



BIOHIILIMARKKINOIDEN KEHITTYMINEN SUOMESSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2022

Taavi Niemi

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Energiatekniikka

Taavi Niemi

Biohiilimarkkinoiden kehittyminen Suomessa

Energiatekniikan kandidaatintyö

2022

29 sivua, 2 taulukkoa ja 2 kuvaa

Tarkastaja: Professori Tapio Ranta

Avainsanat: Biohiili, energiamarkkinat

Fossiilisista energianlähteistä pyritään irtaantumaan, jotta saavutetaan päästötavoitteet ja hiilineutraali energiantuotanto. Biohiili nähdään varsinkin otollisena fossiilisen kivihiilen korvaajana polttoaineeksi energia- ja terästeollisuuteen.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on luoda katsaus biohiileen ja sen markkinoiden kehittymiseen Suomessa pääpainon ollessa energiantuotannon sovelluksissa. Työssä perehdytään biohiilen ominaisuuksiin ja valmistustapoihin sekä tarkastellaan biohiilen mahdollisia käyttökohteita, käsitellään biohiiltä hyödyntäviä yrityksiä ja hankkeita sekä tutustutaan päästökompensaatio toimiin, jotka ohjaavat merkittävästi energiantuotantoa ja markkinoita.

Biohiilelle on useita mahdollisia käyttökohteita energiantuotannossa sekä sen ulkopuolella. Useat yritykset ovat luoneet kiinnostusta biohiiltä kohtaan ja tutkineet sen mahdollisuuksia, mutta sen käyttö ei ole kuitenkaan yleistynyt aiemmin oletetulla tavalla. Biohiilen käyttöönotossa on ollut ongelmia ja sen mahdollisiin käyttökohteisiin on kehitelty muita uusiutuvan energian ratkaisuja. On kuitenkin mahdollista, että biohiilen uusi läpimurto koittaa.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Energy Technology

Taavi Niemi

The development of the biochar market in Finland

Bachelor's thesis

2022

29 pages, 2 figures and 2 tables

Examiner: Professor Tapio Ranta

Keywords: Biochar, energy market

The aim is to break away from fossil energy sources to achieve emission reduction targets and carbon neutral energy production. Biochar is seen as a suitable substitute for fossil coal as a fuel for the energy and steel industries.

The aim of this bachelor's thesis is to create an overview of biochar and its market development in Finland focusing on energy production applications. The work introduces the properties and production methods of biochar, examines the potential uses of biochar, discusses companies and projects that utilize biochar and introduces emissions compensation measures that significantly control energy production and the market

There are several potential uses for biochar in the energy production and beyond. Many companies have created an interest in biochar and researched its possibilities, but the usage of biochar has not become as widespread as previously assumed. Companies have faced issues with the utilization of biochar and other renewable energy solutions have been developed instead of using biochar. However, it is possible that a new breakthrough for biochar will come.

LYHENNELUETTELO

EU	Euroopan Unioni
HTC	Hydrothermal Carbonization, märkähiilto
khk	Kasviuonekaasu
LHV	Lower Heating Value, tehollinen lämpöarvo
TOP	Torrefied Pellet, torrefioitu pelletti

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

1	Johdanto.....	6
2	Yleiskatsaus biohiili	8
2.1	Teknologiat	9
2.1.1	Torrefiointi.....	9
2.1.2	Höyryräjäytys.....	10
2.1.3	Märkähiilto.....	10
2.2	Käyttö.....	11
2.2.1	Energia.....	11
2.2.2	Muut käyttökohteet	15
3	Päästökompensaatiotoimet	17
3.1	Kompensaatiomarkkinat	17
3.2	Päästökauppa.....	19
4	Markkinat Suomessa	22
4.1	Suomalaisia biohiiliyrityksiä ja -hankkeita.....	22
4.1.1	Torrec Oy.....	22
4.1.2	SSAB	23
4.1.3	Carbofex Oy.....	23
4.1.4	Neova Oy	24
4.1.5	Black-Green –hanke, Joensuu.....	25
4.2	Biohiilen markkinatilanne	25
5	Yhteenveto.....	28
	Lähteet	30

1 Johdanto

Energiasektori on tällä hetkellä maailmanlaajuisessa murrostilassa. Ilmastonmuutos pakottaa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjen tuottamista, kun samalla energiankulutus kasvaa entisestään. Ilmastonmuutoksen hillintään tarvitaan monia keinoja kuten fossiilisten polttoaineiden korvaamista muilla energianlähteillä, energiatehokkuuden parantamista ja uusia puhtaan energian innovaatioita. Suomen ilmastopolitiikka on tiiviisti sidoksissa energiapolitiikan kanssa, sillä energiasektori aiheuttaa valtaosan khk-päästöistä ja vuonna 2020 energiaperäisten päästöjen osuus oli noin 72 prosenttia (SVT 2022). Euroopan Unionin jäsenvaltiona Suomen toimia ohjaa myös EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan säädökset ja tavoitteet. Suomessa uusiutuvilla energianlähteillä katetaan yli puolet tuotetusta sähköstä ja lämmöstä. Valtaosa uusiutuvasta sähköstä on vesivoimaa, kun taas kaukolämmön tuotannossa suurimman osuuden kattaa puupolttoaineet (SVT 2020).

Vuonna 2021 IEA arveli, että vuoden loppuun mennessä kivihiiltä kulutettaisiin yli 7,9 miljardia tonnia maailmanlaajuisesti. Kivihiilen kulutuksen uskotaan kasvavan vuoteen 2024 asti, jolloin se saavuttaisi kaikkien aikojen kulutushuipun yli 8 miljardilla tonnilla. Suurimpia kivihiilen käyttäjiä ja kulutuksen kasvattajia ovat kehittyvät Aasian maat Kiina ja Intia (IEA 2021). Fossiilisista energian tuotannon polttoaineista pyritään irtaantumaan ja biohiili nähdään mahdollisuutena luovuttaessa fossiilisista polttoaineista. Biohiiltä pidetään ominaisuuksiensa vuoksi etenkin oivallisena kivihiilen korvaajana. Suurimmat kivihiilen käyttäjät Suomessa ovat energia- ja metalliteollisuus. Vuonna 2021 kivihiiltä käytettiin Suomessa sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaineena 1,8 miljoonaa tonnia. Kivihiilen osuus sähkön- ja lämmöntuotannosta oli 6,2 % ja sen kulutus on vähentynyt 2010 luvulta lähtien liki 75 %. Vuonna 2021 kulutus oli kuitenkin 19 % korkeampi verrattuna edeltävään vuoteen, mitä selittää maakaasun kohonnut hinta, sähkön kysynnän kasvu sekä loppuvuoden kylmyys (SVT 2022).

Kivihiilen käyttö kielletään Suomessa energian tuotannon polttoaineena vuonna 2029. Kivihiilikielto on osa vuoteen 2030 tähtäävän kansallisen energia- ja ilmastostrategian toimeenpanoa, jonka tavoitteena on, että Suomi luopuu asteittain fossiilisten polttoaineiden käytöstä

energiantuotannossa siirryttäessä kohti päästötöntä energiajärjestelmää. Työ- ja elinkeinoministeriö on myöntänyt kivihiilen energiakäyttöä korvaaviin hankkeisiin reilut 30 miljoonaa euroa seitsemään eri kohteeseen pääkaupunkiseudulle, Vaasaan ja Turun seudulle. Näillä tukitoimilla pyritään vauhdittamaan tuen saajien kivihiilestä luopumista vuoteen 2025 mennessä (TEM 2021). Esimerkiksi Helen on ilmoittanut lopettavansa kivihiilen polttamisen etuajassa Helsingin Hanasaaren ja Salmisaaren yhteistuotantolaitoksissa vuoteen 2024 mennessä. Näissä laitoksissa käytetään tällä hetkellä polttoaineena puupellettejä pääpolttoaineena toimivan kivihiilen seassa. (Juuti 2021)

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan biohiilen tämänhetkiseen tilanteeseen Suomessa ja millaisia tulevaisuuden näkymiä sillä on keskittyen energian tuotantoon. Luvussa kaksi esitellään, mitä on biohiili ja paneudutaan sen ominaisuuksiin, eri valmistusteknologioihin ja monipuolisiin käyttömahdollisuuksiin. Kolmannessa luvussa perehdytään päästömarkkinoihin, jotka ohjaavat energiasektoria kohti hiilineutraaliutta. Luvussa neljä esitellään, miten eri yritykset ovat Suomessa osoittaneet kiinnostusta biohiileen erilaisten projektien merkeissä sekä millainen biohiilimarkkinoiden tila on tällä hetkellä ja luodaan katsaus biohiilen tulevaisuuden näkymiin. Työn lopuksi esitetään yhteenveto, joka kokoaa työssä käsitellyt asiat.

2 Yleiskatsaus biohiili

Biohiilellä tarkoitetaan kiinteää biomassasta hiiltämällä valmistettua tuotetta, jolla on suuri hiilipitoisuus. Biohiiltä voi valmistaa lähtökohtaisesti mistä tahansa biomassasta, kuten puusta, oljista, lannasta tai muista bioteollisuuden jätteistä. Biohiilellä on käyttömahdollisuuksia laajalla skaalalla esimerkiksi energiantuotantoon, maanparannusaineeksi, savukaasujen suodattamiseen ja lääketieteellisiin tarkoituksiin. Eri valmistusmenetelmät ja raaka-aineet vaikuttavat biohiilen ominaisuuksiin ja näin ollen myös siihen mihin tarkoituksiin biohiiltä käytetään. Kilpailevia polttoaineita biohiilellä ovat lähinnä sahoilta saatava puru ja kuori, metsähake sekä puupelletti. Näiden käyttöä kuitenkin rajoittavat niiden vaatimat investoinnit energiantuotantolaitoksilla, varastointivaatimukset ja korkeammat kuljetuskustannukset (Flyktman et al. 2011). Yleensä käsittelemättömän puubiomassan, kuten energia-puun kosteuspitoisuus on korkea ja energiatiheys alhainen, minkä johdosta kuljetuskustannukset ovat korkeat ja poltto-ominaisuudet ovat heikot. Onkin siis parempi jalostaa biomassaa, jotta saadaan kasvatettua energiatheyttä, jolloin polttoaineen kuljettamisesta tulee kannattavaa. Taulukkoon 1. on koottu torrefioitun biohiilipelletin sekä muiden kiinteiden polttoaineiden ominaisuuksia.

