



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

BIOHIILILIIKETOIMINNAN KEHITTÄMINEN SUOMESSA

Katariina Määttä

TUOTANTOTALOUS

Diplomityö

Heinäkuu 2024

TIIVISTELMÄ

Biohiililiiketoiminnan kehittäminen Suomessa

Katariina Määttä

Oulun yliopisto, Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2024, 69 s.

Työn ohjaajat yliopistolla: Juuso Kivijakola & Pekka Tervonen

Ilmastonmuutoksen aiheuttama globaali haaste on kasvattanut tarvetta erilaisten hiilidioksidipäästöjä rajoittavien ratkaisujen löytämiseksi. Biohiili on tunnettu jo tuhansia vuosia, mutta kiinnostus siihen ja erityisesti sen hiilensitovuusominaisuuteen on kasvanut yhtä aikaa ilmastonmuutoksen vastaisten toimien kiireellisyyden ja kriittisyyden kasvaessa. Hiilensitovuuden lisäksi biohiilellä on monipuoliset fysikaaliskemialliset ominaisuudet ja laaja hyödynnettävyys muun muassa maataloudessa, rakentamisessa, metsien hoidossa, veden ja ilman suodattamisessa, maanparantamisessa sekä lämmön- ja energiantuotossa.

Biohiileen liittyvä liiketoiminta on toimialana pääosin nuorta ja siksi sen potentiaalin ja mahdollisuuksien tutkiminen on olennaista. Tässä työssä tutkitaan, millainen liiketoimintapotentiaali biohiilellä on Suomessa ja miten biohiililiiketoimintaa voisi kehittää. Tutkimus koostuu kirjallisuuskatsauksesta, suomalaisten biohiilitoimijoiden haastatteluista sekä kyselytutkimuksesta ja näiden pohjalta koostetuista tuloksista. Tarkoituksena on selvittää, miten eri toimijat voivat osaltaan vaikuttaa biohiililiiketoiminnan tehostamiseen ja parantaa edellytyksiä sen menestykselle.

Tuloksina esitellään biohiiliarvoketjun toimijoille toimintaehdotuksia, jotka voivat edistää biohiililiiketoiminnan potentiaalia ja kannattavuutta. Tärkeimmät toiminta-alueet ovat tiedon jakamisen lisääminen, biohiilen arvoketjujen optimoiminen sekä biohiilen markkinan kehittäminen rinnakkain sen pyrolyysiprosessissa syntyvän energian sekä myytävien hiilikrediittien markkinoiden kanssa. Työn tuloksia voidaan hyödyntää pohtiessa tapoja biohiililiiketoiminnan tehostamiseen.

Asiasanat: biohiili, kiertotalous, arvoketjut, liiketoimintaekosysteemi

ABSTRACT

Developing the biochar business in Finland

Katariina Määttä

University of Oulu, Degree Programme of Industrial Engineering

Master's thesis 2024, 69 pp.

Supervisors at the university: Juuso Kivijakola & Pekka Tervonen

The global challenge posed by climate change has increased the need to find solutions for limiting carbon dioxide emissions. Biochar is a highly carbon-rich product that has been known for thousands of years, but interest particularly in its carbon sequestration properties has grown in tandem with the increasing urgency for actions against global warming. In addition to carbon sequestration, biochar has diverse physicochemical properties and a wide range of applications, including in agriculture, construction, forestry, water and air filtration, soil improvement, and heat and energy production.

The business of biochar is still relatively young, making research on its potential and opportunities essential. This study examines the business potential of biochar in Finland and aims to find how the biochar business can be developed. The research consists of a literature review, interviews with different actors in the Finnish biochar value chain, and a web-based survey, from which results are compiled. The aim is to determine how different stakeholders can contribute to enhancing the efficiency of the biochar business and improve the conditions for its success.

The results present action proposals for the actors in the biochar value chain, which can promote the potential and profitability of the biochar business. The key areas of action are increasing knowledge sharing, optimizing biochar value chains, and developing the biochar market alongside the markets for carbon credits sold and energy produced in its pyrolysis process. The results of this study can be utilized in considering ways to enhance the biochar business.

Keywords: biochar, circular economy, value chains, business ecosystem

ALKUSANAT

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää biohiililiiketoiminnan potentiaalia ja kehitysalueita Suomessa. Biohiili oli aiheena minulle uusi, ja siihen perehtyminen osoittautui mielenkiintoiseksi prosessiksi. Aihepiiri kiinnosti erityisesti sen positiivisten ympäristövaikutusten takia, ja sen ajankohtaisuus teki tutkimuksesta mielekästä.

Tutkimuksen toteuttamiseen sain apua ja tukea monelta taholta. Haluan kiittää haastateltavia heidän ajastaan ja tarjoamistaan näkökulmista ja mielenkiintoisista keskusteluista sekä kyselytutkimukseen vastanneita yrityksiä ja toimijoita. Osoitan kiitokseni myös Oulun yliopiston tuotantotalouden yksikölle, työntekijöille ja kurssiopettajille jotka ovat mahdollistaneet sekä opiskeluvuoteni että tämän diplomityön kirjoittamisen. Kiitos tiimilleni, jonka kanssa tapaamiset toivat uusia ideoita ja piristivät etänä työskentelyä. Erityisen suuret kiitokset haluan osoittaa työni ohjaajille Juuso Kivijakolalle ja Pekka Tervoselle jatkuvasta tuesta ja hyvistä neuvoista, jotka auttoivat läpi koko prosessin.

Haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni niin tämän kirjoitusprosessin kuin koko kahdeksantoistavuotisen koulutienkin läpi kannatelleesta tuesta ja kannustuksesta. Lämmin kiitos myös opiskelukavereilleni jaetuista haasteista, onnistumisista ja kaikenkirjavista sattumuksista sekä niiden karttuessa rakentuneesta kultaisesta ystävytydestä, jonka uskon kantavan vielä paljon jaettuina opiskeluvuosia pidemmälle.

Oulussa 17.07.2024

Katariina Määttä
Katariina Määttä

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	6
1.1 Tutkimuksen tausta	6
1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset.....	7
1.3 Tutkimusprosessi.....	8
2 Kirjallisuuskatsaus	10
2.1 Kiertotalous	10
2.2 Liiketoimintamallit.....	11
2.2.1 Kestävät liiketoimintamallit	13
2.2.2 Kiertotalouden liiketoimintamallit	14
2.3 Kiertotalouden arvoketjut ja liiketoimintaekosysteemit	16
2.3.1 Kiertotalouden arvoketjut.....	18
2.3.2 Liiketoimintaekosysteemit	19
2.3.3 Liiketoimintaekosysteemit kiertotaloudessa	20
2.4 Biohiili.....	21
2.4.1 Biohiiliarvoketjut ja -toimitusketjut	23
2.4.2 Ekosysteemit biohiililiiketoiminnassa.....	25
2.4.3 Biohiilen tuotteistaminen	26
2.5 Teorian synteesi	29
3 Empiria.....	31
3.1 Tutkimusmenetelmät ja -prosessi.....	31
3.1.1 Laadullinen tutkimus.....	32
3.1.2 Puolistrukturoitu haastattelu.....	32
3.1.3 Temaattinen analyysi.....	33
3.1.4 Kyselytutkimus.....	34
3.2 Biohiilitoimijoiden haastattelut	34
3.2.1 Biohiilimarkkinan nykytila ja kehittyneisyys	39
3.2.2 Liiketoimintamahdollisuudet	40
3.2.3 Liiketoiminnan edellytykset ja kannattavuus	41
3.2.4 Liiketoiminnan haasteet	43
3.2.5 Muut liiketoimintaa ohjaavat tekijät – tutkimus, säädökset ja kannusteet ..	45

3.3 Haastattelujen synteesi	46
3.4 Kyselytutkimus biohiilen hyödyntämisen potentiaalista	48
3.5 Empirian synteesi: Biohiilen liiketoimintapotentiaali Suomessa.....	50
4 Tulosten tarkastelu	52
4.1 Tiedonjaon lisääminen	54
4.2 Biohiilen arvoketjun optimoiminen	56
4.3 Biohiilen ja sen sivutuotteiden markkinoiden kehittäminen rinnakkain.....	57
5 Yhteenveto ja pohdinta	59
5.1 Tutkimuksen arviointi	60
5.2 Pohdinta.....	61
5.3 Jatkotutkimuskohteet.....	62
LÄHDELUETTELO	64

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Nykyinen talousmallimme perustuu valtaosin lineaariseen näkemykseen, jossa luonnonvaroja käytetään tuotteiden valmistukseen ja ne päätyvät vuorostaan käytön jälkeen jätteiksi. Tämä malli olettaa luonnonvarojen olevan ehtymättömiä ja resurssien kulutuksen jatkuvan kasvun mahdollisena ilman merkittäviä seurauksia (Murray ym. 2017). Lineaarisen mallin kestävämmä on herättänyt huolta ympäristövaikutuksista ja resurssien ehtymisestä, ja tämä on johtanut kiertotalouden konseptin syntyyn ja kehittymiseen (Urbinati ym. 2017). Kiertotalous pyrkii korvaamaan lineaarisen mallin, optimoimaan resurssien käytön ja minimoimaan jätteen synnyn (Murray ym. 2017). Sen avulla pyritään säilyttämään tuotteiden, materiaalien ja resurssien arvo taloudessa mahdollisimman pitkään (Urbinati ym. 2017). Kiertotaloudella on potentiaalia edistää resurssitehokkuutta (Nußholz, 2017) ja tarjota ratkaisuja moniin nykypäivän ympäristöllisiin ja taloudellisiin haasteisiin (Geissdoerfer ym. 2018).

Biohiili on korkean hiilipitoisuuden omaava tuote, jolla on monia ympäristöä ja maaperää parantavia käyttökohteita (Lehmann & Joseph, 2015). Sen pysyvyys maaperässä sekä erinomaiset ravinteiden pidätysominaisuudet tekevät siitä ihanteellisen maanparannusaineen (Lehmann & Joseph, 2015), mutta sillä on paljon muitakin käyttökohteita lämmön ja energian tuotannosta savukaasujen puhdistukseen ja metallurgisista sovelluksista rakennusmateriaalikäyttöön (Weber & Quicker, 2018). Biohiili on kiertotalouden kontekstissa mielenkiintoinen ratkaisu, sillä sen käyttö edistää useaa kiertotalouden periaatetta – biohiilen maanparannuskäyttö tehostaa hiilensidontaa sekä parantamalla kasvien kasvua että estämällä hiilidioksidin vapautumisen biomassasta, joka olisi sen lahotessa vapautunut ilmakehään mutta voidaan biohiilenä laittaa maahan (Kurniawan ym. 2023).

Biohiilen talteenotto yhdessä kestävän biomassan tuotannon kanssa voi olla hiilinegatiivista ja siten sitä voidaan käyttää aktiivisesti hiilidioksidin poistamiseen ilmakehästä, mikä voi merkittävästi vaikuttaa ilmastonmuutoksen hillitsemiseen (Lehmann & Joseph, 2015). Biohiilen tuotannossa voidaan myös hyödyntää erilaisia sivuvirtoja ja jopa jätteeksi luokiteltuja biomassoja (Anderson ym. 2016). Sen tuotanto voidaan myös yhdistää bioenergian tuotantoon käyttämällä pyrolyysiprosessissa

vapautuvia kaasuja (Lehmann & Joseph, 2015), jolloin resurssien hyödyntäminen tehostuu.

Biohiilellä on suurta potentiaalia kaupallistamiseen, sillä sen ilmastonmuutosta hillitsevät ominaisuudet ovat herättäneet laajaa kiinnostusta (Xie ym. 2022). Toistaiseksi on kuitenkin vielä tekijöitä, jotka jarruttavat biohiilen laajempaa kaupallista käyttöä: nämä kysymykset liittyvät muun muassa raaka-ainesatavuuteen ja hintaan. Myös kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen ovat isoja kysymyksiä. Osa biohiililiiketoiminnasta perustuu kokeiluun ilman varmaa tietoa markkinoista. Tämän takia biohiilen liiketoimintapotentiaalissa on vielä tutkittavaa.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän työn tarkoitus oli selvittää, mitkä ovat edellytykset taloudellisesti kestävään biohiiliekosysteemiin Suomen mittakaavassa. Työssä tutkittiin myös biohiilen potentiaalia ja siihen kohdistuvaa tämänhetkistä kiinnostusta Suomessa, sekä sitä, miten biohiililiiketoimintaa voisi kehittää.

Tutkimuskysymykset:

TK1. Millaisia ovat biohiileen pohjautuva kiertotalouden liiketoimintaekosysteemi ja sen arvoketjut?

TK2. Millainen on biohiilen tämänhetkinen liiketoimintapotentiaali Suomessa?

TK3. Miten biohiililiiketoimintaa voisi kehittää Suomessa?

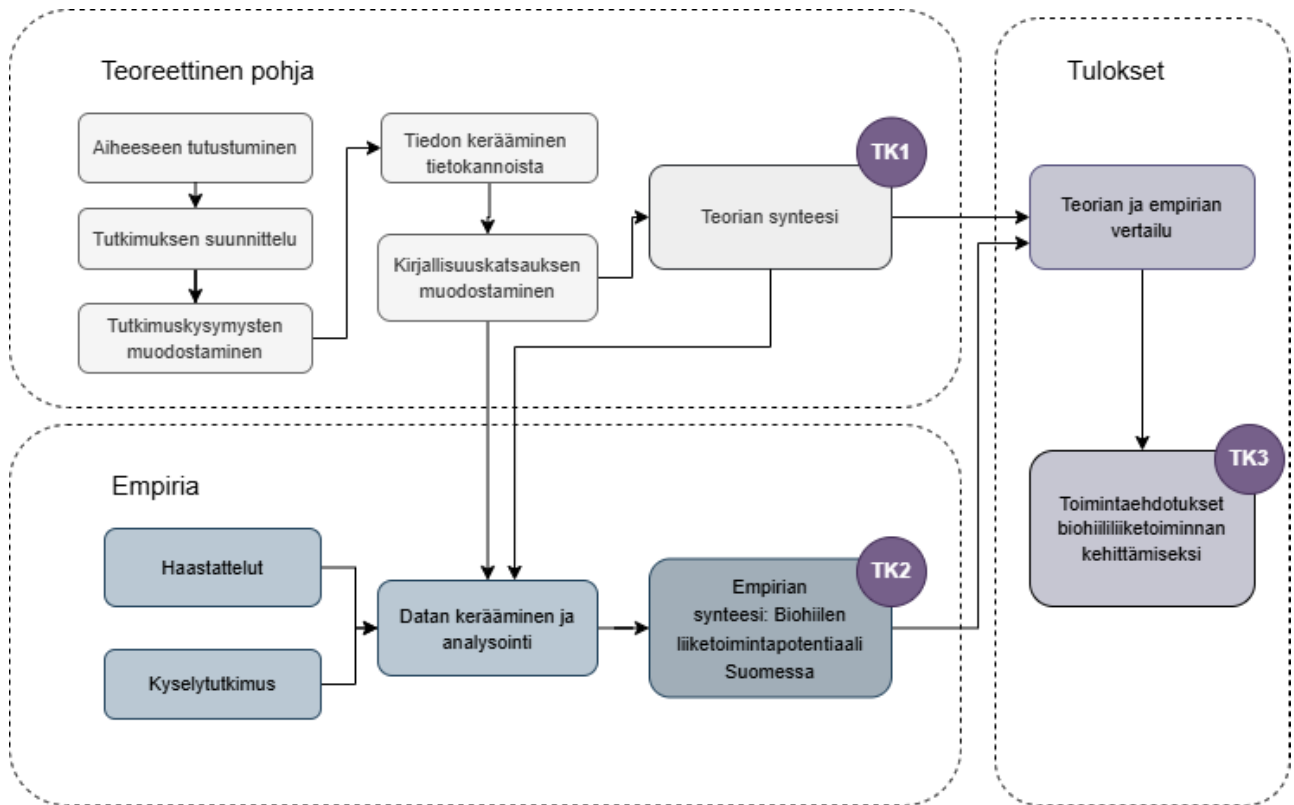
Kysymyksiin vastaamalla pyrittiin saamaan käsitys siitä, mitkä ovat vaatimukset toimivalle biohiiliekosysteemille, kuinka ne toteutuvat Suomessa ja miten arvoketjun eri vaiheisiin kuuluvat toimijat voisivat edistää biohiililiiketoimintaa. Tutkimusalueen relevanttius johtuu alueella biohiililiiketoimintansa käynnistämisessä ja toteuttamisessa hyvin eri vaiheissa olevista yrityksistä, joiden avulla alueelta on mahdollista luoda hyvä kokonaiskuva biohiililiiketoiminnan nykytilasta, näkymistä, vaatimuksista ja haasteista.

1.3 Tutkimusprosessi

Työ aloitettiin luomalla kirjallisuuskatsaus, jonka tehtävä oli tutustuttaa sekä työn tekijä että tuleva lukija aiheen perusteisiin. Kirjallisuuskatsauksen pohjamateriaalina käytettiin kansainvälisiä, tieteellisiä artikkeleita, joita haettiin Google Scholar-, EbscoHost-, sekä Scopus-tietokannoista. Näiden artikkeleiden pohjalta kirjallisuuskatsauksessa käytiin läpi kiertotalouden, biohiilen ja tuotteistamisen aihepiirit sekä arvoketjut ja liiketoimintaekosysteemi niin kiertotalouden kuin biohiilenkin kontekstissa. Lopuksi kirjallisuuskatsaus koottiin yhteen synteesiksi, joka vastaa ensimmäiseen tutkimuskysymykseen. Osuuden tavoitteena oli luoda lukijalle tarvittava tietopohja, jotta hänellä olisi valmius ymmärtää empiriaosio kontekstissaan.

Empiriaa varten tehtiin laadullista tutkimusta haastatteleamalla suomalaisia biohiilitoimijoita ja -asiantuntijoita. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina haastatteluina, ja ne toteutettiin Microsoft Teamsia hyödyntäen. Haastatteluissa keskusteltiin biohiililiiketoiminnan näkymistä, lupaavista aloista, haasteista, arvoketjuista ja vaikuttimista, ja niitä avattiin tutkimukseen temaattisen analyysin avulla. Lisäksi toteutettiin internetpohjainen kyselytutkimus, jonka tavoitteena oli vahvistaa haastatteluista saatua kuvaa biohiilen liiketoimintaympäristöstä ja -potentiaalista. Haastattelujen ja kyselytutkimuksen pohjalta muodostettiin kuva biohiilen tämänhetkisestä liiketoimintapotentiaalista Suomessa, eli vastattiin toiseen tutkimuskysymykseen.

Tutkimuksen lopuksi tuloksia analysoitiin kirjallisuutta ja empiriaa vertailemalla. Tämän vertailun pohjalta luotiin biohiiliarvoketjun toimijoille toimintaehdotuksia, jotka toimivat vastauksena kolmanteen eli viimeiseen tutkimuskysymykseen siitä, miten biohiililiiketoimintaa voisi Suomessa kehittää. Tutkimusprosessin vaiheet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Tutkimusprosessi.

2 KIRJALLISUUSKATSAUS

Tämän osion tarkoitus on muodostaa teoreettinen pohja tutkimuksen aiheille esittelemällä aiempaa tutkimusta. Tavoitteena on tutustuttaa lukija tutkimuksen aihepiireihin – kiertotalouteen, sen liiketoimintamalleihin, arvoketjuihin ja ekosysteemeihin, biohiileen sekä tuotteistamiseen – jotta lukijalle syntyy ymmärrys teoriasta, johon tutkimus kytkeytyy sekä valmius tulkita sen tuloksia.

2.1 Kiertotalous

Liike-elämässä vallalla on lineaarinen talouskäsitelmä, joka perustuu oletukselle ehtymättömistä luonnonvaroista, ja jossa resurssit päätyvät tuotannon ja käytön kautta nopeasti hukkaan (Murray ym. 2017). Urbinin ym. mukaan (2017) lineaarisessa taloudessa raakamateriaalit otetaan käyttöön, prosessoidaan valmiiksi tuotteiksi ja käytön jälkeen niistä tulee jätettä. He jatkavat kiertotaloudella pyrittävän korvaamaan tämä kertakäyttöisyyteen perustuva lineaarinen malli, joka ei ole kestävä. Kiertotalous kohdistaa huomion tämänhetkisen järjestelmän ongelmiin ja pyrkii tarjoamaan tilalle parempia ratkaisuja (Ellen McArthur Foundation 2021).

Ellen McArthur Foundationin (2021) mukaan kiertotalous on kestävämpi talousmalli, joka perustuu uudistuvalla energialla ja materiaaleilla ja joka on hajautettu, monipuolinen ja inklusiivinen. Heidän mukaansa kiertotalous luo uusia mahdollisuuksia yrityksille ja yhteiskunnalle. Digitaalinen innovaatio on tärkeässä osassa kiertotaloutta sen mahdollistajana ja kiihdyttäjänä (Ellen McArthur Foundation 2021). Geissdoerfer ym. (2018) kuvailee kiertotalouden perustuvan ajatukselle valjastaa yksityinen liiketoiminta palvelemaan siirtymää kohti kestävämpää talousjärjestelmää. Urbinin ym. (2017) mukaan kiertotalousajattelussa perinteisten liiketoimintamallien mukainen jatkumo resursseista tuotteiden kautta jätteiksi saa vielä yhden vaiheen, ja jatkumo saa muodon *resurssit – tuotteet – jäte – uusiutuvat resurssit*.

Kiertotalouden tavoite on vähentää hukkaa korostamalla resurssien uudelleenkäyttöä (Murray ym. 2017). Kiertotalous pyrkii muuttamaan resurssien käyttötapaamme suljettujen tuotantosysteemien avulla: näissä systeemeissä resurssit pidetään tuotannon ja käytön silmukassa pidempään uudelleen hyödynnettävinä ja arvoa tuottamassa (Urbini ym. 2017). Murray ym. (2017) kirjoittavat kiertotaloudessa pyrittävän tuotteiden

elinkaaren pidentämiseen laadusta ja ylläpidosta huolehtimalla, mikä madaltaa hukan syntymisen tahtia. Myös teollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen raakamateriaalina muille teollisuuden tarpeille on merkittävä kiertotalouden muoto (Murray ym. 2017). Kiertotaloudella on potentiaalia johtaa lisääntyneeseen resurssitehokkuuteen ja tuottaa ympäristöhyötyjä raaka-aineiden otannon ja jätteen tuotannon vähentämisen kautta (Nußholz, 2017).

Kiertotalous esitetään yleensä neljän kiertotalouden keskeistä periaatetta kuvaavan silmukan avulla (Urbinati ym. 2017). Nämä periaatteet ovat

- 1) tuotteen eliniän pidentäminen
- 2) uudelleenjakelu tai uudelleenkäyttö
- 3) uudelleenvalmistus ja
- 4) kierrätys.

