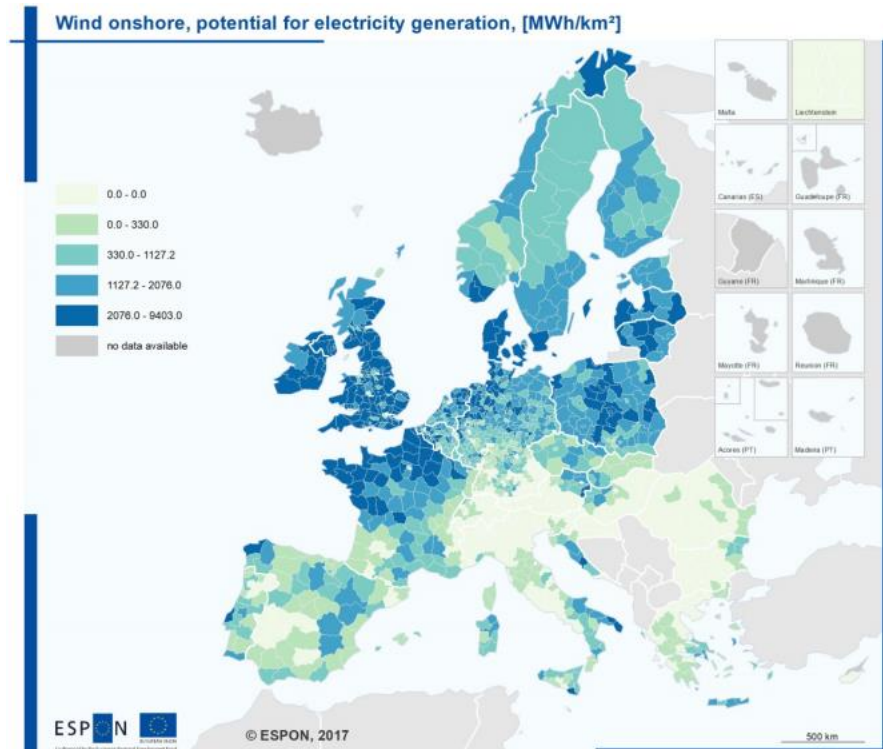
saavuttamiseksi. Sopimukseen myös kuuluu, että viiden vuoden välein sopimukseen sitoutuneiden maiden edistystä tarkastellaan maailmanlaajuisessa kokonaistarkastelussa ja ensimmäinen arviointi on vuonna 2023. (Denchak 2018)

Suuri kolahdus ilmastopöimuksella oli, kun Yhdysvallat ilmoitti vuonna 2017 vetäytyvänsä Pariisin sopimuksesta, heti kun se on sopimuksen mukaisesti mahdollista. Sopimuksen mukaan Yhdysvaltojen kohdalla aikaisin vetäytymispäivä on 4.11.2020. Tämä oli suuri kolahdus, koska Yhdysvallat oli toiseksi suurin kasvihuonekaasupäästöissä 17,89 % osuudella, heti Kiinan jälkeen. (Denchak 2018)

Pariisin ilmastopöimuksen keskeisimmät tavoitteet olivat maailmanlaajuisen reagoinnin vahvistaminen ilmastomuutoksen uhkaan. Tavoite on pitää tämän vuosisadan aikana maailmanlaajuisen lämpötilan nousun alle 2 celsiusastetta korkeammalla esiteollisuuden aikakauteen verrattuna. Tavoitteisiin kuuluu myös parantaa maiden kykyä käsitellä ilmastomuutoksen vaikutuksia sekä saada ja ohjata rahoitusvirtoja yhdenmukaisemmiksi kasvihuonekaasupäästöjen ja ilmastokestävyyden kanssa. (Treaties 2020)