Taulukko 1. Polttoaineiden ominaisuuksia (Thrän et al. 2013)

	Puuhake	Pelletti	Torrefioitu- pelletti	Puuhiili	Kivihiili
Kosteus (p-%)	30–55	7–10	1–5	1–5	10–15
LHV (MJ/kg)	7–12	15–17	18–22	30–32	23–28
Haihtuvat kuiva-aineesta (p-%)	70–84	75–84	55–80	10–12	15–30
Kiinteä hiili kuiva-aineesta (p-%)	16–25	16–25	22–35	85–87	50–55
Irtotiheys (kg/m ³)	200–300	550–650	650–800	180–240	800–850
Energiatiheys (GJ/m ³)	1,4–3,6	8–11	12–19	5,4–7,7	18–24
Biologinen hajoaminen	Nopea	Nopea	Hidas	Ei hajoa	Ei hajoa
Jauhatusvaatimukset	Eriytyinen	Eriytyinen	Standardi	Standardi	Standardi
Laadun yhtäläisyys	Vaihteleva	Korkea	Korkea	Korkea	Korkea
Kuljetuskustannukset	Korkea	Keskitaso	Matala	Keskitaso	Matala

Tarkastellessa eri polttoaineiden ominaisuuksia havaitaan Torrefioidun pelletin edut verrattuna perinteisiin biopolttoaineisiin. TOP-pelletin kosteuspitoisuus on pieni ja energiatiheys suuri, se on tasalaatuista ja se jauhautuu hyvin. Puuhake on taas kosteaa, jolloin energiaa kuluu kosteuden haihtumiseen poltettaessa, sillä on huono lämpöarvo ja energiatiheys sekä sen rakenteelliset ominaisuudet ovat heikot. Tavallinen pelletti häviää TOP-pelletille lähinnä rakenteellisten ominaisuuksiensa vuoksi. Biohiilipelletti muistuttaa poltto-ominaisuuksiltaan hyvin pitkälti kivihiiltä, sillä sen lämpöarvo vastaa kivihiiltä ja energiatiheys on hyvin lähellä kivihiiltä. Näin ollen sillä voidaan korvata osa laitosten käyttämästä kivihielestä. Lisäksi biohiiltä voidaan käyttää perinteisten biopolttoaineiden sijasta biokattiloissa, joissa se ei poltettaessa tuota myöskään niin paljon päästöjä verrattuna perinteiseen puuhun tai pellettiin, sillä osa haihtuvia aineita ja tuhkaa ovat poistuneet siitä jo valmistuksen aikana.

2.1 Teknologiat

Energian tuotantoon suunnitellun biohiilen valmistusteknologioita ovat torrefiointi, höyryräjäytys ja märkähiilto. Biomassaa käsittelemällä pyritään parantamaan sen käsittely- ja poltto-ominaisuuksia. Energiakäytössä biohiili usein jauhetaan ja pelletoidaan käyttöä varten, jolloin polttoaineen käsiteltävyys paranee ja pölyäminen vähenee. Näistä biomassan esikäsittelyteknologioista keskitytään eniten torrefiointiin ja sen avulla tuotettuun biohiileen. Maanparannukseen tarkoitetun biohiilen valmistukseen käytetään kuivatislausta eli hidaspölylyysiä. Maanparannusaineena biohiiltä voidaan käyttää sellaisenaan ja tällainen maahan sidottu hiili on tehokas tapa vähentää hiiltä ilmakehästä.

2.1.1 Torrefiointi

Torrefiointi on biomassan käsittelymetodi, jolla voidaan tuottaa ominaisuuksiltaan kivihiilen tapaista biopolttoainetta. Torrefiointiprosessissa biomassa lämmitetään 200°C - 300°C asteen lämpötilaan hapettomassa tilassa normaalissa ilmanpaineessa. Käsittelyssä vesi ja osa muista haihtuvista yhdisteistä poistuu. Käsittelyn aikana biomassan massa vähenee noin 30 %, mutta sen sisältämä energia vähenee vain noin 10 %. Verrattuna jalostamattomaan raaka-

aineeseen, torrefioidun biomassan ominaisuudet ovat paremmat. Prosessi parantaa biomassan ominaisuuksia hajottamalla sen kuiturakennetta, jolloin sitä on helpompi jauhaa, kasvatamalla sen energiatiheyttä ja tehden siitä lähes hydrofobista, eli vettähylykivää (Schorr et al. 2012; Wilén et al 2013). Jauhatuksen jälkeen biohiili pelletoidaan ja sitä kutsutaan TOP-pelletiksi (Torrefied Pellet). Hydrofobisuus parantaa pelletin varastointiominaisuuksia, sillä kosteus ei pääse imeytymään siihen niin helposti. TOP-pelletit eivät kuitenkaan sovellu pitkäaikaiseen ulkovarastointiin, sillä ne keräävät vähitellen kosteutta ja menettävät standardin (SFS-ISO/TS 17225-8:2016) mukaisia ominaisuuksiaan. TOP-pelletin ulkovarastointi tulisi olla vain väliaikaista (Korpijärvi et al. 2021). Torrefioidut pelletit sopii käytettäväksi olemassa oleviin kivihiiltä polttaviin kattiloihin, sillä sen ominaisuudet vastaavat hyvin paljon kivihiiltä ja se myös käyttäytyy hiilimyllyissä ja pölypolttimilla kivihiilen tapaan. Kivihiihikattiloihin ei näin ollen tarvitse tehdä merkittäviä muutosinvestointeja ja rinnakkaispoltoissa biohiilellä voidaan korvata jopa 50 % kivihiilestä (Jukola & Huttunen 2013).

2.1.2 Höyryräjäytys

Höyryräjäytysteknologiaa on käytetty biomassan käsittelyssä vuodesta 1926 lähtien. Prosessissa biomassaa ja 180°C - 240°C kuuma höyry paineistetaan 1 MPa:sta 3,5 MPa:n välille. Lämmityksen ja paineistuksen jälkeen painetta alennetaan nopeasti, mikä johtaa biomassan kuitujen räjähdysmäiseen hajoamiseen (Stelte 2013). Höyryräjäytyksen aikana ligniini pehmenee, läpäisee soluseinämät ja leviää tasaisesti raaka-aineeseen ja sen pintaan. Höyryräjäytys parantaa hyvin samalla tavalla biomassan ominaisuuksia kuin torrefiointi. Höyryräjäytys tekee lopputuotteesta vettä hylkivää, kasvattaa sen lämpöarvoa ja tekee siitä helpommin pelletteitävää. Toisin kuin TOP-pelletillä, HR-pelletin ominaisuudet eivät kärsi ulkokäsittelystä tai -varastoinnista, sillä höyryräjäytysprosessin aikana tapahtuneet reaktiot luovat vahvemman vettähylykivän pinnoitteen (Korpijärvi et al. 2021).

2.1.3 Märkähiilto

Märkähiilto (Hydrothermal Carbonization, HTC) on tunnettu biomassan käsittelyteknologiana jo yli vuosisadan ajan. Aiemmin sitä hyödynnettiin pääosin vain laboratoriokäytössä, kunnes vasta vuosituhaten vaihteen jälkeen siihen kohdistui laajempaa kiinnostusta

tullessa tarve korvata fossiilinen kivihiili. Eniten tutkittu HTC-käsitellyn biomassan sovel-luskohde onkin kivihiilen korvaus polttoaineena (Funke et al. 2010). Märkähiiltoprosessissa raaka-aineena käytettävä kostea biomassa laitetaan tyypillisesti 2–5 tunniksi hapettomiin oloihin, korkeaan paineeseen noin 180–250°C lämpötilaan. Tavoitteena prosessissa on pa-rantaa raaka-aineen poltto-, kuljetus- ja varastointiominaisuuksia. Kemiallisesti monimut-kaisessa märkähiiltoprosessissa raaka-aineen orgaanista ainetta hydrolysoituu eli hajoaa pie-nemmiksi orgaanisiksi molekyyleiksi reagoidessaan veden kanssa. Reaktiossa vapautuu hii-lidioksidia, kun biomassasta poistuu vetyä ja happea. Kompleksisimpia orgaanisia yhdisteitä voi muodostua pienemmiksi molekyyleiksi hajonneesta biomassasta (VVY 2019).

