

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0201 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Uusiutuvan energian tuotantomenetelmät tulevaisuudessa

Production Methods of Renewable Energy in the Future

Työn tarkastaja: Aki Grönman

Työn ohjaaja: Aki Grönman

Lappeenranta 7.11.2016

Pekka Vahtera

TIIVISTELMÄ

Tekijän nimi: Pekka Vahtera

Työn nimi: Uusiutuvan energian tuotantomenetelmät tulevaisuudessa

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyön ohjaaja: Aki Grönman

Kandidaatintyö 2016

30 sivua, 9 kuvaa

Hakusanat: kandidaatintyö, uusiutuva energia, aurinkovoima, tuulivoima, vesivoima, bioenergia, geoterminen, aaltovoima, vuorovesivoima, vetytalous, metaanitalous

Kandidaatintyön tavoitteena on käydä läpi uusiutuvan energian eri tuotantomenetelmien tilannetta ja tulevaisuudennäkymiä. Tarkastelussa ovat tuotantomäärät sekä tuotannon lisäyksen kehitys. Tuotantomenetelmät on jaettu nykyisiin, jotka ovat tunnetumpia ja yleisempiä, sekä uudempiin, jotka ovat toistaiseksi enemmän kehitysvaiheessa, eivätkä ainakaan vielä laajassa käytössä.

Lähdemateriaalina työssä on hyödynnetty erityisesti raportteja, joihin on koottu uusiutuvan energian maailmanlaajuisia tilasto- ja yleistietoja. Raporttien ja muiden lähteinä käytettyjen julkaisujen pohjalta on laadittu kokoava tietopaketti.

Uusiutuvan energian kehitystä hallitsevat tunnetut tuotantotavat, kuten tuuli- ja vesivoima. Tutkimuksen aikana ei tullut ilmi täysin uudenlaisia uusiutuvan energian tuotantomenetelmiä, joten onkin todennäköistä, että olemassa olevat tuotantotavat kehittyessään tulevat yleistymään ja mahdollisesti luodaan uusia niihin pohjautuvia sovelluksia.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	2
Sisällysluettelo	3
Symboli- ja lyhenneluettelo	4
1 Johdanto	5
2 Uusiutuvan energian tuotannon tilanne maailmalla	6
3 Nykyiset tuotantomenetelmät ja tulevaisuuden näkymät	10
3.1 Aurinko.....	10
3.2 Tuuli	13
3.3 Vesivoima.....	15
3.4 Biomassa ja biokaasu	17
3.5 Geoterminen	18
4 Uudet tuotantomenetelmät	21
4.1 Aalto- ja vuorovesivoima	21
4.2 Vetytalous.....	22
4.3 Metaanitalous	24
5 Siirtyminen täysin uusiutuvaan energiaan – realistinen tavoite?	25
6 Yhteenveto	27
Lähdeluettelo	28

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Alaindeksit

e Sähkö

th Terminen

1 JOHDANTO

Uusiutuvaksi energiaksi määritellään yleisesti energiantuotantotapa, jonka primäärilähde uusiutuu jatkuvasti tai vuosittain luonnon prosessien kautta, eikä sen käyttö aiheuta haittaa maapallon luonnollisille prosesseille. Tällaisia ovat muun muassa auringonpaiste ja maaperän lämpö. Kasvavan energiankulutuksen ja ilmaston muuttumisen myötä, paine kasvihuonekaasuja aiheuttavien fossiilisten polttoaineiden käytön vähentämistä kohtaan on kasvanut ja kasvaa yhä voimakkaasti. Maan pintalämpötilan on arvioitu nousevan tämän vuosisadan kuluessa useilla asteilla verrattuna viimevuosikymmeneen ja vuosisataan (Collins et al. 2013, 1068). Lämpötilan nousu puolestaan sulattaa napajäätiköitä ja nostaa merten pintoja, mikä vaikuttaa lukuisten ihmisten elämään. Energiantuotannon päästöjä pienentämällä ja käytön tehostamisella on tärkeä asema ilmastonmuutoksen hillitsemisessä, mutta erityisesti uusiutuviin energialähteisiin perustuvilla energiantuotantomuodoilla on avainasema kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, vähentämisessä.

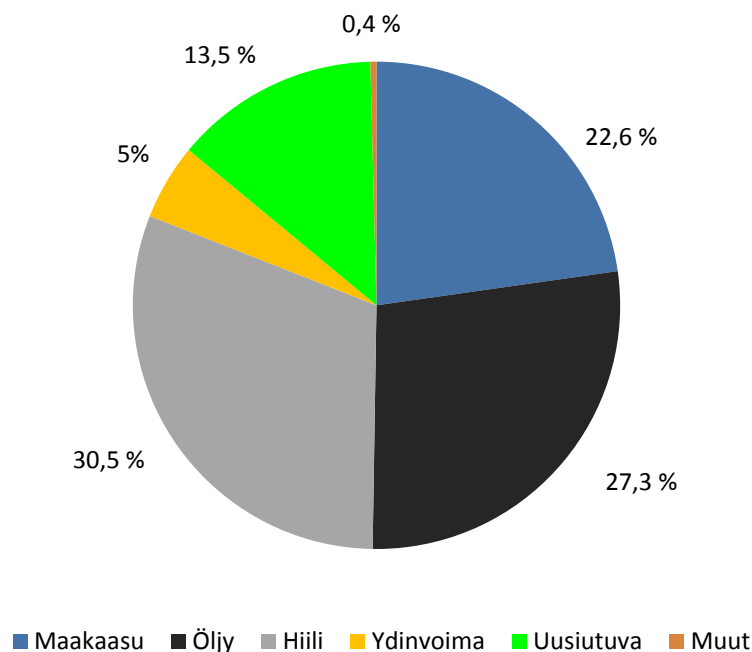
Tämän kandidaatintyön tavoitteena on läpikäydä erilaisten uusiutuvan energian tuotantomenetelmien nykyisiä tuotantotilanteita ja niiden asemaa tulevaisuudessa. Jokaisen tuotantomenetelmän kohdalla selvitetään, miten paljon kyseisellä menetelmällä tuotetaan, sekä missä ja miten paljon tuotantoa on lisätty, ja miltä tuotantomuodon tulevaisuus näyttää. Tarkastelussa ei keskitytä syvällisesti johonkin tiettyyn maahan tai maihin vaan pyrkimyksenä on saada kokonaiskuva maailmanlaajuisesta tilanteesta. Aineistona hyödynnetään pääasiassa raportteja, joihin on koottu maailmanlaajuisia tilastotietoja uusiutuvasta energiasta.

Kirjallisuustyön alkupuolella havainnollistetaan maailman energiantuotannon tilannetta kaavioiden avulla, minkä jälkeen siirrytään varsinaiseen uusiutuvan energian tuotantoon. Esiin nostetaan tutumpien uusiutuvien energiamuotojen lisäksi joitain vielä tällä hetkellä pienemmässä asemassa olevia uudentyyppeisiä tuotantomenetelmiä. Työn lopussa pohditaan myös, olisiko siirtyminen yhteiskuntaan, jossa käytettäisiin pelkästään uusiutuvaa energiaa, realismia vai utopiaa.

