

**BIOHIILEN VALMISTAMINEN RAKENNUSJÄTEPUUN  
KÄSITTELYRATKAISUNA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Forssa, Kestävä kehitys

Syksy, 2020

Satu Åhlström

Kestävä kehitys  
Forssa

---

<b>Tekijä</b>	Satu Åhlström	<b>Vuosi</b> 2020
<b>Työn nimi</b>	Biohiilen valmistaminen rakennusjätepuun käsittelyratkaisuna	
<b>Työn ohjaajat</b>	Maritta Kymäläinen, Ulla-Maija Knuutti ja Annakaisa Elo	

---

## TIIVISTELMÄ

Valtaosa puujätteestä päättyy Suomessa energiahyödynnykseen kierrätyksen sijasta. Tämä vaikeuttaa rakennusjätteen kierrätystavoitteisiin pääsemistä eikä edistä rakennusteollisuudelle asetettavia vähähiilisuuden tavoitteita, joita tullaan ohjaamaan rakennuslainsäädännöllä 2020-luvun puoleen väliin mennessä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää työn tilaajille, Remeo Oy:lle ja Hämeen ammattikorkeakoulun *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hankkeelle, onko rakennusjätepuu potentiaalinen raaka-aine biohiilen tuotantoon sekä onko tämä käsittelyvaihtoehto elinkaareltaan järkevä vaihtoehto nykyiseen käsittelytapaan verrattuna. Opinnäytetyössä selvitettiin myös rakennusliikkeiden halukkuutta ohjata rakennusjätepuuta biohiilen tuotantoon sekä niiden kiinnostusta biohiilipohjaisiin ratkaisuihin. Lisäksi biohiiltä tarkasteltiin lyhyesti vähähiilisen rakentamisen ratkaisuna.

Opinnäytetyötä varten tehdyn tutkimuksen perusteella suurinta osaa rakennusjätepuusta voisi käyttää biohiilen raaka-aineena. Rakennusjätepuun biohiilettäminen vaikuttaa myös elinkaareltaan varteenotettavalta käsittelymenetelmältä, jonka lisäksi biohiiliratkaisuilla todettiin olevan potentiaalia vähähiilisessä rakentamisessa. Osana opinnäytetyötä tehdyn kyselytutkimuksen vastausten mukaan rakennusliikkeet olisivat kiinnostuneita toimittamaan rakennusjätepuuta biohiilen raaka-aineeksi ja näkevät biohiilipohjaiset ratkaisut mahdollisuutena myös omassa liiketoiminnassaan.

**Avainsanat** Biohiili, rakennusjätepuu, elinkaariarviointi, vähähiilinen rakentaminen

**Sivut** 97 sivua, joista liitteitä 16 sivua

Sustainable Development

Forssa

---

<b>Author</b>	Satu Åhlström	<b>Year</b> 2020
<b>Subject</b>	Biochar Production as a Solution for Construction Wood Waste Treatment	
<b>Supervisors</b>	Maritta Kymäläinen, Ulla-Maija Knuutti and Annakaisa Elo	

---

ABSTRACT

The majority of wood waste in Finland is utilized for energy production instead of recycling. This makes construction waste recycling targets challenging to reach and does not contribute to the low-carbon targets for the construction industry, which will be regulated by Land Use and Building Act legislation by the mid-2020s.

The purpose of this thesis was to examine on behalf of Remeo Oy and Häme University of Applied Sciences' *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -project, whether construction waste wood could be a potential raw material for biochar production and whether this handling solution was a sensible life cycle option compared with the current handling method. The thesis also investigated the willingness of construction companies to direct construction wood waste to biochar production and their interest in biochar-based solutions. In addition, biochar was briefly examined as a low-carbon construction solution.

Based on the research of the thesis, most of the construction wood waste could be used as a raw material for biochar. Biochar production from construction waste wood also appears to be a considerable life cycle treatment method. Biochar solutions were also found potential in low-carbon construction. According to the survey conducted as part of the thesis, construction companies were interested in supplying construction waste wood as a raw material for biochar and biochar-based solutions were considered as an opportunity in their own business, too.