2.2 Käyttö

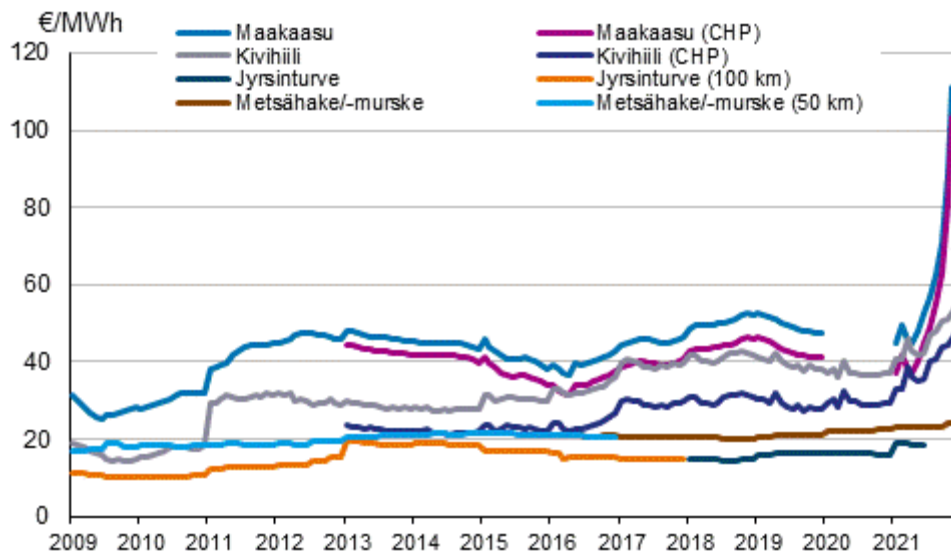
Biohiilelle löytyy useita eri käyttökohteita sen ominaisuuksista riippuen. Tässä kandidaatin-työssä keskitytään, mitä mahdollisuuksia biohiilellä on Suomen markkinoilla energiakäy-tössä kuten energia-, metsä- ja metalliteollisuudessa. Energia- ja metalliteollisuudessa biohiilellä voidaan korvata fossiilista kivihiiiltä ja näin ollen alentaa khk-päästöjä. Lisäksi käy-dään pintapuolisesti muita käyttötarkoituksia biohiilelle energiantuotannon ulkopuolelta.

2.2.1 Energia

Suomen ilmastopolitiikka ajaa fossiilisesta hiilestä ja turpeesta luopumista nopealla aikatau-lulla niin, että hiilen käyttö lopetetaan ja turpeen energiakäyttö vähintään puolittuu vuoteen 2030 mennessä. Biohiiltä voidaan käyttää kivihiiiltä ja turvetta korvaavana polttoaineena sekä toimia tukipolttoaineena muille biopolttoaineille sen paremman polttoarvon ja laadun tasaisuuden vuoksi. Sähköä ja lämpöä voidaan tuottaa sekä erillisissä laitoksissa, että yhteis-tuotantona. Sähköntuotannossa polttoaineet ovat verovapaita, mutta lämmöntuotannon polt-toaineet ovat energiaverollisia. Kivihiiiltä käytetään runsaasti sähkön erillis- ja yhteistuotan-nossa. Kattilatyyppi vaikuttaa, millaisia polttoaineita voimalaitos voi käyttää. Arina-, leiju-kerros- ja pölypolttoa käytetään kiinteiden aineiden polttamiseen. Pölypolttokattilat ovat suunniteltu alun perin kivihiilen polttamiseen, kun taas arina- ja leijukerroskattiloihin sovel-tuvat lähes kaikki kiinteät polttoaineet. Tyypillisesti arinapolttoa käytetään pienemmän ko-koluokan kattiloissa, leijukerroskattilat ovat taas moderneja suuremman kokoluokan

laitoksia. Biomassan soveltuessa sellaisenaan poltettavaksi arina- ja leijukerroskattiloihin, ei niihin paneuduta tarkemmin. Pölypolttokattiloissa perinteisten biopolttoaineiden hyödyntäminen on kuitenkin haastavampaa, niiden palamis- ja rakenneominaisuuksien vuoksi. Biohiili on oiva korvaaja kivihiilelle, sillä se muistuttaa ominaisuuksiltaan kivihiiiltä ja se sopii yleensä sellaisenaan tai hyvin pienillä muutoksilla poltettavaksi kivihiielikattiloihin.

Yli puolet Suomen energiasta tuotetaan uusituville energianlähteillä ja niiden osuutta pyritään kasvattamaan jatkuvasti. Sähkön ja lämmön tuotannossa käytetään samoja polttoaineita, mutta lämmön tuotannossa polttoaineiden hintaan sisältyy verot. Kuvassa 1 esitetään yleisempien polttoaineiden hinnat lämmön tuotannossa Suomessa.



Kuva 1. Voimalaitospolttoaineiden hinnank kehitys lämmöntuotannossa (Tilastokeskus 2022).

Kuvasta nähdään, että hintakehitys on ollut melko tasaista vuoteen 2021 asti, minkä jälkeen fossiilisten polttoaineiden, maakaasun ja kivihiilen, hinnat ovat nousseet voimakkaasti. Tällä hetkellä hinta kivihiilen osalta on noin 50 €/MWh ja maakaasun 105 €/MWh, riippuen käytetäänkö niitä pelkästään lämmöntuotantoon vai yhteistuotantolaitoksissa. Lisäksi on tärkeä huomata, että hintaero on kasvanut, kun vertaa maakaasun ja kivihiilen hintaa metsähakkeen. Tämä kertoo biopolttoaineiden kasvaneesta kilpailukyvästä fossiilisia polttoaineita kohtaan. Fossiilisista polttoaineista on maksettava myös päästöoikeusmaksut CO2-

päästöjen vuoksi. Päästöoikeuden hinta on tällä hetkellä noin 80 € / t CO₂ ja esimerkiksi kivihiilen poltto tuottaa 0,335 tonnia hiilidioksidia, kuten taulukosta 2 nähdään. Näin ollen kokonaishinnaksi tulee noin 76 € poltettaessa yhden megawattitunnin verran kivihiihtä.

Taulukko 2. Polttoaineiden päästökertoimet (Tilastokeskus 2022).

Polttoaine	kg CO ₂ /MWh
Kevyt polttoöljy	253
Raskas polttoöljy	285
Maakaasu	199
Kivihiihi	335
Puuperäiset polttoaineet	0

Erilaiset biopolttoaineet, kuten puuperäiset polttoaineet ovat uusiutuvia energianlähteitä, eivätkä ne tuota fossiilista hiilidioksidia. Niitä ei myöskään lasketa mukaan päästökaupan piiriin, joten niiden päästökerroin on nolla (Tilastokeskus 2022).

Kivihiilen poltossa käytettäviin pölypolttokattiloihin hiili tulee jauhaa hienojakoiseksi pölyksi, joka sitten puhalletaan polttimiin yhdessä ilman kanssa. Kattila asettaa tarkemmat vaatimukset polttoaineen palakoon ja kosteuden osalta, mitkä monissa biopolttoaineissa vaihtelevat suuresti. Perinteisen biomassan käyttö voi aiheuttaa pölypolttokattiloissa erilaisia ongelmia, sillä biopolttoaineiden käsiteltävyys eroaa kivihiihestä, eivätkä hiilimyllyt yleisesti sovellu biomassalle. Esimerkiksi biomassan jauhaminen yhdessä kivihiilen kanssa voi heikentää hiilen jauhautuvuutta ja aiheuttaa tuhkaan palamattoman aineksen lisääntymistä. Ilman muutoksia pölypolttokattiloihin sopeutuu perinteisistä biopolttoaineista vain sahanpuru ja pelletti, joilla voidaan korvata polttoainetehosta pieniä, vain noin 3–5 %, osuuksia. Kaliumilla laiteinvestoinneilla pystytään kasvattamaan biopolttoaineen osuutta, mutta se vaatii biopolttoainetta varten erilliset käsittely- ja syöttölaitteistot sekä polttimet (Flyktman et al. 2011). Biohiilipelletti vastaa tilavuuspohjaiselta lämpöarvoltaan kivihiihtä ja se toimii kivihiilen tavoin hiilimyllyjen jauhatuksessa ja pölypolttimilla. Näin ollen se sopii käytettäväksi hiilenpolttolaitoksiin sellaisenaan ilman merkittäviä investointeja tai muutostarpeita.

(Föhr et al. 2015). Biohiilellä voidaan korvata kivihiiltä jopa 50 % riippuen käytettävästä kattilatyyppistä ja biohiilen laadusta (Jukola & Huttunen 2013).

Teräksen valmistuksen eri prosesseihin vaaditaan paljon lämpöenergiaa, joka tuotetaan fossiilisella hiilellä. Kivihielestä valmistetaan kuivatislaamalla koksia, jota hyödynnetään teräksen tuotannossa pelkistämiseen ja energian tuotannon polttoaineena. Korkeimmillaan lämpötila kohoaa valmistusprosessin aikana jopa 2 000–2 400 °C. Pelkistäminen, eli rautaoksidista hapen poistaminen tapahtuu yli 1 000 °C lämpötilassa, jossa koksi reagoi rautaoksidin kanssa muodostaen rautaa ja hiilimonoksidia. Pelkistämisen prosessin käyttämältä koksilta vaaditaan erityisiä metallurgisia ominaisuuksia, jotta se käyttäytyy prosessissa halutulla tavalla. Paras metallurginen koksi syntyy useiden kivihiehillä sekoituksesta. Teräksen valmistuksessa masuunin yläpäästä syötetään rautamalmi sekä pelkistäjänä toimiva koksi. Masuunin alaosan hormeista puhalletaan kuumaa happirikasta ilmaa ja muita pelkistämiseen osallistuvia aineita, kuten hiilipölyä. Valmistettaessa yksi tonni terästä, kuluu valmistukseen kivihieiltä puoli tonnia. Masuunista saatava raakarauta sisältää 4–5 % hiiltä ja valmiissa teräksessä hiiltä on tavallisimmin alle 1 % ja rakenneteräksissä alle 0,2 %. Jotta hiilipitoisuus saadaan halutulle tasolle, tulee ylimääräinen hiili poistaa raudasta polttamalla, eli mellottamalla. Mellotuksen aikana teräksen lämpötila kohoaa noin 1 600–1 700 °C (Metallinjalostajat ry 2014). Terästeollisuudessa biohiilellä voidaan korvata osa kivihielestä. Biohiiltä voitaisiin käyttää masuunin polttoaineena sekä koksien sijasta pelkistimenä tai koksien raaka-aineena (Suopajarvi et al. 2013). Koksien raaka-aineena biohiiltä voidaan käyttää sekaisin muiden kivihiehillä sekoitettujen koksien kanssa, mutta siitä ei ole yksin korvaamaan fossiilista hiiltä koksien valmistuksessa, masuunin vaatiessa tietyt fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet koksilta toimiakseen kunnolla. Polttoaineena käytetyn jauhetun kivihiehillä biohiili voi korvata kokonaan, koska sillä ei ole juuri muuta tehtävää kuin lämmöntuotanto (Wei et al. 2013).