2 UUSIUTUVAN ENERGIAN TUOTANNON TILANNE MAAILMALLA

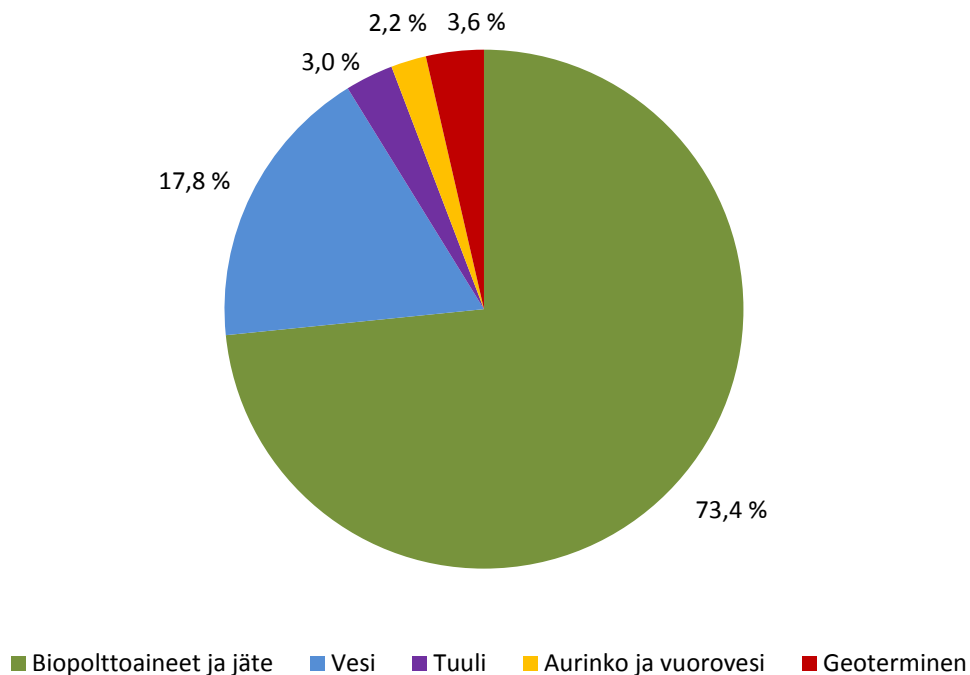
Uusiutuvan energian kehitystrendinä on ollut selkeä kasvusuunta. International Energy Agency (IEA) Renewables Information -raportin mukaan sen käyttö on kasvanut vuosittain reilulla kahdella prosentilla vuodesta 1990 lähtien. Tuuli- ja aurinkovoima ovat kasvaneet voimakkaimmin, mutta toisaalta niiden tuotannon lähtötaso on ollut matalampi. OECD-maissa arviolta puolet uusiutuvilla tuotetusta primäärienergiasta käytetään sähkön ja lämmön tuottamiseen erilaisissa voimaloissa, kun taas maailmanlaajuisesti tarkasteltuna suurin osa uusiutuvien hyödyntämisestä tapahtuu asuinkäytössä sekä julkisissa ja kaupallisissa kohteissa. (IEA 2015a, 29–30.)

Seuraavissa kaaviokuvissa havainnollistetaan uusiutuvan energian tilannetta. Kuvasta 1 nähdään uusiutuvan energian osuuden olleen vielä vuonna 2013 huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi hiilen. Tulevaisuudessa tilanne tulee kääntymään uusiutuvan hyväksi öljyn ja hiilen käytön vähentyessä.



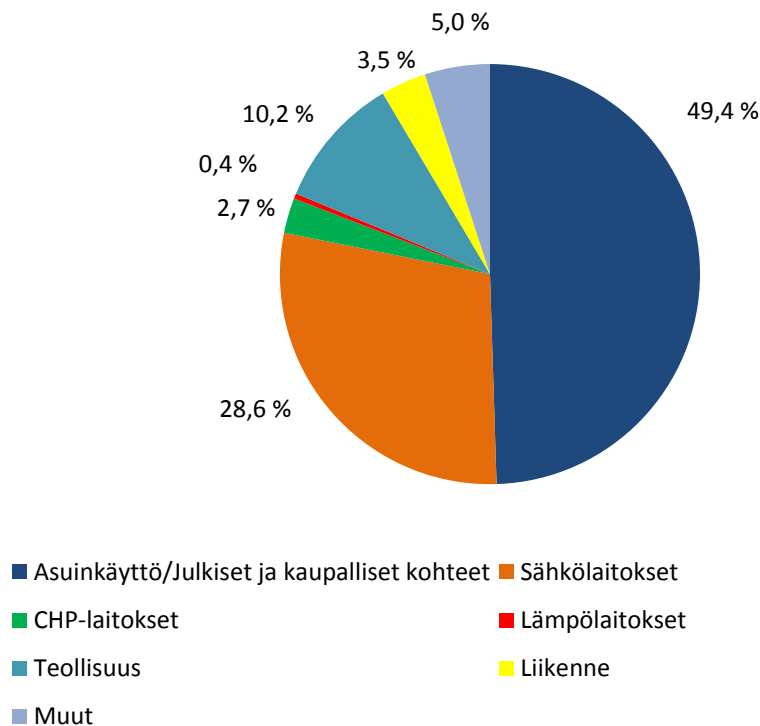
Kuva 1. Maailman primäärienergian tuotantoon käytetyt energialähteet vuonna 2013. (n.158 PJ)
Lähde: IEA, Renewables Information 2015.

Kuvassa 2 on esitelty uusiutuvan energian tuotantotyyppejä. Biopolttoaineet ja -jäte kattavat leijonan osan, mikä johtuu näiden merkittävästä käytöstä kehittyvissä maissa. Toisaalta, jos tarkasteltaisiin uusiutuvien pohjalta tuotettua sähköä, kuvio muuttuisi ja vesivoima olisi suurimassa osassa.



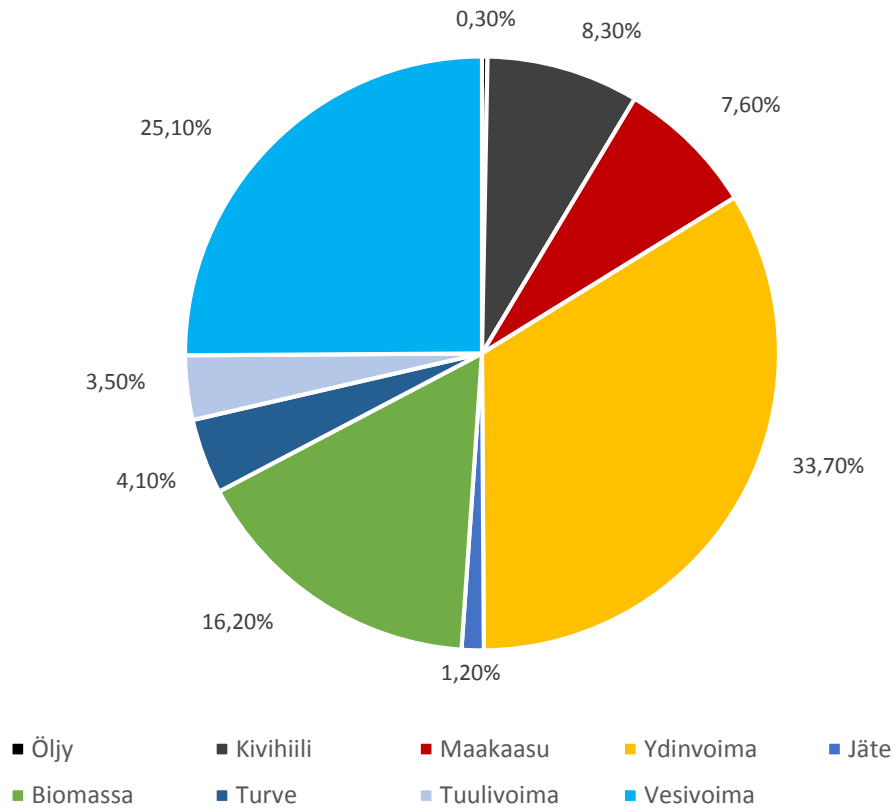
Kuva 2. Uusiutuvan energian tuotantotapojen jakautuminen maailmalla vuonna 2013. Lähde: IEA, Renewables Information 2015.

Uusiutuvan energian käytön tarkempaan jakautumiseen tutustutaan kuvassa 3. Asuin- ja julkisen käytön huomattavan suuri osuus selittyy paljolti jo aiemmin mainitulla kehittyvien maiden suurella kiinteiden biopolttoaineiden käytöllä. Liikenteen pieni osuus kasvaa suuremmaksi tulevaisuudessa, kun biopolttoaineiden käyttö lisääntyy ja mahdollisesti vetyä polttoaineena käyttävien autojen kehitys edistyy.



Kuva 3. Uusiutuvan energian käytön jakautuminen eri kohteisiin vuonna 2013. Lähde: IEA, Renewables Information 2015.

Seuraavassa kuvassa on esitetty Suomen sähköntuotannon energialähteiden jakautuminen vuonna 2015. Uusiutuvien tilanne Suomessa vaikuttaa lupaavalta, sillä ne kattoivat viime vuonna 45 % eli lähes puolet koko sähköntuotannosta. Toisaalta kokonaisenergiankulutuksesta uusiutuvien osuus on hieman pienempi; vuonna 2014 se oli noin 33 % (Statistics Finland, 2015). Päästöjen vähentämisen lisäksi uusiutuvalla energialla saadaan vähennettyä Suomen energiantuontiriippuvuutta. Kotimaisten energialähteiden osuus kasvoi 50 %:iin vuonna 2015. Lisäystä vuoden 2014 lukemaan tuli kuusi prosenttia. Myös hiilidioksidivapaiden energialähteiden määrä kasvoi kuudella prosentilla vuodesta 2014 ollen viime vuonna 79 %. Seuraavassa kappaleessa otetaan eri tuotantomenetelmät tarkempaan käsittelyyn.