**Keywords** Biochar, construction wood waste, life cycle assessment, low carbon building

**Pages** 97 pages including appendices 16 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Työn tavoite ja tutkimuskysymykset.....	2
1.2	Aineisto ja menetelmät.....	3
2	RAKENNUSJÄTEPUUN MÄÄRÄ, KÄSITTELYTAVAT JA KIERRÄTYKSEN HAASTEET.....	3
2.1	Rakennusjätepuun käsittely Suomessa.....	5
2.2	Rakennusjätepuun laatuluokitus .....	7
2.2.1	A- ja B-laatuluokan jätepuu .....	8
2.2.2	C-laatuluokan jätepuu .....	8
2.2.3	D-laatuluokan jätepuu .....	9
2.3	Purku- ja rakennusjätepuun uusiokäytön ja kierrätyksen haasteita .....	9
2.4	Sivutuote ja End-of-Waste .....	11
3	BIOHIILI RAKENNUSJÄTEPUUN KÄSITTELYRATKAISUNA .....	13
3.1	Biohiili.....	13
3.1.1	Biohiili ilmastonmuutoksen torjunnassa .....	14
3.1.2	Biohiilen tuotannon haasteita .....	16
3.2	Esimerkkejä biohiilen valmistamisesta rakennusjäte- ja purkupuusta.....	16
3.3	Biohiilen raaka-aineeksi soveltuva puujäte.....	17
3.3.1	A- ja B-laatuluokan rakennusjätepuun määrä.....	19
3.3.2	Purkupuun määrä .....	20
3.4	Biohiili Suomessa ja Ruotsissa .....	22
3.5	Nordic Biochar Network.....	22
3.6	Biohiilen parissa toimivat yritykset Suomessa .....	23
3.6.1	Olemassa olevat yritykset ja laitokset .....	24
3.6.2	Suunnitteilla olevat laitokset.....	25
3.7	Puupolttoaineen ja biohiilen arvo .....	26
3.8	Puujätteen käsittelytavan vaikutus rakennusjätteen kierrätysasteeseen.....	27
4	PUUJÄTTEEN KÄSITTELYRATKAISUIDEN ELINKAARIARVIOINTEJA.....	28
4.1	Elinkaariarviointi.....	29
4.2	Rakennusjätepuun elinkaariarvioinneissa huomioitavia seikkoja .....	30
4.3	Käsittelytavat.....	31
4.3.1	Energiahöydyntäminen, lastulevyn tuotanto ja puukomposiitti.....	31
4.3.2	Biohiiletys mobiilisti ilman energian talteenottoa .....	34
4.3.3	Biohiiletys keskitetysti energian talteenotolla .....	36
4.4	Energian tuotannon tulevaisuus Suomessa .....	42
5	VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN.....	43
5.1	Vähähiilisen rakentamisen tiekarttatyö.....	44
5.2	Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä .....	46
5.3	Biohiilen merkitys vähähiiliselle rakentamiselle .....	46
5.4	Hiilineutraali rakennus .....	47

6	KYSELYTUTKIMUS JA HAASTATTELUT.....	48
6.1	Kyselytutkimuksen laatiminen ja toteutus.....	49
6.2	Rakennusliikkeiden haastatteluiden laatiminen ja toteutus .....	50
6.3	Biohiilialan toimijoiden haastatteluiden laatiminen ja toteutus .....	50
7	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	51
7.1	Kyselytutkimuksen vastaukset .....	51
7.2	Rakennusliikkeiden haastattelut .....	58
7.3	Biohiilialan toimijoiden haastattelut.....	59
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	61
8.1	Rakennusjätepuu biohiilen raaka-aineena Suomessa .....	61
8.2	Biohiilen valmistaminen rakennusjätepuusta elinkaarinäkökulmasta .....	62
8.3	Rakennusjätepuupohjainen biohiili vähähiilisessä rakentamisessa .....	63
8.4	Rakennusalan toimijoiden halukkuus ohjata jätepuuta biohiilen tuotantoon .	64
8.5	SWOT-nelikenttäänalyysi .....	65
9	POHDINTA.....	66
	LÄHTEET .....	67