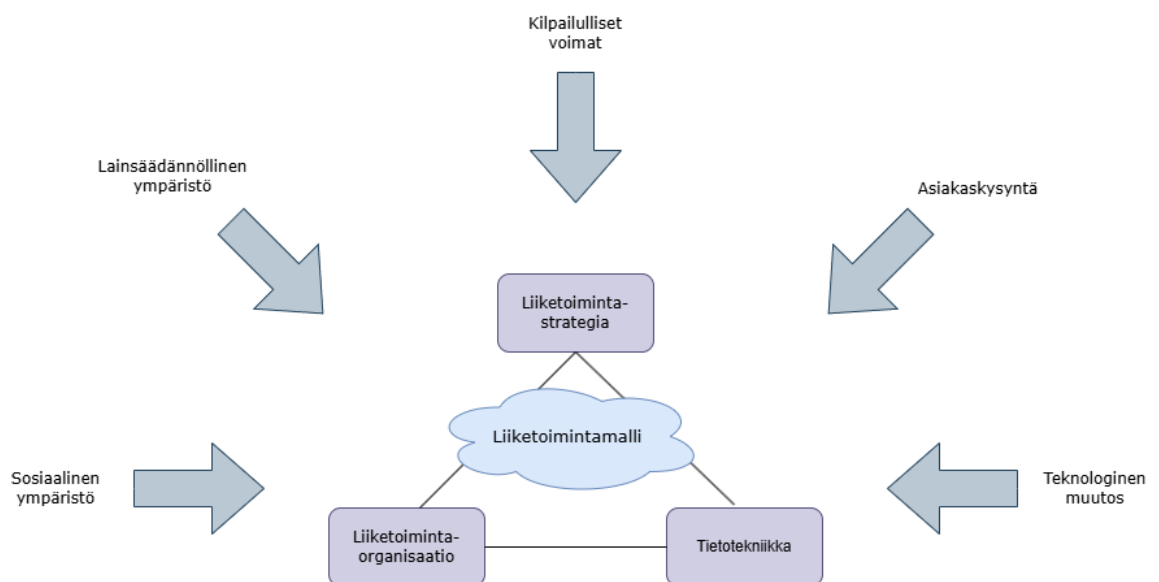
Tuotteen eliniän pidentäminen saavutetaan suunnittelemalla tuotteet kestävämpään käyttöä, mikä tukee kiertotaloutta vähentämällä kulutusta. Uudelleenjakelu ja uudelleenkäyttö tunnistavat ja säilyttävät jo olemassa olevien tuotteiden arvon. Uudelleenvalmistus tarkoittaa toimintaa, jolla elinkaarensa lopussa oleva tuote voidaan palauttaa uudenveroiseksi tai parempaan kuntoon. Kierrätys taas tarkoittaa prosessia, jonka avulla käytetyt materiaalit käsitellään uudelleenkäyttöön soveltuviksi. (Urbinati ym. 2017)

2.2 Liiketoimintamallit

Teece (2010) määrittelee liiketoimintamallin kuvaukseksi yrityksen tavasta tuottaa asiakkaille arvoa, josta nämä ovat valmiita maksamaan. Se kuvaa siis johdon oletuksia siitä, mitä asiakkaat haluavat, ja millä tavoin organisaatio voi vastata näihin tarpeisiin. Magretta (2002) taas toteaa liiketoimintamallien olevan ennen kaikkea tarinoita, jotka kertovat siitä, kuinka yritykset toimivat. Boonsin ja Lüdeke-Freundin (2013) mukaan liiketoimintamalli erittelee yrityksen ansaintamallin eli sen, kuinka yritys ansaitsee rahaa tarjoamalla tuotteita ja palveluita. Tähän sisältyy paitsi arvolupaus asiakkaille, myös arvoa luova kokoonpano, jossa yritys kytkeytyy toimittajiin ja hankkii voitollisella tavalla resursseja. Osterwalder (2004) määrittelee liiketoimintamallin abstraktina kuvauksena yrityksen liiketoimintalogiikasta. Pohjimmiltaan liiketoimintamalli on yrityksen organisaationaalinen ja taloudellinen ”arkkitehtuuri” (Teece, 2010).

Teece (2010) mukaan hyvä liiketoimintamalli tarjoaa asiakkaalle huomattavaa arvoa ja mahdollistaa tästä kannattavan osuuden keräämisen liiketoimintamallin hyödyntäjälle tuloina. Magretta (2002) toteaa, että onnistunut liiketoimintamalli tarjoaa paremman toimintatavan kuin olemassa olevat vaihtoehdot: se voi tarjota asiakkaille enemmän arvoa tai jopa kokonaan korvata vanhan toimintatavan ja muodostua standardiksi. Kaikki yritykset käyttävät liiketoimintamallia suorasti tai epäsuorasti (Teece, 2010).

Teece (2010) toteaa, että ollakseen kilpailuedun lähde, liiketoimintamallin on oltava jotain enemmän kuin pelkkä hyvä looginen tapa tehdä liiketoimintaa: mallin täytyy olla hiottu vastaamaan spesifejä asiakastarpeita. Yrityksen liiketoimintamalli voidaan nähdä innovaatioita välittävänä alustana, joka tuotannon ja kulutuksen yhdistämisen lisäksi myös ottaa huomioon sidosryhmät ja heidän odotuksensa myös liiketoimintaan liittymättömiltä alueilta (Boons & Lüdeke-Freund, 2013). Kuva 2 havainnollistaa liiketoimintamallin sijoittumista liiketoimintastrategian, liiketoimintaorganisaation ja tietojärjestelmien keskiöön. Keskelle asemoitu pilvi kuvaa liiketoimintamallia abstraktina kuvauksena yrityksen liiketoimintalogiikasta. Ympäristön vaikuttavia voimia ovat sosiaalinen ympäristö, lainsäädännöllinen ympäristö, kilpailulliset voimat, asiakaskysyntä ja teknologinen muutos. (Osterwalder, 2004)



Kuva 2. Ympäristö, liiketoimintamallit, strategia, prosessi ja tietojärjestelmät (mukaiillen Osterwalder, 2004).

2.2.1 Kestävät liiketoimintamallit

Kestävät liiketoimintamallit ovat liiketoimintamalleja, jotka tuottavat laajalle sidosryhmäjoukolle taloudellista, sosiaalista ja ympäristöarvoa (Bocken ym. 2014). Ne ovat liiketoimintamalleja, jotka pyrkivät ratkaisuihin kestävän kehityksen hyväksi luomalla lisäarvoa useiden sidosryhmien proaktiivisella hallinnalla ja ottamalla huomioon pitkän aikavälin näkökulman (Geissdoerfer ym. 2018). Bockenin ym. (2014) mukaan kestävän tulevaisuuden saavuttamiseksi olennaista on tehdä muutoksia liiketoimintamallin ytimeen, jotta toimintaa voidaan muuttaa alusta alkaen kestävämmäksi, eikä vain lisätä toimenpiteitä paikkaamaan liiketoiminnan kestäättömiä vaikutuksia.

Schaltegger ym. (2012) kertoo määritelmässään kestävän liiketoimintamallin tukevan vapaaehtoisia tai pääosin vapaaehtoisia toimia, jotka ratkaisevat tai hillitsevät ympäristöön liittyviä sekä sosiaalisia ongelmia. Määritelmän mukaan näiden toimien tulee myös luoda positiivisia, mitattavissa tai muuten todistettavissa olevia liiketoimintavaikutuksia. Bockenin ym. (2014) mukaan kestävän tulevaisuuden kiireellisiä haasteita käsitelläkseen liiketoimintamallien on keskityttävä pelkän taloudellisen voiton tavoittelun sijaan yhteiskunnallisten ja ympäristöllisten hyötyjen maksimointiin. Heidän mukaansa kestävyteen tähtäävät innovaatiot eivät välttämättä ole taloudellisesti kannattavia alussa, mutta ne voivat muuttua sellaisiksi esimerkiksi lainsäädännöllisten muutosten myötä. Kestävän liiketoimintamallin tulee myös olla aktiivisesti ylläpidetty, jotta se loisi arvoa asiakkaille, sekä yleistä sosiaalista arvoa (Schaltegger ym. 2012). Schalteggerin ym. (2012) mukaan tämä arvonluonti tapahtuu sosiaalisten, ympäristöllisten ja liiketoimintaan liittyvien toimintojen integroinnin avulla.

Urbinati ym. (2017) käyttävät kahta mittaria arvioimaan astetta, jolla liiketoimintamallissa on omaksuttu kiertotalouden periaatteet. Nämä mittarit ovat

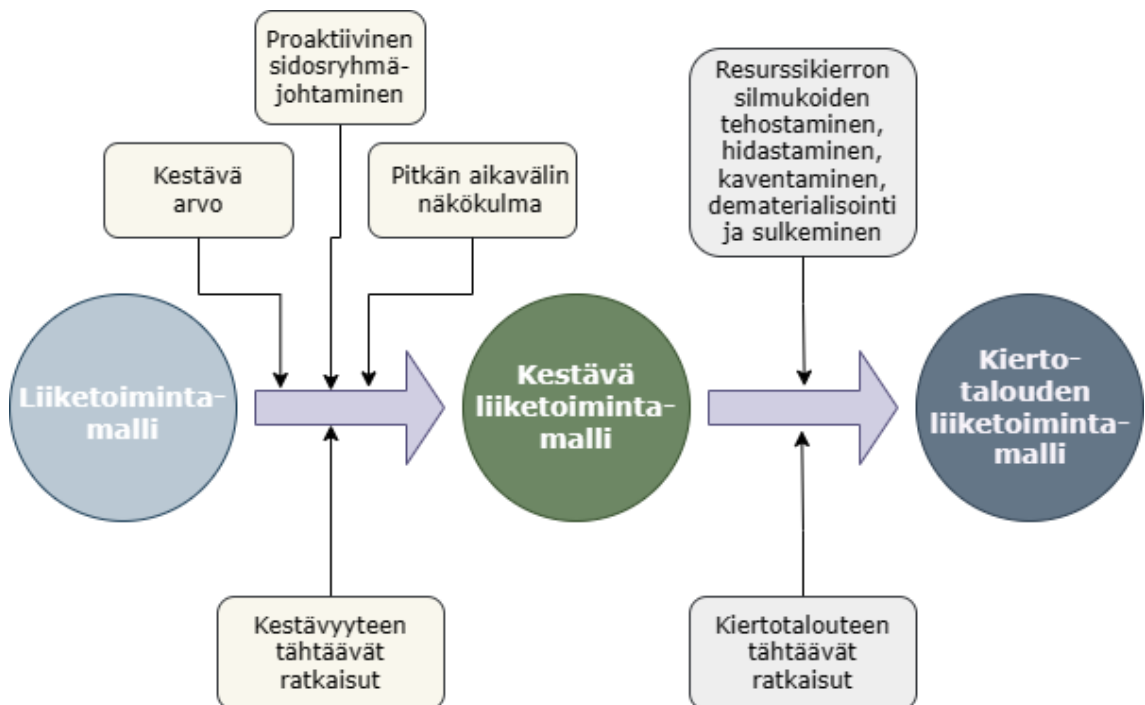
- 1) kiertotalouskonseptin käyttö arvon tarjoamisessa asiakkaille, sekä
- 2) arvoverkosto, eli tavat, joilla toimitaan vuorovaikutuksessa toimittajien kanssa ja järjestetään uudelleen organisaation omia sisäisiä toimintoja.

Bockenin ym. (2014) mukaan liiketoimintamallien kestävyysinnovaatiot määritellään innovaatioiksi, jotka luovat merkittäviä positiivisia vaikutuksia luonnolle, yhteiskunnalle tai molemmille – tai vaihtoehtoisesti vähentävät huomattavasti näille liiketoiminnasta

aiheutuvia negatiivisia vaikutuksia. He lisäävät, että nämä vaikutukset saavutetaan tekemällä muutoksia tapaan, jolla organisaatio ja sen arvoverkosto luovat ja toimittavat arvoa sekä luovat taloudellista arvoa tai muuttamalla organisaation arvolupauksia.

2.2.2 Kiertotalouden liiketoimintamallit

Kiertotalouden liiketoimintamallin käsite on nousemassa keskeiseen asemaan siirryttäessä lineaarisesta mallista kohti kiertotaloutta (Nußholz, 2017). Nußholz kirjoittaa kiertotalouden liiketoimintamallien kuuluvan aiemmin käsiteltyihin kestäviin liiketoimintamalleihin, mutta ne ovat erityisesti suunnattu kiertotalouden ratkaisuihin: niissä käytetään kiertotalouden periaatteiden mukaan rakennettua arvoketjua ja keskitytään sidosryhmien kannustimien yhteensovittamiseen. Geissdoerferin ym. (2020) mukaan kiertotalouden liiketoimintamalleja voidaan tarkastella yhtenä kestävien liiketoimintamallien luokkana tai yleisenä strategiana näiden joukossa. Kestävien liiketoimintamallien ja kiertotalouden liiketoimintamallien eroja havainnollistetaan kuvassa 3. (Geissdoerfer ym. 2018)

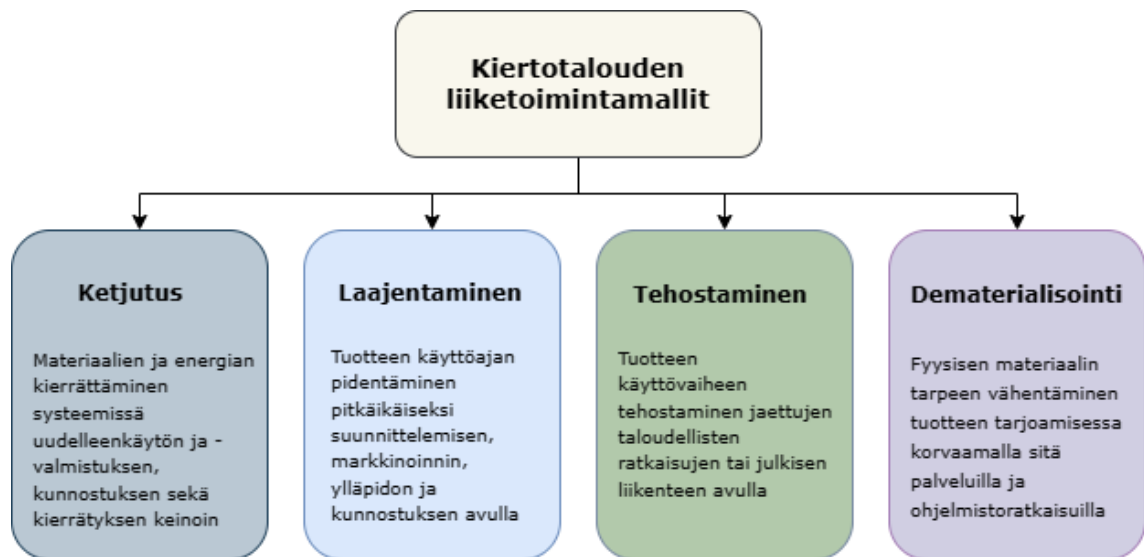


Kuva 3. Perinteisen, kestävän ja kiertotalouden liiketoimintamallien erot (mukaillen Geissdoerfer ym. 2018).

Bockenin ym. (2014) mukaan kiertotalouden liiketoimintamallit ovat liiketoimintamalleja, jotka sopivat kiertotalouteen niihin sisällytettyjen resurssikiertoa hidastavien, kaventavien ja sulkevien elementtien ansiosta. He kuvaavat kiertotalouden liiketoimintamallien tähtäävän niin organisaation ja sen arvoverkon resurssisyötön vähentämiseen kuin myös jätteiden ja päästöjen minimoimiseen. Kiertotalouden liiketoimintamalleissa oleellista on uuden materiaalin käytön vähentäminen, siirtyä hiiliperustaisesta energiasysteemistä uusiutuvaan systeemiin, kestävien tuotantotapojen lisääminen ja arvoketjustrategioiden tarkastelu ja sopeuttaminen (Urbinati ym. 2017).

Nußholz (2017) mukaan kiertotalouden liiketoimintamalli on tapa, jolla yritys luo, hankkii ja toimittaa arvoa. Heidän mukaansa tällaisen liiketoimintamallin arvonluontilogiikka on suunniteltu parantamaan resurssitehokkuutta pidentämällä tuotteiden ja osien käyttöikää muun muassa korjauksen ja uudelleenvalmistuksen kautta sekä tähtäämällä materiaalikiertojen sulkemiseen. Jotta yritys voisi ottaa käyttöön kiertotalouteen perustuvan liiketoimintamallin, sen pitäisi toimia strategisella tasolla systemaattisesti, jotta voidaan ymmärtää missä arvoketjun kohdassa arvoa syntyy ja miten toimittajien, valmistajien, jälleenmyyjien ja asiakkaiden verkosto vaikuttaa arvonluontiin (Urbinati ym. 2017).

Geissdoerfer ym. (2020) määrittelee kiertotalouden liiketoimintamallit liiketoimintamalleiksi, jotka ketjuttavat materiaali- ja energiavirtoja, laajentavat tai tehostavat käyttöä ja/tai dematerialisoivat eli vähentävät materiaali- ja energiakiertoja vähentääkseen resurssien syöttöä ja jätteen ja päästöjen syntyä organisaation järjestelmästä. Näitä tavoitteita edistäviin toimiin sisältyvät muun muassa kierrätystoimenpiteet, käyttövaiheen pidentäminen, intensiivisempi käyttövaihe sekä tuotteiden korvaaminen palveluilla ja ohjelmistoratkaisuilla eli niin sanottu dematerialisointi (Geissdoerfer ym. 2020). Näitä toimia kuvataan kuvassa 4.



Kuva 4. Kiertotalouden liiketoimintamallit (mukaillen Geissdoerfer ym. 2020).

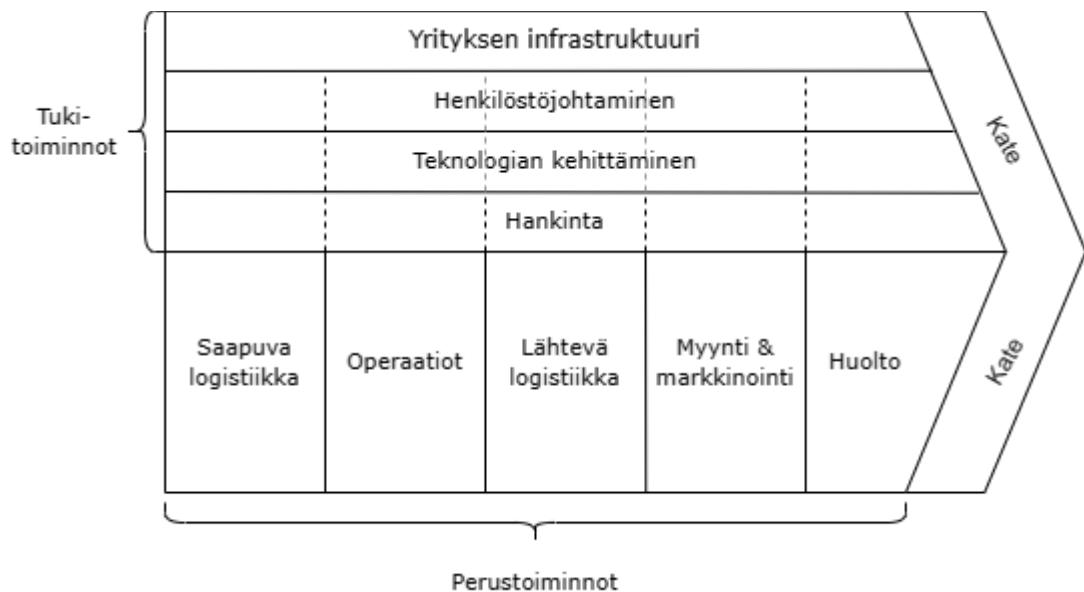
Sulkemalla, kaventamalla, hidastamalla, tehostamalla ja dematerialisoimalla kiertoja organisaation järjestelmästä minimoidaan resurssien syöttöä ja jätteen ja päästöjen määrää ja siten kestävyys ja suorituskyky paranee (Geissdoerfer ym. 2018). Nußholz (2017) huomauttaa, etteivät kiertotalousstrategiat kuitenkaan automaattisesti johda resurssitehokkuuden kasvuun. Kiertotalouden liiketoimintamallin luomista pitäisikin hänen mukaansa ohjata arvioimalla suunnitteluvaiheessa sen tarjoamia elinkaaren aikaisia vaikutuksia sekä ottaa huomioon mahdolliset heijastusvaikutukset. Heijastusvaikutuksilla (rebound effects) artikkelissa viitataan ilmiöön, jossa resurssitehokkuuden parantaminen johtaakin kokonaiskulutuksen kasvuun – näin voi käydä esimerkiksi alentuneista hinnoista johtuvan lisääntyneen kulutuksen takia, jolloin kasvanut kulutus kumoaa resurssitehokkuuden muodossa saavutetut kestävyystavoitteet. Heijastusvaikutusten välttämiseksi sekundaarituotteet tulisi suunnitella korvaamaan primäärituotteet tehokkaasti (Nußholz, 2017).

2.3 Kiertotalouden arvoketjut ja liiketoimintaekosysteemit

Arvoketju kuvaa kaikkia niitä toimintoja, joita tarvitaan tuotteen tai palvelun luomiseen, tuotannon eri vaiheisiin, tuotteen asiakkaalle toimittamiseen sekä lopulta sen käytön jälkeiseen hävittämiseen (Kaplinsky & Morris, 2000). Porter (2001) käyttää arvoketjua kuvauksena niiden toimintojen kokonaisuudesta, joiden avulla tuote suunnitellaan, tuotetaan, markkinoidaan, toimitetaan asiakkaalle ja tarjotaan tuotetukea. Porter kuvaa

arvon määräksi, jonka ostajat ovat valmiita maksamaan yrityksen tarjoamasta tuotteesta, palvelusta tai ratkaisusta. Hänen mukaansa jokaiseen tyypilliseen liiketoimintastrategiaan sisältyy tavoite siitä, että ostajille luodaan arvoa, joka ylittää sen tekemisen kustannukset.

Porterin arvoketjua havainnollistetaan kuvassa 5. Siinä Porter (2001) kuvaa arvoa lisäävät toiminnot, eli yrityksen suorittamat fyysiset ja teknologiset toiminnot, jotka tuotteen saamiseksi asiakkaalle tarvitaan. Arvoa lisäävät toiminnot jaetaan perustoimintoihin ja tukitoimintoihin. Perustoiminnot ovat kiinteästi yhteydessä tuotteen valmistukseen, myymiseen ja kuljetukseen ostajalle tai myynnin jälkeiseen tuotetukeen kuten huoltoon, ja ne voidaan jakaa viiteen ryhmään, kuten kuvassa havainnollistetaan. Tukitoiminnot nimensä mukaisesti tukevat perustoimintoja sekä toisiaan tarjoamalla prosessia varten hankittuja syötteitä, henkilöresursseja, teknologiaa ja monia yrityksen laajuisia toimintoja. Yrityksen infrastruktuuri taas tukee koko arvoketjua. Nuolen oikeassa reunassa kuvattu kate on erotus tuotteen arvosta ja näiden toimintojen kustannuksista.