Kuva 4. Sähköntuotanto Suomessa vuonna 2015 (66,2 TWh). Lähde: Energiateollisuus, 2016.

3 NYKYISET TUOTANTOMENETELMÄT JA TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Tässä luvussa käydään läpi yleisimmät nykyisistä uusiutuvan energian tuotantomenetelmistä ja kuvataan lyhyesti niiden toimintaperiaatteet. Lisäksi perehdytään menetelmien tulevaisuuden näkymiin.

3.1 Aurinko

Sähköenergiaa tuotetaan aurinkokennoissa valosähköisen ilmiön avulla, jossa fotonit osuu atomiin ja täten irrottaa elektronin. Paneelit, joissa kennot ovat, asennetaan tyypillisesti kiinteänä asennuksena, mutta myös aurinkoa seuraava järjestelmä on mahdollinen. Asennustavat näkyvät kuvista 5a ja 5b.



Kuva 5. (a) Kiinteä asennus LUT:n katolla. (b) Aurinkoa seuraava järjestelmä. Lähde: Tuuli- ja aurinkovoimateknologia ja liiketoiminta.

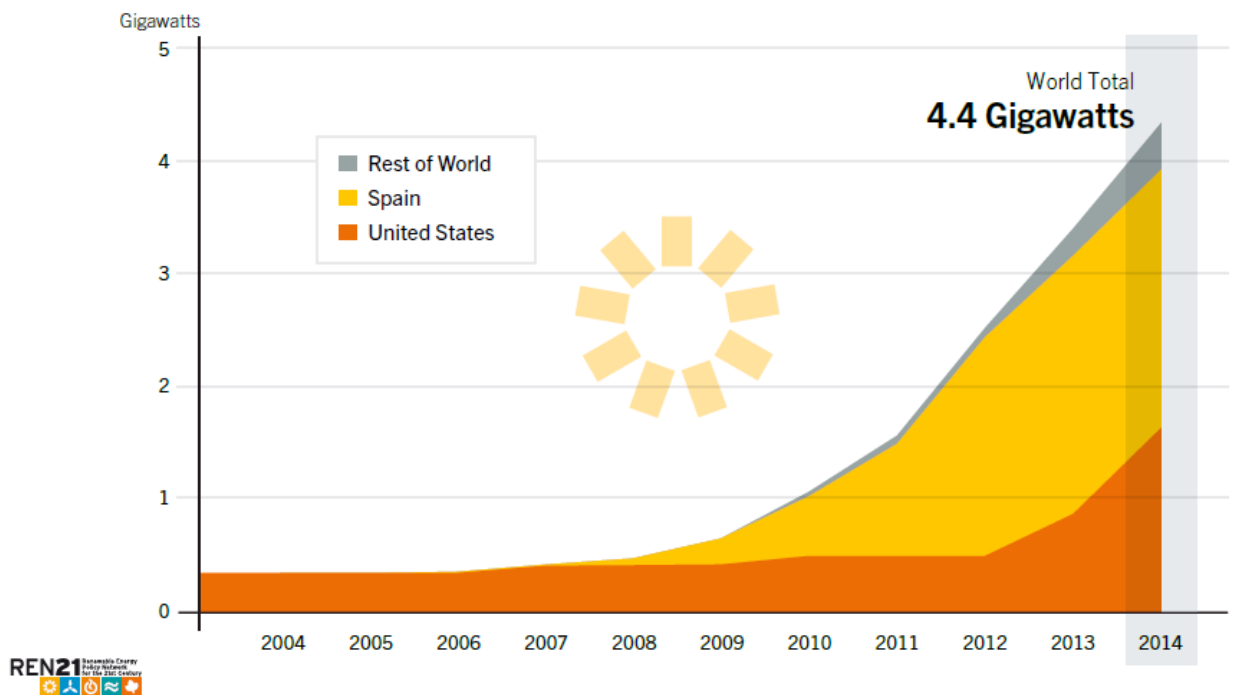
Englanniksi tätä prosessia kutsutaan nimellä solar photovoltaics. Vuoden 2012 koko maailman aurinkovoimatuotanto oli 104,5 TWh (Observ'ER 2013, 17). Aurinkosähköisillä paneeleilla saatavan aurinkovoiman kapasiteetti maailmalla oli vuonna 2014 noin 177 GW ja se kasvoi vuoden 2013 lukemasta noin 40 GW:lla. Kolme suurinta maata aurinkoenergian kapasiteetin kasvattamisessa ovat Kiina, Japani ja Yhdysvallat. Vuonna 2013 suurimmat aurinkoenergian hyödyntäjät olivat Saksa (38,2 GW), Kiina (28 GW) ja Japani (23,3 GW). (REN21, 57–59.) Vuonna 2013 asennettua kapasiteettia oli Suomessa 11 MW. Aurinkovoimalla tuotettavan sähkön osuus koko

sähköntuotannosta alkaa olla huomattava esimerkiksi Saksassa ja Kreikassa, joissa sen osuus on noin seitsemän prosenttia. Vuoden 2014 loppuun mennessä Euroopan aurinkosähkön tuotanto riitti kattamaan arviolta 3,5 % kokonaiskulutuksesta. (REN21, 61.) Aurinkosähköjärjestelmiä tuottava teollisuus jatkoi elpymistään vuoden 2014 aikana suuren kysynnän ansiosta, joskin markkinatilanne Euroopassa oli haasteellinen. Kustannusten laskiessa aurinkosähköstä on tullut kilpailukykyinen vaihtoehto fossiilisille polttoaineille useissa maissa. (REN21, 62.)

Aurinkovoima pysyy merkittävänä osana hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä tulevaisuudessakin. Erityisesti Aasiassa, jossa on myös paljon paneelien tuotantoa, sen osuus kasvaa entisestään. IEA:n New Policies -skenaarion mukaan aurinkopaneelisiin perustuvan energiantuotannon maailmanlaajuinen kapasiteetti tulee ylittämään 1000 GW:n rajan vuoteen 2040 mennessä. 2020-luvulla Kiina menee Euroopan ohi ja siitä tulee maailman johtava aurinkovoiman hyödyntäjä. 2020-luvun puolivälistä vuoteen 2040 mennessä Kiina lisää kapasiteettiaan huomattavasti. Toinen Aasian suurvaltio Intia lisää aurinkovoiman tuotantoa myös merkittävästi ja aikoo nousta 25 vuoden sisällä maailman toiseksi suurimmaksi aurinkovoiman käyttäjäksi. Euroopassa kehitys tulee hidastumaan vuoteen 2040 mentäessä tuotannon lähestyessä huippuaan. Yhdysvalloissa kehitys pysyy tasaisempaan ja maassa aiotaan lisätä kapasiteettia 100 GW:lla vuoteen 2040 mennessä. Erona kehityskulussa Euroopan ja muun maailman välillä ovat Euroopassa enemmän suosittu rakennuksiin lisätyt aurinkovoimalat, kun taas esimerkiksi Kiina suosii aurinkovoimaa enemmän suuren kokoluokan voimalakäytössä. (IEA 2015b, 358–359.)

Toinen teknologia aurinkoenergian hyödyntämiseen ovat keskittävät aurinkokeräimet, (engl. Concentrating Solar Thermal Power). Tällaisissa aurinkovoimaloissa auringon säteily keskitetään tiettyyn kohtaan lukuisilla parabolisilla levyillä, joissa on peilipinta. Keskitettyllä säteilyllä kuumennetaan väliainetta, kuten öljyä, jolla puolestaan höyrystetään vettä, ja näin saadaan höyryturbiiniprosessi sähköntuotantoa varten. Keskitettyä aurinkovoimaa ovat myös aurinkotornit, joissa lämmitetään ilmaa keräimen alla. Tämä ilma johdetaan piipulle, jonka alaosassa on turbiini, jota lämmin, ylöspäin kohoava, ilma pyörittää, ja näin saadaan sähköä. Espanja on maailman johtava valtio CSP-tuotannossa 2,3 GW:n asennetulla kapasiteetillaan. Yhdysvallat on toinen

merkittävä valtio CSP:n hyödyntämisessä. Sen kapasiteetti on 1,6 GW ja Yhdysvalloissa on useampia yli 200 MW:n voimaloita. (REN21, 64.) Espanja ja Yhdysvallat dominoivat keskitetyn aurinkovoiman tuotantoa maailmassa, kuten kuvasta 6 käy ilmi.



Kuva 6. Keskitetyn aurinkovoiman tuotannon osuudet. Lähde: REN 21 2015.