#### Liitteet

Liite 1	Kyselytutkimuksen kysymykset
Liite 2	Kyselytutkimuksen saate
Liite 3	Rakennusliikkeiden haastattelut
Liite 4	Biohiilialan toimijoiden haastattelut

## 1 JOHDANTO

Elämme suurien globaaleiden haasteiden ja niiden mukanaan tuomien muutosten aikaa. Ihmisen toiminnan aiheuttamat ongelmat, kuten ilmastomuutos, merten happamoituminen, raaka-aineiden niukentuminen sekä luonnon monimuotoisuuden köyhtyminen ovat esimerkkejä niistä ongelmista, jotka ihmiskunnan on lähivuosina ratkaistava.

Rakennusteollisuus on merkittävässä asemassa usean maailmanlaajuisen ympäristöongelman ratkaisemisessa, sillä jopa 40–50 % maapallon raaka-aineista käytetään rakentamiseen. Lisäksi rakennukset kuluttavat maailmanlaajuisesti paljon energiaa ja aiheuttavat päästöjä. Pelkästään Suomessa rakennusten osuus energiankulutuksesta on 32 % sekä hiilidioksidipäästöistä 30 %. (Nousiainen, 2019) Rakennusteollisuuden ympärillä tapahtuukin nyt paljon, sillä esimerkiksi rakentamisen kiertotalouteen, materiaalitehokkuuteen ja vähähiilisyyteen liittyen on tehty viime vuosina useita selvityksiä ja hankkeita. Myös lainsäädäntö luo paineita rakennussektorille, sillä esimerkiksi EU:n jätedirektiivissä on asetettu tavoitteeksi, että vaarattoman rakennus- ja purkujätteen valmistelua uudelleenkäytettäväksi, kierrätystä ja muuta materiaalien hyödyntämistä on lisättävä vähintään 70 painoprosenttiin vuoteen 2020 mennessä (Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives, 2008, 11 artikla). Direktiivien tavoitteet sitovat jäsenvaltioita oikeudellisesti, joten niiden saavuttamatta jättäminen on direktiivin rikkomista (Ympäristöministeriö, 2020a, s. 7).

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin, millaisia mahdollisuuksia Suomessa olisi biohiilen valmistamisessa rakennusjätepuun käsittelytapana sekä millainen vaikutus tällä olisi elinkaariarvioinnin näkökulmasta verrattuna muihin käsittelytapoihin. Lisäksi opinnäytetyössä tarkastellaan lyhyesti biohiilen tarjoamia mahdollisuuksia vähähiilisessä rakentamisessa. Opinnäytetyön tilaaja on ympäristöhuolto-yhtiö Remeo Oy, jonka lisäksi toisena tilaajana toimii Hämeen ammattikorkeakoulun EAKR-rahoitteinen hanke *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen*. Hankkeessa on samanaikaisesti käynnissä myös toinen opinnäytetyö (Silja Lassilantuomi), jossa selvitetään rakennusjätepuupohjaisen biohiilen käyttökohteita rakentamisessa. Tuo työ painottuu rakennusjätepuusta valmistetun biohiilen käyttömahdollisuuksiin Kanta-Hämeen alueella.