Kuva 5. Porterin arvoketju (mukaiillen Porter, 2001).

Porterin (2001) mukaan arvoketjua voi käyttää strategisena työkaluna analysoitaessa suhteellista kustannusasemaa, erikoistumista ja kilpailualueen laajuuden roolia kilpailuedun saavuttamisessa. Arvoketju jaottelee yrityksen sen strategisesti merkittäviin toimintoihin, jotta voitaisiin ymmärtää kulujen muodostumista ja löytää mahdollisia

erikoistumisen mahdollisuuksia, eli tapoja, joilla voidaan päästä parempaan kustannustehokkuuteen kuin kilpailijat (Porter, 2001).

2.3.1 Kiertotalouden arvoketjut

Urbinati ym. (2017) ovat listanneet erilaisia tuotteen arvoa kasvattavia ominaisuuksia ja niiden kiertotalouden periaatteet täyttämisen astetta. Korkean asteen ominaisuuksiksi artikkelissa on mainittu muun muassa maksu käyttökertojen mukaan, kiertotaloustavoitteiden kommunikoiminen kaikkien kanavien kautta ja keskittyminen DfX – käytäntöihin. Sassanelli ym. (2020) määrittelevät DfX:n (Design for X) suunnitteluperiaatteena, joka keskittyy parantamaan tuotteiden ja järjestelmien tiettyjä ominaisuuksia tai toimintoja. Heidän mukaansa "X" voi edustaa mitä tahansa tavoitetta, kuten valmistettavuutta, ympäristöystävällisyyttä, huollettavuutta tai kestävyyttä. DfX:n tavoitteena on integroida nämä tavoitteet suunnitteluprosessin aikaisessa vaiheessa, jotta lopputuote täyttää paremmin halutut kriteerit ja vaatimukset. Erityisesti kiertotalouden tehokkuutta parantavia DfX-tyyppejä ovat muun muassa tuotantoprosessien tehokkuuden parantamiseen ja jätteiden tuotannossa syntymisen vähentämiseen tähtäävä Design for Manufacturing, tuotteiden kokoamisen helpottamiseen ja tehostamiseen ja tätä kautta resurssien ja energian vähentämiseen pyrkivä Design for Assembly, tuotteen koko elinkaaren aikaisten haitallisten ympäristövaikutusten vähentämiseen ja kestävä kehityksen edistämiseen pyrkivä Design for Environment sekä helposti kierrätettävissä olevien tuotteiden suunnitteluun pyrkivä ja näin jätteen määrää vähentävä ja resurssien uudelleenkäyttöä edistävä Design for Recycling. (Sassanelli ym. 2020)

Tapaninaho & Heikkinen (2022) esittelevät arvon luomisen kiertotalouden liiketoiminnassa suhteellisenä ja systeemisenä ilmiönä. He tunnistavat viisi yhteistä arvонуontitoimintoa, jotka sisältävät erilaisia sidosryhmäsuhteita yli organisaatorajojen sekä paikallisten, alueellisten ja kansallisten tasojen: kiertotalouden tarinan jakaminen, tietopohjan yhdessä rakentaminen poliittista päätöksentekoa varten, teollisuuden kehittäminen, paikallisten kiertotalouden ekosysteemien luominen ja liiketoimintamallin hienosäätö (Tapaninaho & Heikkinen, 2022).

Järjestelmän kyky luoda arvoa liittyy sidosryhmäsuhteisiin ja yhteiseen arvонуontitoimintaan. Yhteiset arvонуontitoiminnot edesauttavat järjestelmän toimivuutta ja sen arvонуontipotentialia. Arvon tuhoaminen yhteisissä toiminnoissa taas heikentää tai vaarantaa arvонуontipotentialia ja laajemmin järjestelmän toimivuutta

(Tapaninaho & Heikkinen, 2022). Kuusi arvotyyppiä – kestävyys-, taloudellinen, poliittinen, ekologinen, sosiaalinen, sekä turvallisuus- ja laatu-arvo – vastaavat sidosryhmien subjektiivisia punnittavia arvoja kiertotalouden liiketoiminnassa. Subjektiivisten arvojen ymmärtäminen on ratkaisevan tärkeää, jotta voidaan esittää arvolupauksia yksittäisten sidosryhmien näkökulmasta ja tällä tavalla motivoida sidosryhmiä yhteiseen arvonluontiin (Tapaninaho & Heikkinen, 2022).

2.3.2 Liiketoimintaekosysteemit

Mooren (1993) mukaan yritystä pitäisi tarkastella yksittäisen toimialan edustajan sijaan osana toimialojen väliset rajat ylittävää liiketoimintaekosysteemiä. Tällaisessa liiketoimintaekosysteemissä yritykset kehittävät yhdessä kyvykkyyksiä innovaatioiden tekemiseen. Moore (1993) selventää tämän tarkoittavan niin yhteistyössä kuin kilpaillenkin toimimista uusien tuotteiden kehittämiseksi, asiakastarpeiden tyydyttämiseksi sekä innovaatioiden synnyttämiseksi. Myöhemmässä artikkelissaan Moore määrittelee liiketoimintaekosysteemin kuvaavan tarkoituksellisia taloudellisten toimijoiden yhteisöjä, joissa toimijoiden omilla yksittäisillä liiketoiminta-aktiviteeteilla on vahva vaikutus koko yhteisön menestykseen (Moore, 2006).

Peltoniemi & Vuori (2008) määrittelevät liiketoimintaekosysteemin artikkelissaan toisiinsa sidoksissa olevien organisaatioiden populaatiosta koostuvaksi dynaamiseksi rakenteeksi. Heidän määritelmänsä mukaan nämä organisaatiot voivat olla pieniä tai suuria yrityksiä, tutkimuskeskuksia, yliopistoja, julkisen sektorin organisaatioita tai muita systeemiin vaikuttavia toimijoita. Valkokari ym. (2020) taas määrittelevät ekosysteemin rakenteeksi ja vuorovaikutusprosessiksi, joka perustuu yritysten, yrittäjien, julkishallinnon, tutkimuksen sekä kolmannen sektorin toimijoiden väliselle vuorovaikutukselle. Ekosysteemi muodostuu useista rinnakkaisista verkostorakenteista, joita ohjaavat yhteiset tavoitteet ja jaettu visio. Ekosysteemi yhdistää toisiaan täydentävät toimijat, ja sen kautta voidaan luoda yhdessä arvoa (Valkokari ym. 2020).

Toimiva ja tehokas ekosysteemi vaatii, että sen kaikki tuotteen tai palvelun toimittamiseen liittyvät kriittiset osa-alueet ovat itsessään terveellä pohjalla, sillä muuten koko ekosysteemin suoriutuminen voi vaarantua (Iansiti & Levien, 2004). Liiketoimintaekosysteemissä esiintyy samanaikaisesti sekä kilpailua että yhteistyötä (Peltoniemi & Vuori, 2008). Iansiti & Levien (2004) luettelevat organisaation liiketoimintaekosysteemiin kuuluvan muun muassa organisaation ulkoistettuja toimintoja

hoitavat yritykset, liiketoiminnan rahoittajat, organisaation liiketoimintaan tarvittavaa teknologiaa tuottavat yritykset, komplementaarisia eli yrityksen tuotteen kanssa rinnakkain kulutettavia tuotteita valmistavat yritykset, sekä jopa kilpailijat ja asiakkaat, mikäli heidän toimintansa vaikuttaa yrityksen omaan tuote- tai prosessikehitykseen. Yritystoiminnan lisäksi ekosysteemiin kuuluvat myös sääntelystä vastaavat viranomaiset sekä media (Iansiti & Levien, 2004).

Peltoniemi & Vuori (2008) kirjoittavat, että liiketoimintaekosysteemin tulisi olla itseään ylläpitävä. He selventävät tämän tarkoittavan, ettei liiketoimintaekosysteemin tulisi vaatia julkisten tahojen puuttumista selviytyäkseen paikallisilla tai globaaleilla markkinoilla. Iansiti & Levien (2004) mainitsevat kolme kriittistä mittaria, joiden avulla voi arvioida, onko ekosysteemi terveellä pohjalla. Nämä mittarit ovat ekosysteemin tuottavuus, kestävyys ympäristön muutosten ja eteen tulevien haasteiden keskellä, sekä kyky innovointiin. Liiketoimintaekosysteemin tarkka rajaaminen on haastavaa, ja tärkeintä siinä on pyrkiä systemaattisesti identifioimaan organisaatiot, jotka vahvimmin vaikuttavat yrityksen tulevaisuuteen. (Iansiti & Levien, 2004)

2.3.3 Liiketoimintaekosysteemit kiertotaloudessa

Kandan ym. (2021) mukaan ekosysteeminäkemyksessä toimii tapana, jonka avulla yritys voi siirtyä taloudellisen arvon luomisesta myös sosiaalisen ja ympäristöarvon luomiseen ja käyttämään sitä kilpailuetuna. Ekosysteeminäkemyksen etu piilee eri toimijoiden välisissä vuorovaikutuksissa. Sen kautta voidaan katsoa pidemmälle kuin vain niihin toimijoihin, joiden kanssa yrityksellä on suorat vuorovaikutukset, ja tutkia myös laajempaa ekosysteemiä mahdollisten yhteyksien löytämiseksi eri toimialoihin ja arvoketjuihin, mikä on olennaista kestävyydelle ja kiertotaloudelle. Tarkastelu liiketoimintaekosysteemin näkökulmasta auttaa näkemään kiertotalouden liiketoimintamalleja hyödyntävien järjestelmien etuja, kuten jätteenhallinnan kautta saavutettavia ympäristöhyötyjä tai fossiilisten polttoaineiden korvaamista, jotka voisivat jäädä huomioimatta perinteisestä liiketoimintamallin näkökulmasta tarkasteltuna. Se voi myös auttaa ratkaisemaan monimutkaisuuden ja koordinoinnin ongelmia, jotka ovat tyypillisiä kiertotalouden liiketoimintamalleille. (Kanda ym. 2021)

Suomessa toimivia kiertotalouden ekosysteemejä tarkastellessaan Työ- ja elinkeinoministeriö (2020) on todennut, että ekosysteemit eivät yleensä jaa yhteistä visiota tai liiketoimintasuunnitelmaa. Sen sijaan ekosysteemitoiminta liittyy valittujen

materiaalivirtojen jakeiden modulaariseen käyttöön. Työ- ja elinkeinoministeriö (2020) jakaa Suomessa toimivat kiertotalouden ekosysteemit kolmeen ryhmään; alueellisista vahvuuksista ponnistaviin ekosysteemeihin, kiertotalouden visionäärisiin ekosysteemeihin sekä niin sanottujen ”teollisuuden vahvojen vetureiden” ekosysteemeihin. Alueellisista vahvuuksista ponnistavien ekosysteemien intressinä on TEM:n mukaan aluekehittäminen ja haasteena se, kuinka niihin saisi houkuteltua osajia ja yrityksiä sekä miten liiketoimintaa saisi kasvatettua ja laajennettua alueellisesta valtakunnalliseksi. Visionääriset ekosysteemit ovat pienempiä yritys- ja tutkimusklustereita, jotka toimivat projektimuotoisesti ja epähierarkisesti lähtien liikkeelle yhteisestä haasteesta. Kolmatta TEM:n esittelemää ryhmää ohjaa niin sanotun veturiyrityksen perinteinen, yleensä ei-kiertotalousmuotoinen liiketoiminta. Toiminta tällaisessa ekosysteemissä on alihankintamuotoista. Vahvojen veturien ekosysteemien vaikutus on merkittävä, koska suuren volyymin yritystoiminnassa jo pelkkä resurssitehokkuuden parantaminen vaikuttaa tuntuvasti hiilitaseeseen ja kansantalouteen. (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2020)

2.4 Biohiili

Biohiili on erittäin hiilipitoinen tuote, jota syntyy, kun biomassaa kuumennetaan suljetussa astiassa hapettomissa olosuhteissa, ja jota voidaan hyödyntää ympäristön ja maaperän parantamiseen useilla tavoilla (Lehmann & Joseph, 2015). Biohiiltä on valmistettu ja hyödynnetty monia tuhansia vuosia (Weber & Quicker, 2018), mutta kiinnostus sitä kohtaan on entisestään kasvanut viime vuosina sen monipuolisten fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien sekä laajan hyödynnettävyyden vuoksi (Xie ym. 2022). Biohiilellä onkin monia käyttökohteita niin lämmön- ja energiantuotannon, maatalouden, karjanhoidon, rakentamisen, metallurgisten menetelmien kuin lääketieteenkin saralla (Weber & Quicker, 2018). Biohiili ei ole yksittäinen tuote vaan luokka heterogeenisiä tuotteita, joiden ominaisuudet riippuvat valmistuksessa käytetystä syöttöaineesta ja pyrolyysiteknologiasta (Zilberman ym. 2023). Erilaisten tuotantotapojen, raaka-ainemateriaalien ja prosessiolosuhteiden vaikutusta prosessista syntyvään biohiileen on tutkittu paljon (Xie ym. 2022).

Biohiilen valmistukseen käytettävää prosessia kutsutaan pyrolyysiksi. Pyrolyysiprosessissa biomassaa kuumennetaan ilman happea, ja siitä syntyy kolme erilaista tuotetta: kaasumainen synteetikaasu, nestemäinen bioöljy ja kiinteä biohiili.

Synteetisikaasulla ja bioöljyllä on teollisia käyttötarkoituksia energiana ja kemiallisina raaka-aineina. Kiinteillä hiilituotteilla on teollisia, maatalous- ja ympäristökäyttökohteita. Puuhiili on pyrolyysituotteista hyvin tunnettu. Terminä puuhiiltä usein käytetään kuvaamaan kiinteää hiilituotetta, jota poltetaan polttoaineena, biohiiltä taas käytetään kuvaamaan kiinteää hiiltä, jota käytetään maanparannusaineena. (Zilberman ym. 2023) Biohiili ei ole pyrolyysin ainoa lopputuote, vaan pyrolyysistä saatavat tuotteet vaihtelevat kiinteistä aineista (esimerkiksi hiili, aktiivihiihi, hiilikuidut, tuhka, noki, lannoitteet) nesteisiin (esimerkiksi bioöljy, pyrolyyginen happo, funktionaaliset kemikaalit) ja kaasumaisiin yhdisteisiin (esimerkiksi metaani, etaani, propaani ja vety). Kaikki näistä ovat arvokkaita biotuotteita (Bruckman ym. 2016).

Kurniawanin ym. (2023) mukaan biohiilen potentiaali ilmastonmuutoksen torjumisessa on laajalti tunnistettu. Heidän mukaansa maailmanlaajuinen biohiileen kohdistuva kiinnostus onkin pitkälti sen hiiltä maaperään sitovan kyvyn ansiota. Maanparannuskäytössä biohiili edistää ilmastonmuutoksen torjuntaa sekä parantamalla maaperän ravinteikkautta että estämällä hiilidioksidin vapautumisen biomassasta, joka muuten olisi lahonnut mutta on nyt käytetty biohiilen tuotantoon (Kurniawan ym. 2023). Biohiilet voivat parantaa maatalouden tuottavuutta ja maaperän toimintaa sekä edistää ilmastonmuutoksen hillintää hiilen sitomisen kautta. Lisäksi ne voivat tarjota lisähyötyjä ehkäisemällä tulipaloja (Zilberman ym. 2023).

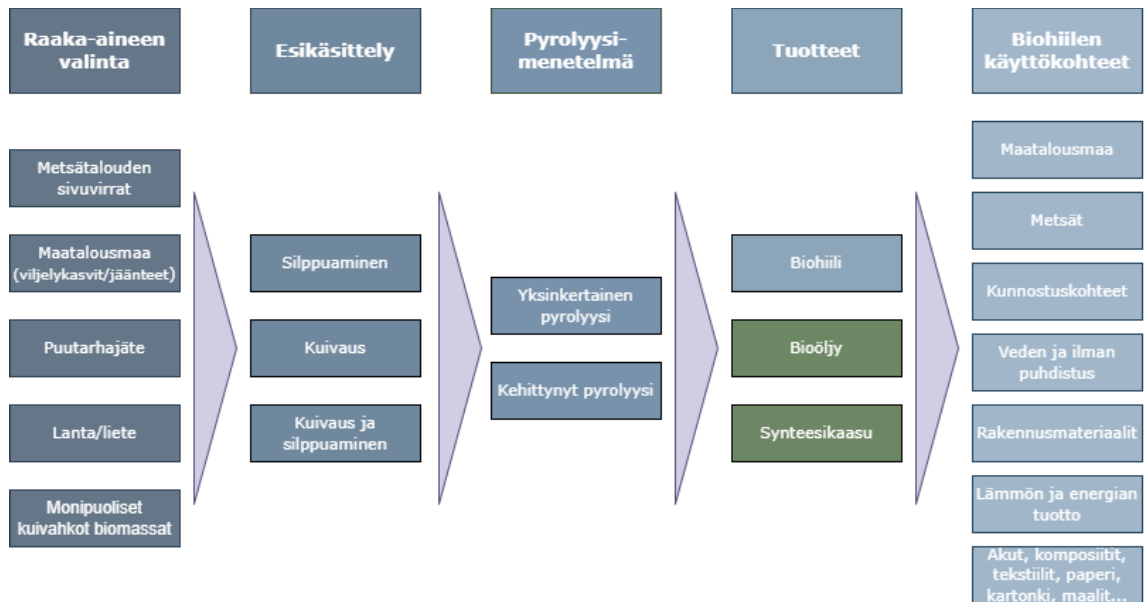
Biohiili on viime vuosina saavuttanut kasvavaa suosiota korvaavana vaihtoehtona fossiilisille hiilipohjaisille polttoaineille kasvihuonekaasujen vähentämisyhtymien myötä (Weber & Quicker, 2018). Biohiiltä käytetään todennäköisimmin paikoissa, joissa on lähialueilla saatavilla edullisia raaka-ainelähteitä, rajoitetusti kasvuun käytettävissä olevaa maapinta-alaa ja arvokkaita viljelykasveja. Sen käyttöönottoa voidaan edistää hyödyntämällä sen hiilensitomisominaisuutta hiilenkompensointimarkkinoilla, lisäämällä investointeja tutkimukseen ja opettamalla tuottajia parantamaan toimitusketjun tehokkuutta. Biohiilellä on potentiaalia parantaa satoa, lisätä resurssien käytön tehokkuutta ja lieventää ilmastonmuutosta. Sen laajamittainen käyttö vaatii kuitenkin parempaa ymmärrystä eri biohiililuokkien ominaisuuksista, niiden optimaalisesta käytöstä ja toimitusketjun suunnittelusta. (Zilberman ym. 2023)

2.4.1 Biohiilarvoketjut ja -toimitusketjut

Arvo- ja toimitusketjut koostuvat käytännössä samoista toimijoista, ja niiden eroksi on tunnistettu pääasiassa virtauksen suunta: toimitusketjujen tapauksessa tarkastellaan tavaroiden ja tarvikkeiden virtausta lähteistä asiakkaille, kun taas arvo virtaa kysynnän muodossa asiakkaalta toimittajalle ja ilmenee tilausten ja rahavirtojen virtauksena (Feller ym. 2006). Suuressa osassa aiheesta kirjoitetusta kirjallisuudesta puhutaan biohiilen tapauksessa juuri toimitusketjuista, joten tässä kappaleessa käsitellään pääasiassa toimitusketjuja. Fellerin ym. (2006) väitteeseen perustuen samalla kuitenkin tarkastellaan itse asiassa myös biohiilen arvoketjuja.

Andersonin ym. (2016) mukaan toimitusketjun kuhunkin osaan sisältyy monenlaisia toimintoja, jotka liittyvät materiaalin tuotantoon, logistiikkaan, muunnokseen ja loppukäyttöön. Materiaali virtaa toimitusketjussa eteenpäin sadonkorjuupaikalta loppukäyttäjälle, ja jokainen toiminto lisää arvoa. Lisäksi toimivien toimitusketjujen kannalta on olennaista, että myös tieto virtaa ylävirtaan loppukäyttäjiltä pitkin ketjua ja sitä voidaan käyttää arvon tuottamiseen toimintojen koordinoimien, tuotteiden parantamisen, teknologioiden edistämisen, tuottavuuden lisäämisen ja kustannusten vähentämisen kautta. (Anderson ym. 2016)

Biohiilen toimitusketjut koostuvat viidestä olennaisesta vaiheesta: raaka-aineen kasvatusta ja hankinta, raaka-aineen käsittely, pyrolyysi, biohiilen käyttö sekä näiden vaiheiden väliset kuljetukset (Zilberman ym. 2023). Anderson ym. (2016) jakavat toimitusketjun osiin hieman eri termein: biomassan tuotanto, raaka-aineen logistiikka, muuntaminen, jakelulogistiikka ja loppukäyttö. Näissä tarkasteluissa huomio kiinnittyy hieman eri toimitusketjun kohtiin, mutta käytännössä merkitys on sama. Kuten Bruckman ym. (2016) kirjoittavat, biohiilellä on laaja valikoima potentiaalisia raaka-aineeksi soveltuvia biomassoja ja loppukäyttökohteita sekä useita vaihtoehtoja itse pyrolyysiprosessille. Tämä tekee biohiilen tuotantoketjuista monisyisiä. Kuva 6 esittää biohiilen toimitusketjun, ja siinä on kuvattu vain osa näistä vaihtoehtoista.



Kuva 6. Biohiilen toimitusketju (mukaiillen Zilberman ym. 2023).

Biohiiltä tuotetaan useimmiten ruohovartisista ja puumaisista kasvimateriaaleista, jotka tunnetaan myös selluloosabiomassana, mutta sitä voidaan valmistaa myös esimerkiksi levistä, ruokajätteestä, lannasta ja eläinkudoksesta (Anderson ym. 2016). Andersonin ym. (2016) mukaan pyrolyysissa käytettävä biomassa voi olla jätettä kuten lanta, rinnakkaistuotetta kuten kaarna, sivutuotetta kuten puuhake tai raaka-ainetta, joka on tuotanto-operaationsa ensisijainen tuotos ja on voitu kasvattaa varta vasten biomassan raaka-aineeksi. Taloudelliselta pohjalta tarkasteltaessa jätetuotteilla on hävittämiskustannuksia, sivutuotteilla marginaaliset kustannukset ja marginaalinen arvo verrattuna ensisijaisiin tuotteisiin, ja rinnakkaistuotteet valmistetaan yhdessä, niillä on samanlainen arvo ja niiden laskennassa käytetään yhteistuotekustannuslaskentaa (Anderson ym. 2016). Käytettävän biomassan valinta vaikuttaa siis arvoketjuun merkittävästi. Biomassan kuljettaminen on kallista, joten logistiikassa mittakaavaeduista on hyötyä (Zilberman ym. 2023). Koska liikuteltavat pyrolyysiteknologiat eivät ole vielä yleistyneet, tällä hetkellä on taloudellisesti järkevää käyttää vain biomassoja, joita on saatavilla hyvin lähellä pyrolyysilaitosta (Zilberman ym. 2023).