Keskitetyn aurinkovoiman kehitys vaikuttaa lupaavalta muuallakin maailmassa kuin Espanjassa ja Yhdysvalloissa. Intiassa on otettu käyttöön uusia voimaloita ja maan asennettu kapasiteetti on noussut 225 MW:iin. Intiassa sijaitsee tällä hetkellä Aasian suurin, 125 MW:n, CSP-voimala. Myös Etelä-Afrikassa keskitetty aurinkovoima on kasvanut merkittävästi. Vuoden 2014 lopussa työn alla oli neljä voimalaa, joiden yhteenlaskettu kapasiteetti on 300 MW. Lisäksi Afrikassa Marokkoon on rakennettu voimala, jota mahdollisesti laajennetaan vielä tulevaisuudessa 350 MW:iin. (REN21, 64.)

3.2 Tuuli

Tuulivoimalalla tuulen liike-energia muutetaan pyörimisliikkeeksi, joka pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. Yleisin käytössä oleva tuulivoimalatyyppe on kolmilapainen vaaka-akselinen laitos, joita näkyy kuvassa 7.



Kuva 7. Kahden megawatin tuuliturbiineita, joissa lavan pituus 49 metriä. Lähde: www.vestas.com

Vuonna 2012 globaali tuulivoimantuotanto oli 534,3 TWh (Observ'ER 2013, 9). Tuulivoimakapasiteettia oli vuonna 2014 maailmalla 370 GW ja lisäksi vuoteen 2013 nähden on tullut 51 GW. Tuulivoiman tuotanto eri maiden välillä ei ole jakautunut kovin tasaisesti, sillä 10 suurinta tuottajaa kattavat noin 84 % koko tuotannosta. Selkeästi suurin tuulivoimamaa kapasiteettia tarkasteltaessa on Kiina, jonka tuulivoimakapasiteetti on lähes 115 GW, mikä vastaa melkein kolmannesta koko maailman tuotantokapasiteetista. Maan tuotanto oli noin 156 TWh (huipunkäyttöaika 1357 h). Kiinan jälkeen tulevat Yhdysvallat noin 65 GW:n ja Saksa 40 GW:n osuudella. Yhdysvaltojen tuotanto oli kuitenkin Kiinaankin verrattuna suurempi, noin 182 TWh (huipunkäyttöaika 2800 h). Saksan lukema on 56 TWh:n luokkaa (huipunkäyttöaika 1400 h). Euroopan maista Portugali, Espanja ja Tanska tuottivat tuulen avulla yli 20 prosenttia kuluttamastaan sähköstä. (REN21, 70.) Suomen asennettu tuulivoimakapasiteetti vuoden 2015 lopussa oli 1005 MW. Lisäystä vuodesta 2014 on tapahtunut noin 370 MW:n verran, jolloin vastaava lukema oli 631 MW ja osuus sähkönkulutuksesta 1,3 %. (VTT, 2015) Vuonna 2015 Suomen sähköntuotannosta 2,8 % eli noin 2,3 TWh tuotettiin tuulivoimalla (huipunkäyttöaika 2289 h).

Tuulivoimaa suosivat maat näkyvät myös merkittävämpien tuuliturbiinien tuottajamaiden listalla. Tanskalainen Vestas johti tätä tilastoa vuonna 2014 reilulla 11 %:n markkinaosuudella. Seuraavat kaksi suurinta olivat saksalainen Siemens (9,5 %) ja kiinalainen Goldwind (9,0 %). Maailmanlaajuisesti vuonna 2014 tuulivoima kattoi reilun kolmen prosentin osuuden koko maailman sähkön kulutuksesta. (REN21, 70–72.)

Tuulivoiman osuus tulee kasvamaan myös jatkossa. Kehitykseen vaikuttaa etenkin turbiinien tehon kasvu, erityisesti niin sanotuissa offshore-turbiineissa, jotka ovat merelle asennettavia tuuliturbiineja. Esimerkkinä Vestas aikoo valmistaa Iso-Britanniassa sijaitsevalla Isle of Wightin tehtaalla 80 metrisiä siipiä offshore-käytössä oleville tuuliturbiineille, jolloin pyyhkäisyypinta-alan halkaisijaksi tulee noin 160 metriä. Kasvavan pyyhkäisyypinta-alan myötä alhaisemmilla tuulen nopeuksilla saadaan tuotettua enemmän energiaa. IEA:n mukaan EU:n alueella offshore-tuulivoima lisääntyy vuoteen 2040 kohti kuljettaessa noin 20 %:iin alueen kaikesta tuulivoimasta. (IEA 2015b, 356.)

Tuulivoimaa rakennetaan paljon kehittyviin maihin. Esimerkiksi Afrikan valtioiden taloudelliselle kehitykselle on tärkeää, että sähköntuotantoa kyetään kohentamaan ja ihmisten elintaso nostamaan. Tekniikka & Talous -lehden artikkelissa ”Energia nostaa Afrikan köyhyydestä” 22.1.2016 kerrotaan Keniassa sijaitsevan Turkana-järven alueelle rakennettavasta tuulipuistosta, joka valmistuessaan on Afrikan suurin. Puistoon tulee yhteensä 365 turbiinia, joiden kokonaisnimellisteho on 310 MW. Puisto valmistuu kokonaan vuoden 2017 aikana, mutta osia siitä saadaan sähköntuotantoon jo tänä vuonna. Artikkelin mukaan puistoa on mahdollista laajentaa jopa 3000 MW:n kapasiteettiin. IEA:n New Policies Scenarion mukaan Afrikan tuulivoimakapasiteetti voi kasvaa 11 GW:iin vuoteen 2030 mennessä, mikä tarkoittaisi noin 28 terawattitunnin tuotantoa. (GWEO 2014, 29.)

IEA:n raportin mukaan Kiina nousee lähivuosina suurimmaksi tuulivoimamarkkinaksi, mutta tämänhetkiset neljä suurinta tuotantoaluetta, EU, Pohjois-Amerikka, Intia ja Kiina, pysyvät suurimpina vuoteen 2040 mennessä. Kiinan kapasiteetin uskotaan olevan 300 GW suurempi vuonna 2040 verrattuna vuoden 2014 tasoon. Suuruusluokaltaan lisäys on valtava, sillä se on noin 80 % vuoden 2014 maailmanlaajuisesta kapasiteetista. EU:ssa niin sanottu 2030 Energiastrategia edesauttaa tuulivoimaan kasvua, jonka

odotetaan kasvavan 25 %:n tuntumaan kokonaissähkötuotannosta. Yhdysvalloissakin poliittinen ohjaus hiilipäästöjen vähentämiseksi turvaa tuulivoiman kehitystä pitkällä tähtäimellä. (IEA 2015b, 355.) Eräs tuulivoiman kehitystrendeistä on vanhojen turbiinien purkaminen ja niiden korvaaminen suuremmilla ja tehokkaammilla, joita toisaalta tarvitaan vähemmän. Arviolta 444 MW:n edestä vanhoja turbiineja purettiin Euroopassa vuonna 2014. Käytetyt turbiinit ovat synnyttäneet kansainvälistä kaupankäyntiä ja niitä myydään etenkin kehittyviin maihin. (REN21, 73.)

3.3 Vesivoima

Vesivoimalaitoksessa energiaa tuotetaan juoksuttamalla vettä korkeammalta tasolta alemmalle, jossa sijaitsee turbiini. Vesi pyörittää turbiinia ja turbiini puolestaan generaattoria. Vesivoiman tuotannossa suurin tekijä vuoden 2014 tilastoissa on Kiina. Sen osuus vastaa 27 %:a koko maailman 1055 GW:n kapasiteetista ollen noin 280 GW. Kiinan tuotanto ylittikin ensimmäistä kertaa 1000 TWh:n rajan ja siellä sijaitsee kolmen rotkon padon vesivoimala, joka on maailman suurin. Pato on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Kolmen rotkon pato. Vesivoimalan teho on noin 22 000 megawattia. Lähde: www.businessinsider.com

Maailmanlaajuisesti vesivoimatuotannoksi vuonna 2014 on arvioitu 3900 TWh. Kiinan perässä seuraavat Brasilia, Yhdysvallat, Kanada, Venäjä sekä Intia. Nämä kuusi maata kattavat koko maailmanlaajuisesta vesivoimakapasiteetista 60 %. (REN21, 52.)