Metsäteollisuudessa syntyviä sivujakeita, kuten purua ja kuorta, hyödynnetään tehokkaasti jo nyt energian tuotannossa. Niitä joko käytetään sellaisenaan tai jalostetaan pelleteiksi ja poltetaan kiertopetikkattiloissa. Sivujakeita voisi jalostaa pidemmälle hiilettämällä ne biohiileksi, jolloin niiden poltto-ominaisuudet parantuisivat. Jotta biohiilen valmistus olisi kustannustehokasta, puubiomassan jalostus biohiileksi tulisi suorittaa lähellä raaka-aineiden

lähteitä, sillä biomassan kuljetuskustannukset ovat suuret. Lisäksi biohiileksi jalostettu puu-bio-massa sopii pölypolttokattiloihin, kuten aiemmin mainittiin.

Sellun valmistuksen prosessissa, kalkkikierrrossa, tarvitaan fossiilisia polttoaineita lämmöntuottamiseen meesauuneissa. Meesauunit käyttävät pääpolttoaineenaan pääosin maakaasua ja polttoöljyä. Näitä voisi korvata joko osittain tai kokonaan biohiilellä. Biohiilen ollessa kiinteä polttoaine, tulisi kuitenkin investoida erilaiseen polttojärjestelmään, kuten kivihiililaitoksista tuttuun pölypolttoon.

Energiakäytössä voidaan hyödyntää lopputuotteen lisäksi biohiilen valmistuksen aikana saatavaa lämpöenergiaa. Torrefiointi- ja pyrolyysiprosessit ovat energiaomavaraisia tai jopa tuottavat enemmän energiaa, kun prosessit tarvitsevat. Torrefiointin aikana raaka-aineesta vapautuu kaasuja, jotka palaessaan tuottavat riittävän energian torrefiointin toteuttamiseen. Lisäenergiaa vaaditaan kuitenkin kostean raaka-aineen kuivaukseen. Näin ollen on tärkeää integroida kuivausprosessi sähkön- ja lämmöntuotannon kanssa yhteen, jolloin kuivausenergia saadaan energiantuotannon savukaasuista. Torrefioitavasta raaka-aineesta haihtuvat kaasut voidaan taas syöttää edelleen energiantuotantoprosessiin (Flyktman et al. 2011).

2.2.2 Muut käyttökohteet

Energiakäytön ohella biohiilelle löytyy hyödyntämismahdollisuuksia niin maalaisympäristöstä kuin urbaaneilta alueilta. Maatalouskäytössä biohiiltä voidaan levittää pelloille, jolloin sillä voidaan korvata kemiallisia lannoitteita. Biohiili eheyttää maaperän hiilipitoisuutta, joka on viljeltäessä pienentynyt ajan kuluessa. Biohiili auttaa myös sitomaan paremmin ravinteita maaperään. Vähäravinteiseen metsämaahan levitetty biohiili edistää puuston kasvua ja ripeämmin kasvava metsä toimii parempana hiilinieluna. Lisäämällä 3–7 % biohiiltä kompostiin, saadaan laskettua sen typpipitoisuutta ja kompostoituminen käy nopeammin ja laadukkaammin. Lisäksi kompostimultaa voidaan edelleen käyttää lannoitteena. Biohiiltä voidaan lisätä tuotantoeläinten ruokavalioon, jolloin se edistää niiden ruoansulatusta ja vähentää sairauksia ja näin ollen antibioottien käyttöä. Biohiilellä on myös mahdollisuus alentaa karjataloudessa muodostuvia kasvihuonekaasuja sekä hajuhaittoja.

Kaupunkiympäristössä biohiilelle löytyy käyttökohteita viherrakentamisessa, kuten puiden ja pensaiden kasvualustoissa sekä viherkatoissa. Kasvualustoissa biohiilen etu ei jää pelkäämään sen ravinnerikkauteen, vaan se tuo edelleen taloudellisen hyödyn ollessaan kestävä ja pitkäikäinen ratkaisu. Biohiiltä voidaan käyttää myös suodattimena, kuten saastuneen maan puhdistamisessa tai suodattaessa kaivosalueiden tai kaupunkien valumavesiä. (Salo 2018)

3 Päästökompensaatiotoimet

Ilmastonmuutoksen hillinnässä keskeisiä toimenpiteitä ovat päästöjen välttäminen ja niiden vähentäminen ja tähän pyritään korvaamalla uusiutuvalla energialla fossiilisten energianlähteiden käyttöä. Uusiutuvan energian käyttöä tuetaan erilaisilla kannustimilla, sillä sen tuotanto ja käyttö on yleensä kalliimpaa kuin fossiilisten energianlähteiden. Päästökauppa ajaa energiamarkkinoita kohti puhtaampaa energian tuotantoa, sillä se nostaa fossiilisen energian tuottamisen kustannuksia ja kannustaa päästöttömiä energian tuotantotapoja. Päästöoikeuden hinta on ollut viime aikoina selkeässä nousussa, joten se kannustaa uusiutuvan energian käyttöön ja näin ollen markkinat voivat avautua laajemmin biohiilelle. Ensimmäinen alaluku

3.1 Kompensaatiomarkkinat

Päästöjen kompensoinnin idea on, että kumotaan itse aiheuttamia päästöjä tai sidotaan omia päästöjä vastaava määrä jossain muualla. Päästöjä voidaan kompensoida ostamalla päästöyksikköjä, jotka sitten palveluntarjoaja mitätöi, ettei samaa päästöhyvitystä voi laskea uudestaan jonkun toisen hyväksi. Päästöyksiköt mitataan hiilidioksidiekvivalenttitonneina, eli yhden päästöyksikön ostaminen merkitsee 1 000 kg hiilidioksidipäästöjen kompensointia. Kompensaatiotoimien lähtökohtina on vähentää khk-päästöjä siellä, missä se on halvinta, suorittaa päästöoikeuksia edullisemmat päästöjen vähentämistoimet ja markkinoilla olevien päästöoikeuksien ollessa edullisempia kuin omaan tuotantoon tehtävät päästöjen vähennystoimet, on edullisempaa hankkia päästöoikeuksia kuin vähentää omia päästöjä (TEM 2021).

Päästökompensoinnille on sekä pakolliset, että vapaaehtoiset markkinat. Pakollisille markkinoille, kuten EU:n päästökauppa EU ETS (Emission Trading System), osallistuvat valtiot ja yritykset, jotka ovat lain mukaan velvoitettu alentamaan ja hyvittämään tuottamiaan vuosittaisia khk-päästöjä. Vapaaehtoiset markkinat toimivat irrallaan pakollisista markkinoista ja vapaaehtoisia päästöhyvityksiä voivat hankkia niin yritykset, kunnat ja valtiot kuin yksityiset henkilöt. Päästöyksiköitä ostamalla tuetaan erilaisia päästöjä vähentäviä toimia, kuten

uusiutuvan energian kehittämistä ja käyttöönottoa, khk-päästöjen talteenottoa sekä metsitehtään uusia alueita ja suojellaan metsiä hakkuilta.

Jotta kompensatioita aidosti tapahtuu, on päästövähennyksen täytettävä seuraavia kriteereitä:

Todellinen: Päästövähennysten ja hiilensitomisen tulee oikeasti tapahtua.

Mitattava: Kaikkien päästövähennysten ja -poistojen tulee olla laskettavissa, niihin käytetään validoituja mittaustapoja ja niiden tulee olla verrattavissa lähtötilanteeseen.

Pysyvä: Päästövähennysten- ja poistojen tulee olla pysyviä. Jos hankkeissa on riski hiilivuotoon, on varmistettava riskien minimointi ja olla toimet kumoutuneiden päästövähennysten korvaamiseen. Kansainvälisesti on sovittu pysyvyyden rajan olevan 100 vuotta.

Täydennettävyys: Täydennettävyys on kompensatioiden peruskriteeri, jolla tarkoitetaan, ettei päästövähennystä olisi tapahtunut ilman, että siihen olisi rahallisesti panostettu.

Todennettu: Kaikki päästövähennykset ja -poistot tulee olla hyväksytyt ja riippumattoman kolmannen osapuolen todentamia.

Yksilöllinen: Yhteen päästövähennysyksikköön voidaan liittää vain yksi hyvitetty hiilidioksidiekvivalenttitonni ja kaikista päästövähennysyksiköistä pidetään kirjaa (Maailman Pankki 2019).