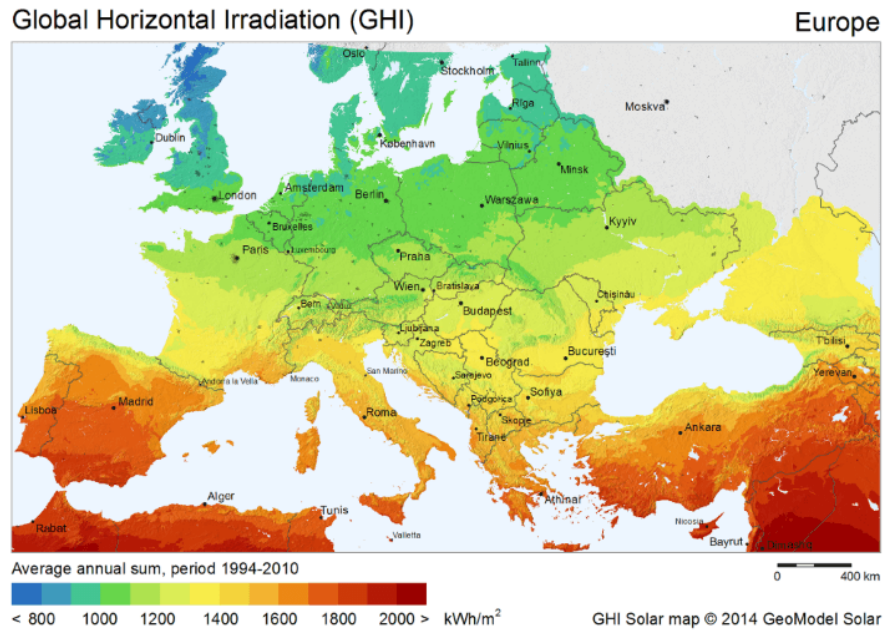
2.4.2 Uusiutuvan energian tuotanto Euroopan tasolla

Uusiutuvaa energiaa ovat aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia ja maalämpö. Myös aaltojen ja vuoroveden liikkeistä saatava energia lasketaan uusiutuvaksi energiaksi, mutta sen käyttö on vielä todella vähäistä. (Energiamailma 2020) Varsinkin Iso-Britanniassa, Ranskan pohjoisosilla, Tanskassa ja Puolassa on todella hyvä potentiaali tuulivoiman energiatuotantoon (Kuva 5). Näillä alueilla on korkea tuulen keskinopeus (7-9 metriä sekunnissa). Suomessa tuulen keskinopeus on hieman alle 5 metriä sekunnissa. (Schremmer ym. 2018) Tuulivoimalla saatava energia on riippuvainen tuulen keskinopeudesta, joten korkeampi tuulen keskinopeus on energian saatavuuden kannalta parempi (YLE 2008).



Kuva 5. Euroopan tuulivoimapotentiaali eli, kuinka paljon on mahdollista saada tuotettua tuulivoimalla energiaa per neliökilometri [MWh/km²] (Schremmer ym. 2018).

Aurinkoenergian osalta suurin potentiaali on eteläisessä Euroopassa (Kuva 6). Eteläisessä Euroopassa aurinkoenergiaa tuotetaan kuitenkin käytännössä vain Italiassa. Myös muilla alueilla, kuten Sveitsissä, Saksassa ja Belgiassa, jotka eivät saa läheskään yhtä paljon auringonvaloa, auringolla tuotetaan energiaa. Esimerkiksi vuonna 2015 Saksa tuotti Euroopan Unionin aurinkoenergian kapasiteetista 42 %. Tästä voidaan huomata, että uusiutuvan energian käyttö on mahdollista myös muualla, kuin sille optimaalisimmissa olosuhteissa. Uusiutuvan energian käyttöä selittääkin hyvin paljon alueen sosioekonominen asema sekä hallinto-olosuhteet, ja esimerkiksi Saksassa uusiutuvia energiamuotoja, varsinkin tuuli- ja aurinkovoimaa tuetaan enemmän, kuin esimerkiksi Espanjassa, jossa olisi hyvät olosuhteet aurinkoenergian käyttöön. (Britishbusinessenergy 2016)



Kuva 6. Potentiaalinen aurinkoenergian tuotanto Euroopassa [kWh/m²] (British business energy 2016).