Brasiliassa vesivoiman lisäystä vuonna 2014 oli 3,3 GW, josta lähes 140 MW on pienen luokan, alle 30 MW:n, tuotantoa. Tuotannollisesti Brasilian vesivoima tarkoittaa 393 TWh:n määrää. Tuotantoa ovat haitanneet pitkittyneet kuivat kaudet, mikä on aiheuttanut joidenkin varantojen huomattavaa hupenemista. Myös Yhdysvalloissa kuivuus on hankaloittanut vesivoiman tuotantoa. Yhdysvaltojen tuotanto oli 259 TWh ja kapasiteetti 79,2 GW, jolloin huipunkäyttöaika on noin 3270 tuntia. (REN21 2015, 53.) Suomessa vesivoiman osuus sähköntuotannosta vuonna 2015 oli 25,1 %, joka vastaa noin 16,6 TWh:a, ja se on merkittävin uusiutuvan energian muoto maassamme. Suomen suurimmat vesivoimalat ovat Imatrankosken (185 MW) ja Rovaniemellä sijaitseva Petäjäskosken (182 MW) voimalat. (Energiateollisuus 2016)

Huolimatta jo tähän mennessä saavutetusta suuresta vesivoiman määrästä, Kiina lisää tuotantoa lähes 200 GW:lla vuoteen 2040. Latalaisessa Amerikassa lisäystä on odotettavissa yli 100 GW:n verran, josta yli puolet on Brasiliassa. Euroopan Unionin alueella vesivoimaa ei merkittävästi tulla lisäämään suurimman osan potentiaalisista paikoista ollessa jo valjastettu tuotantoon. Suurin osa vuoden 2014 lisäyksestä, noin 94 %, on suuren luokan vesivoimaa, joka IEA:n raportissa määritellään kooltaan yli 10 MW:n suuruiseksi. Tämänkaltaiset tuotantolaitokset vastaavat suurimmasta osasta myös tulevaisuudessa. Suurten laitosten etuna ovat vesivarastot, jotka mahdollistavat tuotannon säätelyn tarpeen mukaan. Pienemmän mittakaavan tuotanto kasvattaa osuuttaan myös nouden yli 10 %:iin. Etenkin Afrikassa, Aasiassa ja Brasiliassa pienemmän luokan tuotantoa lisätään. Etuina vähäisemmissä voimaloissa on, että ne voidaan usein liittää olemassa oleviin voimalinjoihin eikä muuta infrastruktuuria tarvitse rakentaa niin paljon verrattuna suuriin tuotantolaitoksiin. Toisaalta vesivarastojen puuttuessa tuotanto on alttiimpaa vaihteluille. (IEA 2015b, 352–353.) Kuten tuulivoiman kohdalla, Afrikassa ollaan lisäämässä myös vesivoimaa. The Grand Renaissance -vesivoimalaitos on rakenteilla Etiopiaan. Valmistuttuaan voimalaitoksen tehoksi pääurakoitsija ilmoittaa 6 GW. Alavirran alueella olevat naapurimaat ovat kuitenkin huolestuneet projektin vaikutuksista ja vuoden 2015 alussa Etiopia, Egypti ja Sudan laativat esityksen Niilin altaan vesivarantojen vastuullisesta käytöstä. (REN21, 53.) Myös Ruandassa on lisätty vesivoimakapasiteettia 25 %:lla vuoden 2014 aikana. Vesivoimalla on Ruandassa suuri merkitys väestön elintason parantamisen kannalta.

3.4 Biomassa ja biokaasu

Biomassaa käytettiin vuonna 2014 arviolta 12500 TWh lämmön tuotantoon. Tästä noin 70 % oli niin sanottua perinteistä biomassaa, kuten puuta ja maataloustuotannosta tulevaa sivutuotetta. Suurin osa perinteisestä biomassasta käytettiin Aasiassa (n. 5300 TWh) ja Afrikassa (3200 TWh). Modernilla biomassalla tehtävää lämmön tuotantoa on pääasiassa Euroopassa (861 TWh), Aasian kehittyvissä maissa (750 TWh) sekä Yhdysvalloissa (722 TWh). Modernilla biomassalla tarkoitetaan pidemmälle vietyä jalostusta ja kehittyneempää biomassan hyödyntämistä esimerkiksi voimalaitoskäytössä. Vuoden 2014 modernilla biomassalla tuotettavan lämmön kapasiteetti oli noin 305 GW_{th}. Euroopassa suurimpia hyödyntäjiä olivat Ruotsi, Suomi, Saksa, Ranska ja Italia. Biolämmöstä suuri osa menee kaukolämmitykseen. Lämmöntuotantoon käytettävän biokaasun merkitys on suuri Aasiassa. Kiinassa on arvioitu olevan jopa 100 000 suuren luokan biokaasuvoimalaa ja kotitalouskäytössä yli 40 miljoonaa biokaasukäyttöistä keitintä. (REN21, 42.) Myös Intiassa ja Etelä-Koreassa biokaasulla on lämmöntuotannossa suuri merkitys.

Sähköä bioenergialla tuotettiin vuonna 2014 noin 433 TWh. Kärkimaita olivat Yhdysvallat (n. 69 TWh), Saksa (n. 49 TWh), Kiina (n. 42 TWh), Brasilia (n. 33 TWh) ja Japani (n. 30 TWh). Yhdysvalloissa biosähköä saadaan pääasiassa puusta ja maatalouden jätteistä ja suurin biovoiman kuluttaja on paperi- ja selluteollisuus. Euroopan Unionin alueella kiinteällä biomassalla tuotettiin likimain 82 TWh sähköä. Viiden maan kärjessä olivat Saksa, Suomi, Iso-Britannia, Ruotsi ja Puola. Nämä maat vastaavat 63 %:n osuudesta biovoiman tuotannossa EU:ssa. Pienimuotoisempaa biosähkötuotantoa on myös Afrikassa sokeriruokoa käsittelevissä tehtaissa, joista osa myy omasta käytöstä ylijäävää sähköä kansalliseen verkkoon. (REN21 2015, 42, 44.)

Euroopan Unioni tulee pysymään kärkipaikalla bioenergiaan pohjautuvassa sähkön tuotannossa vielä kymmenisen vuotta, minkä jälkeen Kiina menee edelle. Bioenergian määrä kasvaa tulevaisuudessa tasaiseen tahtiin. EU:n ja Yhdysvaltojen kohdalla kehitystä ylläpitävät sähkön tuotannon hiilipäästöjen vähentämiseen pyrkivät tavoitteet, kun taas kehittyvissä maissa bioenergian lisääminen perustuu enemmän sähköntarpeen kattamiseen eikä ilmastopoliittisiin tavoitteisiin. (IEA 2015b, 354.)

3.5 Geoterminen

Geotermistä lämpöä syntyy maan sisuksissa hajoavista radioaktiivisista aineista, kuten uraanista. Maan keskipistettä kohti mentäessä lämpötila nousee arviolta 25–30 °C/km verrattuna maan pintaan. Jotta maan syvyyksissä oleva lämpö saadaan hyötykäyttöön, täytyy siis porata syviä kaivoja, joita pitkin lämpö nousee pinnalle. Kaivot porataan tavallisesti yli kahden, mutta alle kolmen kilometrin pituisiksi. Kohteita, joissa lähde on yli 150 °C, käytetään yleensä sähkön tuotantoon ja tämän lämpötilan alle jääviä suoran käytön lämmön tuotantoon ja jäädytykseen. (World Energy Council, 2013)

Geotermistä energiaa hyödyntäen tuotettiin lämpöä noin 73 TWh ja sähköä noin 74 TWh vuonna 2014. Asennettu geotermisen energian kokonaiskapasiteetti maailmalla oli lähes 13 GW. Kärkipään maat, joissa kapasiteettia oli eniten, ovat Yhdysvallat (3,5 GW), Filippiinit (1,9 GW), Indonesia (1,4 GW), Meksiko (1 GW) sekä Uusi-Seelanti (1 GW). Suurimmista kapasiteetin lisäyksistä vastasivat Kenia (56 %), Turkki (17 %), Indonesia (10 %), Filippiinit (8 %) ja Italia (6 %). Euroopasta mainittakoon myös Saksa, jossa lisäystä oli kolme prosenttia. Kuten esimerkiksi tuuli- ja vesivoiman kohdalla, Afrikassa panostetaan siis myös geotermiseen energiaan. Erityisesti Afrikan itäisissä osissa, esimerkiksi Etiopiassa, on potentiaalia lisätä geotermistä energiaa. Kehitystä jarruttaa kuitenkin toistaiseksi projektien riskit ja toisaalta paikallinen teknologia, joka on melko kehittymätöntä ja rajallista. (REN21, 48–50.) Positiivista kehitystä tapahtuu myös Keski-Amerikassa, jossa Hondurasissa Ormat Technologies -yhtiö rakentaa 35 MW:n voimalan, jonka kaupallinen käyttö on suunniteltu alkavan vuoden 2017 lopulla (Ormat 2016). Hondurasin ohella Costa Ricassa kapasiteettia ollaan lisäämässä kymmenillä megawateilla.