Biohiilen tutkiminen rakennusteollisuuden ratkaisuna on erittäin ajankohtainen aihe. Tilastokeskuksen (2020a) mukaan rakennusteollisuus tuottaa paljon puujätettä, jonka pääasiallinen käsittelytapa on tällä hetkellä energiahöyryntuotanto, jonka pääasiainen käsittelytapa on tällä hetkellä energiahöyryntuotanto. Tämä heikentää osaltaan Suomen mahdollisuuksia päästä EU:n jätedirektiivissä asetettuun kierrätystavoitteeseen, sillä energiahöyryntuotanto on direktiivissä säädettyssä jätehierarkiassa kierrätystä

alemmalla tasolla (Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives, 2008, 4 artikla). Biohiili mainitaan myös uudessa *Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous* -loppuraportissa kohteena, jota tulisi tulevaisuudessa tarkastella rakennusjätepuun materiaalihyödyntämisen mahdollisuutena (Häkämies ym., 2019, s. 32). Lisäksi biohiilen tarjoamia mahdollisuuksia niin jätteenkäsittelyssä kuin rakennusmateriaalien raaka-aineena olisi järkevää tarkastella myös rakennusten hiilijalanjäljen pienentämisen ratkaisuna, joka tulee osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä (Ympäristöministeriö, 2019a).

## 1.1 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset

Remeo Oy:llä on asiakkaana paljon rakennusliikkeitä, joiden työmaille pyritään saamaan mahdollisimman korkea kierrätysaste tarjoamalla muun muassa jätehuollon suunnitteluapua, koulutuksia sekä oikeanlaisia keräysvälineitä oikeaan aikaan. Lisäksi Remeo Oy panostaa alan asiantuntijuu-teen sekä pyrkii olemaan edelläkävijä myös kokonaan uusien ratkaisujen tarjoamisessa asiakkailleen, minkä vuoksi biohiili nähtiin kiinnostavana aiheena opinnäytetyötutkimukselle.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, voiko biohiilen valmistaminen olla jatkossa käsittelyratkaisu ainakin osalle rakennusjätepuuta ja onko tämä elinkaareltaan nykyisiä käsittelyvaihtoehtoja parempi ratkaisu. Tarkoituksena oli myös selvittää, voiko rakennusjätepuun käyttäminen biohiilen raaka-aineena olla yksi vähähiilisen rakentamisen ratkaisuista sekä rakennusalan toimijoiden halukkuutta ohjata jätepuuta biohiilen tuotantoon. Rakennusalan toimijoilta selvitettiin myös muun muassa heidän kiinnostustaan biohiiliratkaisuihin ja puujätteen tarkempaan lajitteluun kyselytutkimuksen ja haastatteluiden avulla. Lisäksi opinnäytetyössä kartoitettiin Suomessa toimivia biohiiltä valmistavia yrityksiä. Kartoituksen pohjalta selvitettiin muutaman toimijan kiinnostusta hyödyntää rakennusjätepuuta tuotannossaan sekä heidän ajatuksiaan biohiilen nykytilasta ja tulevaisuuden näkymistä Suomessa. Vastauksien avulla arvioitiin valmiuksia rakennusjätepuun ohjaamisesta biohiilen tuotantoon.

Tutkimuskysymykset laadittiin tavoitteiden saavuttamiseksi seuraavasti:

1. Millaisia mahdollisuuksia Suomessa on rakennusjätepuun ohjaamiseksi biohiilen raaka-aineeksi?
2. Onko rakennusjätepuun hyödyntäminen biohiilen raaka-aineena elinkaareltaan parempi ratkaisu kuin nykyiset käsittelyratkaisut?
3. Onko rakennusjätepuun hyödynnys biohiilen raaka-aineena myös vähähiilisen rakentamisen ratkaisu?

4. Onko rakennusalan toimijoilla halukkuutta ohjata rakennusjätepuuta biohiilen tuotantoon?

## 1.2 Aineisto ja menetelmät

Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä käytettiin kvalitatiivista eli laadullista menetelmää, jossa pyritään ymmärtämään tutkittavan kohteen ominaisuuksia ja merkityksiä kokonaisvaltaisesti (Koppa, 2015). Aineistona käytettiin jo olemassa olevaa tutkimusaineistoa, luentoja sekä haastatteluiden ja kyselytutkimuksen avulla hankittua tietoa. Työn toisessa ja viidennessä luvussa käsitellään myös tilastotietoa sekä lainsäädäntöä. Lisäksi työssä perehdyttiin soveltuvin osin vähähiilisen rakentamisen tiekarttatyöhön sekä energia- ja ilmastopolitiikkaan.