Jätteiden käyttäminen raaka-aineena biohiilen toimitusketjuissa on hyödyllistä useista syistä – jätteillä on usein hävittämiskustannuksia, mikä yleensä tekee niistä edullisen raaka-aineen hankkia (Anderson ym. 2016). Tarkoituksella bioenergiaan ja biotuotteiden sovelluksiin kasvatetun biomassan tapauksessa taas lopputuotteiden hinnan täytyy kattaa tuotannon ja raaka-aineen logistiikan koko kustannukset (Anderson ym. 2016). Edullisen

biomassan saatavuus on merkittävimpiä biohiilen tuotannon kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä, mikä tekee kaikenlaisesta jätteestä peräisin olevista biomassoista ihanteellisia raaka-aineita pyrolyysiin (Bruckman ym. 2016).

2.4.2 Ekosysteemit biohiililiiketoiminnassa

Zilbermanin ym. (2023) mukaan biohiilen toimitusketjut ovat osa laajempaa pyrolyysin toimitusketjua, joten joidenkin etujen ja kustannusten arvioinnissa on otettava huomioon nämä yhteydet. Lisäksi biohiilen toimitusketju voidaan integroida laajempaan joukkoon pyrolyysin sivutuotteita, kuten esimerkiksi bioöljystä jalostettavia nestemäisiä bioenergiapolttoaineita (jet-, diesel- ja meripolttoaineet), sekä muita energiantuotannon muotoja, kuten prosessilämpöä ja synteettistä kaasua. Kaupallisten biohiilijärjestelmien käyttöönottoa tulisi edistää integroimalla biohiili paremmin bioenergiajärjestelmiin ja yhdistämällä organisaatioita toimitusketjussa tehokkaasti biohiilituotteen toimittamiseksi niin että onnistutaan maksimoimaan sekä maanviljelijöiden ja tuottajien voitot että biohiilen tuottama yhteiskunnallinen arvo. (Zilberman ym. 2023) Biohiilen tuottajat saattavat hyötyä horisontaalisesta integraatiosta, koska eriytetyt pyrolyysituotteet – polttoaineet, pyrolyyttinen sokeri, asfaltit sekä biohiili – voitaisiin tuottaa samalla paikalla vähäisillä lisäkustannuksilla vain vaihtelemalla raaka-ainetta, lämpötilaa ja käytettyä prosessointiteknologiaa (Bruckman ym. 2016).

Zilbermanin ym. (2023) mukaan biohiilen arvoa tulisi arvioida osana pyrolyysijärjestelmää, joka tuottaa biohiiltä ja biopolttoaineita samanaikaisesti. Markkinahintojen muutoksilla on suurin vaikutus sekä biopolttoaineiden ja biohiilen yhteistuotannon että ”itsenäisen” biohiilen tuotannon taloudelliseen suorituskykyyn (Campbell ym. 2018). Yhteistuotantoskenaariossa biohiili voi tukea bioenergian tuotantoa tietyissä markkinaolosuhteissa ja tarjota myös operatiivista joustavuutta kustannusten alentamiseksi sallimalla bioenergian tuotannon keskeyttämisen, kun polttoaineiden hinnat ovat epäsuotuisia. Campbell ym. (2018) kuitenkin varoittavat voimakkaan riippuvuuden biohiilen myyntiin biopolttoaineiden taloudellisen menestyksen kannalta välttämättömänä osana olevan riskialtista siihen asti, että biohiilelle kehittyvät vakaammat hinnat ja markkinat.

2.4.3 Biohiilen tuotteistaminen

Flamholtz (1995) kuvaa tuotteistamisen prosessiksi, jossa analysoidaan nykyisten ja potentiaalisten asiakkaiden tarpeita, jotta voidaan suunnitella niitä tyydyttävät tuotteet tai palvelut. Simula ym. (2008) kuvaavat tuotteistamisen koostuvan tehtävistä, jotka auttavat organisaatiota jatkuvasti kehittämään tuotetta asiakashyödyn maksimoimiseksi ja organisaation tavoitteiden saavuttamiseksi. Suominen ym. (2009) määrittelevät tuotteistamisen standardoiduksi prosessiksi, joka tähtää tuotetun tiedon pohjalta korkealaatuisen, markkinoilla elinkelpoisen kaupallisen tuotteen tai palvelun tuottamiseen. Heidän määritelmänsä tuotteistamisesta korostaa laatua, asiakaskysyntää ja markkinasuuntautuneisuutta koko prosessin ajan.

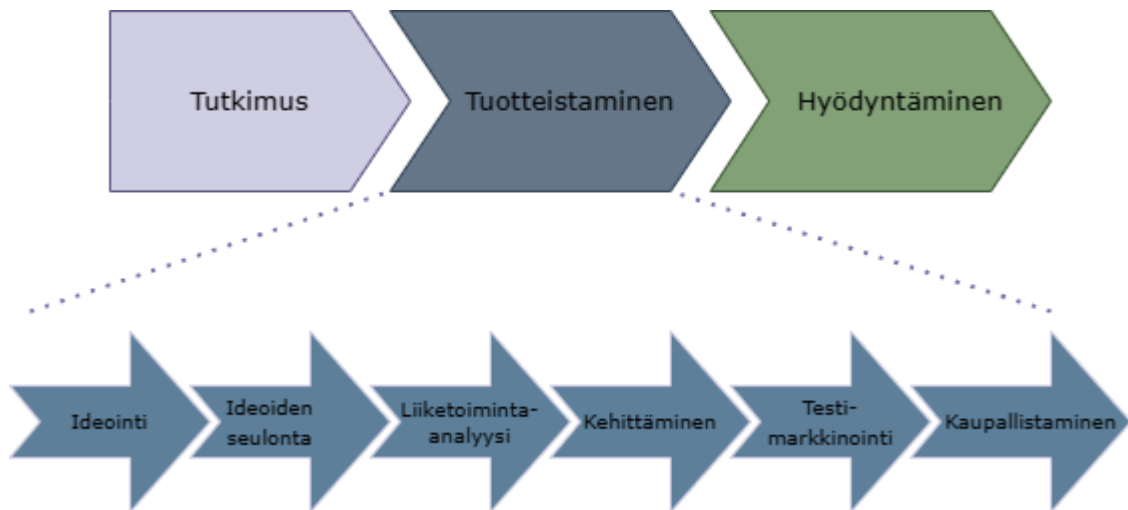
Biohiilen tuotteistamisesta puhuttaessa olennaista on tuntea sen eri sovellusalat ja sitä kautta asiakkaat, joiden tarpeita analysoimalla voidaan Flamholtzin (1995) kuvaaman tuotteistamisprosessin mukaan suunnitella asiakkaita tyydyttävät tuotteet tai palvelut. Biohiilen luultavasti laajimmin tunnetut ominaisuudet liittyvät maanparannukseen sekä hiilensidontaan. Garcian ym. (2022) mukaan biohiili sitoo merkittäviä määriä hiiltä vähentäen CO²-päästöjä maaperään levitettäessä. He jatkavat biohiilen parantavan maaperän fyysisiä ominaisuuksia, kuten hedelmällisyyttä ja vesipitoisuutta, mikä tehostaa satoja. Se voidaan sekoittaa lannoitteisiin, kompostiin ja kasvien jäännöksiin parantamaan ravinteiden hyötykäyttöä (Garcia ym. 2022). Bartoli ym. (2020) luettelevat biohiilelle myös muita käyttökohteita, joita ovat muun muassa käyttö akkujen anodimateriaalina litium-, ja muissa akuissa; polymeeri-, ja keraamisten komposiittien vahvistusaineena niiden kestävyyttä ja muita ominaisuuksia parantamassa, sekä katalyyttinä orgaanisten saasteiden vedestä hajottamiseen tarvittavissa Fenton-reaktioissa.

Biohiili tarjoaa edullisen vaihtoehdon veden puhdistamiseen myrkyistä (Bartoli ym. 2020, Garcia ym. 2022). Biohiiltä voi käyttää sekä epäorgaanisen että orgaanisen aineen poistamiseen vedestä adsorptio- ja hajoamisprosessien kautta. Kromin yleistynyt käyttö ja useat sovellukset ovat vaikuttaneet kromisaasteiden yleistymiseen, ja tämä myrkyllinen saaste aiheuttaa uhkaa sekä ympäristölle että ihmisille. Biohiili on osoittautunut tehokkaaksi kromin puhdistajaksi vedestä, minkä lisäksi sillä voidaan poistaa vedestä rehevöitymistä aiheuttavia fosfaatteja sekä nitraatteja ja fluoridia. Veden puhdistuskäytön hyödyllisyyttä puoltaa myös se, että veden puhdistukseen käytettyä biohiiltä voisi tämän jälkeen myös mahdollisesti käyttää hyödyksi esimerkiksi lannoitteisiin ja

katalysaattoriksi. Biohiiltä voi käyttää myös ilman puhdistamiseen, esimerkiksi hiilidioksidin tai rikkivedyn poistamiseen. (Bartoli ym. 2020)

Biohiiltä voi käyttää lisänä kompostoinnissa, jolloin sen hyöty perustuu vedenpidätyskyvyn ja konttikapasiteetin parantumiseen ilman että sillä on negatiivisia vaikutuksia kasvien kasvuun. Sitä voi hyödyntää eläinten kuivikkeessa vesipitoisuuden lisäämiseksi sekä lisänä rehussa, jossa se muun muassa vähentää metaanipäästöjä ja patogeenejä sekä parantaa sulavuutta. Rakennusmateriaaleissa biohiiltä voi hyödyntää muun muassa asfaltin ja sementin tuotannossa. Asfalttiin lisätynä se parantaa kosteudenkestävyyttä ja viskositeettia, ja sementtilaastissa lujuutta ja sisäistä kovettumista. Biohiiltä voi käyttää myös raskasmetallien immobilisointiin maaperässä, lisänä paperin ja kartongin tuotannossa säilyvyysaikaa ja kosteuden absorptiota parantamassa, musteen tuotannossa korvaamassa hiilimustetta, sekä biohiilikomposiiteissa, joissa se parantaa palonestokykyä, lämpöstabiiliutta ja mekaanisia ominaisuuksia. (Garcia ym. 2022) Schmidt & Wilson (2014) luettelevat aiemmin mainittujen käyttökohteiden lisäksi käytön olevan mahdollista muun muassa juomaveden puhdistuksessa, metallurgiassa, kosmetiikan, maalien, tekstiilien, biokaasun ja energian tuotannossa sekä lääkekäytössä ja -tuotannossa.

Suomisen ym. (2009) mukaan tuotteistamisessa uutta tieteellistä tietoa muokataan muotoon, jossa poikkitieteellinen tiimi voi käyttää sitä helpommin hyväkseen kaupalliseen tarkoitukseen. He kertovat, että markkinoinnin osallistuminen tuotteistamisprosessiin jo aikaisessa vaiheessa auttaa asiakastarpeiden tunnistamisessa ja ilmaisussa, ja insinöörit ja teolliset muotoilijat hoitavat teknologisen muovauksen. Tuotteistamisen tavoite on esittää tarjottava tuote, teknologia tai palvelu asiakkaalle ymmärrettävällä tavalla (Simula ym. 2008). Kuva 7 esittää tuotteistamisen vaiheet NPD:n (New Product Development) kontekstissa.



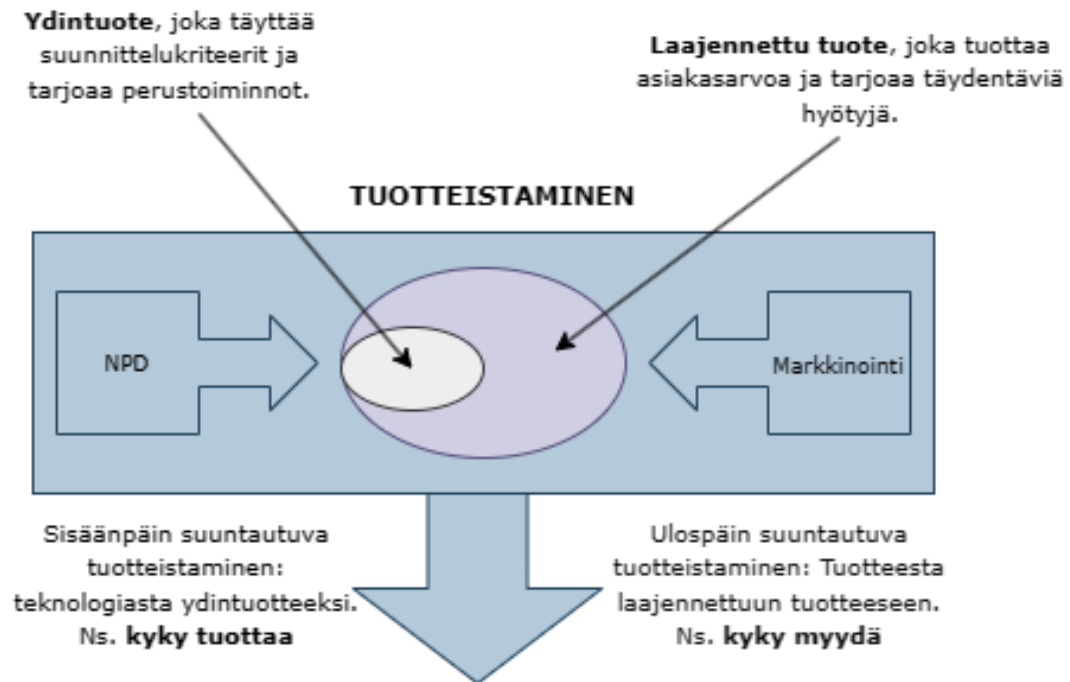
Kuva 7. Tuotteistaminen innovaatioprosessissa NPD:n kontekstissa (mukaillen Suominen ym. 2009).

Sekä fyysisiä tuotteita että palveluita voi tuotteistaa. Simulan ym. (2008) mukaan palveluliiketoiminnassa tuotteistaminen on sitä, kun yritys haluaa muokata aineettoman palvelulupauksensa selvemmin määritellyksi lopputulokseksi. Keskeinen ajatus on luoda toistettava, standardisoitu tuotos, joka mahdollistaa skaalautuvuuden. Simula ym. (2008) jatkavat, että palveluiden tuotteistaminen on hieman monimutkaisempaa kuin määritelmällisesti konkreettisten fyysisten tuotteiden tuotteistaminen.

Simulan ym. (2008) mukaan tuotteistaminen koostuu tarjottavien tuotteiden tai palveluiden määrittelystä, kuvaamisesta, parantamisesta, tuottamisesta ja jatkuvasta kehittämisestä siten, että asiakkaan hyödyt maksimoidaan ja organisaation tavoitteet saavutetaan. Heidän mukaansa tuotteistamisen taso kasvaa samalla yrityksen tarjoaman kypsyyden kanssa. Korkeamman tuotteistamisen tasolla palvelu tai tuote on helpompi viestiä loppuasiakkaalle (Simula ym. 2008). Tuotteistamisen onnistuneisuus riippuu Flamholtzin (1995) mukaan siitä, kuinka hyvin se onnistuu määrittelemään markkinasegmenttinsä ja potentiaalisen niche-tuotteensa. Tätä varten on tärkeää tehdä strategista markkinasuunnittelua, jonka osia ovat muun muassa potentiaalisten asiakkaiden ja heidän tarpeidensa ja ostotapojensa tunnistaminen, sekä sen ymmärtäminen, mikä heille tuottaa arvoa (Flamholtz, 1995).

Luomassaan tuotteistamisen viitekehyksessä Simula ym. (2008) kuvaavat NPD:n ja markkinoinnin välistä suhdetta, ja sitä miten ne liittyvät tuotteistamiseen.

Viitekehyksessä tuotteistaminen jaetaan sisään- ja ulospäin suuntautuvaan tuotteistamiseen eli ”kykyyn tehdä” ja ”kykyyn myydä”. Molempien kyvykkyyksien hankkiminen kuuluu tuotteistamisprosessiin. Kuva 8 esittää tämän viitekehksen.



Kuva 8. Konseptuaalinen kuvaus tuotteistamisesta (mukaillen Simula ym. 2008).

Myös Suomisen ym. (2009) mukaan tuotteistaminen on enemmän kuin vain kaupallistamista tai uusien tuotteiden kehittämistä. Flamholtz (1995) kirjoittaa tuotteistamisprosessin sisältävän tuotteen tai palvelun suunnittelun lisäksi myös kyvykkyyden tuotteen valmistamiseen. Palveluita tuottavalle yritykselle tämä kyvykkyys liittyy palveluntoimitusjärjestelmään, eli järjestelmään, jonka kautta palvelut tarjotaan asiakkaalle (Flamholtz, 1995).

2.5 Teorian synteesi

Tässä osiossa teoria kootaan synteetiksi ja vastataan ensimmäiseen tutkimuskysymykseen, eli määritetään millaisia ovat biohiileen pohjautuva kiertotalouden liiketoimintaekosysteemi ja sen arvoketjut. Synteesin tarkoitus on toimia yleiskatsauksena tutkimukseen liittyviin aiheisiin. Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin

aiempaa tutkimusta kiertotaloudesta ja sen liiketoimintamalleista, arvoketjuista ja ekosysteemeistä, biohiilestä ja tuotteistamisesta.

Biohiileen pohjautuva kiertotalouden liiketoimintaekosysteemi ja sen arvoketjut edustavat kestäväää talousmallia, jossa pyritään minimoimaan hukka ja maksimoimaan resurssitehokkuus uudelleenkäytön, uudelleenvalmistuksen ja kierrätyksen kautta (Urbinati ym. 2017, Murray ym. 2017). Kiertotalous vaatii integroitua lähestymistapaa, jossa pyritään pidentämään tuotteiden elinkaarta ja tehostamaan resurssien käyttöä (Ellen McArthur Foundation, 2021).

Biohiilen liiketoimintamallit kytkeytyvät näihin periaatteisiin, sillä biohiili voi tuoda taloudellista, sosiaalista ja ympäristöarvoa monenlaisille sidosryhmille (Bocken ym. 2014). Biohiilen tuotanto integroituu osaksi laajempia pyrolyysijärjestelmiä, jotka mahdollistavat sekä bioenergian että biohiilen samanaikaisen tuotannon (Zilberman ym. 2023). Tämä synnyttää synergioita, jotka voivat vähentää kustannuksia ja lisätä toiminnan joustavuutta, kuten Zilberman ym. (2023) ja Campbell ym. (2018) toteavat.

Biohiilen toimitusketjut sisältävät vaiheet biomassan hankinnasta, käsittelystä ja pyrolyysistä aina loppukäyttöön asti, missä kukin vaihe toimii arvoa lisäävänä toimintona (Anderson ym. 2016). Kiertotalouden näkökulmasta biohiili edistää resurssitehokkuutta ja hiilen sitomista, mikä tukee ilmastonmuutoksen hillintää ja maaperän parannusta (Zilberman ym. 2023).

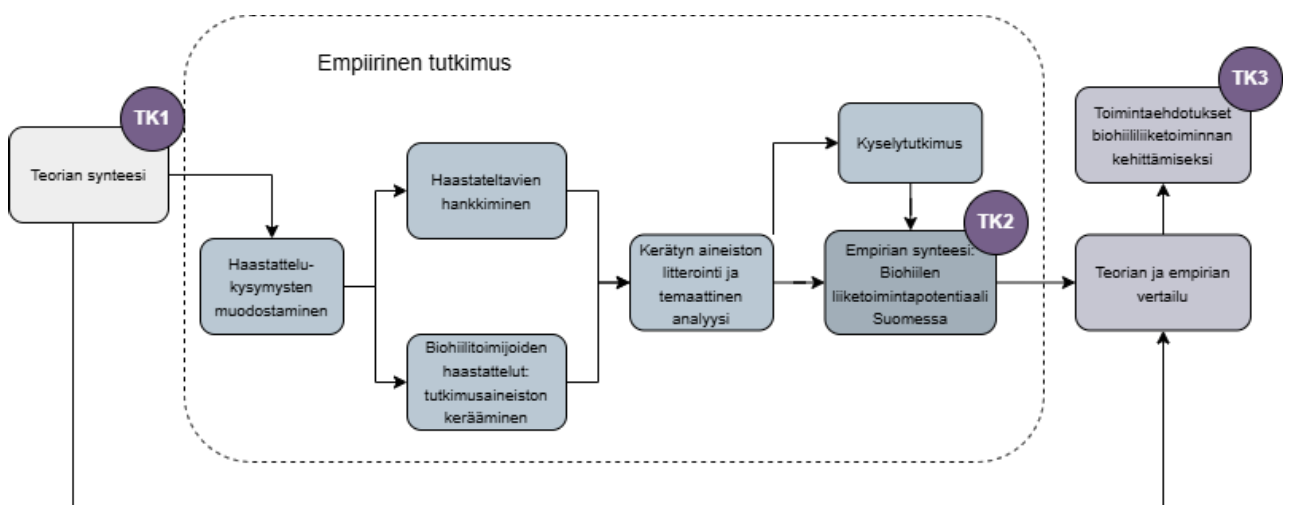
On tärkeää tunnistaa, että biohiilen hyödyntäminen ja toimitusketjun hallinta vaativat laajaa yhteistyötä ja koordinaatiota eri toimijoiden välillä, jotta voidaan luoda kestäviä ja kannattavia liiketoimintamalleja. Tämä edellyttää uusia innovaatioita, teknologian kehitystä ja markkinoiden muokkaamista, jotta biohiilen potentiaali voidaan täysimääräisesti hyödyntää (Kanda ym. 2021).

3 EMPIRIA

3.1 Tutkimusmenetelmät ja -prosessi

Työhön liittyvän empiirisen tutkimuksen tarkoituksena oli lisätä ymmärrystä biohiili liiketoiminnan nykytilasta Suomessa ja kartoittaa sen potentiaalia, haasteita ja kannattavaan liiketoimintaan vaadittavia tekijöitä. Empiirinen tutkimus toteutettiin kvalitatiivisen eli laadullisen tutkimuksen keinoin. Käytännössä tutkimusprosessi sisälsi eri rooleja edustavien suomalaisten biohiilialan toimijoiden puolistrukturoituja haastatteluita. Edustetut roolit olivat biohiilen tuottajat, jatkojalostavat biohiiliyritykset, asiantuntijat sekä asiakkaat. Haastatteluita varten luodut haastattelurungot räätälöitiin haastateltavan ryhmän mukaan olennaisten tietojen saamiseksi. Haastattelut pidettiin Microsoft Teamsin välityksellä.

Haastatteluista saatua tietoa analysoitiin temaattisen analyysin keinoin, ja sen avulla tunnistettiin olennaisia teemoja biohiilen liiketoimintapotentiaaliin liittyen. Lisäksi tutkimuksen osana suoritettiin internetpohjainen tutkimuskysely, jolla kartoitettiin biohiilen hyödyntämisen potentiaalia Suomessa. Haastatteluista, niiden analysoinnista ja kyselytutkimuksesta kerätyn datan avulla saatiin luotua kokonaiskuva biohiilen liiketoimintapotentiaalista Suomessa. Empiirisen tutkimuksen etenemistä kuvataan kuvassa 9.