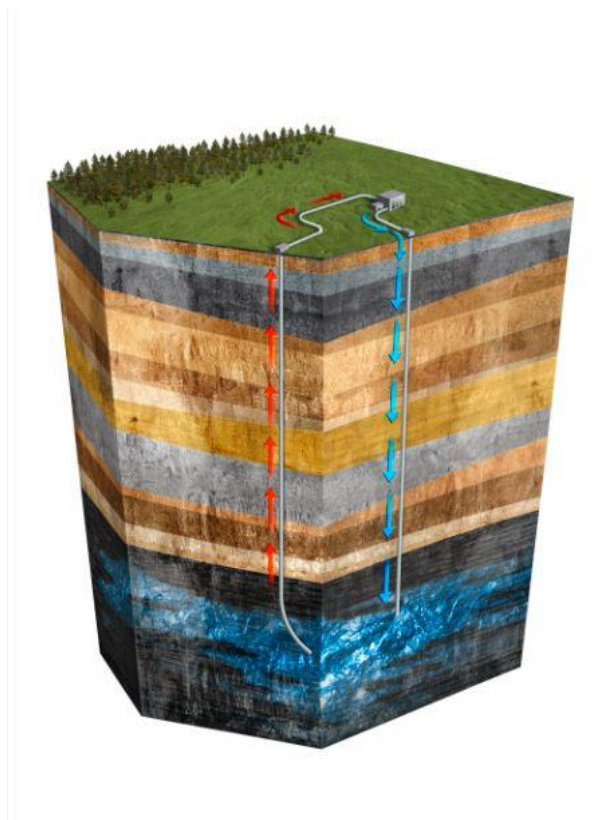
Suoraa geotermisen lämmön hyödyntämistä lämmitykseen käytetään suurelta osin vesialtaiden ja rakennusten lämmitykseen. Islanti on hyvä esimerkki tämänkaltaisesta toiminnasta, sillä siellä maa on tuliperäistä eikä porausrei'istä tarvitse tehdä kovin syviä.

Euroopan geotermisen energian neuvosto EGEN on esittänyt geotermisen energian osuuden kasvavan huomattavasti vuotta 2030 kohti mentäessä, niin lämmön- kuin sähköntuotannon osalta. Koko Euroopan alueella tulisi olemaan vuonna 2020

lämmöntuotannossa asennettua kapasiteettia $50 \text{ GW}_{\text{th}}$ ja vuonna 2030 jopa $80 \text{ GW}_{\text{th}}$. Kapasiteetteja vastaavat tuotantolukemat olisivat noin 159 TWh ja 256 TWh. Sähköntuotannossa kapasiteetti nousisi 5 GW_{e} :iin vuonna 2020 ja 15 GW_{e} :iin 2030. Tämä tarkoittaisi vastaavasti 39 TWh:n ja 117 TWh:n tuotantoa vuosittain. On myös esitetty optimistisempi näkemys, jossa sähköntuotannon lukemat olisivat kaksinkertaiset. (EGEC 2009, 2.)

Nämä lukemat vaikuttavat melko kunnianhimoisilta ottaen huomioon vuoden 2014 toteutuneet määrät. Näiden tavoitteiden saavuttamiskeinoiksi raportissa esitetään muun muassa Enhanced Geothermal System –periaatetta (EGS) ja suurempien, useita lähekkäisiä porausreikiä, käyttävien voimalaitosten rakentamisen. Myös porauslaitteistoja ja työvoimaa tarvitaan jatkossa enemmän. (EGEC 2009, 3.)

EGS-menetelmällä luodaan keinotekoinen geotermisen lämmön lähde syöttämällä maaperään vettä, joka muodostaa kuuman altaan haluttuun syvyyteen. Suomessa kyseiseen tekniikkaan perustuva pilottilämpölaitos on rakenteilla Espoon alueelle Fortumin ja St1:n yhteistyön tuloksena. Laitoksen tehoksi arvioidaan parhaimmassa tapauksessa noin 40 MW, joka vastaisi kymmenesosaa Espoon alueen kaukolämmitystarpeesta. Maahan porataan kaksi reikää usean kilometrin syvyyteen ja veden maaperästä saama lämpö saadaan lämmönsiirtimen kautta kaukolämpöverkkoon. Lämpölaitoksen on arvioitu valmistuvan vuoden 2017 helmikuuhun mennessä. (St1 2016) Kuva 9 havainnollistaa kyseisen laitoksen ja EGS-menetelmän toiminnan.



Kuva 9. Geotermisen lämpölaitoksen havainnekuva. Lähde: www.fortum.com

4 UUDET TUOTANTOMENETELMÄT

Seuraavassa kerrotaan uusista tulokkaista ja toistaiseksi vähemmällä käytöllä olevista uusiutuvan energian tuotantomenetelmistä.

4.1 Aalto- ja vuorovesivoima

Aiemmin käsitellyn perinteisen vesivoiman lisäksi maailmalla on käytössä myös merenaaltojen liike-energiaa ja vuoroveden liikettä hyödyntäviä energiantuotantomenetelmiä. Aaltovoima voidaan ajatella epäsuoraksi tuulivoimaksi ja tuuliset alueet soveltuvat parhaiten aaltoenergian hyödyntämiseen. Vuoden 2014 lopussa meriveden energiaa hyödyntämällä saatu kapasiteetti oli noin 530 MW, josta suurin osa oli vuorovesivoimaa. Lisäystä tehtiin hieman maailmanlaajuisesti, mutta käytännössä uudet asennukset koostuvat erilaisista pilottihankkeista. Suurimmat tuotantolaitokset ovat Etelä-Koreassa toimiva 254 MW:n voimala ja Ranskassa 240 MW:n voimala. (REN21 2015, 55.) Nämä voimalat käyttävät niin sanottua vuorovesipatoa, jossa nousu- ja laskevuosi ajetaan turbiinien läpi.

Aaltovoima ei ole vuorovesivoimaan verrattuna suuremmista investoinneista ja laveammasta kiinnostuksesta huolimatta pystynyt saavuttamaan vuorovesivoiman tasoa, mitä tulee teknologiseen valmiuteen ja luotettavuuteen. Magagnan ja Uihleinin artikkelissa aaltovoiman kerrotaan tuottaneen Iso-Britanniassa vuodesta 2008 alkaen 0,8 GWh sähköä verkkoon, mikä on alle 10 % vuorovesivoimalla saadusta. Yhtenä syynä aaltovoiman heikompaan osaan voidaan pitää tuotantotapojen pirstaloitumista useisiin eri vaihtoehtoihin, mikä hajauttaa myös tutkimustyötä. EU:n alueella sijaitsee 45 % aaltovoiman kehittäjistä ja suurin osa vaadittavasta infrastruktuurista. 46 yhtiötä on päässyt tai on pääsemässä vaiheeseen, jossa niiden teknologiaa voidaan hyödyntää avomerellä. Muun muassa suomalaiset Wello Oy ja AW Energy kuuluvat tähän ryhmään. Yli 60 % aaltoenergiaa hyödyntävistä laitteista on suunniteltu offshore-käyttöön. Toistaiseksi kuitenkin vain kaksi laitosta on 16 kilometrin päässä rannikosta ja suurin osa on alle 10 kilometrin. Offshore-asennusten vaikeus osoittaa, että tekniikkaan liittyy vielä haasteita laitteiden huolto- ja selviytymismahdollisuuksia ajatellen. Aaltoenergian avulla saatava tuotantopotentiaali on arvioitu olevan 28 000 TWh, jonka ansiosta kehitystyön pariin on tullut yli 170 toimijaa.

Aaltovoimateknologiaa kehitetään ja tutkitaan siis hyvin paljon ympäri maailmaa. (Magagna & Uihlein 2015, 95.)

Vuorovesivoiman tuotannon tutkimuksesta suurin osa, 76 %, koskee vaaka-akseliturbiineita. Nämä turbiinit ovat olleet laajimmassa testauksessa ja niiden teknologinen valmius on korkealla tasolla. Magagnan ja Uihleinin mukaan vuodesta 2008 lähtien Iso-Britanniassa meren energiaa hyödyntävällä teknologialla on tuotettu 11 000 MWh sähköä verkkoon. Tästä määrästä 10 250 MWh saatiin meren pohjaan kiinnitetyillä vaaka-akseliturbiineilla. Teknologian kehitys on houkuttanut merkittäviä valmistajia tämän tuotantomuodon pariin. Yli 50 % vuorovesivoiman kehityksestä tehdään EU:ssa, mutta esimerkiksi Australiassa ja Yhdysvalloissa kehitystyötä tehdään paljon. Lisäksi Itä-Aasia on nousemassa mukaan yhä vahvemmin. (Magagna & Uihlein 2015, 92.) EU:n osalta on myös kasvutavoite, jonka mukaan vuoteen 2050 mennessä aalto- ja vuorovesivoimakapasiteettia olisi 100 GW:n verran (Ibid, 84).