Opinnäytetyön sisältämä kyselytutkimus tehtiin yhdessä *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hankkeelle opinnäytetyötä tekevän Silja Lassilantoumen kanssa. Toinen kysely lähetettiin Kanta-Hämeen alueella toimiville yrityksille, mutta tässä opinnäytetyössä ei tehty varsinaista maantieteellistä rajausta. Toimijoille lähetettiin sähköpostitse lyhyt saate, jossa oleva linkki vei nettikyselyohjelmalla laadittuun sähköiseen lomakkeeseen. Vastaajamäärää ei rajattu, vaan mahdollisimman monen yrityksen toivottiin vastaavan kyselyyn. Kyselytutkimuksen vastausten perusteella arvioitiin vastaajien kiinnostusta biohiilipohjaisiin ratkaisuihin sekä niiden toteutettavuutta lähivuosina. Kyselytutkimuksen kysymykset ovat liitteessä 1 ja saate liitteessä 2.

Tämän opinnäytetyön keskeiset käsitteet ovat: rakennusjätepuu, biohiili, kierrätys, hiilijalanjälki, elinkaarianalyysi, vähähiilinen rakentaminen ja tutkimuskysely.

## 2 RAKENNUSJÄTEPUUN MÄÄRÄ, KÄSITTELYTAVAT JA KIERRÄTYKSEN HAASTEET

Tilastokeskuksen (2020b) viimeisimmän rakennusjätteen määrästä ja koostumuksesta tehdyn tilaston mukaan rakennusjätettä syntyi Suomessa yhteensä 15 715 tuhatta tonnia. Tilasto pitää sisällään purkamisen sekä korjaus- ja uudisrakentamisen jätteiden lisäksi myös maa- ja vesirakentamisen jätteet. Puujätettä tilastoitiin 401 000 tonnia, joka teki siitä toiseksi suurimman jätejakeen mineraalipohjaisten jätteiden jälkeen (taulukko 1, s. 4). Tilastot perustuvat YLVA-tietojärjestelmään (Ympäristönsuojelun valvonnan sähköinen asiointijärjestelmä), johon aluehallintoviraston myöntämien ympäristölupien alaisuudessa toimivat jätteenkäsittelylaitokset raportoivat. Tilastojen luvut ovat suuntaa antavia, sillä niistä puuttuvat jätetiedot sellaisten jätteenkäsittelylaitosten osalta, joiden lupaviranomaisena toimii kunnanympäristöviranomaisena. Lisäksi on mahdollista, että joiltakin