3 VESI VÄHÄHIILISESSÄ TALOUDESSA

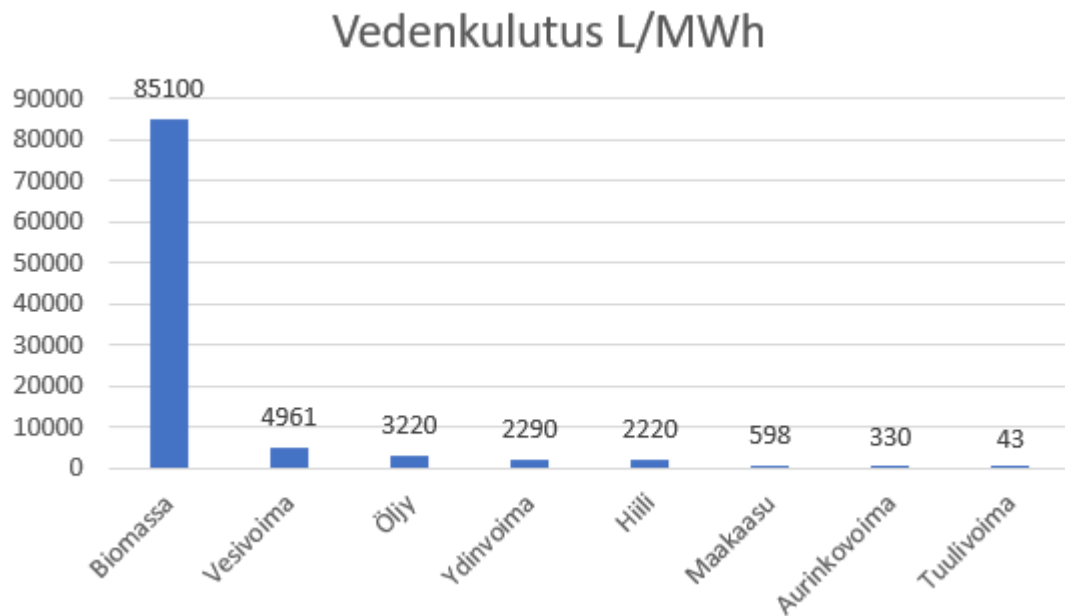
Maailman vedestä 97 % on liian suolaista ihmisten käytettäväksi. Makeaa vettä on 3 % maailman vedestä. Tästä valtaosa on sitoutuneena vuoristo- ja napajäätiköihin. Vesi on kuitenkin uusiutuva luonnonvara, joten vaikka väliaikaisesti makean veden käyttö olisikin liian suurta, niin pitkällä aikavälillä sateet palauttavat tasapainon ennalleen. (Nikula 2020)

Vesi liittyy vähähiiliseen talouteen esimerkiksi energiantuotannon kautta. Energiantuotannossa vettä käytetään kahdella eri tavalla, siirtämällä ja käyttämällä vettä. Veden siirtämisellä tarkoitetaan sitä, että vesi poistetaan tietyistä kohteista ja palautetaan toiseen. Tästä esimerkkinä voisi toimia vesivoima, jossa veden virtausta kanavoidaan uudelleen. Veden käytöllä ja kulutuksella tarkoitetaan sitä, että vettä käytetään esimerkiksi ydinvoimalan reaktorin jäähdyttämiseen, jolloin vesi höyrystyy ja haihtuu. Vesi ei enää palaudu alkuperäiseen lähteeseen eli paikkaan, josta vesi otettiin käyttöön. (Uscsusa 2013)

Vedellä sekä varsinkin vesialalla on rooli ilmastonmuutoksessa. Kasvattamalla energiantuotantoa esimerkiksi kaupunkien vesisyklin hyödyntämisen avulla, on mahdollista kasvattaa energiantuotantoa ja ehkäistä ilmastonmuutosta. Tästä esimerkkinä voisi olla Saksassa toimiva Ruhverband niminen jätevedenpoistopalvelua tarjoava yritys, joka on onnistunut vähentämään energian kulutustaan, ja samalla aloittanut jäteveden hyödyntämisen uusiutuvaksi energiamuodoksi, biokaasuksi. Mahdollisesti tästä on tulossa uusi globaali ilmiö. Tällöin tulevaisuudessa jätevedenpuhdistamo olisi hiilineutraali eli se tuottaisi hiilidioksidipäästöjä, mutta samalla myös biokaasua, mikä kompensoi aiheutetut hiilidioksidipäästöt. Hiilineutraalit jätevedenpuhdistamot tai yleisestikin jäteveden hyödyntäminen energiantuotannossa olisi suuri harppaus kohti vähähiilistä taloutta. (Bergkamp 2015)