4.2 Vetytalous

Vetytalous voidaan määritellä vaiheeksi, jossa vedystä on tullut fossiilisten polttoaineiden korvaaja. Vetyä voidaan hyödyntää polttoaineena sellaisenaan, käyttää sitä polttokennoissa sähköntuotantoon tai siihen voidaan varastoida energiaa. Varastoinnin merkitys kasvaa tuotannoltaan vaihtelevien tuuli- ja aurinkovoiman lisääntyessä.

Polttokennoissa vetyä voidaan käyttää sähköntuotantoon ilman palamista. Vedyn ja ilman mukana tulevan hapen erotukseen käytetään elektrokrolyyttikalvoa, joka läpäisee vain tietynlaisia ioneja. Polttoaine johdetaan kalvon toisella puolella olevalle anodille ja happi toisen puolen katodille. Anodille tullut polttoaine hapettuu luovuttaen elektroneja. Elektronit kulkevat katodille, jolla on happea, ja happi vastaanottaa elektronit. Näin syntyy uusia ioneja, jotka puolestaan kulkevat elektrokrolyyttikalvon läpi muodostaen neutraaleja kemiallisia yhdisteitä. (Huhtinen et al. 2013, 297.)

Polttokennoautot ovat useiden autonvalmistajien kehityskulun päätavoitteena. Akkuja hyödyntävät sähköautot ovat ennemminkin välivaiheena tässä kehityksessä, mutta sekä akku- että vetypolttokennoautoilla on yhteisiä komponentteja, mikä hyödyttää kehitystä

ja tutkimusta puolin ja toisin. (Kauranen et al. 2013, 26.) Toistaiseksi käytössä olevat vetypolttokennoautot ovat lähinnä tutkimusvaiheessa, joten niitä ei varsinaisesti myydä vaan vuokrataan kuukausimaksuun pohjautuen. Linja-autokäytössä vetypolttokennojen kerrotaan olevan kilpailukykyinen vaihtoehto päästöttömään liikkumiseen. Vetybusseja on testattu kentällä kymmenen vuoden ajan, kun taas akkuja hyödyntävien sähköbussien käytännön testaus on vielä alkuvaiheessa. Näiden bussien kehityksen kannalta yhteistyö henkilöautovalmistajien kanssa on tärkeää. (Kauranen et al. 2013, 30.)

Tällä hetkellä markkinoilla on kaasuturbiineja, jotka kykenevät käyttämään korkean vetypitoisuuden sisältäviä kaasuja, mutta ei sellaisia turbiineja, jotka voisivat polttaa puhdasta vetyä. IEA:n mukaan tekniset muutokset olisivat kohtuullisia, mutta toistaiseksi tämänkaltaisille turbiineille ei ole kysyntää. Kuitenkin tulevaisuudessa kaasunlaadun, kuten vetypitoisuuden, muutoksiin nopeasti sopeutuvia turbiineja tullaan tarvitsemaan, mikäli uusiutuvan polttoaineen osuutta kasvatetaan sekoittamalla vetyä maakaasuverkkoon. (IEA 2015c, 31–33.) Raportissa kerrotaan myös kehityskohteita liittyen vedyn varastointiin ja polttokennoihin, mitkä edistäisivät vetytalouden kilpailukykyistä asemaa. Esimerkiksi polttokennoautojen paineistettujen säiliöiden materiaalikustannusten tulisi laskea noin 15 Yhdysvaltain dollariin kilowattia kohti. Vedyn nesteytysprosessin häviöt pitäisi puolestaan saada alle 30 %:iin. Näihin päämääriin arvioidaan päästävän vuosina 2025–2035. Polttokennoautojen yleistymisen jouduttamiseksi raportissa esitetään muun muassa kansainvälisiä standardeja vedyn tankkauksen paineelle ja tankkauspistoolin muodolle. Polttokennoautojen hintatason pitäisi asettua korkeintaan noin 15 % hybridiautojen yläpuolelle, jotta polttoaineen kalliimpi hinta huomioiden, ne yleistyisivät esittely- ja tutkimusvaiheesta laajempaan käyttöön. (IEA 2015c, 62–63.)

Vetytalouden laajamittaiseen käyttöön tarvittaisiin suuria investointeja johtuen tekniikan vaatimasta infrastruktuurista. Tämän lisäksi pitäisi muodostua maailmanlaajuinen näkemys vetytalouden kehittämisestä ja teknisten ratkaisujen standardoinnista. Onkin todennäköisempää, että ainakin lähivuosikymmeninä vetyä hyödynnetään pienempänä osana muuta energijärjestelmää esimerkiksi polttokennojen avulla.

4.3 Metaanitalous

Metaania voidaan käyttää vedyn tapaan energian kantajana, mutta vetyyn nähden se on turvallisempaa varastoida, kuljettaa ja käyttää. Niin sanottua uusiutuvaa metaania voidaan tuottaa muun muassa eloperäistä jätettä mädättämällä, jolloin voidaan puhua biokaasuprosessista, tai metanoimalla esimerkiksi tuulisähköllä tuotettua vetyä.

Saksan Werltessä käynnistettiin autonvalmistaja Audin johtamana vuonna 2013 laitos, jossa poltetaan tuulisähköllä ja elektrolyysillä tuotettua vetyä biokaasun kanssa. Tästä syntyvän hiilidioksidin avulla puolestaan tuotetaan metaania liikennekäyttöön. (Lampinen 2012, 15.) Metaania ja vetyä sekoittamalla voidaan valmistaa myös niin sanottua hytaania (engl. hythane). Nykyiset metaania käyttävät ajoneuvot voivat käyttää tätä metaanin ja vedyn sekoitusta polttoaineena, kun taas pelkällä puhtaalla vedyllä käyvät ajoneuvot ovat kalliita ja harvinaisia. Näin vetyä saadaan liikennekäytön polttoaineeksi, vaikka varsinaisia vetyautoja ei markkinoilla olisikaan. (Lampinen 2012, 68.)

Suomen luonnonvarakeskuksessa on kehitetty metaanireaktori, jonka avulla voidaan varastoida uusiutuvaa energiaa ja tuottaa synteettistä maakaasua. Reaktorin kerrotaan soveltuvan pienemmän mittakaavan energialaitoksiin sekä hajautettuun energiantuotantoon. Reaktorilla voidaan tulevaisuudessa edistää hiilineutraalia polttoainekiertoa hyödyntämällä hiilidioksidia metaaniksi valmistavia mikrobeja. Tämänhetkisistä käyttömahdollisuuksista mainitaan ylimääräisen uusiutuvan energian talteenotto ja erityisesti Suomelle tärkeän biomassan käytön tehostaminen. Reaktorin arvioidaan tulevan markkinoille parin vuoden kuluessa. (Luke 2015)

5 SIIRTYMINEN TÄYSIN UUSIUTUVAAN ENERGIAAN – REALISTINEN TAVOITE?

Tässä luvussa tarkastellaan hiilineutraalin ja päästöttömän yhteiskunnan toteuttamismahdollisuuksia. Tarkastelussa keskitytään lähinnä kotimaahan etenkin Neo-Carbon Energy -projektin avulla, jossa myös Lappeenrannan teknillinen yliopisto on mukana.

Projektissa kerrotaan, millainen päästötön ja luotettava uusiutuviin energialähteisiin perustuva järjestelmä voisi olla. Järjestelmä pohjautuisi aurinko- ja tuulivoimaan niiden päästöttömyyden ja energianlähteen saatavuuden ansiosta. Hankkeessa ovat mukana muun muassa Tekes, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Turun yliopisto ja Suomen tulevaisuuden tutkimuskeskus. (Neo-Carbon Energy)

Neo-Carbon Energyn tarkasteltavissa skenaarioissa eri uusiutuvien energiamuotojen ja ydinvoiman määrä vaihtelee. Myös vaihtoehto, jossa ei tehdä merkittäviä muutoksia nykyiseen energiantuotantopalettiin, on otettu vertailuun mukaan. Suomen pitkien talvien ja energiantensiivisen teollisuuden takia vaihtoehto, jossa ydinvoima on mukana, vaikuttaisi toteutuskelpoisimmalta. Tällöin järjestelmä ei olisi täysin uusiutuvaan energiaan perustuva, mutta kuitenkin hiilineutraali energiasektorin osalta. Uusiutuvan osuus nousisi silti 89 %:iin (Breyer & Child 2015). Tällöin myös energiaomavaraisuus olisi korkealla tasolla.