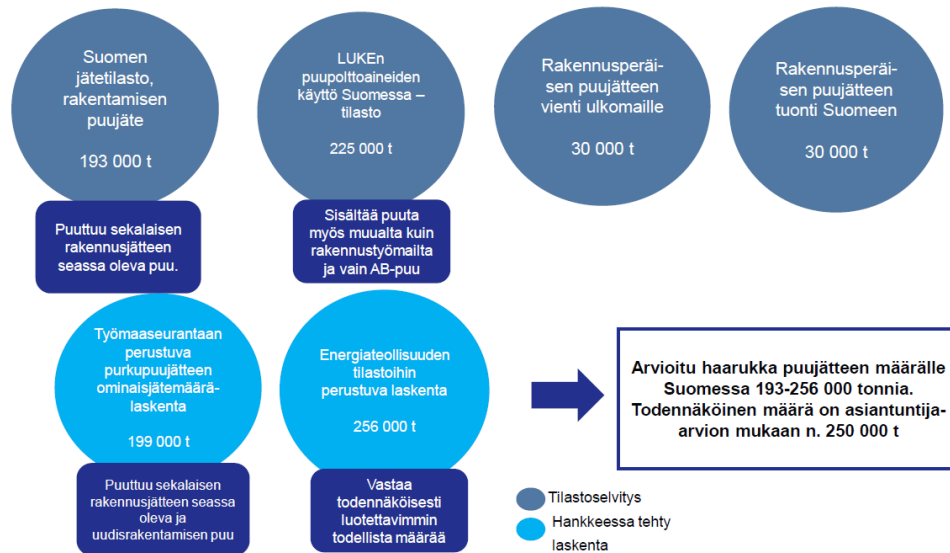


työmailta toimitetaan rakennusjätepuuta suoraan energiantuotantolaitoksiin, jolloin nämäkin määrät jäävät puuttumaan tilastoista. Rakennusjätepuuta saattaa myös päätyä tilaston kohtaan ”muut jätteet”, joka on käytännössä sekalaista rakennusjätettä. Jätteenkäsittelijöiden mukaan sekalaisten rakennusjäte sisältää noin 20 % puujätettä, eikä ole varmuutta siitä, kumpaan osioon toimijat ovat puun YLVA-tietojärjestelmässä ilmoittaneet. (Häkämies ym., 2019, s. 4 ja 7).

Taulukko 1. Jätteiden synty rakentamisessa 2018 (Tilastokeskus, 2020b)

<b>Jätejake</b>	<b>Paino (1000 tonnia)</b>
Metallijätteet	170
Kemialliset jätteet	3
Puujätteet	401
Kasvi- ja eläinjätteet	1
Kotitalous- ja muut sekalaiset jätteet	1
Mineraalijätteet	15 101
Lietteet	2
Muut jätteet	35
<b>Yhteensä</b>	<b>15 715</b>

*Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous* -loppuraportissa on selvitetty rakennusjätepuun määriä Tilastokeskuksen jätetilaston lisäksi kirjallisuuslähteistä, muista tilastoista, haastatteluilla, seurantakohteina toimivien työmaiden jäteraporteista sekä purkupuun osalta puretun rakennuskannan ja työmaaotannon perusteella. Lisäksi selvityksessä arvioitiin eri lähteiden oikeellisuutta alan toimijoiden sekä eri asiantuntijoiden kanssa, jolloin kaiken rakennusjätepuun todennäköiseksi määräksi saatiin 250 000 tonnia vuodessa (kuva 1, s. 5). (Häkämies ym., 2019, s. 16–20)

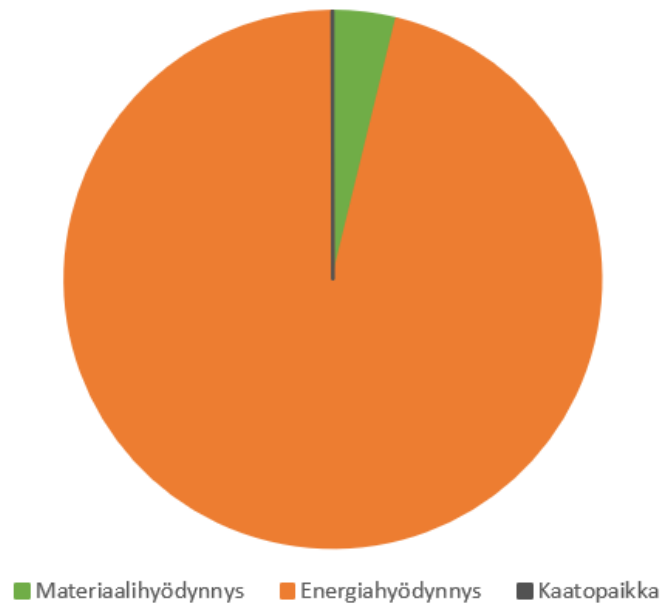


Kuva 1. Yhteenvedo eri lähteistä saaduista puujätteen määrätiedoista (tonnia vuodessa) sekä arvio niiden virhemarginaalista. (Häkämies ym., 2019, s. 20)