3.1 Energiatuotannossa

Kun pyritään kohti vähävesistä taloutta, on syytä aloittaa vähän vettä kuluttavista energiamuodoista. Vedenkulutuksen määrää voidaan suhteuttaa tuotettuun energiamäärään. Vedenkulutuksesta on ilmoitettu 7 - 1133 energiantuotantolaitoksen arvoista mediaani. Biomassalla on veden kulutuksen kannalta kaikista huonoin arvo ja yhden MWh tuottamiseksi vaaditaan keskimäärin 85100 litraa vettä. Biomassan vedenkulutus on keskimäärin n. 2000 kertaa suurempi kuin tuulivoimalla. Tämä selittyy sillä, että viljelykasveja kastellaan ja ne vaativat suuren määrän vettä kasvaakseen. (Jin ym. 2020) Eri kasvien välillä on suuria eroja, ja esimerkiksi Yhdysvalloissa tuhannen kilon maissin tuottamiseksi vaaditaan 308 000 litraa vettä, kun vehnän kohdalla tarvittava veden määrä on 1 388 000 litraa (Gerbens-Leenes ja Hoekstra 2009). Tuulivoimalla on kaikista pienin arvo ja saman energiamäärän tuottamiseksi tarvitaan vain keskimäärin 43 litraa vettä. Vesivoiman vedenkulutukseen lasketaan mukaan vesivarastoissa tapahtuva haihtuma, joka osaltaan selittää suurta vedenkulutusta suhteessa muihin uusiutuviin energiamuotoihin, pois lukien biomassaa. (Jin ym. 2020)



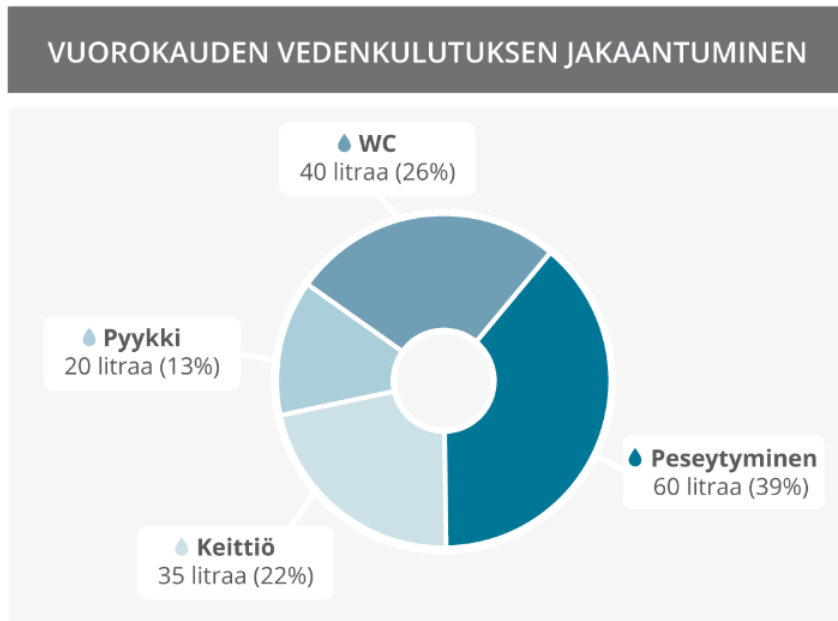
Kuva 7. Vedenkulutus suhteessa tuotettuun energiaan energiamuodoittain (Mukaillen Jin ym. 2019).

3.2 Talousveden käytön päästöt ja vesijalanjälki

Tyypillisesti vesi- ja jätevesilaitosten kasvihuonekaasupäästöt ovat 3 – 7 % kaikesta maiden tuottamasta kasvihuonepäästöistä. Luku ei sisällä kotien tai tehtaiden veden lämmitystä, joten todellisuudessa veden käyttöön liittyvä luku on korkeampi. Näin ollen fiksummalla veden käytöllä sekä sen puhdistuksella saadaan laskettua kasvihuonepäästöjen määrää. (Trommsdorf 2015) Jätevesiä voisi hyödyntää biokaasun tuotannossa, kuten esimerkiksi Saksassa tehdään Ruhverband nimisen yrityksen toimesta. On tutkittu, että globaalilla tasolla jopa 80 % jätevedestä on käsittelemätöntä. Käsittelemättömästä jätevedestä vapautuu 45 kilogrammaa hiilidioksidia ilmakehään henkilöä kohti vuorokauden aikana eli jos jätevesi saataisiin käsiteltyä ja sen jälkeen vielä hyödynnettyä uusiutuvan energian tuotannossa, tällä olisi merkittävä hiilidioksidipäästöjä vähentävä vaikutus. (Bergkamp 2015)