Kuva 9. Empiirisen tutkimuksen vaiheet.

3.1.1 Laadullinen tutkimus

Marshall ja Rossman (2014) kuvailevat laadullista tutkimusta seuraavilla määrittelevillä piirteillä: laadullinen tutkimus sijoittuu reaali maailmaan, käyttää useita interaktiivisia ja humanistisia tutkimusmenetelmiä, keskittyy kontekstiin, on prosessin aikana muotoutuva tarkasti ennalta määritellyn sijaan sekä on perustavanlaatuisesti tulkinnallinen. Laadullisen tutkimuksen menetelmät käsittävät puheesta tai havainnoinnista hankitun tekstuaalisen aineiston systemaattisen keräämisen, järjestämisen ja tulkinnan (Malterud, 2001), ja siihen voidaan hankkia dataa yhdeltä ihmiseltä tai joukolta ihmisiä (Grossoehme, 2014).

Laadullisen tutkimuksen kontekstissa on tärkeää huomata, että laadullista tutkimusta suorittavat tutkijat eivät ole vain sivustaseuraajia, vaan he vaikuttavat aineistonsa ja aineisto heihin. Tämän takia tutkijan on tärkeää olla tietoinen omista ennakkoletuksistaan, ja ymmärtää miten ne vaikuttavat häneen aineiston keräämisen ja analysoinnin aikana. (Grossoehme, 2014)

3.1.2 Puolistrukturoitu haastattelu

Puolistrukturoitu haastattelu on laadullinen tutkimusmenetelmä (Ahlin, 2019), joka on yhtä aikaa tarpeeksi järjestelmällinen käsitelläkseen spesifejä tutkimusaiheita, mutta antaa myös osallistujille mahdollisuuden tarjota tutkimuksen kohteena olevaan aiheeseen uusia näkemyksiä (Galletta, 2013). Se voi auttaa ymmärtämään paremmin monimutkaisia ilmiöitä, joita on usein yksinkertaistettu. Puolistrukturoitua haastattelua voidaan käyttää tutkimusmenetelmänä yksinään tai yhtenä monista tutkimusmenetelmistä. Menetelmänä se on monipuolinen ja kysymysten asettelun avulla voidaan luoda moniulotteisia tietovirtoja. Menetelmän keskeinen etu on siinä, kuinka sillä voidaan saada kerättyä haastateltavien elämäkokemukseen ja tätä kautta kerättyyn asiantuntemukseen pohjautuvia tietoja samalla kun haastattelua ohjaa teoreettinen tutkittavien aiheiden käsittely. (Galletta, 2013)

Puolistrukturoitu haastattelu voidaan toteuttaa yhdessä tai useammassa osassa, ja se mahdollistaa merkittävän vastavuoroisuuden osallistujan ja tutkijan välillä (Galletta, 2013). Ahlin (2019) kuvaa puolistrukturoitua haastattelua organisoiduksi keskusteluksi, jota ohjaa vuorovaikutteisen keskustelun edetessä saatu uusi tieto. Tämä vuorovaikutus antaa tutkijalle mahdollisuuden kysyä haastateltavan vastauksia tarkentavia kysymyksiä,

pyytää selventämään merkityksiä ja pohtia vastauksia kriittisesti (Galletta, 2013). Ryanin ym. (2009) mukaan puolistrukturoitu haastattelu tarjoaa joustavan näkökulman haastatteluprosessiin. Tämä joustavuus luo mahdollisuuden haastattelussa esiin tulevien yllättävienkin seikkojen tarkempaan tutkiskeluun ja tätä kautta monipuolisemman ja yksityiskohtaisemman tiedon keräämiseen kuin tiukemmin määritellyt haastatteluprosessit (Ryan ym. 2009).

Haastattelukysymyksen valmistelu on tärkeä osa tutkimusprosessia ja hyvin valmisteltujen kysymysten avulla puolistrukturoidulla haastattelulla voidaan saavuttaa paljon. Puolistrukturoidut haastattelut sisältävät sekä avoimia että teoreettisesti ohjattuja kysymyksiä. Ne keräävät tietoa haastateltavan kokemuksista sekä tietoa, joka perustuu olemassa oleviin teoreettisiin totuuksiin kyseisellä tutkimusalalla. Kuten laadullisessa tutkimuksessa yleensä, puolistrukturoidun haastattelun rakenne on suunniteltu kumulatiiviseksi ja iteratiiviseksi. Jokaisen haastattelukysymyksen tulisi olla selkeästi yhteydessä tutkimuksen tarkoitukseen, ja sen sijoittelun haastattelun etenemisessä tulisi heijastaa tutkijan tietoista etenemistä kohti tutkittavan ilmiön perusteellista tarkastelua. Puolistrukturoitu haastattelu tarjoaa menetelmänä erinomaiset mahdollisuudet ottaa huomioon tutkimusaiheen monimutkaisuuden ja käsitellä sitä asiaankuuluvalla tavalla. (Galletta, 2013)

3.1.3 Temaattinen analyysi

Temaattinen analyysi on laadullisen tutkimuksen menetelmä, jonka avulla tunnistetaan, analysoidaan ja raportoidaan laadullisesta datasta löytyviä kaavoja eli teemoja (Braun & Clarke, 2006). Temaattista analyysiä voidaan hyödyntää laajasti eri tieteenfilosofioiden ja tutkimuskysymysten yhteydessä (Nowell ym. 2017). Sitä on myös esitelty laadullisena kuvailevana menetelmänä, joka tarjoaa tutkijoille keskeisiä taitoja muiden laadullisten analyysimuotojen toteuttamiseen (Vaismoradi ym. 2013). Castleberryn ja Nolenin (2018) mukaan temaattinen analyysi on kuvaileva menetelmä, joka tiivistää aineiston joustavalla tavalla ja täydentää muita käytettyjä analyysimenetelmiä. Naeem ym. (2023) määrittelevät systemaattisen temaattisen analyysin prosessiksi, jonka kuusi vaihetta ovat

- 1) transkriptien luominen ja aineistoon perehtyminen,
- 2) avainsanojen tunnistaminen,
- 3) koodien valinta,
- 4) teemojen kehittäminen,

- 5) avainsanojen, koodien ja teemojen tulkinnan kautta tehty konseptointi sekä lopuksi
- 6) konseptuaalisen mallin kehittäminen.

Castleberryn ja Nolenin (2018) mukaan temaattinen analyysi mahdollistaa joustavuuden ja tulkinnan aineiston analysoinnissa. Kyselyistä tai litteroiduista haastatteluista saatujen avointen vastausten analysointi temaattista analyysiä hyödyntäen voi johtaa syvempään kontekstin ymmärrykseen kuin mihin määrällinen analyysi pystyy, mutta menetelmä tulisi toteuttaa erityisellä huolellisuudella ja läpinäkyvyydellä, jotta luottamus tutkimustuloksiin voidaan varmistaa (Castleberry & Nolen 2018). Myös Vaismoradi ym. (2013) alleviivaavat, että temaattisesta analyysistä saadun datan laatu riippuu ajasta ja energiasta, jonka tutkija käyttää datan keräämis- ja analysointiprosesseihin.

3.1.4 Kyselytutkimus

Tutkimuksen osana suoritettiin internetpohjainen kyselytutkimus, joka luotiin Webropol-työkalulla ja lähetettiin toimijoille, joilla voisi mahdollisesti olla kiinnostusta biohiilen hyödyntämiseen. Kyselyn tarkoitus oli vahvistaa haastatteluista syntyneitä käsityksiä ja saada vahvistusta sille, minkä verran ja minkälaisilla toimijoilla Suomessa on kiinnostusta biohiiltä kohtaan. Toimijat kyselyyn haettiin hyödyntämällä Vainu - tietokantaa, josta etsittiin yrityksiä, joilla voisi olla potentiaalisesti kiinnostusta biohiilen hyödyntämiseen. Haussa hyödynnettiin erityisesti tietokannan tarjoamaa avainsana- ja toimialahakua. Avainsanoina käytettiin muun muassa sanoja 'biohiili' sekä 'kiertotalous'. Toimialoja otettiin mukaan laajasti sen mukaan, millä aloilla kirjallisuuden sekä toteutettujen haastatteluiden perusteella biohiiltä olisi mahdollista soveltaa. Lisäksi internetistä haettiin Suomen kaupunkien ympäristötoimien johtoa, käytettyinä nimikkeinä ympäristöpäällikkö tai -johtaja.

3.2 Biohiilitoimijoiden haastattelut

Työtä varten haastateltiin suomalaisia biohiilialan toimijoita ja biohiilen parissa työskenteleviä asiantuntijoita. Haastateltavat toimijat ja yritykset valikoituivat tutkimukseen biohiilen parissa tekemänsä työn ja osoittamansa kiinnostuksen vuoksi. Alue valittiin tutkittavaksi, sillä biohiililiiketoiminnan arvoketjut tutkimusalueella ovat vielä rakentumassa, ja alueella on liiketoimintansa käynnistämässä ja toteuttamisessa eri vaiheissa olevia yrityksiä, joten alueelta on mahdollista luoda hyvä kokonaiskuva

biohiililiiketoiminnan nykytilasta, näkymistä, vaatimuksista ja haasteista. Haastatellut voidaan jakaa karkeasti neljään ryhmään: biohiiltä tuottavat yritykset, sitä jatkojalostavat yritykset, asiantuntijat ja asiakkaat. Haastateltavien jakauma on kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Haastateltujen jakauma.

Biohiilituottajat	4
Biohiilen jatkojalostajat	2
Asiantuntijat	2
Asiakkaat	1

Näille ryhmille luotiin kolme eri haastattelurunkoa: yksi yrityksille, joihin kuuluvat yllä olevista ryhmistä biohiilituottajat sekä biohiilen jatkojalostajat, yksi asiantuntijoille sekä yksi asiakkaille. Näiden runkojen pohjalta toteutettiin haastattelut puolistrukturoituina haastatteluina. Haastatteluissa keskityttiin biohiilen arvoketjuihin, liiketoiminnan potentiaaliin ja haasteisiin sekä biohiililiiketoimintaa ohjaaviin tekijöihin. Haastateltavat tahot, haastattelujen aikataulu ja niiden kesto on kuvattu taulukossa 2, ja haastateltavien toimijoiden kuvaukset on kerrottu laajemmin taulukossa 3.

Taulukko 2. Biohiilitoimijoiden haastattelut.

Tunnus	Kuvaus	Päivämäärä	Kesto
Asiantuntija 1	Suomalainen tutkimus- ja asiantuntijaorganisaatio	25.10.2023	59 min
Tuottaja 1	Torrefioidun biomassan tuotantoon investoinut yritys	20.11.2023	42 min
Jatkojalostaja 1	Biohiiltä lannoite- ja maaperäkäyttöön jatkojalostava yritys	21.11.2023	41 min
Jatkojalostaja 2	Biohiiltä tuottava, ostava ja sitä monipuolisiin käyttökohteisiin jatkojalostava yritys	22.11.2023	1 t 46 min
Tuottaja 2	Kansainvälisesti toimiva, biohiiltä tuottava ja hiilensidontaan keskittyvä yritys	23.11.2023	31 min
Tuottaja 3	Lietebiohiilen mahdollisuuksia tutkiva suomalaisen kaupungin ympäristötoimi	27.11.2023	58 min
Asiakas 1	Suomalainen kaupunki, joka on kokeillut biohiilen käyttöä	30.11.2023	28 min
Asiantuntija 2	Suomen valtioneuvoston alaisuudessa toimiva ministeriö, jonka vastuualueeseen kuuluvat mm. uusiutuvien luonnonvarojen käyttö sekä metsä-, maa- ja puutarhatalous	7.3.2024	58 min
Tuottaja 4	Biohiilen tuottaja, joka myy biohiiltä, pyrolyysiöljyä, kaukolämpöä ja CO ² -krediihtejä	Vastaukset saatiin sähköpostin muodossa.	

Taulukko 3. Haastateltavien kuvaukset.

<p><i>Tuottaja 1:</i> Torrefioidun biomassan tuotantolaitosta rakentamassa oleva toimija, joka suunnittelee tuottavansa ja myyvänsä tuotettaan lähinnä teollisuuden prosessikäyttöön pitkillä toimitussopimuksilla. Tuotteina toimija myy polttokäyttöön tarkoitettua tiivistä biohiilibrikettiä ja lisäksi korkeammin hiillettyä irtonaista materiaalia.</p>
<p><i>Tuottaja 2:</i> Kansainvälisesti toimiva biohiiltä tuottava yritys, jonka pääasiallinen liiketoimintatavoite ja missio on hiilensidonta. Yritys keskittyy B2B -myyntiin teolliseen käyttöön sekä jatkojalostajille.</p>
<p><i>Tuottaja 3:</i> Suomalaisen kaupungin ympäristötoimi, joka tutkii mahdollisuutta tehdä jätevesilietteestä biohiiltä. Projektin yhteydessä on myös pilotoitu biohiilen tekemistä erilaisista raaka-aineista.</p>
<p><i>Tuottaja 4:</i> Biohiilen tuottaja, joka myy biohiiltä, pyrolyysiöljyä, kaukolämpöä ja CO²-krediittejä. Toimija myy myös teknologiaa sekä palveluita, kuten hiilen koetutanto, konsultointi valikoiduissa tapauksissa sekä toimitettujen laitosten operointi.</p>
<p><i>Jatkojalostaja 1:</i> Kaksi vuotta toiminut yritys, joka ostaa biohiiltä ja jalostaa sitä lannoite- ja maaperän parannuskäyttöön myytäväksi tuotteiksi.</p>
<p><i>Jatkojalostaja 2:</i> Biohiiltä tuottava, ostava ja sitä jalostava yritys, joka on toiminut alalla kohta 10 vuotta. Toimija myy monipuolisesti biohiilituotteita eri käyttötarkoituksiin, kuten maanparannukseen ja suodattamiseen.</p>
<p><i>Asiantuntija 1:</i> Suomalainen tutkimus- ja asiantuntijaorganisaatio, joka keskittyy uusiutuvien luonnonvarojen tutkimukseen.</p>
<p><i>Asiantuntija 2:</i> Suomen valtioneuvoston alaisuudessa toimiva ministeriö, jonka vastuualueeseen kuuluvat mm. uusiutuvien luonnonvarojen käyttö sekä metsä-, maa- ja puutarhatalous.</p>
<p><i>Asiakas 1:</i> Suomalainen kaupunki, joka on erään biohiilitoimijan kanssa yhteistyössä toteutetun biohiilihankkeen yhteydessä tutkinut biohiilen käyttöä viherrakenteissa.</p>

Temaattista analyysia varten biohiilitoimijoiden haastattelut litteroitiin Microsoft Teamsista saatujen tallenteiden avulla. Varsinainen analysointi aloitettiin käymällä haastattelut läpi tarkemmin, jotta data tulisi tutummaksi. Tämän jälkeen materiaalia alettiin käymään läpi hyödyntämällä NVivo -ohjelmistoa. Materiaali koodattiin alustavilla koodeilla, joita yhdistämällä ja ryhmittelemällä löydettiin haastatteluissa esiin tulleita yhteisiä vallitsevia aihealueita. Joidenkin aihealueiden havaittiin liittyvän samoihin teemoihin, ja näitä aihealueita yhdistelemällä luotiin viisi pääteemaa. Kyseiset pääteemat ja niiden alle linkittyvät aiheet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Haastattelujen pääteemat.

Teema	Teeman alla käsitellyt aiheet
Markkinan nykytila ja kehittyneisyys	Näkemykset alan kasvusta, kansainvälinen kiinnostus, tiedonjako toimijoiden välillä
Liiketoimintamahdollisuudet	Suuret biohiililiiketoiminnan potentiaalia kasvattavat suuntaukset, haastateltavien mainitsemat käyttöalat ja uudet sekä mahdolliset aluevaltauks
Liiketoiminnan edellytykset ja kannattavuus	Tulorakenne, arvoketjut, vaatimukset biohiililiiketoiminnan kannattavuudelle
Liiketoiminnan haasteet	Biohiilen ymmärrys, raaka-ainesaatavuus, skaalautumispotentiaali
Muut liiketoimintaan vaikuttavat tekijät: tutkimus, säädökset ja kannusteet	Tutkimus, lainsäädäntö, tuet, säädökset, rajoitteet

Seuraavaksi käydään läpi tunnistettujen teemojen avulla olennaiset biohiilitoimijoiden haastatteluissa esiin nousseet asiat.

3.2.1 Biohiilimarkkinan nykytila ja kehittyneisyys

Biohiileen liittyvä liiketoiminta ei ole Suomessa vielä kovin laajamittaista, mutta suuret vakavaraiset toimijat ovat kiinnostuneita aiheesta, joten liiketoimintamahdollisuuksia ja potentiaalia löytyy. Markkinoiden laajuutta on vaikea ennustaa, mutta se on kuitenkin kasvussa. Kiinnostusta biohiileen lisäävät teemat kuten ilmastonmuutos ovat jatkuvasti esillä. Biohiilen arvioitiin voivan tulla volyymissaan noin biokaasun tasolle (Asiantuntija 1). Biohiilen liiketoimintanäkymä on positiivinen ja kasvava, erityisesti kun otetaan mukaan tarkasteluun sivutuotteena syntyvä synteesikaasu sekä hiilikrediitit. Biohiilen liiketoimintanäkymä määrittyy näiden kolmen tuotteen kiinnostuksen yhteissummuna. Yksinään biohiilen markkina on vielä kehittymätön ja haastavimmin myytävissä näistä kolmesta (Tuottaja 2).

Haastatteluprosessissa haastateltiin myös yhtä torrefioitua biomassaa tuottavan laitoksen edustajaa. Torrefioitu biomassaa valmistetaan alhaisemmassa lämpötilassa ja sen hiilipitoisuus on alhaisempi kuin biohiilen. Torrefioitun biomassan tapauksessa suuret toimijat ovat osoittaneet ”valitettavan vähän” kiinnostusta, ja asiakkaat ovat olleet kiinnostuneita enemmän korkeamman hiilipitoisuuden omaavista biohiilituotteista. (Tuottaja 1)

Biohiilen tuottamista myös muista raaka-aineista on tutkittu, ja haastateltavana oli myös lietteestä tuotetun biohiilen mahdollisuuksia tutkivan ryhmän edustaja (Tuottaja 3). Lietebiohiilen tuottamiseen liittyy kuitenkin useita haasteita liittyen muun muassa sen energiatehokkuuteen ja huoliin siitä, voidaanko jätelietteestä tehtyä biohiiltä hyödyntää esimerkiksi ruoantuotannossa. Lietebiohiili ei nykyisellään vaikuta mahdollistavan sen pohjalle rakentuvaa kestäväää liiketoimintaa. Tutkimus onkin oleellista erityisesti enteillen lainsäädännöllisiä muutoksia: jos laki tulee velvoittamaan nykyistä laajempaa orgaanisten haitta-aineiden poistamista jätelietteestä, minkä suorittamisessa kuumennus on joka tapauksessa tarpeellinen, pyrolyysiprosessin yhdistäminen tähän voi olla tässä tapauksessa hyödyllinen tapa muokata jäte hyödynnettävään käyttöön. Lietepyrolysoinnille ei ole tällä hetkellä suomalaista laitetoimittajaa.

Useampi haastateltava mainitsee, ettei tietojen vaihtoa muiden toimijoiden kanssa juuri harrasteta, ja kauan biohiilimarkkinassa mukana ollut Jatkojalostaja 2 kertoo, että työtä on saanut tehdä aika yksin. Yhteistyö suomalaisten toimijoiden välillä vaikuttaa olevan harvinaista.

3.2.2 Liiketoimintamahdollisuudet

Haastatteluissa tulee esille monipuolisesti biohiilen käyttömahdollisuuksia ja uusia mahdollisia tai vahvistuvia liiketoiminta-alueita. Haastateltujen yritysten mukaan suurinta kysyntää osoittaneet sovellusalat tällä hetkellä ovat viherrakentaminen, rakennusmateriaalit ja maatalous. Joissain Suomen kaupungeissa on tehty linjauksia biohiilen käytöstä vihreässä infrassa, ja sitä on käytetty muun muassa nurmikoiden kasvualustaan, urheilukentille, puille ja perennoille sekä kantavissa ja perinteisissä kasvualustoissa. Myös biohiilen hulevesikäyttö on voimistuvaa. Yhdessä haastattelussa nousee esille, että Tukholmassa käytetään biohiiltä hulevesien imeytysrakenteissa. Näin hulevedet menevät vedenpuhdistusjärjestelmään puhtaampina, jolloin vedenpuhdistusmaksut ovat vähäisemmät (Asiakas 1).

Ilmastonmuutos vaikuttaa positiivisesti biohiilen kysyntään paitsi hiilensitovuuden ja hiilikrediittien kautta, myös biohiilen vedensitovuuden ja hivenainepitoisuuden kautta. Kuivuuden aiheuttamat haasteet ovat luoneet kansainvälistä kiinnostusta maaperäkäyttöön suunniteltuihin ladattuihin tuotteisiin. Jatkojalostaja 1:n mukaan taistelussa kuivuutta vastaan vastaavia samaan haasteeseen vastaavia kilpailijoita biohiilelle ei ole. Kansainvälisille markkinoille päästessä volyymit olisivat moninkertaisia Suomeen nähden.

Biohiilen ominaisuudet mahdollistaisivat myös esimerkiksi hautausmaiden korkeiden hoitokustannusten hallintaa biohiiltä hyödyntämällä (Jatkojalostaja 2). Myös muita sovelluksia maaperäkäyttöön tulee esille: biohiilen avulla köyhiin kasvualustoihin, kuten hiekkaan, voidaan luoda parempia kasvumahdollisuuksia. Lisäksi biohiiltä voidaan hyödyntää niin kutsutussa biopeittämisessä: malmia louhiessa käyttöön sopimaton hukkamateriaali kasataan ja peitetään kasvustolla. Tiivistä moreenipintaa saa parannettua paremmaksi kasvualustaksi biohiilen avulla. (Asiantuntija 1)

Haastatteluissa nousi esiin aloja, joilla voi uusien hiilineutraaliuskannusteiden takia potentiaalisesti olla kiinnostusta biohiilen hyödyntämiseen. Näitä ovat muun muassa

sementti- ja kalkkiteollisuus. Sementtiteollisuuden kasvupotentiaali biohiilen hyödyntäjänä johtuu EU:n säännöstöstä, jonka mukaan 10 prosenttia hiilitehokkuudeltaan parhaista sementtitoimijoista saa ilmaiset päästöoikeudet, jotka loput 90 prosenttia maksavat (Tuottaja 1). Kannustin hiilitehokkaisiin ratkaisuihin on siis vahva, jonka takia markkinoilla tehdään uusia innovaatioita. Biohiiltä on käytetty muun muassa sekoittamalla sementtiin, jolloin sementti kovettuu kovemmaksi ja toimii hiilinieluna.