Päästökompensaatioiden luotettavuuden vuoksi, niitä vahtivat erilaiset sertifikaatit, joista osa on yksityisiä ja osa kansainvälisten sopimusten tuottamia. Sertifikaatit pitävät yllä päästöyksikkörekisteriä ja valvovat, että seuraamista, raportointia ja todentamista koskevat vaatimukset täyttyvät kompensatiotoimien osalta. Tärkein toimija on Kioton ilmastopöimuksen myötä alkunsa saanut YK:n perustama CDM (Clean Development Mechanism), joka on ensimmäinen ja tärkein päästökompensaatioiden täytäntöönpanojärjestelmä. Merkittäviä yksityisiä, vapaaehtoisten markkinoiden sertifikaatteja ovat muun muassa Verra (ennen Verified Carbon Standard, VCS) ja Gold Standard, joilla on samankaltaiset vaatimukset kuin CDM:lla ja niitä käytetään globaalisti. Lisäksi on olemassa alueellisia ja kansallisia

pienempiä sertifikaatteja, kuten Climate Action Reserve (CAR), joka toimii Yhdysvalloissa ja Meksikossa. (Broekhoff et al. 2019).

3.2 Päästökauppa

Päästökauppajärjestelmässä yritysten tulee hankkia päästöoikeuksia tuottamilleen kasvihuonekaasupäästöille. Päästökaupan piiriin kuuluvat valtiot ja suuret energiantuotanto- ja teollisuuslaitokset. Idea päästökaupasta syntyi Kioton ilmastosopimuksen myötä vuonna 1997 ja sitä on käyty Euroopan unionin sisällä vuodesta 2005 lähtien. Päästökaupalla pyritään edistämään uusiutuvien energianlähteiden käyttöä ja fossiilisista luopumista. Päästöoikeuksien määrää vähennetään markkinoilta vuosittain ilmastotavoitteiden saavuttamiseksi. Päästö-kauppoja on useita ja niistä merkittävin toimija on EU:n päästökauppa EU ETS (Emission Trading System), johon kuuluu EU:n jäsenvaltioiden lisäksi Islanti, Norja ja Liechtenstein. Päästökauppa kattaa 40 prosenttia Euroopan khk-päästöistä, joihin luetaan hiilidioksidipäästöt energian tuotannosta, energiaintensiivisestä teollisuudesta ja kaupallisesta lentoliikenteestä EU:n sisällä, alumiinin tuotannon PFC-fluoriyhdisteet sekä tiettyjen tuotantoprosessien typpioksidipäästöt. (Poussa 2019). Suomen kansallinen päästökauppaviranomainen on Energiavirasto. Sen tehtävänä on hoitaa päästökauppaan liittyvät lupa-, rekisteri- ja valvonta-asiat, järjestää huutokauppa päästöoikeuksista ja hyväksyä päästökauppatodentajat (TEM 2021).

Euroopan unioni on asettanut tavoitteet päästöjen vähennyksille. EU:n jäsenmailla on käytössä myös omia järjestelmiä, joilla ne pyrkivät edesauttamaan keinoja päästövähennyksille. Päästöoikeuksia jaetaan joko ilmaiseksi tai huutokaupalla ja EU:n markkinoilla niitä voidaan ostaa ja myydä vapaasti. Päästöoikeudet hinnoitellaan hiilidioksidiekvivalenttitonneina (Poussa 2019). Hinta päästöoikeuksille muodostuu kysynnän ja tarjonnan lain mukaan, eli kysynnän ollessa korkeaa, nostetaan päästöoikeuden hintaa, jolloin ostajien ostohalut saadaan pieneneväksi. Vuonna 2019 EU:n päästökauppaan liitettiin markkinavakauserä MSR (Market Stability Reserve). Idea markkinavakauserässä on ylitarjonnan aikaan poistaa päästöoikeuksia markkinoilta ja palauttaa oikeuksia, kun tarjontaa on liian vähän.

Osa päästöoikeuksista voidaan myös poistaa kokonaan varannoista, jos niitä on ylimääräisiä. MSR:n tavoitteena on estää päästöoikeuksien hinnan aleneminen liian halvaksi, jolloin se puskee saavuttamaan päästötavoitteita (Poussa 2019). Kuvassa 1. on esitetty Euroopan päästöoikeuden hinnan kehitys vuodesta 2012 lähtien.



Kuva 2. Päästöoikeuden (EU ETS) hinnan kehitys. (Trading Economics 2022)

Kuvaa tarkastellessa huomataan, että vuodesta 2012 eteenpäin päästöoikeuden hinta pysyy kohtuullisen stabiilina, kunnes vuodesta 2018 lähtien päästöoikeuden hinta lähtenyt selkeästi nousemaan. Kuvaajasta voidaan lisäksi havaita hinnassa tapahtunut notkahdus vuoden 2020 alussa, joka johtuu koronapandemian puhkeamisesta. Vuoden 2021 aikana päästöoikeuksien hinta on kohonnut huomattavasti niiden noustessa 30 € / hiilidioksiditonni aina yli 90 € / hiilidioksiditonni. Päästöoikeuden hinnan kasvua selittää kylmempi talvi ja maakaasun hinnan nouseminen, minkä takia sen polttaminen ei ole ollut kannattavaa. Samalla EU:n ilmastopolitiikka on kiristynyt ja päästöoikeuksien määrää on rajattu, jolloin niiden hinta on noussut. Maakaasun käyttöä energian tuotannossa on korvattu edullisemmalla, mutta korkeampi päästöisellä kivihiilellä. Kivihiiltä poltettaessa tulee päästöoikeuksia hankkia enemmän, mikä nostaa päästöoikeuden hintaa. Maakaasun kasvaneeseen hintaan on vaikuttanut olennaisesti Venäjän ja Ukrainan välinen konflikti.

Ilmastonmuutoksen torjuntaa varten Euroopan Unioni on asettanut erilaisia toimia ja tavoitteita, joilla se pyrkii täyteen hiilineutraaliuteen. EU saavutti asettamansa 20-20-20-tavoitteen, jossa pyrittiin alentamaan khk-päästöjä 20 %, kasvattamaan uusiutuvien energianlähteiden osuutta 20 % ja kohottamaan energiatehokkuutta 20 % vuoden 1990 tasoista vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteet jaettiin jäsenvaltioille niiden päästönvähennysmahdollisuuksien mukaan. Osa jäsenvaltioista, kuten Suomi ja Saksa ei kyennyt kansallisiin päästönvähennystavoitteisiin, joten ne joutuivat turvautumaan päästöoikeuksien ostamiseen muilta EU-valtioilta päästökseen tavoitteisiinsa. Seuraavat ilmastotavoitteet EU on asettanut vuosiin 2030 ja 2050. Vuoteen 2030 mennessä tavoitteena on laskea nettopäästöjä 55 % vuoden 1990 tasosta. Euroopan unionin ilmastotavoite on olla täysin hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä (EEA 2021).

4 Markkinat Suomessa

Useat yritykset Suomessa ovat kiinnostuneita biohiilestä ja ne ovatkin selvittäneet, millaisia mahdollisuuksia biohiili voi niille tarjota. Suomessa biohiilimarkkinat keskittyvät enemmän biohiilen tutkimiseen ja laitosteknologian kehittämiseen kuin itse biohiilen valmistukseen.

4.1 Suomalaisia biohiilyrityksiä ja -hankkeita

Suomessa biohiiltä hyödyntäviä ja tutkivia yrityksiä ja hankkeita on useita ja tässä luvussa niistä esitellään tarkemmin viisi projektia, joissa biohiiltä hyödynnetään tai tuotetaan eri käyttötarkoituksiin. Osa projekteista ovat edelleen käynnissä, mutta kaikki eivät ole saaneet jatkoa enää pilottiajojen jälkeen.

4.1.1 Torrec Oy

Torrec rakensi ensimmäisenä Suomessa biohiilen pilottilaitoksen Mikkeliin vuonna 2014 ja se tuotti biohiiltä torrefiointiprosessilla. Torrecin biohiilen valmistusprosessin kolme vaihetta olivat raaka-aineen kuivaus, torrefiointikäsitteily sekä sen jälkeen murskaus ja pelletointi. Laitos toimi Etelä-Savon Energian sähköä ja kaukolämpöä tuottavan biovoimalan välittömässä läheisyydessä. Koelaitoksen kapasiteetti oli 10 000 t/a ja se oli skaalattavissa 100 000 t/a tuotantokapasiteettiin asti. Torrecin liikeideana oli biohiili- ja torrefiointiteknologian kehittäminen ja kaupallistaminen. Laitoksissa oli suunniteltu käytettävän vähempiarvoisia puubiomassoja kuten puunkuorta ja sahanpurua biohiilipellettien raaka-aineena. Torrefiointiprosessiin tarvittava lämpö saatiin omavaraisesti esikäsitteilyprosessin sivuvirrasta. Biohiilen käyttökohteena pidetään kivihiilivoimalaitoksia, joissa biohiilellä voidaan korvata jopa yli puolet käytetystä kivihiilestä (Torrec 2022). Mikkeliissä toiminut laitos purettiin pilottijakson jälkeen. Torrecin oli myös määrä toimittaa OOO Baltic Forest Companylle (OOO BFC) biohiilen valmistuslaitos Kaliningradin alueelle, mutta projekti ei edennyt suunnitteluvaihetta pidemmälle (Luonnonvarakeskus 2015). Torrec ei ole toistaiseksi julkaissut jatkoa liiketoiminnalleen.