Vesijalanjälki on tärkeä vedenkulutuksen mittari, jonka avulla saadaan selville käyttämämme tuotteiden ja palveluiden kokonaisvedenkulutus koko elinkaaren aikana. Vesijalanjälki myös antaa tietoa, kuinka tuotteet ja palvelut vaikuttavat veden laatuun, muihin vedenkäyttäjiiin sekä vesistöjen tilaan. Vesijalanjälki voidaan laskea esimerkiksi tuotteelle, yhdelle henkilölle tai valtioille. Mittarina se on hyvä, koska se ottaa huomioon suoran vedenkulutuksen, esim. kotitalouksien käyttövesi. Se ottaa myös huomioon epäsuoran vedenkulutuksen, kuten veden kulutuksen palvelun tai tuotteen tuottamiseksi. (Nikula 2020)

Kun tarkastellaan vähävesistä taloutta, niin on syytä tietää mistä vesijalanjälki muodostuu. Suomessa vedenkulutuksesta 53 % kohdistuu omiin vesivaroihin ja 47 % ulkomaaisiin vesivaroihin. Keskimäärin yksi suomalainen kuluttaa kotitaloudessa vettä vuorokaudessa n. 155 litraa ja tästä suurin osa (39 %) kuluu peseytymiseen (Kuva 8). Kuitenkin Suomessa kotitalouksien vedenkulutus on vain n. 3 % keskimääräisestä veden kulutuksesta. Maataloustuotteiden tuotanto on kaikista suurin sektori veden kulutukselle ja se on suomalaisten kokonaiskulutuksesta keskimäärin n. 82 % päivässä. Loput 15 % vedenkulutuksesta tulevat teollisuustuotteista. Kun maataloustuotteiden ja teollisuustuotteiden kulutuksen ja valmistuksen vaatima vedenkulutus otetaan huomioon, ja lisätään siihen kotitalouksien tarvitsema vesi, niin yhden suomalaisen keskimääräinen veden kulutus vuorokaudessa on n. 3900 litraa. (Nikula 2020)



Kuva 8. Suomalaisen vedenkulutuksen jakaantuminen (Nikula 2020).

Vain pieni osa suomalaisten käyttämästä vedestä on näkyvää veden käyttöä, kuten astianpesukoneen tarvitsema vesi tai suihkuvesi (Nikula 2020). Kotitalousveden kulutukseen on helppo vaikuttaa, mutta suunta kohti vähän kohti vettä kuluttavaa taloutta olisi syytä aloittaa suurimmasta veden kuluttaja sektorista, eli maataloustuotteista (Nikula 2020). Veden kulutus vaihtelee huomattavasti eri tuotteiden kohdalla, joten valinnoilla on merkittävä vaikutus. Esimerkiksi yksi teekupillinen vaatii vettä keskimäärin 30 litraa, kun yhden kahvikupillisen kohdalla määrä on 140 litraa. (Hoeakstra 2008)

4 YHTEENVETO

Toimet, joilla pyritään kohti vesi ja vähähiilistä taloutta, lähtevät ihmisten arkipäiväisistä valinnoista, mutta myös valtion tason hankkeista. Merkittävin keino, jolla pyritään kohti vähähiilistä taloutta, on fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen. Tämä onnistuu lisäämällä uusiutuvien polttoaineiden käyttöä. Vuonna 2018 Suomessa tuotettiin lähes puolet sähköstä uusiutuvilla energiamuodoilla. Suomessa vesivoima on suurin uusiutuva energiamuoto, ja sillä tuotettiin 20 % sähköstä.

Kasvihuonepäästöt vaikuttavat maapallon lämpöenergian kasvuun, mikä voi aiheuttaa useita ongelmia. Suurimpina kasvihuonekaasuina toimivat hiilidioksidi ja metaani, ja niitä muodostuu valtavasti fossiilisten polttoaineiden käytön vuoksi. Kasvihuonekaasujen vertailuna käytetään kerrointa GWP, joka on suhteutettu hiilidioksidin saamaan arvoon 1. Vaikka kasvihuonekaasuista hiilidioksidia ja metaania muodostuukin eniten, niin niiden säteilytehokkuus on paljon pienempi, kuin fluoripohjaisten kasvihuonekaasujen. Lisäksi niiden elinikä on huomattavasti lyhyempi, kuin fluoripohjaisten. Suomessa suurimpana kasvihuonepäästöjen tuottajana on energiasektori 75 % osuudella. Seuraavaksi suurimmat ovat maatalous sekä teollisuusprosessit.