Myös rakennusteollisuudessa on vastaavanlaisia kannusteita: esimerkiksi Ruotsissa rakennusalan toimija voi voittaa julkirakentamisessa kilpailutuksen kalliimmalla tarjouksella, jos rakentamisen hiilidioksidipäästöissä päästään tarpeeksi alhaisiin lukemiin. Kauppoja on voitettu esimerkiksi hyödyntämällä mahdollisimman paljon sähkökoneita ja laittamalla biohiiltä maaperään. (Tuottaja 1) Myös Suomessa rakentamiseen liittyvään lainsäädäntöön on tulossa muutoksia: vuonna 2025 voimaan tulevan uuden rakennuslain mukaan jatkossa kaikissa rakennuspuolen tuotteissa täytyy olla selkeä informaatio tuotteen hiilijalanjäljestä, minkä lisäksi suunnitellun hiilijalanjäljen alittamisesta eri toiminnoilla annetaan rakennuttajalle hyvitys (Jatkojalostaja 2).

Lietebiohiilen lupaavin käyttökohde on lannoitekäyttö, johon se sopisi korkean fosforipitoisuudensa takia hyvin. Fosfori ei ole biohiilestä suoraan käyttökelpoinen vaan on aluksi tiukasti kiinni biohiilen rakenteessa, mutta mahdolliset käyttäjät ovat pitäneet pitkäaikaisempaa fosforin liukenemistä myös positiivisena asiana. Lietebiohiiltä voisi käyttää myös esimerkiksi katalysaattorina biojätteen käsittelyssä tai lisäaineena muihin prosesseihin, suodatinmateriaalina tai seosaineena esimerkiksi rakennusmateriaaleissa.

Sähkön ja lämmön tuotannossa biohiilen hyödyntämiseen ei nähdä suuria mahdollisuuksia, sillä se ei pärjää kannattavuudessa fossiiliselle hiilelle. Lisäksi hiilivoimalat sulkeutuvat lain mukaan vuoteen 2029 mennessä, joten kiinnostusta suurille muutosinvestoinneille ei juurikaan löydy.

3.2.3 Liiketoiminnan edellytykset ja kannattavuus

Tuottaja 2 listaa biohiililaitoksen kestävästä liiketoimintamallin edellytyksiksi kolme asiaa: raaka-aineen tulisi löytyä alle 200 kilometrin säteeltä, biohiilen tuotannossa muodostuvalle energialle pitäisi löytyä paikallinen käyttökohde – esimerkiksi kaukolämpöverkko tai teollinen toimija – ja tuotettavalle biohiilelle tulisi löytyä

käyttökohde. Itse valmista tuotetta voi kuljettaa pidempiä matkoja, sillä se on arvokkaampaa ja kevyempää.

Liikevaihto muodostuu kolmesta lähteestä – hiilikrediiteistä, biohiilestä ja energiasta. Jos joku näistä kolmesta tulonlähteestä puuttuu, malli ei toimi. Energialle ja hiilikrediiteille on helppo löytää asiakkaat, mutta biohiilen ostosopimusten muodostumisessa menee kauemmin ja sen markkina on hitaan kasvun vaiheessa. Jatkojalostaja 2 toteaa, ettei kannattavuuden huomioon ottaen biohiilen tuotantoa voi tehdä pelkästään hiilikrediitin takia, vaikka sen osuus biohiilestä saatavasta tulosta onkin iso.

Asiakasvaatimuksista esille nousee tasalaatuisuuden vaatimus. Tuottaja 2:n mukaan asiakkaita itseään ei kiinnosta mistä raaka-aineesta biohiili on tehty ja mitä erityisominaisuuksia sillä voi sitä kautta olla, vaan pääasia on tasainen laatu ja standardien mukaisuus. Tämä luo vaatimuksen samana pysyvän raaka-aineen tasaisesta saatavuudesta. Tasalaatuisuutta edistää haastateltavan mukaan tehokas pyrolyysiprosessi ja tasalaatuinen raaka-aine. Raaka-aineen tulee olla kuivaa ja partikkelilaatu tasakokoista, jotta prosessi toimii.

Väliaikainen uhka biohiilen kannattavuudelle on ollut puun hinnan nousu Ukrainan sodan takia. Venäjän rajan kiinnimeno vaikutti yrityksen toimintaan, kun venäläistä puuta raaka-aineena käyttäneet toimijat tulivat suomalaisen puun markkinoille. Esillä on toive siitä, että puun saatavuus palautuisi pian suhteellisen normaaliksi.

Myös lietebiohiilen tapauksessa vaatimuksena kannattavuudelle on se, että tuloa saadaan sekä biohiilestä, lämmön myynnistä sekä krediittimaksusta (Tuottaja 3). Lietehiilen tapauksessa arvoa tuottavat piirteet ovat ravinnepitoisuus ja hiilipitoisuus. Lisäksi lietebiohiilen tapauksessa lisätulonlähde voisi olla vielä jätevesilietteen käsiteltäväksi ottamisesta saatava porttimaksu. Haastateltavat eivät näe lietebiohiilen kannattavuutta varmana asiana. Haastateltavan toimijan luonteen vuoksi heillä ei ole voittotavoitetta, ja tavoitteisiin kuuluu olla mahdollisimman ympäristöystävällinen. Tämän takia jätevesilietteelle pyritään keksimään mahdollisimman ympäristöystävällisiä käyttökohteita, ja lisäksi halutaan varautua muutoksiin jäteveden käsittelytapoja määrittävässä lainsäädännössä. Toiminta on siis tutkimuspainotteista ja lähtee eri lähtökohdista kuin haastateltavien yritysten liiketoiminta.

Edellytyksenä tuotantotoiminnalle on paikka, jossa on sallittua tuottaa biohiiltä, koska kyseessä on terminen laitos. On myös mahdollista, että prosessi luokitellaan jätteenpoltoksi, jolloin kaavoitus ja luvat määrittävät paikat, joissa lietehiiltä on mahdollista tuottaa. Lietebiohiilen tapauksessa edellytyksenä on myös tuotteen turvallisuus pitkällä aikajänteellä. Biohiilen käytön laajenemista varten tarvittaisiin enemmän osaamista ja esimerkkejä biohiilen käytöstä Suomen ilmastossa, jotta myös suunnittelijat konsulttiyhtiöissä uskaltaisivat käyttää sitä (Asiakas 1).

3.2.4 Liiketoiminnan haasteet

Haastatteluista käy ilmi, että tämän hetken kynnyskysymyksiä biohiileen liittyvän liiketoiminnan kannalta ovat biohiilen korkea hinta ja raaka-ainekysymykset. Biohiili tuotetaan Suomessa pääosin puuraaka-aineesta. Raaka-aineelle on paljon kysyntää ja vapaata puuta vain vähän, mikä rajoittaa liiketoiminnan skaalautumismahdollisuuksia. Biohiilestä kiinnostuneet toimijat ovat myös keskimääräistä kestävyystietoisempia, joka johtaa siihen, että raaka-aineen tulee olla kaikin tavoin sertifioitua ja kestävää.

Raaka-ainetilanne on ollut Suomen markkinoilla muuttuva erityisesti Ukrainan sodan alkamisen jälkeen. Kaliforniassa ja Pohjois-Amerikassa tilanne on erilainen, ja siellä on olemassa jopa ilmaisia materiaalivirtoja, kuten pähkinänkuoret. Myös puun hinta on Yhdysvaltojen markkinoilla noin puolet Suomen markkinahinnasta. Suomen markkinoilla ongelma on siis raaka-aineen hinnan huono ennustettavuus. Raaka-ainesyöte muodostaa yleisesti ottaen suurimman osan biohiililaitoksen operaatiokustannuksesta, ja tämän takia toiminnan voitollisuus on vahvasti sidottu raaka-aineen hintaan (Tuottaja 2).

Biohiilen hinta ei tällä hetkellä riitä kilpailemaan fossiilisen hiilen kanssa, eli energiakäyttöön sitä ei voi oikein hyödyntää. Biohiilen hintaan on kuitenkin vaikea vaikuttaa, sillä suuri osa lopputuotteen kustannuksista tulee raaka-aineen eli pääasiassa puun kustannuksesta. Suomessa ei juuri ole biomassasivuvirtoja, joiden volyyymi ja laatu riittäisivät biohiilen tuotantoon: sivuvirtojen ketjut on Suomessa jo suhteellisen hyvin suljettu ja sivuvirrat johdetaan omiin prosesseihin tai tehtaiden omaan energiantuotantoon (Tuottaja 1). Puu on siis ensisijainen materiaali biohiilelle Suomessa, joten biohiilen hinta on pitkälti riippuvainen siitä.

Fossiilisten polttoaineiden korvaamisessa Tuottaja 1:n mukaan biohiilen ympäristöystävällisyydestä ollaan valmiita maksamaan pientä lisähintaa, ja se nähdään saatavan takaisin markkinoinnin ja yrityksen maineen kautta. Tämä ei tunnu kuitenkaan olevan Suomessa vahva myyntivaltti. Fossiiliset polttoaineet ovat halpoja, ja niiden vuosikymmenten tai -satojen aikana hiottu toimitusketju on niin tehokas ja mittakaavat niin valtavia, että niitä vastaan on vaikea lähteä kilpailemaan vastaavalla tuotteella.

Toinen suuri ongelma liiketoiminnan skaalautuvuudessa on se, että biohiili ja sen hyödyt eivät ole vielä kovin tunnettuja. Useamman haastateltavan mukaan biohiilen ymmärrys on puutteellista ja se haastaa myös markkinan kasvua. Biohiilestä ei aina ymmärretä edes perusasioita ja sen monet hyödylliset ominaisuudet aiheuttavat sen, etteivät ihmiset tiedä onko kyseessä lannoite, maanparannusaine vai jokin muu tuote. Tämä voi johtaa väärinkäyttöön ja sen kautta väärin tulkintoihin biohiilen toimivuudesta – Jatkojalostaja 2 kertoo esimerkkinä tilanteen, jossa biohiiltä käytettäessä on kokonaan unohdettu kastelu. Tämän takia olennaista on tiedon jakaminen, jota biohiilen saralla pitkään toiminut haastateltava mainitsee tekevänsä paljon. Tuottaja 2 taas mainitsee kysynnän olevan vahvaa, mutta suurten myyntisopimusten muodostumiseen menevän aikaa biohiilen tuntemattomuuden vuoksi.

Haastatellun kunnallisen toimijan (Asiakas 1) mukaan biohiilen käytön rahallinen hyöty on tällä hetkellä vaikea osoittaa: ei ole mitään todennettua keinoa, jolla voitaisiin mitata, että esimerkiksi viheralueiden lannoitus- tai hoitotarve ja sitä kautta hoitokustannukset vähenisivät. Kasvatusalustakäytössä biohiili monistaa kasvualustojen hinnan, joten siitä pitäisi saada nähtävää hyötyä, jotta käyttö olisi perusteltua muutenkin kuin ilmastonäkökulman vuoksi. Haastateltavan mukaan on haastavaa päättää, ostaako kaupunki itselleen biohiilituotteen lisäksi myös ilmastohyödyn hiilikrediitin muodossa, mikä vähintään kaksinkertaistaisi biohiilen hinnan. Tällä hetkellä hiilikrediittiä ei osteta, eikä kaupunki ylläpidä tietoa hiilinieluistaan, jotta niihin voisi vedota päästöjä laskettaessa. Hiilikrediitin osto vaatisi siis sen, että hiilinielujen kvantifiointi ja ylläpito hoidettaisiin ensin kuntoon.

Lietebiohiileen liittyvät omat haasteensa – lietteen kosteus ei tee siitä ihanteellisinta raaka-ainetta pyrolysointiin, ja prosessissa täytyy käyttää lisäsyötteenä puuta, jotta lämpö riittäisi kuivaukseen. Tällöin lietebiohiilen tapauksessa lämpöenergiaa ei jää myöskään myytäväksi, vaan se tarvitaan kaikki oman prosessin ylläpitoon. Lietteessä on myös

korkea rauta- ja fosforipitoisuus. Lietebiohiilituotteen tulevaisuudesta on noussut huolia, eivätkä kunnallista lietettä käsittelevät yritykset ole saaneet tuotteita hyvin markkinoitua näiden turvallisuushuolien takia. Esimerkiksi viljanviljelijät eivät huoli lietetuotetta ruokatuotteiden lannoittamiseen. (Tuottaja 3)

3.2.5 Muut liiketoimintaa ohjaavat tekijät – tutkimus, säädökset ja kannusteet

Tuotteiden laatuvaatimuksista puhuttaessa haastatteluissa tuli esiin European Biochar Certificate, joka asettaa vaatimuksia biohiilen tuotantoon. Lisäksi EU:n lannoitevalmisteasetus määrittää, mistä aineista biohiiltä voidaan hiiltää. Tällä hetkellä sallittujen raaka-aineiden listalta löytyy lähinnä kasvipohjaisia raaka-aineita, ja esimerkiksi puhdistamolietteet eivät löydy vielä listalta. Kyseisen asetuksen soveltaminen on alkanut 2022. Asetuksen pohjalta säädetty kansallinen lainsäädäntö Suomessa sisältää mahdollisuuden myös lietteen käyttöön raaka-aineena. Lisäksi asetukset sisältävät muun muassa vaatimuksia prosessin minimilämpötilaa ja lopputuotteen laatuksia koskien, esimerkkinä valmiin tuotteen hiilivetyosuus. (Asiantuntija 2)

Tuottaja 1 mainitsee toivovansa Euroopan Unionin uuden päästöjen EU:n ulkopuolelle ohjautumista ehkäisevän Carbon Border Adjustment -mekanismin (CBAM) vaikuttavan siihen, että yritykset uskaltaisivat aktiivisemmin lähteä kokeilemaan vaihtoehtoisia hiilimateriaaleja. Toinen haastatteluissa useasti mainittu biohiililiiketoimintaan vaikuttava asetus on REACH, Euroopan Unionin asetus kemikaalirekisteröinnistä, lupamenettelyistä ja rajoituksista. Biohiililiiketoiminnassa on mahdollisuuksia, joita varten pitäisi käydä läpi REACH-menettely. Esimerkiksi biohiilen tuotannosta sivutuotteena saatavaa tislettä voisi mahdollisesti myydä biostimulanttina, mutta se vaatisi REACH -luvan (Jatkojalostaja 2).

EU:n tasolla jotkut haastateltavat ovat saaneet pieniä tukirahoja, mutta laajoja tukia ei ole. Tuottaja 2:n mukaan Yhdysvalloissa toimeenpannun Inflation Reduction Act for green energy (IRA) -asetuksen johdosta Yhdysvalloissa biohiilitoiminnalle annetaan suuria tukirahoja. Jotta biohiileen liittyvässä liiketoiminnassa pysyttäisiin mukana Euroopassa ja Suomessa, myös EU:n tasolla pitäisi olla olemassa vastaavia tukia.

Biohiilen näkeminen mielenkiintoisena tutkimuskohteena ja mahdollisuutena kertoo osin sen potentiaalista. Biohiilen käyttökohteita kartoittavaa ja ymmärrystä lisäävää

tutkimustyötä on tehty Suomessa: biohiilen hyödyntämistä on tutkittu ministeriöissä muun muassa ravinteiden kierrätystä tutkivan ohjelman yhteydessä (Asiantuntija 2). Ohjelman pääpaino on ollut orgaanisten massojen ravinteiden kierrätyksen ja käytön edistäminen.

3.3 Haastattelujen synteesi

Haastattelujen avulla saatiin kartoitettua biohiilimarkkinan nykytilaa sekä laaja kuva uusista biohiilen liiketoimintamahdollisuuksista ja käyttökohteista. Suuressa osassa haastatteluja esiin nousivat toistuvasti samat asiat liittyen muun muassa kannattavuuteen, haasteisiin ja raaka-ainekysymyksiin. Taulukko 5 sisältää tiivistetysti kustakin pääteemasta haastattelujen avulla muodostetun kokonaiskuvan.

Taulukko 5. Haastattelujen synteesi.

Teema	Tiivistelmä
Markkinan nykytila ja kehittyneisyys	Markkina on toistaiseksi kehittymätön, mutta kasvussa – potentiaalia on. Suuria toimijoita on mukana Suomen biohiilikentällä. Markkina on kasvussa monella sektorilla, ja haastateltavat mainitsivat monipuolisesti eri aloja, joissa biohiille on käyttöä. Yleisesti biohiilen tuntemus on kuitenkin vielä verrattain heikkoa. Biohiilen hinnan odotetaan alkavan laskea nyt kun toimijoita kentällä on enemmän.
Liiketoiminta-mahdollisuudet	Haastatteluissa tuli esille laaja kirjo biohiilen soveltamisaloja: maa- ja viherrakentaminen, rakennusmateriaalit, vedensuodatus, hulevesirakenteet, metalliteollisuus, lannoitteet, kasvualustat, kasvihuonekasvatus, ilmansuodatus, ilmanlaadun parannus, betoniteollisuus ja biostimulantit. Lisäksi puhuttiin laajoista teemoista, jotka pitävät kiinnostusta biohiileen yllä, kuten ilmastonmuutos, hiilensidonta ja kuivuus.
Liiketoiminnan edellytykset ja kannattavuus	Liiketoiminnan olennaisena edellytyksenä on tasalaatuinen materiaali, jolla on hyvä saatavuus. Uhkana kannattavuudelle nousee monissa haastatteluissa puun asema ensisijaisena raaka-aineena ja sen hinnan vaikea ennustettavuus. Biohiililiiketoiminnassa suuri osa tuotteen kustannuksesta syntyy syötemateriaalista, joten sen hinnan vaihtelut voivat viedä kannattavankin liiketoiminnan nopeasti kannattamattomaksi. Hiilikrediiteillä on merkittävä vaikutus biohiilen kannattavuuteen, mutta olennaista on, että myös itse biohiili sekä prosessissa syntyvä energia saadaan myytyä.
Liiketoiminnan haasteet	Haasteista puhuttaessa esiin nousevat toistuvasti materiaalikysymykset. Vielä on osittain avautumatta, mistä kaikista materiaaleista biohiiltä voisi tehdä. Pääraaka-aineesta eli puusta on Suomen markkinoilla kilpailua. Biohiilen hinta on edelleen hidasteena sen käytön laajentumiselle, ja hinnan määrää pitkälti puun hinta. Suomessa ei ole juuri biomassasivuvirtoja, joiden volyyymi ja laatu riittäisi biohiilen tuotantoon: ketjut on jo suhteellisen hyvin suljettu ja sivuvirrat johdetaan omiin prosesseihin tai tehtaiden omaan energiantuotantoon. Osa haastetta on myös biohiilen puutteellinen ymmärrys.
Muut liiketoimintaa ohjaavat tekijät – tutkimus, säädökset ja kannusteet	Merkittäviä biohiilen tuotantoon tai liiketoiminnan mahdollisuuksiin vaikuttavia säädöksiä, asetuksia tai mekanismeja ovat European Biochar Certificate, EU:n ja Suomen lannoitevalmisteasetus, kemikaaliturvallisuutta varmistava REACH-asetus sekä hiilipäästöjen EU:n ulkopuolelle valumista ehkäisevä CBAM.

3.4 Kyselytutkimus biohiilen hyödyntämisen potentiaalista

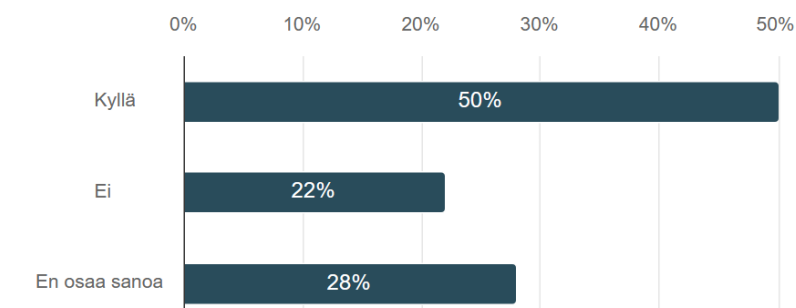
Tutkimusta varten laadittu, biohiileen kohdistuvaa kiinnostusta kartoittava Webropol-kysely lähetettiin 167 toimijalle 13.3. ja vastausaikaa annettiin viikko. Vastauksia saatiin 32 kappaletta, eli kyselyn vastausprosentti on 19. Kyselyyn vastanneiden joukossa oli kiertotalousratkaisujen, metsien hoidon, metsäbiotalouden, jätteiden käsittelyn, puutarha-alan, kiertotalouteen sekä vähähiilisyyskeskittävän konsultoinnin, biokaasun, kestävien energiaratkaisujen, betoniteollisuuden, rakennusteollisuuden kestävien ratkaisujen, maanparannusaineiden valmistuksen, ja ympäristö- ja resurssitekijöiden yhteiskuntavaikutuksen tutkimuksen parissa toimivia toimijoita.

Kyselyyn vastaajista 37 prosenttia eli 12 vastaajaa vastasi biohiilen kuuluvan tai kuuluneen aiemmin heidän toimintaansa, ja 63 prosentin (20 vastaajaa) toimintaan se ei ollut koskaan kuulunut. Vastaajista, joiden toimintaan biohiili oli kuulunut, viiden toiminta oli liittynyt biohiilen käyttöön tai hyödyntämiseen, kolmen biohiilen tutkimukseen ja kahden biohiilen tuotantoon tai jalostukseen. Lisäksi neljä valitsi vastausvaihtoehdokseen ”muu, mikä?”. He antoivat vastauksiksi toimineensa aiheen parissa konsultointipalveluissa, kartiohiilettimien valmistuksessa, raaka-aineen laadun yhteydessä sekä sen tulleen vastaan sisältönä koulutuksissa tai puheenvuoroissa. Vastaajista tasan puolet näki biohiilen hyödyntämisen potentiaalisesti osaksi toimintaansa. Lopuista 28 % ei osannut sanoa ja 22 % vastasi, ettei näe biohiilen hyödyntämiselle potentiaalia toiminnassaan (kuva 10).

Näettekö biohiilen hyödyntämisen potentiaalisena osana toimintaanne?

Tätä voi olla esimerkiksi biohiileen liittyvä liiketoiminta, sen ostaminen/käyttäminen tai käyttöä edistävä tutkimus.

Vastaajien määrä: 32



Kuva 10. Vastaajien näkemys biohiilen hyödyntämispotentiaalista toiminnassaan.

Biohiilen hyödyntämisen liiketoiminnassaan potentiaalisena näkevistä vastaajista ylivoimaisesti suurin osa oli ensisijaisesti kiinnostunut sen käytöstä kasvualustakäytössä (31 % vastaajista eli 5 vastaajaa) ja hiilikrediittikäytössä (25 % vastaajista eli 4 vastaajaa). Seuraavaksi eniten kiinnostusta osoitettiin lannoitteisiin ja hulevesirakenteisiin (molemmilla viisi valintaa kiinnostavimpien käyttökohteiden sijoille 1-3, lannoitteilla enemmän ensisijaisia valintoja).