4.1.2 SSAB

Pohjoismaiden suurin raakateräksen tuottaja SSAB on testannut biohiilen käyttöä teräksen valmistuksessa Raahen tehtaalla kahdesti vuosina 2018 ja 2019, jossa sijaitsevat Suomen ainoat masuunit. Testeissä fossiilisesta hiilestä korvattiin ensin 4 % ja sitten 10 % osuudet biohiilellä. Testien perusteella ainakin 10 % osuus fossiilisesta hiilestä olisi korvattavissa biohiilellä, mikä vähentäisi jatkuvana käyttönä hiilidioksidipäästöjä noin 100 000 tonnia vuodessa. SSAB:n omien laboratoriokokeiden perusteella biohiilen osuutta voisi kasvattaa jopa 20 %:iin käyttäessä nykyisiä teknisiä ratkaisuja. Laitteistomuutoksilla biohiilen osuutta voisi mahdollisesti kasvattaa edelleen, mutta lisätestejä SSAB ei ole enää tekemässä biohiilen käytön osalta. Haasteena biohiilen käytölle on sen saatavuus, sillä toiseen testitaijoon valmistettua 820 tonnia biohiiltä valmistettiin kolme kuukautta ja tällä hetkellä Suomesta ei löydy toimijaa, jolla olisi riittävä kapasiteetti toimittaa biohiiltä SSAB:n tarvitsemia määriä (SSAB 2019).

SSAB näkee biohiilen siirtymäpoltoaineena tavoitellessaan fossiilivapaata teräksentuotantoa. Päästövapaan teräksen SSAB näkee saavuttavansa, kun se korvaa hiilimasuunit uudella vetyteknologialla. Uudessa teknologiassa vetyä käytettäisiin raudan pelkistämiseen. Tavoitteena yhtiöllä on saada fossiilivapaata terästä markkinoille vuonna 2026 käyttäen vetyä ja olla kokonaan hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä (SSAB 2022).

4.1.3 Carbofex Oy

Carbofex alkoi tuottamaan biohiiltä koelaitoksessaan vuonna 2017 ja se sijaitsee Tampereen Hiedanrannassa. Biohiiltä tuotetaan kuivatislaamalla eli pyrolyysillä, jossa raaka-aineena käytettävä metsähake lämmitetään nopeasti 800 °C hapettomissa oloissa (Mansikka 2020). Hakkeen ohella raaka-aineeksi sopii oljet, pähkinän kuoret tai muu biojäte. Tuotantokapasiteetti laitoksella biohiilen osalta on 700 t/a ja pyrolyysiöljyä laitos tuottaa 600 t/a. Laitoksen energiaomavaraisuus on 300 prosenttia, eli se tuottaa kolme kertaa enemmän energiaa kuin käyttää (Carbofex 2021). Ylimääräisen kaukolämmön Carbofexilta on ostanut Tampereen Sähkölaitos vuodesta 2018 lähtien (Palomaa 2019). Carbofexin biohiili on tarkoitettu

maanparannusaineeksi ja 90 prosenttia tuotetusta biohiilestä menee vientiin pääosin Ruotsiin. Biohiilen ja kaukolämmön lisäksi laitos tuottaa pyrolyysikaasua ja -öljyä sekä tarjoaa teknologiaosaamista (Mansikka 2020). Carbofex ilmoittaa Hiedanrannan biohiilitehtaansa olevan Euroopan ykköslaitos.

Perinteisessä hiilineutraalissa bioenergiantuotannossa 100 % hiilestä palaa takaisin ilmakehään. Carbofexin tuotannossa biomassan sisältämästä hiilestä 50 % palautuu maaperään biohiilenä ja 50 % vapautuu ilmakehään hiilidioksidina energiantuotannossa. Tuotettua lämpöenergiaa voidaan siis pitää hiilinegatiivisena, sillä kokonaisprosessi sitoo enemmän hiiltä kuin se tuottaa päästöjä. Carbofexin biohiili on sertifioitu hiilen poistoon (CORC – CO2 Removal Certificate), eli sitä voi käyttää päästökompensaatiokeinona. Sertifikaatin on myöntänyt Puro.earth. Carbofexin tarjoaman hiilensidontapalvelun edellytyksenä on, että biohiili ei pääse missään vaiheessa käyttöikänsä palamaan eikä näin ollen vapauttamaan hiilidioksidia ilmakehään (Carbofex 2021).

4.1.4 Neova Oy

Turvetuotannostaan tunnettu Neova Oy (entinen Vapo Oy) on vuonna 2021 aloittanut tuotannon Ilomantsin aktiivihiihilaitoksellaan. Laitos ehti tuottaa 200 tonnia aktiivihiihtä, kunnes sen tuotanto jouduttiin keskeyttämään aktivointiuunissa havaitun sortuman johdosta. Tuotantoa on määrä jatkaa vuoden 2022 lopulla. (Kämppi 2022) Ilomantsin tehdas on ensimmäinen pohjoismainen aktiivihiihilaitos ja se luo näin ollen uuden vientiteollisuuden alan Suomeen. Laitos tuottaa aktiivihiihtä lisäksi myös kaukolämpöä, joka kattaa lähes täysin Ilomantsin kaupungin kaukolämmön tarpeen. Aktiivihiihellä tarkoitetaan suodattamiskäyttöön tarkoitettua biohiiltä ja sillä voidaan käyttää esimerkiksi veden tai ilman puhdistamiseen. Aktiivihiihtä raaka-aineena laitos käyttää paikallisia raaka-aineita, turvetta ja puuta. Laitoksen käynnistyessä sen tuotantokapasiteetti on 5 000 t/a ja sitä on tarkoitus kasvattaa suuremmaksi. Neova suunnittelee lisäksi useamman aktiivihiihtitehtaan perustamista Suomeen. Aktiivihiihtibisnes on globaalisti 4 miljardin euron suuruinen. Valtaosa Euroopassa myydystä aktiivihiihtä tuodaan Aasiasta. Neova pyrkii kasvamaan Euroopan johtavaksi

aktiivihiihlen tuottajaksi ja saavuttamaan Euroopan markkinoista 10 prosentin osuuden. Neovan aktiivihiihlibrändi kantaa nimeä Novactor. (Novactor 2022).

4.1.5 Black-Green –hanke, Joensuu

Yritysrahoitusyhtiö Taaleri yhteistyössä Savon Voiman kanssa aikovat perustaa biomassan-hankintayhtiön Joensuun Biohiili Oy:n. Biohiilitehdas nousee Iksenvaaraan ja sen rakentaminen aloitetaan vuoden 2022 keväällä ja tehtaalla käynnistytään vuonna 2023. Laitoksen kokonaistuotanto olisi noin 60 000 tonnia torrefioitua biohiiltä vuodessa. Raaka-aineena tehdas käyttää metsäteollisuuden ja metsänhoidon sivuvirtoja, puunkuorta ja ensiharvennusrankaa. Biohiiltä tehdas on määrä tuottaa maanparannus- ja suodatuskäyttöön sekä kivihiihlen korvaajaksi muun muassa sementti- ja terästeollisuuden tarpeisiin. Biohiilen lisäksi tehdas voi hyödyntää sivuvirtojaan esimerkiksi kaukolämmön tuotantoon. Hankkeessa on mukana myös Luonnonvarakeskus, Itä-Suomen yliopisto, Karelia ammattikorkeakoulu sekä Business Joensuu ja yhteistyön tavoitteena on tehdä tuotekehitystä ja luoda uusia käyttökohteita torrefioidulle biomassalle. Tehtaan tuotantoprosessi tulee perustumaan Andritzin ja NextFuelin kehittämään teknologiaan, jota on testattu Itävallassa toimivassa demolaitoksessa. Taaleri pitää todennäköisenä, että se rakentaisi lisää tuotantolaitoksia, jotka sijaitsisivat Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. (Saarno 2021).

4.2 Biohiilen markkinatilanne

Tällä hetkellä kiinnostus biohiileen energian tuotannon polttoaineena on matalalla, sillä hyvälaatuisen biohiilen saatavuus on ollut heikkoa, hinta ei ole ollut kilpailukykyinen, tuotanto ei ole ollut vakiintunutta ja monet biohiiltä testanneista yrityksistä antavat enemmän huomiota muille uusiutuvan energian ratkaisuille. Markkinat ovatkin keskittyneet muihin biohiilen hyödyntämismahdollisuuksiin energiakäytön ulkopuolelta. Torrefioidun biomassan markkinat voivat kuitenkin elpyä Black-Green hankkeen edetessä ja hankkeessa mukana olevan Itä-Suomen Yliopiston mukaan biohiilen läpimurto olisi vielä mahdollinen (UEF 2021). Niin ikään kasvanut päästöoikeuden hinta, turpeen energiakäytön alasajo ja halu irtaantua Venäjän tuottamista fossiilisista polttoaineista voivat luoda otollisen markkinaraon biohiilelle. Energiakäytön ulkopuolella, esimerkiksi suodatus- ja maanparannuskäytön

osalta, biohiilimarkkinat näyttävät lupaavammilta Neovan ja Carbofexin kaltaisten yritysten osalta, jotka ovat vakiinnuttaneet asemansa. Vaikka Neovan aktiivihiilituotanto on kokenut takaiskuja, sen tuotteille on kova kysyntä ja toimintaa kasvatetaan ja kehitetään, jotta markkinoiden tarpeisiin voidaan vastata. Hiilensidontapalveluja ja kasvualustoihin käytettävää biohiiltä tuottavan Carbofexin liikevaihto on huomattavassa noususuhdanteessa ja myös Carbofex on laajentamassa toimintaansa. Etenkin Carbofexin tarjoama hiilikompensatiopalvelu voi kasvattaa osuuttaan yrityksen liiketoiminnasta, sillä ekologisuus ja ilmastonmuutoksen torjunta ovat kasvattaneet arvoaan ja yritykset ovat yhä kiinnostuneempia hyvitämään päästöjään.