## 2.1 Rakennusjätepuun käsittely Suomessa

Tilastokeskuksen (2020a) *Jätteiden käsittely 2018* -tilaston mukaan yhteensä 3 269 tuhannesta tonnista puujätettä ainoastaan 125 tuhatta tonnia eli 4 % kokonaismäärästä ohjattiin materiaalihyödynnykseen (kuva 2, s. 6). Tilasto pitää sisällään muunkin kuin rakennus- ja purkuteollisuuden puujätteen, kuten metsäteollisuuden sivuvirran. Suomessa ei ole tällä hetkellä juuri sellaista teollisuutta, joka hyödyntäisi rakennusjätepuuta materiaalina. Rakennusjätepuuta käytetään pieniä määriä komposiittituotteiden kuten Destacleanin puukiven valmistukseen, jossa noin 30 % betonista korvataan kierrätyspuukuidulla (CircHubs, 2017; Destamatic, 2014). Toinen esimerkki komposiitteja valmistavasta yrityksestä on Wimao, joka tekee erilaisia tuotteita rakennusjätteistä kuten kierrätysmuovista ja rakennusjätepuusta (Pakkanen, 2018).

### Puujätteen käsittely 2018, 1000 tonnia



Kuva 2. Puujätteen käsittely 2018. (Tilastokeskus, 2020a)

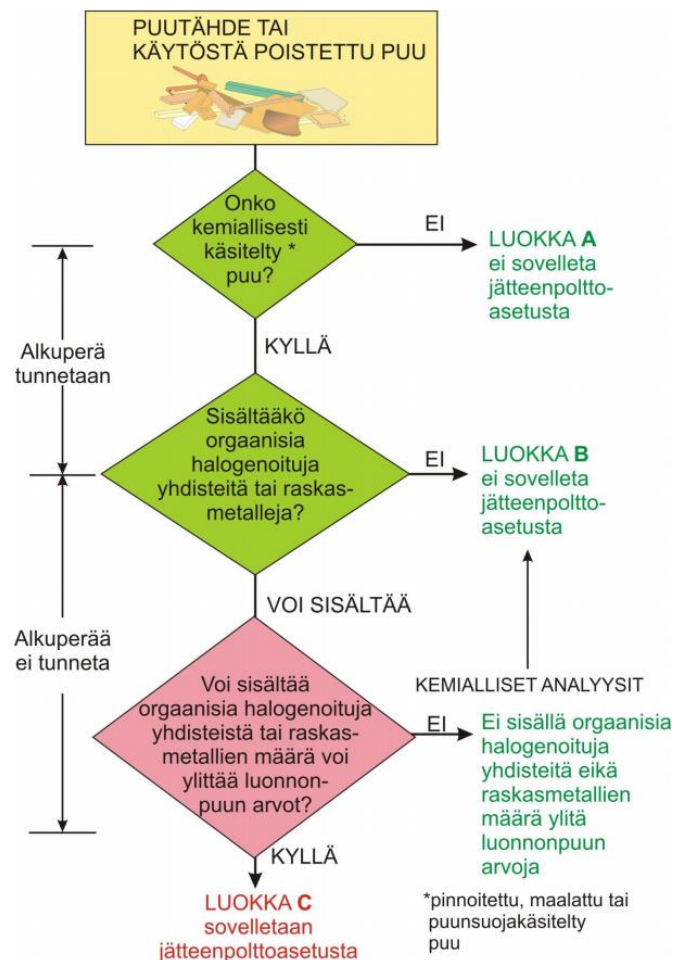
Melkein kaikki rakennusjätepuu siis ohjataan Suomessa energiahyödynnykseen esimerkiksi rinnakkaispolttolaitoksille. Tilastokeskuksen ja Energiateollisuuden keräämissä tilastoissa Suomen energiantuotantolaitoksilla käytetyistä polttoaineista ei näe suoraan, kuinka paljon korjaus-, purku- ja uudisrakentamisesta syntyvää puujätettä päätyy polttoaineeksi. Lähes kaikki niistä sisältynevät kuitenkin joihinkin näistä Tilastokeskuksen *Polttoaineluokitus 2020* -luettelossa esitettyihin polttoainelajeihin (Häkämies ym., 2019, s. 8; Tilastokeskus, 2020c):