Kyselyssä oli mahdollisuus jättää myös avoimia vastauksia aiheeseen liittyen, ja näistä saatiin laadullista tietoa biohiileen kohdistuvasta kiinnostuksesta. Eräs biohiilihankkeiden parissa toiminut vastaaja kertoi olevansa yllättynyt siitä, miten vähäisen tietopohjan varassa biohiililiiketoiminnassa toimitaan. Haastavan ja vaikeasti ennakoitavissa olevan raaka-ainetilanteen mainitsemisen lisäksi vastaaja ihmetteli tuotannollisia investointeja tilanteissa, joissa markkinoista ei ole tietoa, ja totesi että tällöin ne harvoin onnistuvat. Hän näki kuitenkin biohiilessä potentiaalia ja totesi aiheen ympärillä olevan paljon liikehdintää ja hankkeita.

Betoniteollisuuden parissa toiminut vastaaja kertoi biohiilen käyttöä betonissa pohdittaneen, mutta sen kanssa toistaiseksi yrityksessä päädytyn siihen, ettei toiminta ole perusteltua. Tätä perusteltiin useilla seikoilla. Vastaajan mukaan biohiilen varastoiminen betoniin hiilensitomistarkoituksessa ei ole järkevää, koska biohiilen maahan hautaaminen on halvempi tapa luoda pitkäaikainen hiilivarasto. Eloperäiset ainekset vapaa hiili mukaan lukien myös häiritsevät sekä sementin kovettumista että lisäaineiden toimintaa. Lisäksi biohiili värjää betonia tummaksi.

Lisäksi kiinnostusta osoitettiin biohiilen potentiaaliin ja kustannuksiin suhteessa CCS-tekniikoihin eli hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin liittyviin tekniikoihin (Carbon Capture and Storage), sekä biohiilen tuottamiseen pajusta lietepohjaisten kierrätyslannoitteiden avulla vanhoilla turvetuotantosoilla ja muilla hukkamailloilla, joka saisi aikaan alueellisen kierron.

Jätteenkäsittelyn parissa toimivaa vastaajaa kiinnosti biohiilessä erityisesti se, että sen valmistus voisi olla mahdollista ”jopa pilaantuneista materiaaleista”, ja tähän liittyen intresseinä olivat raaka-aineiden vaikutus laatuun ja lainsäädäntö. Vastaaja näki biohiilen tuotannon pilotoinnin mahdollisena.

3.5 Empirian synteesi: Biohiilen liiketoimintapotentiaali Suomessa

Tämä osio vastaa tutkimuskysymykseen 2, eli siihen, millainen on biohiilen tämänhetkinen liiketoimintapotentiaali Suomessa. Biohiilen ympärillä on Suomessa paljon toimintaa ja siitä ollaan kiinnostuneita. Yhtä aikaa on myös toiveita siitä, ettei kiinnostus biohiileen ja sen tutkimukseen jäisi vain lyhytaikaiseksi ilmiöksi. Liiketoimintaympäristössä on sekä biohiilen käytön kasvua tukevia että liiketoimintaa haastavia tekijöitä.

Päästökrediittien luontimahdollisuus nähdään biohiilen markkinaa parantavana tekijänä, sillä valmistaja voi krediitit saadessaan myydä itse biohiilen krediittien verran halvemmalla. Hiilikrediiteillä onkin merkittävä vaikutus biohiilen kannattavuuteen. Olennaista biohiileen perustuvan liiketoiminnan kannattavuudelle on tulorakenteen kolmikanta – erityisesti biohiilen hinnan ollessa vielä korkea täytyy sekä itse biohiilelle, sen valmistusprosessista ja sivutuotteista saatavalle energialle, että hiilikrediitille löytää kiinnostus ja markkina, jotta liiketoiminta olisi aidosti kannattavaa. Useat haastateltavat olivat samaa mieltä siitä, että hiilensidonta ei siis voi olla ainoa biohiilen markkinoitava hyöty. Jos ymmärrystä biohiilestä parannettaisiin, se nähtäisiin myös multa ominaisuuksiltaan viisaana valintana, ja oikeanlaisia tuotteita käytettäisiin oikeisiin tarkoituksiin. Siinä missä hiilikrediiteille sekä energialle on selkeä markkina ja ostajat olemassa, itse biohiilelle tuotteena ja sen tarjoamille ominaisuuksille ei löydy vielä tarpeeksi suurta kysyntää.

Webropol-kyselyssä vastauksia saatiin monilta toiminta-aloilta, ja monenlaiset toimijat osoittivat kiinnostusta biohiilen hyödyntämiseen. Vastaajien tieto ja ymmärrys biohiilestä on kuitenkin rajallinen – pyydettyä arvioimaan omaa biohiilen tuntemustaan asteikolla yhdestä viiteen keskimääräinen vastaus oli 2,7. Webropolista saadut tiedot vahvistivat osaltaan haastatteluissa esiin tulleita asioita. Biohiilen edistämiseen tarvittaisiin vankempaa tietopohjaa niin tuottaja- kuin asiakaspuolelle. Biohiili tuotteena ja sen hyödyt eivät ole vielä kovin tunnettuja. Tällä hetkellä biohiiltä ei ymmärretä tarpeeksi laajasti ”kattoterminä”, mikä se käytännössä on, ja minkä alle mahtuu monia erilaisia tuotteita. Tästä hyvänä esimerkkinä on myös muun muassa se, että englanninkielisille termeille ”biochar” ja ”biocoal” ei ole olemassa kahta erilaista suomenkielistä termiä, vaan suomeksi puhutaan yleisesti vain biohiilestä.

Useiden haastateltavien mukaan biohiiltä tai siitä jalostettuja tuotteita myyvät toimijat Suomessa eivät ole toimineet yhdessä, vaan markkina on ollut yksittäisten toimijoiden eteenpäin ajama. Tämä on liiketoiminnan kannalta ymmärrettävää, mutta rajoittaa sitä tietoa mitä yleisesti ihmisillä on biohiilestä, ja sitä kautta systemaattisen markkinoinnin puuttumisen takia Suomen markkina ja biohiilen tuntemus yleisessä keskustelussa on kasvanut varsin hitaasti.

Uusista biohiiltä hyödyntävistä aloista erityistä potentiaalia on sementti- ja kalkkiteollisuudessa, joiden kannusteet ohjaavat toimijoita toimimaan hiilitehokkaasti. Sementtipuolella on kuitenkin vielä avoimia kysymyksiä, kuten kyselytutkimuksesta käy ilmi. Myös rakennusalalla on ainakin Ruotsissa ja 2025 alkaen myös Suomessa lainsäädäntöä, joka kannustaa rakentajia minimoimaan hiilijalanjälkeään. Lietebiohiilen mahdollisuuksia vasta tutkitaan, mutta tällä hetkellä käytön laajentuminen liiketoiminnaksi näyttää epätodennäköiseltä – lietteen pyrolysointi tulee todennäköisemmin esimerkiksi kaupunkien tai jätehuoltojen hoidettavaksi, mikäli lainsäädäntö vaatii uudenlaisia, tehokkaampia jäteveden puhdistuskeinoja.

4 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä osiossa käydään läpi tutkimuksen aikana menestyksekkään biohiililiiketoiminnan kannalta tarpeellisiksi osoittautuneita tekijöitä, ja vastataan kolmanteen tutkimuskysymykseen ”Miten biohiililiiketoimintaa voisi kehittää Suomessa?” Osiossa annetaan biohiiliarvoketjun toimijoille haastatteluiden analysoinnin ja teorian vertailun pohjalta esiin nousseita kehitysehdotuksia biohiililiiketoiminnan edistämiseksi.

Taulukossa 6 on esitelty toimia, jotka ovat vaatimuksena sille, että biohiililiiketoiminta voisi Suomessa menestyä ja kehittyä. Toimet on esitelty sen mukaan, mikä toimija niihin voi ensisijaisesti vaikuttaa. Toimet nousivat esiin tutkitun kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella. Osan toteutumiseen voi vaikuttaa useampikin toimija. Osa biohiililiiketoiminnan edellytyksistä ovat myös suhteellisen vaikeasti vaikutettavia, ja tästä syystä toimijat voivat lähinnä tehdä parhaansa olosuhteiden asettamissa raameissa.

Taulukko 6. Menestyvän biohiililiiketoiminnan edellyttämiä toimenpiteitä.

Toimija	Toimenpiteen nimi	Toimenpiteen kuvaus
Raaka-ainelähde	Paikalliset raaka-ainelähteet	Pyrkimys raaka-ainelähteiden löytämiseen lähialueilta logististen kustannusten vähentämiseksi.
	Jätteen hyödyntämisen kehittäminen	Sivuvirtojen ja jätteen raaka-aineiksi hyödyntämisen potentiaalin tutkimisen jatkaminen.
Logistiikka	Tehokas logistiikka	Raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden kuljetuksen optimointi, hyödyntäen mahdollisuuksien mukaan paikallisia resursseja ja kuljetusratkaisuja.
Biohiilen valmistaja	Prosessin tehokkuus	Pyrolyysiprosessin tehokkuuden ja tasalaatuisuuden optimointi
	Markkinoiden kehitys	Markkinoiden varmistaminen sekä biohiilelle, syntyvälle energialle että hiilikrediiteille. Suurin työ on siinä, että itse biohiilen kysyntä saataisiin yhtä suureksi kuin energian ja hiilikrediittien.
	Sivutuotteiden hyödyntäminen	Kaikkien pyrolyysiprosessissa syntyvien tuotteiden, kuten synteetikaasun ja bioöljyn, hyödyntäminen energiana ja kemiallisina raaka-aineina tai myymällä.
	Koulutus ja tiedotus	Tietoisuuden lisääminen biohiilen hyödyistä ja käyttömahdollisuuksista eri sovelluskohteissa.
Biohiilen jalostaja	Viestintä biohiilen sovellustavoista	Selkeä viestintä jalostetun biohiilituotteen hyödyistä ja käyttökohteista, jotta asiakas ymmärtää tuotteen.
Teknologian toimittaja	Innovointi ja tutkimus	Panostaminen tutkimukseen ja kehitykseen uusien pyrolyysiteknologioiden ja -prosessien kehittämiseksi on tärkeä osa alan kehitystä. Esimerkiksi liikkuvat pyrolyysiyksiköt voivat mahdollistaa tuotannon lähempänä raaka-ainelähteitä.
Rahoitus	Investointituet	Rahoitus ja tuet biohiilen tuotantoinvestoinneille ja tutkimukselle.
	Hiilikrediittimarkkinat	Biohiilen hiilensitomiskapasiteetin hyödyntämisen edistäminen hiilikrediittimarkkinoilla.
Energia	Prosessienergian tehokas hyödyntäminen	Biohiilen tuotantoprosessista syntyvän energian integrointi paikallisiin energiaverkkoihin tai käyttö prosesseissa.
Valtio/kunnat	Sääntely ja lainsäädäntö	Selkeät säädökset ja lainsäädäntö, jotka tukevat biohiilen tuotantoa ja käyttöä.
	Julkiset hankkeet	Julkisten hankkeiden kautta biohiilen käytön edistäminen esimerkiksi viherrakentamisessa ja maaperän parannuksessa.

Esitetyt toimet edistävät biohiililiiketoiminnan potentiaalia ja kannattavuutta. Jotta biohiililiiketoiminta voisi laajeta ja vahvistua Suomessa, tarvitaan toimia kaikilta toimijaryhmiltä. Kuten haastatteluista käy ilmi, osa toimista on jo käytössä, ja osa taas kaipaisi kehittämistä.

Tutkimuskysymykseen 3 vastaamiseksi tulosten analysoinnin perusteella tunnistettiin kolme olennaista kehitystarvetta biohiiliarvoketjun toimijoille. Näistä johdettiin seuraavat toimintaehdotukset biohiililiiketoiminnan tehostamiseksi:

1. Tiedonjaon lisääminen
2. Biohiilen arvoketjun optimoiminen
3. Biohiilen ja sen sivutuotteiden markkinoiden kehittäminen rinnakkain

Perusteet, joilla huomio kohdistetaan näihin alueisiin ja toimintoihin, ovat toimien vaikuttavuus, toteutettavuus ja se, ettei toimia ole vielä täysimittaisesti toteutettu Suomessa tai niiden alueella on selkeästi kehitettävää.

4.1 Tiedonjaon lisääminen

Ensimmäinen osa-alue, joka tutkimuksessa tunnistettiin tärkeäksi ja toteutettavaksi toimeksi biohiililiiketoiminnan parantamiseksi, on tiedonjaon ja tätä kautta biohiilen ymmärryksen lisääminen. Biohiililiiketoiminnan menestyksen kannalta on olennaista vahvistaa tietopohjaa ja ymmärrystä biohiilestä niin julkisella sektorilla, asiakaskunnassa kuin tuottajien ja jalostajien keskuudessa. Huoli asiakaskunnan heikosta tietopohjasta tuli esille erityisesti haastattelussa Jatkojalostaja 2:n kanssa, joka totesi väärinkäsitysten ja tietämättömyyden hidastavan markkinaa, ja kertoi tekevänsä työtä tiedonjaon eteen. Myös alan kirjallisuudessa (Zilberman ym. 2023) on todettu paremman ymmärryksen eri biohiililuokkien ominaisuuksista ja niiden optimaalisesta käytöstä olevan tarpeellista biohiilen laajamittaisen käytön saavuttamiseksi.

Vähäinen tieto johtaa siihen, ettei biohiiltä aina osata tai uskalleta käyttää paikoissa, missä se olisi erittäin toimiva ja kustannustehokas tuote. Asiakas 1:n (suomalainen kunta, jonka edustajaa haastateltiin) mukaan tarvittaisiin esimerkkejä siitä, miten biohiili toimii Suomen olosuhteissa, jotta esimerkiksi konsultit uskaltaisivat suositella sen käyttöä. Kun asiakkaat ymmärtävät biohiilen tuotteet ja niiden hyödyt paremmin, he uskaltaisivat käyttää

niitä, odotukset ovat realistisia ja he käyttävät niitä oikein. Jatkojalostaja 2 mainitsi haastattelussaan olevan tärkeää, että ymmärretään biohiilen olevan sateenvarjotuote, joka kattaa monia erilaisia sovelluksia ja käyttötarkoituksia. Zilberman ym. (2023) kuvaa biohiilen luokkana heterogeenisiä tuotteita, joiden ominaisuudet riippuvat niin käytetystä raaka-aineesta kuin valitusta pyrolyysiteknologiastakin. Puutteellinen ymmärrys ja siitä johtuva vääränlainen käyttö voivat luoda käyttäjälle kuvan biohiilestä toimimattomana tuotteena ja hidastaa näin markkinan kasvua. Biohiileen kohdistuu paljon kiinnostusta ja uutta liiketoimintaa, ja tämän takia biohiileen on voitu tehdä investointeja myös ymmärtämättä täysin sen ominaisuuksia ja siihen kohdistuvia asiakasvaatimuksia. Biohiilen parempi tuntemus on tärkeää myös tuottajien keskuudessa, ja se auttaa uusia tuottajia välttämään projekteja, joissa investoinnit menevät hukkaan, ja mahdollistaa tarpeen arvioinnin jo ennen hankkeiden aloittamista.

Biohiilen ollessa suurelle yleisölle vielä kohtuullisen tuntematon tuote tämä tietämättömyys rajoittaa markkinoita. Tiedonjaon tärkeiden vuoksi biohiiliyritysten olisi erityisen hyödyllistä työskennellä toistensa sekä muiden biohiilitoimijoiden kanssa yhdessä rintamassa, mikä mahdollistaisi tehokkaamman tiedonjaon, parantaisi biohiilen tuntemusta ja voisi tehdä siitä tutumman tuotteen. Tutkimuksessa muodostuneesta kokonaiskuvasta saa sellaisen käsityksen, että tämän hetken markkinalaajuudessa suuren yleisön tietämättömyys itse tuotteesta on liiketoiminnalle haitallisempi tekijä kuin yritysten välinen kilpailu. Haastattelujen aikana ei käynyt ilmi, että toimijat olisivat toimineet yhdessä asian eteen. Useampi haastateltava mainitsi, ettei ole tehnyt yhteistyötä muiden toimijoiden kanssa.

Julkisten hankkeiden edistäminen on myös tärkeää – biohiilen käytön tukeminen julkisissa projekteissa, esimerkiksi viherrakentamisen ja maaperän parannuksen yhteydessä, on tärkeässä roolissa käytön ja tietoisuuden lisäämisessä. Valtion ja kuntien rooli on tärkeä markkinan luomisessa ja kysynnän kasvattamisessa biohiilen sovelluksille. Biohiilen hyödyntämiseksi myös hiilensidontaan kuntien tulisi kehittää menetelmiä hiilinielujen laskemiseen, jos ne haluavat ostaa hiilikrediittejä – haastatellun kunnan (Asiakas 1) edustaja mainitsi tämän puutteeksi, joka pitäisi korjata, mikäli pelkän biohiilen maaperän parantamiseen käytön lisäksi haluttaisiin vielä ostaa itse hiilikrediitit ja niiden tarjoama laskennallinen ilmastohyöty kunnan hiilijalanjäljen pienentämiseen. Biohiilen täysimittainen hyödyntäminen vaatii siis kunnilta kunnianhimoista

ilmastopolitiikkaa ja sitä varten vaadittuja selkeitä mittareita ja ylläpidettyjä tietokantoja hiilipäästöjen kvantifioimiseen.

4.2 Biohiilen arvoketjun optimoiminen

Toinen toimintakehotus liittyy biohiilen arvoketjuun ja sen optimointiin ja tehostamiseen kaikissa mahdollisissa arvoketjun vaiheissa. Erityisen olennaisia tässä suhteessa ovat raaka-ainekysymykset ja se, mitä niille voidaan tehdä: Bruckmanin ym. (2016) mukaan edullisen biomassan saatavuus on merkittävimpiä biohiilen tuotannon kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Andersonin ym. (2016) määrittelemiä biohiilen toimitusketjun osia ovat biomassan tuotanto, raaka-aineen logistiikka, muuntaminen, jakelulogistiikka ja loppukäyttö. Näitä voidaan käsitellä myös arvoketjun osina, ja optimointimahdollisuuksia löytyy jokaisesta osasta.

Raaka-aineen hankinta on tärkeä osa biohiilen arvoketjua. Biohiilen raaka-aineen tulisi olla saatavilla hyvin läheltä pyrolyysilaitosta, jotta liiketoiminta olisi taloudellisesti järkevää (Zilberman ym. 2023). Tuottaja 2:n mukaan vaatimus kannattavalle liiketoiminnalle on, että raaka-aine löytyy alle 200 kilometrin säteeltä: sitä pidempiä matkoja tuottaja ei katso järkeväksi kuljettaa raaka-ainetta. Järkevä kuljetusetäisyys on tapauskohtaista ja riippuu raaka-ainevalinnasta, mutta on selvää, että lopputuotetta painavampaa raaka-ainetta ei kannata kuljettaa pitkiä matkoja. Jos tarpeen, on parempi kuljettaa valmista biohiiltä, koska se on poltettuna huomattavasti tiiviimpää ja kevyempää ja sen arvo vetoisuutta kohden on suurempi. Raaka-aineen hankinta läheltä tuotantolaitosta vähentää kuljetuskustannuksia ja parantaa toimitusvarmuutta. Tämä voidaan saavuttaa kartoittamalla paikallisia raaka-ainelähteitä ja solmimalla pitkäaikaisia sopimuksia paikallisten toimittajien kanssa.

Myös raaka-aineen tasalaatuisuus ja tasainen saatavuus ovat kriittisiä tuotteen laadun kannalta. Olennaista on raaka-aineen valinta niin, että samaa raaka-ainetta on saatavilla koko tuotannon tarpeisiin – tuotteen tasainen laatu on tärkeä asiakasvaatimus, ja sitä varten tarvitaan tasalaatuinen raaka-aine, jolla on tasainen saatavuus (Tuottaja 2). Säännöllinen laadunvalvonta ja yhteistyö raaka-ainetoimittajien kanssa auttavat varmistamaan tasalaatuisuuden. Suomessa juuri raaka-aineen tasainen saatavuus ja erityisesti hinta ovat biohiilen tuotannossa merkittäviä haasteita (Tuottaja 1, Tuottaja 2, Jatkojalostaja 2). Tämä siirtyy varsin suoraviivaisesti näkymään valmiiden

biohiilituotteiden korkeassa hinnassa, mikä hidastaa biohiilen käytön laajenemista (Asiantuntija 1, Tuottaja 1). Ratkaisujen löytämiseksi mahdollisten raaka-aineiden tutkimusta tulisi edelleen jatkaa. Esimerkiksi pajusta on esitetty mahdollista energiatehokasta raaka-ainetta biohiilelle, ja myös hamppu olisi ominaisuuksiltaan otollinen biohiilen tuotantoon (Jatkojalostaja 2). Myös teknologian kehitys voi tuoda mahdollisuuksia arvoketjun optimointiin, esimerkiksi siirreltävien pyrolyysiyksiköiden avulla.

Raaka-aineen esikäsittelyssä prosessin optimaalisuuden kannalta tärkeää on homogeeninen partikkelikoko (Tuottaja 2). Tämä on olennaista tasaisen ja tehokkaan pyrolyysiprosessin saavuttamiseksi. Tasainen partikkelikoko voidaan saavuttaa käyttämällä seulontaa ja murskausta esikäsittelyssä. Olennaista arvoketjun optimoinnissa ovat myös biohiilen tuottajan tehokas pyrolyysiprosessi, jolla saadaan tasalaatuinen tuote, sekä prosessienergian hyödyntäminen omissa prosesseissa tai esimerkiksi paikalliseen energiaverkkoon integroimalla.

4.3 Biohiilen ja sen sivutuotteiden markkinoiden kehittäminen rinnakkain

Kolmas toimi on hiilikrediittimarkkinoiden, energiamarkkinoiden ja biohiilimarkkinoiden kehittäminen rinnakkain hyvän tulorakenteen varmistamiseksi. Useassa biohiilen tuottajan haastattelussa (Tuottaja 2, Tuottaja 4) tuli ilmi, että heille liiketoiminnan kannattavuudessa on olennaista se, että tulot tulevat kolmesta lähteestä: biohiilestä, hiilikrediitistä ja pyrolyysissä syntyvän prosessienergian myynnistä. Erityisesti biohiilen hinnan ollessa vielä korkea on tärkeää, että kaikille kolmelle tulonlähteelle löydetään kiinnostus ja markkina. Tällä hetkellä hiilikrediiteillä ja prosessienergialla on enemmän kysyntää kuin itse biohiilellä. Biohiilen markkinoiden kehittämiseksi kokeilut ja tutkimus uusilla tässä tutkimuksessa ja jatkossa muuten esiin nousevilla aloilla on tärkeää.