Pariisin ilmastositoumus on yksi tärkeimmistä kansainvälisistä suunnannäyttäjistä kohti vähähiilistä taloutta. Sen on hyväksynyt 197 maata ja ratifioinut 179 maata. Se edellyttää toimia päästöjen vähentämiseksi. Pariisin ilmastositoumuksen tavoitteena on vahvistaa maailmanlaajuisia reagoimia ilmastonmuutoksen uhkaan sekä hillitä maailmanlaajuisen lämpötilan nousua.

Vesi liittyy vähähiiliseen talouteen varsinkin energiatuotannon kautta, sillä energiantuotannossa osa energiamuodoista käyttää vettä enemmän kuin toiset. Varsinkin biomassa kuluttaa huomattavasti enemmän vettä suhteessa tuotettuun energiaan, kun taas aurinkovoima sekä tuulivoima kuluttavat paljon vähemmän vettä.

Vesijalanjälki on hyvä mittari vedenkulutuksesta. Siihen lasketaan mukaan suora vedenkulutus, kuten juomavesi, mutta myös käytettyjen tuotteiden valmistukseen

kuluva vesi. Suomessa vettä käytetään kotitaloudessa n. 155 litraa vuorokaudessa henkilöä kohti. Kun mukaan lasketaan tuotteiden valmistukseen kuluva vesi, niin keskimääräinen vedenkulutus henkilöä kohti on n. 3900 litraa.

Osaltaan vähähiiliseen talouteen pyrkiminen tukee myös vähän vettä kuluttavaa taloutta, mutta tähän on ristiriitoja. Kun mietitään vähähiilisiä energiamuotoja, niin niitä ovat biomassa, aurinko-, tuuli-, ydin- ja vesivoima. Vähän vettä (alle 1000 L/MWh) kuluttavia energiamuotoja ovat tuuli- ja aurinkovoima, sekä maakaasu. Hiili- ja ydinvoima ovat seuraavaksi vähiten vettä kuluttavia (vähän yli 2000 L/MWh). Vähän vettä kuluttavassa ja vähähiilisessä taloudessa pääenergiamuodot tulisivat olla tuulivoima, ydinvoima ja aurinkovoima.

LÄHDELUETTELO

Armstrong, M., 2019, The State of the Paris Agreement [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.statista.com/chart/9656/the-state-of-the-paris-agreement/> [viitattu 17.5.2020].

Bergkamp, G., 2015, Wise Water Management To Push a Low-Carbon Economy [verkkodokumentti], saatavissa: <https://iwa-network.org/wise-water-management-to-push-a-low-carbon-economy/> [viitattu 17.5.2020].

Britishbusinessenergy, 2016, World Solar PV energy Potential Maps [verkkodokumentti], saatavissa: <https://britishbusinessenergy.co.uk/world-solar-map/3/> [viitattu 17.5.2020].

Cop23, 2018, What is the Paris Agreement? [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://cop23.unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement> [viitattu 17.5.2020].

Denchak, M., 2018, Paris Climate Agreement: Everything You Need to Know [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.nrdc.org/stories/paris-climate-agreement-everything-you-need-know> [viitattu 17.5.2020].

Energiamailma, 2020, Uusiutuvat energialähteet myötätuulessa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://energiamailma.fi/mista-virtaa/uusiutuvat-energiالاhteet/> [viitattu 17.5.2020].

Energiateollisuus ry, 2019. Eurooppa, energia ja ilmastotietopaketti kaudelle 2019–2024 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://energia.fi/files/3754/Eurooppa_energia_ja_ilmasto_2019.pdf [viitattu 17.5.2020].

Energysage, 2020, Energy conservation: 10 ways to save energy [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.energysage.com/energy-efficiency/101/ways-to-save-energy/> [viitattu 17.5.2020].

Epa, 2020. Overview of Greenhouse Gases [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases#overview> [viitattu 17.5.2020].

Gerbens-Leenes, P.W. Hoekstra, A.Y., 2009, The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply [verkkodokumentti], saatavissa: <https://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2010/08/Gerbens-Hoekstra-VanderMeer-2008-waterfootprint-bioenergy.pdf> [viitattu 17.5.2020].

Hoekstra, A.Y., 2008, The water footprint of food [verkkodokumentti], saatavissa: <https://waterfootprint.org/media/downloads/Hoekstra-2008-WaterfootprintFood.pdf> [viitattu 17.5.2020].