Biohiilelle on useita kilpailijoita energiasektorilla. Lämmöntuotannon osalta kaukolämpöala on murroksessa ja uusiutuvia lämmöntuotantomuotoja innovoidaan jatkuvasti. Tähän asti kaukolämmön tuotannossa fossiilisia kivihiiltä ja maakaasua on korvattu perinteisillä biopolttoaineilla, kuten hakkuutähteillä ja pelleteillä. Vaikka Helen on testannut Hanasaaren ja Salmisaaren kivihiilivoimalaitoksissaan biohiiltä korvaavana polttoaineena (Blackwood 2016), ei sitä ole kuitenkaan testiajojen lisäksi enää käytetty ja seospoltossa käytetään tavallista puupellettiä kivihiilen kanssa (Helen 2022). Kivihiilestä irtaantumisen osalta suunta näyttää siltä, että sitä pyritään korvaamaan muilla uusiutuvan energian ratkaisuilla kuin biohiilellä. Esimerkiksi Helen on aloittanut projektin Salmisaaren voimalaitoksen yhteyteen rakennettavasta lämpöpumpusta, joka hyödyntää meriveden lämpöä ja voimalaitoksen omaa jäähdytysvesikiertoa lämmönlähteinä. Merivesilämpöpumpulla pyritään korvaamaan kivihiilen käyttö lämmöntuotannossa ja olemaan yksi askel kohti ilmastoneutraalia energian tuotantoa (Helen 2021). Yleisesti tulevaisuuden lämmöntuotantoratkaisut näyttävät keskittyvän enemmän ei-polttavaan teknologiaan, jolloin pyritään hyödyntämään esimerkiksi geolämpöä ja tuulisähköllä tuotettua lämpöä sekä keräämällä hukkalämpö talteen tehokkaammin.

Yhtenä mullistavana tekijänä energiasektorilla nähdään vety ja sen tuoma vetytalous (Laurikko et al. 2020). Vedystä on puhuttu vihreän energian ratkaisuna jo useita kymmeniä vuosia, mutta vasta nyt sen mahdollisuudet energijärjestelmässä alkavat realisoitumaan. Tulevaisuuden energijärjestelmässä vety olisi tärkeässä roolissa, missä sillä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita, kuten maakaasua ja kivihiiltä, eikä sen polttaminen tuota lainkaan hiilipäästöjä ja energian lisäksi ainut sivutuote on vesi (Sallinen 2021). Käyttökohteina vety

nähdään esimerkiksi kaasuturbiinien ja meesauunien polttoaineena sekä jo aiemmin mainitussa fossiilivapaan teräksen valmistuksessa. Fossiilisista polttoaineista luovuttaessa energian varastointi nousee tärkeään rooliin. Vety tarjoaa ratkaisun tuuli- ja aurinkosähkön tuotantohuippujen varastointiin, Power-to-X-tekniikan (P2X) avulla. Power-to-X-tekniikassa sähkön avulla tuotetaan jotain ainetta, tässä tapauksessa vetyä, jota saadaan muodostettua elektrolyysillä vedestä. Näin saadaan joustovaraa tuuli- ja aurinkoenergian tuotannossa ja kulutuksessa tapahtuvaan vaihteluun. P2X-tekniikalla voidaan tuottaa edelleen synteettisiä hiilivetyjä hiilidioksidista ja vedystä. Vedyn tuotantoprosessin integroiminen muiden biolaitosten yhteyteen kasvattaa sen tehokkuutta ja kerättyä elektrolyysissä syntyvä hukkalämpö talteen ja hyödynnettäessä se kaukolämpönä, tuotannon hyötysuhde paranee edelleen. (Laurikko et al. 2020).

5 Yhteenveto

Biohiili on biomassasta niukkahappisella palamisella, eli pyrolyysillä, valmistettavaa kiinteää ainetta, jolla on korkea hiilipitoisuus. Biohiilelle on kehitellyt useita käyttötarkoituksia aina energian tuotannosta lääketieteen sovelluksiin asti. Eri valmistustavat vaikuttavat olennaisesti valmiin biohiilen ominaisuuksiin ja millaisiin käyttökohteisiin sitä voidaan hyödyntää. Energiakäyttöön tuotettava biohiili valmistetaan yleisimmin torrefiointikäsitellyllä, muita biohiilen tuotantotapoja ovat märkähiilto ja höyryräjäytys. Biohiilen poltto- ja rakenneominaisuudet ovat selkeästi paremmat verrattaessa perinteisiin biopolttoaineisiin, merkittävimpien ominaisuuksien ollessa biohiilen parempi lämpöarvo, korkeampi energiatiheys ja aineen tasainen laatu sekä jauhautuvuus.

Monet julkaisut luovat biohiilestä kovin optimistisen kuvan ja sitä voi pitää ominaisuuksiensa ja mahdollisuuksiensa puolesta jopa ihmeaineena. Siltikään kaikki biohiiliprojektit eivät ole olleet onnistuneita ja osa suomalaisista biohiiliprojekteista on ajettu kannattamattomuuden tai riittämättömän kiinnostuksen takia alas. Merkittävänä ongelmina biohiilen käyttöönotolle ovat olleet sen kallis hinta sekä heikko saatavuus, sillä tuotanto ei ole ollut vakiintunutta ja tuotantomäärät ovat jääneet pieniksi. Vaikka biohiilen ollessa poltto-ominaisuuksiltaan muita biomassoja parempi polttoaine, sen markkinat eivät ole kasvaneet energiakäytössä aiemmin oletetulla tavalla. Useat biohiiltä vaihtoehtopolttoaineena testanneista yrityksistä ovat siirtyneet muihin tapoihin etsiessään ratkaisuja vähentäessään fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Biohiili voisi vielä saada jalansijaa energiamarkkinoilla, mikäli tuotanto saadaan vakiinnutettua, jolloin vanhojen tai uusien biohiileen kiinnostusta osoittaneiden yritysten kysyntään kyetään vastaamaan. Samoin Venäjän tuottamista polttoaineista on kova paine irtaantua ja biohiili voisi olla yksi tapa täyttämään aukkoa, jonka venäläisistä polttoaineista luopuminen jättää.

Tässä kandidaatintyössä luotiin katsaus, miten biohiilimarkkinat ovat kehittyneet Suomessa. Ilmastopoliittiset toimet ohjaavat vahvasti energiamarkkinoita kohti puhtaampaa energian

tuotantoa ja biohiili nähdään yhtenä mahdollisuutena fossiilisista energianlähteistä luovuttaessa. Päästöoikeuden hinnan ollessa tällä hetkellä korkealla, biopolttoaineiden ja näin ollen myös biohiilen käytön kannattavuus paranee. Suomen energiamarkkinoilla biohiilelle nähdään useita käyttökohteita eri teollisuuden aloilta. Biohiili nähdään etenkin kivihiilen korvaajana, niin voimaloiden pölypolttokattiloiden kuin terästeollisuuden masuunien polttoaineena. Monet yritykset ovatkin osoittaneet kiinnostusta biohiiltä kohtaan, mutta biohiiliprojektit eivät ole usein edenneet testausvaihetta pidemmälle. Energiakäytön ulkopuolella biohiilen asema on Suomessa vakiintuneempi ja biohiiltä tuotetaan maanparannus- ja suodatuskäyttöön sekä sitä tarjotaan myös hiilensidontapalveluna. Tulevaisuuden näkymät biohiilelle energian tuotannon ratkaisuna ovat tällä hetkellä epävarmat. Black Green -hanke luo toivoa biohiilen uudelle tulemiselle, mutta samalla muut kilpailevat polttoaineet ja energiantuotannon innovaatiot kuten vety keräävät enemmän huomiota. Vetyä pidetään pitempiaikaisempina ratkaisuna päästöttömän energiantuotannon haasteisiin, kun taas biohiili nähdään näyttelevän tilapäistä osaa luovuttaessa askel askeleelta fossiilisten polttoaineiden käytöstä.

Lähteet

Blackwood. 2016. Successful co-firing of Blackwood's advanced biomass pellets in Helen Oy's Salmisaari power plant in Helsinki, Finland. 28.6.2016. [Viitattu 16.4.2022] Saatavissa: https://sector-project.eu/fileadmin/downloads/press_releases/Blackwood-20160628-Successful-co-firing-of_Blackwood-pellets-at-Helen-Oy.pdf

Broekhoff, D., Gillenwater, M., Colbert-Sangree, T., Cage, P. 2019. Securing Climate Benefit: A Guide to Using Carbon Offsets. Stockholm Environment Institute & Greenhouse Gas Management Institute. [Viitattu 14.2.2022] Saatavissa: [Offsetguide.org/pdf-download/](https://offsetguide.org/pdf-download/)

Carbofex Oy. 2021. [verkkosivusto] [Viitattu 13.12.2021] Saatavissa: <https://www.carbofex.fi/Home>

European Environment Agency, EEA. 2021. EEA Report No 13/2021: Trends and projections in Europe 2021. ISBN 978-92-9480-392-4.

Flyktman, M., Kärki, J., Hurskainen, M., Helynen, S., Sipilä, K. 2011. Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa. VTT Technical Research Centre of Finland. ISBN 978-951-38-7779-8.