Uusiutuvan energian laajamittainen käyttäminen on enemmänkin kiinni poliittisten päätösten tekemisestä kuin teknologian valmiudesta. Esimerkiksi Tanskan parlamentti on vuonna 2012 asettanut tavoitteekseen nostaa uusiutuvan energian osuuden 35 %:iin vuoteen 2020 mennessä ja luopua kokonaan fossiilisista polttoaineista vuoteen 2050 mennessä. (Wiseman et al. 2013, 23.) Tanskaa voidaan pitää esimerkkinä siitä, kuinka iso merkitys poliittisilla päätöksillä energiantuotannon muuttamisessa on. Wisemanin et al. raportissa on esitetty myös useita keinoja poliittisten esteiden kumoamiseen. Muun muassa lisäämällä avointa keskustelua siirtymisestä pois kestävästä kulutuksesta ja ilmastonmuutoksen torjuntaan sitoutuneita poliitikoita äänestämällä, voitaisiin edistää pääsyä kohti hiilineutraalia ja uusiutuviin perustuvaa yhteiskuntaa. (Wiseman et al. 2013, 25.)

Suomen Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisussa Energia- ja ilmastotiekartta 2050 Suomen pitkän aikavälin kasvihuonekaasupäästöjen vähennystavoitteeksi on asetettu 80–95 % vuoden 1990 tasosta. (TEM 2014, 9.) Täysin tai lähes kokonaan hiilineutraali yhteiskunta on siis käytännössä todettu Suomessa realistiseksi vaihtoehdoksi näiden päästövähennystavoitteiden myötä.

6 YHTEENVETO

Tutkimustyöhön valittiin käsiteltäviksi perinteiset uusiutuvat energiamuodot, joista rajattiin pois erikoisempien sovellusten käsittely ja keskityttiin tuotantoon yleisemmällä tasolla. Esimerkiksi tuulivoiman kohdalla tällaisia ovat erilaiset turbiinityypit, kuten Savonius-turbiini. Uudempiin tuotantomuotoihin valittuihin tarkastelukohteisiin päädyttiin niiden yleisyyden ja lähdemateriaalin saatavuuden perusteella. Johdannossa esitettyyn työn tavoitteeseen päästiin. Eri uusiutuvien energiamuotojen tilanteesta ja kehityksestä saatiin laadittua selvitykset, joita voidaan hyödyntää jatkossa esimerkiksi kyseisen tuotantomuodon tulevaisuuden kannattavuutta arvioitaessa. Mahdollisimman uusia raporteja käyttämällä tiedot perustuvat tuoreimpiin tilastoihin, joilla päästiin vuoteen 2014. Työtä voisi mahdollisesti käyttää myös pohjana jonkin tietyn maan energiatilanteen tarkasteluun käymällä läpi tässä työssä esiteltyt energiamuodot ja vertaamalla maailman tilannetta kyseisen maan tilanteeseen.

Uusiutuvaa energiaa rakennetaan paljon erityisesti Afrikan kehitysmaissa. Työtä tehdessä kävi ilmi yleisesti suurina saastuttajina pidettyjen Intian ja Kiinan merkittävät panostukset uusiutuvan lisäämiseen, mistä ei yleisessä uutisoinnissa ole kovin paljoa puhuttu. Tuotannoltaan vaihtelevien energiamuotojen, kuten tuulen ja auringon käyttäminen tuo toisaalta merkittäviä haasteita sähköverkon tasapainon ylläpitoon, mutta tämän tarkastelu jätettiin pois työn aihe huomioiden.

Tutkimusta tehdessä ja lähdemateriaaleja läpikäydessä ei vastaan tullut täysin uusia nousevia uusiutuvan energian tuotantotapoja. Onkin todennäköisempää, että jo olemassa olevien tuotantomenetelmien kehittyessä niiden käyttöä tullaan lisäämään. Toisaalta Luonnonvarakeskuksen metaanireaktorin kaltaisia uusia innovaatioita, jotka soveltavat olemassa olevia uusiutuvia energiamuotoja, tullaan varmasti näkemään tulevaisuudessa. Neo-Carbon Energy -projektin kaltaisten hankkeiden edetessä maailmanlaajuinen energiapoliittinen kehitys tulee mitä luultavimmin ottamaan tärkeitä askeleita kohti hiilineutraalia ja uusiutuviin energialähteisiin perustuvaa yhteiskuntaa.

LÄHDELUETTELO

Breyer Christian, Child Michael 2015, Vision and Initial Feasibility Analysis of a Recarbonised Finnish Energy System. World Conference of Futures Research 2015: Futures Studies Tackling Wicked Problems, Turku, 11.6.2015.

Energiategollisuus 2016, [Viitattu 10.2.2016] Saatavissa:

<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto>

European Geothermal Energy Council 2009, A Geothermal Europe – EGEC Brussels Declaration [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://egec.info/technology/>

Global Wind Energy Council, Greenpeace 2014, Global Wind Energy Outlook 2014 [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2014/>

Huhtinen Markku, Korhonen Risto, Pimiä Tuomo, Urpalainen Samu. 2013. Voimalaitostekniikka. Helsinki: Opetushallitus. ISBN 978-952-13-5426-7.

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner 2013. Long Term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. Intergovernmental Panel on Climate Change 2013. Teoksessa: Climate Change 2013: The Physical Science Basis

International Energy Agency 2015a, Renewables Information 2015. ISSN: 20799543

International Energy Agency 2015b, World Energy Outlook 2015. ISSN: 2072-5302

International Energy Agency 2015c, Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells [Verkkojulkaisu]. Saatavissa:

<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-hydrogen-and-fuel-cells.html>

Kauranen Pertti, Solin Jussi, Törrönen Kari, Koivula Jouko, Laurikko Juhani 2013. Vetytiemä – Vetyenergian mahdollisuudet Suomelle

Lampinen Ari 2012, Tiekartta uusiutuvaan metaanitalouteen [Verkkajulkaisu].
Saataavissa: http://www.biokaasuyhdistys.net/media/Sektoriraportti_UE-metaani_LVM_2012.pdf

Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2016. Tuuli- ja aurinkovoimateknologia ja liiketoiminta. Opetusmateriaali.

Luonnonvarakeskus 2015, [Viitattu 22.5.2016] Saataavissa:
<https://www.luke.fi/uutiset/uusi-metaanireaktori-tuottaa-ymparistoystavallista-energiaa-ja-hillitsee-ilmastonmuutosta/>

Magagna Davide & Uihlein Andreas 2015, Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives. International Journal of Marine Energy. Elsevier.

Neo-Carbon Energy 2016, [Viitattu 21.3.2016] Saataavissa:
<http://www.neocarbonenergy.fi>

Observ'ER, Fondation Énergies pour le Monde ja EDF 2013, La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde [Verkkajulkaisu]. Saataavissa:
<http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/inventaire/Fr/introduction.asp>

Ormat Technologies, 2016 [Viitattu 9.3.2016], Saataavissa:
<http://www.ormat.com/news/latest-items/ormat-announces-start-construction-35-mw-platanares-geothermal-project-honduras>

Renewable Energy Policy Network for the 21st century 2015, Renewables Global Status Report. ISBN 978-3-9815934-6-4.

Statistics Finland 2015, Energy supply and consumption 2014 [Verkkajulkaisu]. Saataavissa: http://www.stat.fi/til/ehk/2014/ehk_2014_2015-12-14_tie_001_en.html

St1 2016, [Viitattu: 7.11.2016] Saataavissa: <http://www.st1.fi/uutiset/tiedotteet/st1-aloittaa-geotermisten-syvalampokaivojen-porauksen-espoon-otaniemessa>

Työ- ja elinkeinoministeriö 2014, Energia- ja ilmastotiekartta 2050. Edita Publishing Oy. ISBN 978-952-227-881-4.

VTT, 2015 [viitattu 2.3.2016]. Saatavissa:
<http://www.vtt.fi/palvelut/v%C3%A4h%C3%A4hiilinen-energia/tuulivoima/suomen-tuulivoimatilastot/>

Wiseman John, Edwards Taegen, Luckins Kate 2013, Post Carbon Pathways. University of Melbourne.

World Energy Council 2013, World Energy Resources: Geothermal [Verkkajulkaisu]. Saatavissa:

http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/WER_2013_9_Geothermal.pdf