Hiilikrediittimarkkinoiden kehittäminen on tärkeässä osassa biohiilen kannattavuuden parantamisessa, sillä kun hiilikrediitin myynti on mahdollista, siitä muodostuu prosentuaalisesti suuri osa tulonlähteestä (Tuottaja 4, Jatkojalostaja 2, Asiakas 1). Hiilensidonta on myös yksi biohiilen tunnetuimmista ominaisuuksista: kuten Kurniawan ym. (2023) toteavat, biohiilen potentiaali ilmastonmuutoksen torjumisessa on laajasti

tunnistettu ja siihen kohdistuva kiinnostus onkin pitkälti sen hiiltä maaperään sitovan kyvyn ansiota. Hiilikrediittejä myyvät biohiilituottajat voivat myös myydä itse biohiilituotteita edullisemmin (Tuottaja 2), mikä tekee niistä kilpailukykyisempiä. Tällä on suuri vaikuttavuus biohiilimarkkinoiden kasvattamisessa.

Energian tarve modernissa yhteiskunnassa on sekä suurta että jatkuvaa, minkä takia markkinan löytyminen prosessissa syntyvälle energialle on näistä kolmesta itsestäänselvintä eikä vaadi yhtä paljon työtä. Prosessienergian integrointi paikallisiin energiaverkkoihin on hyvä ratkaisu liiketoiminnan optimoimiseen, mutta prosessi vaatii kuitenkin toimenpiteitä. Optimaalisinta olisi, jos energialle löydettäisiin käyttökohde mahdollisimman läheltä, sillä etäisyyden kasvaessa logistiikka tuo kustannuksia tässäkin yhteydessä.

Itse biohiilen markkinoiden kehittämisessä olennaista on jatkaa uusien nousevien alojen mahdollisuuksien tutkimista, ja huomata erityisesti uuden rakennuslain kaltaiset uusia aluevaltauksia mahdollistavat muutokset lainsäädännössä. Tämän hetken nousevia aloja ovat esimerkiksi juuri rakennusteollisuus ja tutkinnan alla oleva betonteollisuus (Garcia ym. 2022, Schmidt & Wilson, 2014). Olennaista on myös panostaa erityisesti niille aloille, joissa kiinnostus ei perustu vain biohiilen hiilensidontaominaisuuteen, vaan myös sen muihin ominaisuuksiin (Jatkojalostaja 2). Tätä kautta intressi biohiilen käyttöön olisi vahvempi. Biohiilen markkinassa tämän hetken haaste on se, että tuotteen tuntemattomuuden takia suurten myyntisopimusten muodostumiseen menee tällä hetkellä paljon aikaa (Tuottaja 2). Biohiilen markkinan kasvattamisessa suuressa roolissa onkin juuri oikean tiedon levittäminen julkisuuteen ja mahdollisille asiakkaille.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tässä tutkimuksessa tutkittiin biohiilen tämänhetkistä liiketoimintapotentiaalia Suomessa ja sitä, miten biohiililiiketoimintaa voitaisiin kehittää. Kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen tutkimuksen pohjalta saatujen tulosten pohjalta muodostettiin toimintaehdotuksia biohiilitoimijoille.

Ensimmäinen tutkimuskysymys koski sitä, millainen on biohiileen pohjautuva kiertotalouden ekosysteemi ja sen arvoketjut. Kysymyksen pohjalta luotiin kirjallisuuskatsaus, joka käsitteli biohiilestä, arvoketjuista, kiertotaloudesta, ekosysteemeistä ja tuotteistamisesta kirjoitettua tutkimuksen kannalta relevanttia tieteellistä kirjallisuutta ja jonka synteesi vastaa ensimmäiseen tutkimuskysymykseen.

Toinen tutkimuskysymys käsitteli biohiilen tämänhetkistä liiketoimintapotentiaalia Suomessa. Tähän etsittiin vastauksia empiirisen tutkimuksen keinoin, haastatteleamalla biohiilen tuottajia, jatkojalostajia, asiantuntijoita ja lisäksi yhtä asiakasta. Haastateltavat edustivat eri rooleja biohiilen arvoketjussa ja lisäksi biohiilen tuottajat ja jatkojalostajat olivat eri vaiheissa liiketoimintaansa, mikä auttoi luomaan kattavan kokonaiskuvan biohiililiiketoiminnan tilanteesta Suomessa. Lisäksi empiiriseen tutkimukseen kuului internetpohjainen kyselytutkimus, jolla myös kartoitettiin kiinnostusta biohiileen ja josta saatiin vahvistusta haastatteluissa esitettyihin näkökulmiin. Empiria koottiin synteetiksi, joka vastasi tutkimuskysymykseen 2, eli eritteli biohiilen liiketoimintapotentiaaliin vaikuttavia tekijöitä Suomessa.

Kolmas tutkimuskysymys koski biohiililiiketoiminnan kehittämismahdollisuuksia Suomessa. Teorian ja empirian pohjalta tunnistettiin tekijöitä, jotka ovat merkittäviä biohiililiiketoiminnan menestyksen mahdollistajia. Näitä tekijöitä analysoimalla lopulliseksi vastaukseksi kysymykseen nostettiin kolme olennaisinta kehitettävää toiminta-aluetta biohiiliarvoketjun toimijoille. Nämä ehdotukset valittiin niiden vaikuttavuuden ja toteutusmahdollisuuksien perusteella, ja perusteltiin kirjallisuuskatsauksessa luodun teoreettisen pohjan ja empiirisessä tutkimuksessa havaittujen tarpeiden avulla.

5.1 Tutkimuksen arviointi

Olellaisia kriteerejä laadullisen tutkimuksen arvioinnissa ovat sen reliabiliteetti ja validiteetti. Noblen ja Smithin (2015) mukaan reliabiliteetilla tarkoitetaan tulosten keräämiseen ja analysointiin käytettyjen menetelmien johdonmukaisuutta. Tähän kuuluu olennaisesti myös omien ennakkoluulojen ja tutkimusmenetelmän puolueellisuuden huomioon ottaminen (Noble & Smith, 2015). Hyvän reliabiliteetin omaavan tutkimuksen toistamalla voidaan toistettaessa saada aikaan samanlaisia tuloksia (Brink, 1993).

Tutkimuksen validiteetti kuvaa sitä, kuinka tarkasti ja totuudenmukaisesti löydökset kuvaavat dataa (Noble & Smith, 2015). Tähän kuuluvat esimerkiksi validit mittaristot, jotka todella mittaavat sitä mitä tutkimuksessa on tarkoitus mitata (Brink, 1993). Kolmas laadullisen tutkimuksen arviointikriteeri, jonka Noble ja Smith (2015) mainitsevat, on tulosten yleistettävyyden eli se, kuinka hyvin tulokset ovat siirrettävissä muihin ympäristöihin ja sovellettavissa erilaisissa konteksteissa.

Tutkimus on tutkimusmenetelmien kuvauksen avulla suhteellisen hyvin toistettavissa. Pienen otannan ja laadullisen tutkimuksen luonteen vuoksi tutkimuksesta ei toistettaessa välttämättä saada täysin samankaltaisia tuloksia: sekä haastateltavien mielenkiinnon kohteet ja tärkeiksi näkemät tekijät että tutkijan tuloksia analysoidessaan tekemät päätökset tiedon esittämisen muodosta vaikuttavat lopputulosten esitykseen. Tutkimukseen valikoitiin kuitenkin haastateltaviksi erilaisia ja liiketoiminnassaan eri kypsyyden vaiheissa olevia toimijoita, joka varmistaa, että tutkimuksessa luotu kuvaus liiketoiminta-alueesta on mahdollisimman monipuolinen ja ottaa huomioon monet näkökannat.

Tutkimuksen validiteettia arvioidessa tulee ottaa huomioon erinäisiä vaikuttavia tekijöitä. Muun muassa Webropol-kyselyn vastaanottajiksi valikoitiin vastaajat joko sillä perusteella, että ne toimivat aloilla, jolla biohiilen käyttö on mahdollista, tai käyttävät jo biohiiltä hyödykseen. Tämän takia tavallista suurempi osa vastaajista on oletettavasti myös ilmaissut kiinnostuksensa biohiileen. Tämä otettiin huomioon kyselyn tulosten arvioinnissa, ja kyselyn suurimmaksi arvoksi tutkimuksessa osoittautuivatkin siitä saadut avoimet vastaukset, jotka käsittelivät vastaajien mieltä askarruttaneita kysymyksiä biohiilen käytön suhteen heidän edustamallaan alalla, tai muuten selontekoa siitä, millä tavoin biohiiltä on käytetty tai oltaisiin kiinnostuneita käyttämään.

Tutkimuksen yleistettävyys ei ole itsestäänselvää, mutta sen arvioimiseksi on tehty toimia. Suomen alueella biohiililiiketoiminnassa on selkeästi alueelle ominaisia haasteita muun muassa raaka-aineen saatavuuteen ja hintaan liittyen, ja tämän takia myös parannusehdotukset toimivat parhaiten juuri Suomen kontekstissa. Haastateltujen toimijoiden roolien kuvaileminen ja alueesta muodostettu katsaus parantaa paitsi lukijan ymmärrystä kontekstista, myös helpottaa sen arvioimista, ovatko tutkimuksen tulokset siirrettävissä muille liiketoiminta-alueille, esimerkiksi toisen maan kontekstiin.

On selvää, että kyseessä on monitahoinen ja syvää perehtymistä vaativa aihe, joka osaltaan myös vaikuttaa työn validiteettiin. Väärinkäsitykset ja yksinkertaistukset ovat mahdollisia jopa asiantuntijoina haastatelluilta toimijoilta, ja monimutkaisen aiheen tiivistäminen tekstimuotoon saattaa kadottaa olennaisia asioita tai ohittaa jotain olennaistakin aiheeseen liittyvää. Tutkimuksen laajuuden huomioon ottaen tietyt yksinkertaistukset ovat kuitenkin tarpeen, jotta tutkimustuloksia saadaan muodostettua.

Tutkimuksella on käytännön hyötyä arvoketjun toimijoille annettujen toimintaehdotusten muodossa. Kuitenkin jopa näiden ehdotusten täydellinen toteuttaminen vaatii vielä lisätutkimusta – tutkimuksen ja tiedon lisäämisen tarve tutkittavalla, hyvin alkutekijöissään olevalla alalla onkin yksi tutkimuksen päätuloksista.

5.2 Pohdinta

Tällä hetkellä biohiililiiketoiminta on Suomessa hyvin alussa, mutta yleisesti tutkimuksen aikana sai sen käsityksen, että biohiili on kiinnostusta herättävä aihe ja sen ympärillä on toimintaa ja investointeja. Ilmassa on paljon toiveita siitä, että biohiilen asemaa saataisiin vakautettua, eikä toiminta jäisi vain lyhytaikaiseksi innostukseksi. Esimerkiksi fossiilisten energianlähteiden loppuun hiottujen toimitusketjuihin verrattuina biohiilen toimitusketjujen hiomisessa on vielä paljon tekemistä, joka vaatii sekä aikaa että aktiivista toimintaa. Yleisesti ottaen biohiili ei ole aihe, josta muut kuin aiheen parissa toimivat ihmiset olisivat kovin tietoisia – tutkimusprosessin aikana lähes joka kerta mainitessani tutkimukseni aiheen jouduin seuraavaksi selittämään, mitä biohiili oikein on ja miten sitä voi hyödyntää. Biohiilen monipuoliset ominaisuudet paitsi tekevät sen mahdollisista hyödyntämistavoista todella laajat ja luovat hyvät edellytykset liiketoiminnalle, voivat vaikuttaa liiketoimintaan alkuvaiheessa myös sitä hidastavasti, koska sen monipuolisen

profiilin takia aihe vaatii paneutumista eikä avaudu tavalliselle kuluttajalle samalla tavoin kuin jokin omalla sovellusalueellaan biohiilen kanssa kilpaileva tuote.

Tutkimuksen aikana haastateltavilla toimijoilla oli erilaisia lähtökohtia biohiilen tuotantoon – toiset myivät sitä ensisijaisesti maanparannustarkoitukseen tai ilman- tai vedensuodatustarkoitukseen, toiset halusivat hyödyntää sen hiilensitomispotentiaalia hiilensidontamarkkinoilla. Tutkimuksen aikana vahvasti esiin tullut sekä biohiilen, prosessienergian että hiilikrediitin myyntitarve kannattavuuden saavuttamiseksi herättää kysymyksiä siitä, mihin asti tätä on pohdittu eri biohiilyrityksissä – esiin nousi myös huolia siitä, mitä ongelmia aiheuttaa se, jos biohiiltä tuotetaan ainoastaan hiilikrediitin takia.

Tutkimuksessa nousi esiin myös se, että Suomessa tukia biohiililiiketoimintaan ei ole juurikaan, lukuun ottamatta kertaluontoisia EU-tukia, joita on saatettu saada liiketoiminnan käynnistämiseen. Ympäristöystävällisemmän valinnan tekeminen maksaa yrityksille enemmän. Tämä ei innosta yrityksiä investoimaan ympäristöystävällisyyteen tämänhetkisessä järjestelmässä, jossa yritysten ympäristölle aiheuttamat kustannukset eivät ole yritysten itsensä maksettavina. Biohiililiiketoiminta saisi tukea vahvemmassa ympäristöverotuksesta ja kestävämmille liiketoimintaratkaisuille osoitetuista tukitoimista ja niitä tukevista mekanismeista. Tutkimuksen aikana ilmeni, että esimerkiksi Yhdysvalloissa tällaisia investointeja tuetaan tällä hetkellä vahvasti, minkä takia suomalaisen ja eurooppalaisen biohiililiiketoiminnan jatkuvuuden varmistamiseksi olisi erityisen tärkeää, että biohiililiiketoiminnan kasvuvaiheessa vastaavia investointeja ja tukirahoja nähtäisiin myös täällä.

5.3 Jatkotutkimuskohteet

Relevantteja jatkotutkimuksen kohteita ovat muun muassa biohiilen hyödyntämismahdollisuudet terästeollisuudessa, rakennusteollisuudessa, betoni-teollisuudessa ja lukuisilla muilla nousevilla aloilla. Eräs kiinnostava alue biohiilen kehitykseen liittyen on lietebiohiileen liittyvät kysymykset. Ne jäivät tässä tutkimuksessa vähemmälle huomiolle johtuen siitä, että haastatteluissa todettiin niiden tarjoavan heikosti mahdollisuuksia tuottavaan liiketoimintaan, jota tutkimus pääasiassa käsitteli. Pilotoinnin jatkaminen on kuitenkin tärkeää, sillä kuten aiheesta haastatellut henkilötkin

totesivat, lietteen pyrolysoinnille voi tulla kunnallista käyttöä, mikäli lakimuutoksia jäteveden tarkempiin puhdistusvaatimuksiin liittyen tulee.

Biohiilen tutkimus ja käyttö ovat monessa mielessä vasta alussa, ja tutkimuksesta voidaan löytää vastauksia myös biohiililiiketoimintaa hidastavien tekijöiden selättämiseen. Erityistä tarkastelua tässä mielessä kannattaisi tehdä edelleen mahdollisten raaka-aineiden tutkimusta jatkamalla. Esimerkiksi paju ja hamppu ovat raaka-aineita, jotka voisivat toimia hyvin Suomessa biohiilen raaka-aineena.

Monet tutkimuksen aikana haastatellut toimijat vaikuttivat iloisilta siitä, että aihetta tutkitaan ja ilmaisivat kiinnostuksensa tutustua tutkimuksen tuloksiin. Alan liiketoiminnan ollessa näin alussa kaikenlainen tutkimus luo myös keskustelua ja kiinnostusta aiheen ympärille ja kasvattaa yleistä tietämystä biohiilestä.

LÄHDELUETTELO

Ahlin, E. (2019). *Semi-Structured Interviews With Expert Practitioners: Their Validity and Significant Contribution to Translational Research*. SAGE Publications Ltd. London, United Kingdom.

Anderson, N. M., Bergman, R. D., & Page-Dumroese, D. S. (2016). A supply chain approach to biochar systems (No. chapter 2, pp. 25-26). London, UK: Cambridge Press.

Bartoli, M., Giorcelli, M., Jagdale, P., Rovere, M., & Tagliaferro, A. (2020). A Review of Non-Soil Biochar Applications. *Materials*, 13(2), 261.

Bocken, N. M. P., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56.

Boons, F., & Lüdeke-Freund, F., 2013. "Business models for sustainable innovation: state-of-the-art and steps towards a research agenda". *Sustainable Innovation and Business Models*, 45, 9–19.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101.

Brink, H. (1993). Validity and reliability in qualitative research. *Curationis*, 16(2), 35-38.

Bruckman, V. J., Klinglmüller, M., & Milenković, M. (2016). Biochar in the view of climate change mitigation: the FOREBIOM experience. *Biochar: a regional supply chain approach in view of climate change mitigation*. Cambridge University, 1-22.

Campbell, R. M., Anderson, N. M., Daugaard, D. E., & Naughton, H. T. (2018). Financial viability of biofuel and biochar production from forest biomass in the face of market price volatility and uncertainty. *Applied Energy*, 230, 330–343.

Castleberry, A., & Nolen, A. (2018). Thematic analysis of qualitative research data: Is it as easy as it sounds? *Currents in Pharmacy Teaching & Learning*, 10(6), 807–815.

Ellen MacArthur Foundation (2021). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. Saatavissa:

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture> [viitattu 22.10.2023]

Feller, A., Shunk, D., & Callarman, T. (2006). Value chains versus supply chains. *BP trends*, 1(3), 165-173.

Flamholtz, E. (1995) 'Managing organizational transitions: Implications for corporate and human resource management', *European Management Journal*, 13(1), 39–51.

Galletta, A. (2013). *Mastering the Semi-Structured Interview and Beyond: From Research Design to Analysis and Publication*. NYU Press. ISBN 978-0-8147-3293-9

Garcia, B., Alves, O., Rijo, B., Lourinho, G., & Nobre, C. (2022). Biochar: Production, Applications, and Market Prospects in Portugal. *Environments*, 9(8), 95.

Geissdoerfer, M., Morioka, S. N., De Carvalho, M. M., & Evans, S. (2018). Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190, 712–721.

Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P. P., Pigosso, D. C. A., & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123741.

Grossoehme, D. H. (2014). Overview of qualitative research. *Journal of health care chaplaincy*, 20(3), 109–122.

Iansiti, M. & Levien, R. (2004). Strategy as ecology. *Harvard business review*. 82(3), 68-78.

Kanda, W., Geissdoerfer, M., & Hjelm, O. (2021). From circular business models to circular business ecosystems. *Business Strategy and the Environment*, 30(6), 2814–2829.

Kaplinsky, R. & Morris, M. (2001). *A Handbook for Value Chain Research*. 113. Brighton: University of Sussex, Institute of Development Studies.

Kurniawan, T. A., Othman, M. H. D., Liang, X., Goh, H. H., Gikas, P., Chong, K. K., & Chew, K. W. (2023). Challenges and opportunities for biochar to promote circular economy and carbon neutrality. *Journal of environmental management*, 332, 117429.

Lehmann, J., & Joseph, S. (Toim.). (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Toimen painos. 976 s. Routledge. ISBN 9780203762264

Magretta, J. 2002. "Why business models matter". *Harvard Business Review* 80(5), 86–87.

Malterud, K. (2001). Qualitative research: standards, challenges, and guidelines. *The lancet*, 358(9280), 483-488.

Marshall, C., & Rossman, G. B. (2014). *Designing qualitative research*. Sage publications. ISBN 978-1-4522-7100-2

Moore, J. F. (1993). Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard business review*, 71(3), 75–86.

Moore, J. F. (2006). Business Ecosystems and the View from the Firm. *The Antitrust Bulletin*, 51(1), 31–75.

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of business ethics*, 140, 369-380.

Naeem, M., Ozuem, W., Howell, K., & Ranfagni, S. (2023). A step-by-step process of thematic analysis to develop a conceptual model in qualitative research. *International Journal of Qualitative Methods*, 22, 16094069231205789.

Noble, H., & Smith, J. (2015). Issues of validity and reliability in qualitative research. *Evidence-Based Nursing*, 18(2), 34-5.

Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International journal of qualitative methods*, 16(1), 1609406917733847.

Nußholz, J.L.K. 2017. "Circular business models: Defining a concept and framing an emerging research field". *Sustainability (Switzerland)*, 9(10).

Osterwalder, A., (2004). *The Business Model Ontology*. In: *A Proposition in a Design Science Approach*. Université de Lausanne, Lausanne.

Peltoniemi, M. & Vuori, E. (2008). Business ecosystem as the new approach to complex adaptive business environments. *Proceedings of EBusiness Research Forum 2004*, 2, 267–28.

Porter, M. E. (2001). The value chain and competitive advantage. *Understanding business processes*, 2, 50-66.

Ryan, F., Coughlan, M., & Cronin, P. (2009). Interviewing in qualitative research: The one-to-one interview. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*, 16(6), 309-314.

Sassanelli, C., Urbinati, A., Rosa, P., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Addressing circular economy through design for X approaches: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 120, 103245.

Schaltegger, S., Lüdeke-Freund, F., & Hansen, E. G. (2012). Business cases for sustainability: The role of business model innovation for corporate sustainability. *International Journal of Innovation and Sustainable Development*, 6(2), 95–119.

Schmidt, H. P., & Wilson, K. (2012). 55 uses of biochar. *Ithaka Journal*, 1(2012), 286-289.

Simula, H., Lehtimäki, T., & Salo, J. (2008). Re-thinking the product: from innovative technology to productized offering. In *Proceedings of the 19th international society for professional innovation management conference*, Tours, France (pp. 15-18).

Suominen, A., Kantola, J., & Tuominen, A. (2009, June). Reviewing and defining productization. In 20th Annual Conference of the International Society for Professional Innovation Management (ISPIM 2009).

Tapaninaho, R., & Heikkinen, A. (2022). Value creation in circular economy business for sustainability: A stakeholder relationship perspective. *Business Strategy and the Environment*, 31(6), 2728–2740.

Teece, D. J. 2010. "Business Models, Business Strategy and Innovation". *Business Models* 43(2), 172–94.

Työ- ja elinkeinoministeriö: Kiertotalouden ekosysteemit. 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja.

Urbinati, A., Chiaroni, D. & Chiesa, V. (2017). Towards a new taxonomy of circular economy business models. *Journal of Cleaner Production*, 168, 487-498.

Vaismoradi, M., Turunen, H., & Bondas, T. (2013). Content analysis and thematic analysis: Implications for conducting a qualitative descriptive study. *Nursing & health sciences*, 15(3), 398-405.

Valkokari, K., Hyytinen, K., Kutinlahti, P., & Hjelt, M. (2020). Yhdessä kestäväää kasvua -ekosysteemiopas. VTT Technical Research Centre of Finland.

Weber, K. and Quicker, P. (2018) 'Properties of biochar', *Fuel*, 217, pp. 240–261.

Xie, Y. et al. (2022) 'A critical review on production, modification and utilization of biochar', *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 161, p. 105405.

Zilberman, D., Laird, D., Rainey, C., Song, J., & Kahn, G. (2023). Biochar supply-chain and challenges to commercialization. *GCB Bioenergy*, 15(1), 7–23.