Funke, A., Ziegler, F., 2010. Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. [Viitattu 7.12.2021] Saatavissa: https://lut.primo.exlibrisgroup.com/permalink/358FIN_LUT/vvk1gv/cdi_crossref_primary_10_1002_bbb_198

Föhr, J., Seppänen, T., Suikki, J., Soininen, H. & Ranta, T. 2015. Torrefioidun biohiilipelletin kirjallisuustutkimus ja koeajot pilottilaitoksessa. LUT Scientific and Expertise Publications. Tutkimusraportit – Research Reports, 46. ISBN 978-952-265-880-7

Helen. 2021. Meriveden lämmöntalteenottohankkeen ympäristövaikutusten arviointi on käynnistynyt. Helen Uutiset 27.5.2021 [Viitattu 7.4.2022] Saatavissa: <https://www.helen.fi/uutiset/2021/meriveden-lammontalteenottohankkeen-ymparistovaikutusten-arviointi-on-kaynnistynyt>

Helen. 2022. Salmisaaren voimalaitos. [verkkosivusto] [Viitattu 12.4.2022] Saatavissa: <https://www.helen.fi/helen-oy/energia/energiantuotanto/voimalaitokset/salmisaari>

International Energy Agency, IEA. 2021. Coal 2021 - Analysis and forecast to 2024. [verkkokoaineisto] [Viitattu 15.3.2022] Saatavissa: <https://www.iea.org/reports/coal-2021>

Jukola, P., Huttunen, M. 2013. CFD simulation of biofuel and coal co-combustion in a pulverized coal fired furnace, VTT Technical Research Centre of Finland, Finnish – Swedish Flame Days 2013. [Viitattu 17.2.2022] Saatavissa: http://www.ffrc.fi/FlameDays_2013/Papers/Jukola1.pdf

Juuti, P. 2021. Historiallinen päätös: Kivihiilen poltto loppuu Helsingissä jo vuonna 2024 – Salmisaaren vihreämmät korvaajat ovat vielä arvoitus. Yle Uutiset 21.12.2021. [Viitattu 22.12.2021] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12241324>

Korpijärvi, K., Björnström, M., Karlsson, M., Raitila, J., Virkkunen, M., & Hurskainen, M. 2021. Biohiilen valmistus ja käyttö turvetta korvaavana tukipolttoaineena bioenergian tuotannossa. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Tutkimusraportti Nro VTT-R-717-21.

Kämppi, M. 2022. Suomen ensimmäisestä aktiivihiilitehtaasta löytyi 10 miljoonaa euroa maksava virhe – 35-metrinen uuni on purettava ja muurattava uudelleen. Yle Uutiset 31.3.2022. [Viitattu 4.4.2022] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12381033>

Laurikko, J., Ihonen, J., Kiviaho, J., Himanen, O., Weiss, R., Saarinen, V., Kärki, J., Hurskainen, M. 2020. National Hydrogen Roadmap for Finland. Business Finland. ISBN 978-952-457-657-4. [Viitattu 13.4.2022]. Saatavissa: https://www.businessfinland.fi/4abb35/globalassets/finnish-customers/02-build-your-network/bioeconomy--clean-tech/alykas-energia/bf_national_hydrogen_roadmap_2020.pdf

Maailman Pankki (World Bank). 2020. State and Trends of Carbon Pricing 2020. Washington, DC: World Bank. © World Bank. ISBN 978-1-4648-1586-7. [Viitattu 18.3.2022] Saatavissa: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33809>

Mansikka, H. 2020. Sampo Tukiainen ehti saada kylähullun maineen, nyt hänen johtamansa biohiilitehtaan tuotanto viedään käsistä: "En ole ikinä epäilijöitä säikähtänyt". Yle Uutiset 26.4.2021. [Viitattu 13.12.2021] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11289293>

Metallinjalostajat ry. 2014. Teräskirja. ISBN 978-952-238-121-7. [Viitattu 9.3.2022]. Saatavissa: https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/teraskirja_flip/mobile/index.html

Novactor. 2022. [verkkosivusto] [Viitattu 28.3.2022] Saatavissa: <https://www.novactor.com/>

Palomaa, S. 2019. Tampereella tehdään biohiiltä ja kaukolämpöä ensimmäisten joukossa maailmassa – uusi laitos kymmenkertaistaisi tuotannon. Yle Uutiset 11.7.2019. [Viitattu 13.12.2021] Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10873372>

Poussa, L. 2019. Päästökauppa remontissa. Sitra. [verkkoaineisto] [Viitattu 18.12.2021] Saatavissa: <https://www.sitra.fi/artikkelit/paastokauppa-remontissa/>

Saarno, T. 2021. Taaleri Biohiili. [verkkoaineisto] [Viitattu 18.4. 2022] Saatavissa: <https://woodjoensuu.fi/wp-content/uploads/2021/03/Tero-Saarno.pdf>

Sallinen, P. 2021. Valmiiksi vetyä varten. Energia Uutiset 10.12.2021. [Viitattu 13.4.2022] Saatavissa: <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/valmiiksi-vetya-varten.html>

Salo E. 2018. Current State and Future Perspectives of Biochar Applications in Finland. Master's thesis. [Viitattu 18.12.2021] Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/56920/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201801261337.pdf>

Schorr Christian, Muinonen Mika, Nurminen Fiia. 2012. Torrefaction of biomass. Miktech Oy Mikkeli.

SSAB. 2019. SSAB:n Raahen tehtaalla testattiin onnistuneesti fossiilisen hiilen korvaamista biohiilellä. [verkkoaineisto] [Viitattu 12.12.2021] Saatavissa: <https://www.ssab.fi/uutiset/2019/08/ssabn-raahen-tehtaalla-testattiin-onnistuneesti-fossiilisen-hiilen-korvaamista-biohiilell>

- SSAB. 2022. HYBRIT. Uusi vallankumouksellinen teräksenvalmistuksen teknologia. [verkkoaineisto] [Viitattu 13.12.2021] Saatavissa: <https://www.ssab.com/fi-fi/fossiilivapaa/hybrit-a-new-revolutionary-steelmaking-technology>
- Stelte, W. 2013. Steam explosion for biomass pre-treatment. Taastrup. Danish technological institute. [Viitattu 7.12.2021] Saatavissa: https://www.teknologisk.dk/_root/media/52681_RK%20report%20steam%20explosion.pdf
- Suopajarvi, H., Iljana, M. & Haapakangas, J. 2013. Biomateriapohjaisten ja vaihtoehtoisten raaka-aineiden ja tuotteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Bioreducer: Biomateriapohjaisen pelkistysaineen mahdollisuudet. Oulun Yliopisto. [Viitattu 10.3.2022] Saatavissa: https://www oulu.fi/sites/default/files/content/WP2%201-Fysikaaliset%20ja%20kemialliset%20ominaisuudet_netti.pdf
- Suomen virallinen tilasto (SVT). 2020. Kasvihuonekaasut. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2020. Helsinki: Tilastokeskus. ISSN=1797–6049. [verkkajulkaisu] [viitattu: 19.4.2022]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2022-03-17_kat_001_fi.html
- Suomen virallinen tilasto (SVT) 2022. Kivihiilen kulutus. ISSN=1798–2561. Joulukuu 2021. Helsinki: Tilastokeskus [verkkajulkaisu] [viitattu: 19.4.2022]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/kivih/2021/12/kivih_2021_12_2022-01-31_tie_001_fi.html
- Trading Economics. 2022. [verkkoaineisto] [Viitattu 29.3.2022] Saatavissa: <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>
- Thrän, D., Bienert, K., Carbo, M., Kiel, J., Wolfesberger-Schwabl, U., Lensselink, J. 2014. New results of the SECTOR Project: Solid Sustainable Energy Carriers from Biomass by Means of Torrefaction Bioenergy from Forest Topic 3: Processes for Solid Fuels from Forest Biomass. [Viitattu 15.3.2022] Saatavissa: https://sectorproject.eu/fileadmin/downloads/presentations/SECTOR_Bioenergy-from-forest_DThraen.pdf
- Tilastokeskus. 2022. Tilasto: Polttoaineluokitus 2022. [verkkoaineisto] [Viitattu 29.3.2022] Saatavissa: https://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Torrec Oy. 2022. [verkkosivusto] [Viitattu 8.12.2021] Saatavissa: <http://www.torrec.fi/index.php/fi/>

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2021. Kivihiilen energiakäyttöä korvaaviin hankkeisiin nyt 22,8 miljoonaa euroa. [verkkojulkaisu] [viitattu 16.12.2021] Saatavissa: <https://tem.fi/-/kivihiilen-energiakayttoa-korvaaviin-hankkeisiin-22-8-miljoonaa-euroa>

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2021. Päästökauppa - Työ- ja elinkeinoministeriön verkkopalvelu. [verkkoaineisto] [Viitattu 13.2.2022] Saatavissa: <https://tem.fi/paastokauppa>

Itä-Suomen Yliopisto, UEF. 2021. Biohiileen rakentuvan liiketoiminnan läpimurto on mahdollinen. Business Joensuun tiedote 26.4.2021. [verkkoaineisto] [Viitattu 19.4.2022] Saatavissa: <https://www.uef.fi/fi/artikkeli/biohiileen-rakentuvan-liiketoiminnan-lapimurto-on-mahdollinen>

VVY. 2019. Puhdistamolietteiden termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen. Helsinki: Vesilaitosyhdistys. Vesilaitosyhdistyksen monistesarja nro 56. ISBN 978-952-6697-60-50-5 [Viitattu 4.12.2021] Saatavissa: https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen_termiset_kasittelymenetelmat_ja_niiden_soveltuvuus_suomeen.pdf

Wei, W., Mellin, P., Yang, W., Wang, C., Hultgren, A., Salman, H. 2013. Utilization of biomass for blast furnace in Sweden - Report I: Biomass availability and upgrading technologies. KTH Industrial Engineering and Management. [Viitattu 10.3.2022] Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/328382629_Utilization_of_biomass_for_blast_furnace_in_Sweden_Report_I_Biomass_availability_and_upgrading_technologies

Wilén, C., Moilanen, A., Järvinen, T., Sipilä, K., Verhoeff, F., Kiel, J., 2013. Wood torrefaction pilot tests and utilisation prospects. VTT Technology 122. [Viitattu 10.3.2022] Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2013/T122.pdf>