Karjalainen, T. 2017. Vähähiilisyys ja energiatehokkuus tuovat säästöjä [verkkodokumentti], Saatavissa: https://www.rakennerahastot.fi/web/pohjois-suomen-suuralue/uutiskirjesisallot/-/asset_publisher/bwlbSYUye2WW/content/paakirjoitus-vahahiilisyys-ja-energiatehokkuus-tuovat-saastoja/maximized [viitattu 17.5.2020].

Motiva Oy, 2020, Biokaasun tuotanto maatilalla [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf [viitattu 17.5.2020].

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Saatavissa: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf [viitattu 17.5.2020].

National Research Institute, 2020. Actions and challenges for climate protection in Poland – brief overview [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://cop24.gov.pl/fileadmin/user_upload/files/2._Brief_overview.pdf [viitattu 17.5.2020].

Nikula, J., 2020, Suomen vesijalanjälki Globaali kuva suomalaisten vedenkulutuksesta [verkkodokumentti], saatavissa: https://wwf.fi/app/uploads/z/i/y/t2zi2zza3jpxr44qvrk5e2d/vesijalanjaelkiraportti_final.pdf [viitattu 17.5.2020].

Öörni, S., 2020. Älykäs energia ratkaisee puhtaan ja vähähiilisen tulevaisuuden [verkkodokumentti], Saatavissa <https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/alykas-energia-ratkaisee-puhtaan-ja-vahahiilisen-tulevaisuuden> [viitattu 17.5.2020].

Proagria, 2020, Vähähiilinen maaseutu – maaseudun uusiutuvat energiat [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.proagria.fi/hankkeet/vahahiilinen-maaseutu-maaseudun-uusiutuvat-energiat-1651> [viitattu 17.5.2020].

Scherbenske, S.L., Perjo, L., 2013, Policy and Project Review Background Paper I [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.cbss.org/wp-content/uploads/2015/06/EFFECT_Low_Carbon_Economy.-background-paper-1.pdf [viitattu 17.5.2020].

Schremmer, C. Derszniak-Noirjean, M. Keringer, F. Koscher, R. Leiner, M. Mollay, U. Stifter, E. Tordy, J. Kranzl, L. Fallahnejad, M. Leibmann, L. Müller, A. Resch, G. Steinbach, J. Elsland, R. Kühn, A. Mayer, F. Pudlik, M. Schubert, G. Davoudi, S. Cowie, P. Gazzola, P., 2018, Territories and low-carbon economy (ESPON Locate) [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.espon.eu/sites/default/files/attachments/Locate_final-report_main_report.pdf [viitattu 17.5.2020].

Silvonen, V., 2020. Kasvihuonekaasut ja niiden haitallisuus [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.genano.com/fi/tietopankki/kasvihuonekaasut-ja-niiden-haitallisuus> [viitattu 17.5.2020].

Sitra, 2020, Vähähiilisyys myy paremmin kuin häkä [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/vahahiilisyys-myy-paremmen-kuin-haka/> [viitattu 17.5.2020].

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kasvihuonekaasut [verkkojulkaisu]. ISSN=1797-6049. 2018, Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2018. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 17.5.2020]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_kat_001_fi.html

Treaties, 2020. [verkkodokumentti], 7. d Paris Agreement. Saatavissa: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en [viitattu 17.5.2020].

Trommsdorf, C, 2015, Can the Water Sector Deliver on Carbon Reduction? [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://iwa-network.org/can-the-water-sector-deliver-on-carbon-reduction/> [viitattu 17.5.2020].

Uscusa, 2013, How it works: Water for Nuclear [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ucsusa.org/resources/water-nuclear> [viitattu 17.5.2020].

Waters, R., 2019. What is low carbon economy [verkkodokumentti], Lighthouse. Saatavissa: <https://lighthouse.mq.edu.au/article/please-explain/march-2019/what-is-a-low-carbon-economy> [viitattu 17.5.2020].

World Nuclear Association, 2020, Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources [verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf [viitattu 17.5.2020].

Yi Jin, Paul Behrens, Arnold Tukker, Laura Schener, 2019, Water use of electricity technologies: A global meta-analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, volume 115: 109391.

Yle, 2008, Saksa tuulivoiman edelläkävijänä [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-5823218> [viitattu 17.5.2020].