- **315 Kierrätyspuu:** Biopolttoaineeksi luokiteltava puhdas puutähde tai käytöstä poistettu puu tai puutuote, johon ei sisälly muovipinnoitteita tai halogenoituja orgaanisia yhdisteitä eikä raskasmetalleja. Esimerkiksi uudisrakentamisen puutähde, puu- tai kuormalavat.
- **3231 Kierrätyspolttoaineet:** Yhdyskuntien, yritysten tai teollisuuden lajitelluista kuivista jätteistä valmistettu polttoaine kuten SRF, REF, RDF tai PDF.
- **3232 Purkupuu:** Rakennusten ja rakenteiden purkamisesta syntyvä puujäte, joka sisältää muovipinnoitteita tai muita epäpuhtauksia, eikä näin ollen kuulu kierrätyspuuhun (luokka 315).
- **3233 Kyllästetty puu:** Kyllästetyt puutuotteet kuten ratapölkyt.

Puujätettä päätyy myös yhdyskuntajätteen polttolaitoksille esimerkiksi yksityishenkilöiden remonttien vuoksi, mutta sen määrästä ei ole saatavilla kattavaa tutkimustietoa (Häkämies ym., 2019, s. 8).

## 2.2 Rakennusjätepuun laatuluokitus

Edellä mainittujen polttoaineluokkien lisäksi puujätettä luokitellaan A-, B-, C- ja D-laatuluokkaan VTT:n (2014, s. 2) *Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön – VTT-M-01931-14* -tutkimusraportissa määrittelyllä tavalla. Laatuluokitus koskee puujätettä, joka voi sisältää epäpuhauksia tai on kemiallisesti käsiteltyä. Luokittelu laadittiin jättepuuta tuottavan teollisuuden, puujätettä prosessoivien yritysten ja energiantuottajien tarpeisiin sekä auttamaan viranomaisia raportoinnissa ja lupamenettelyissä. Tutkimusraportissa kuvataan kriteerit, joilla niin sanottu puhdas puu voidaan erottaa sellaisesta jättepuusta, joka on Valtioneuvoston asetuksen jätteen polttamisesta 151/2013 mukaisesti poltettava jätteen rinnakkaispoltto- tai jätteenpolttolaitoksessa (kuva 3). Luokittelu koskee käytöstä poistetun puun ja puutuotteiden lisäksi metsäteollisuuden kiinteitä sivutuotteita ja -tähteitä, eikä siis käsittele esimerkiksi paperi- ja selluteollisuuden sivutuotteita.



Kuva 3. Puujätteen luokittelun todentamisyjärjestys. (VTT, 2014, s. 15)

### 2.2.1 A- ja B-laatuluokan jätepuu

Puuperäisen biopolttoaineen raaka-aineet luetellaan kansainvälisessä *SFS-EN ISO 17225-1* -standardissa. VTT:n tutkimusraportissa A- ja B-laatuluokan puujäte luokitellaan kiinteisiin biopolttoaineisiin, ja raportissa esitetään soveltamisohjeita tämän raaka-aineen standardin mukaiseen luokitteluun. Ohjeiden mukaan A- ja B-laatuluokan puujätteen sisältämä maalattu, pinnoitettu tai muu kemiallisesti käsitelty materiaali ei saa sisältää enempää raskasmetalleja eikä halogenoituja orgaanisia yhdisteitä, kuin mitä kyseisen raaka-aineen alkuperämaan tyyppillisissä luonnonmateriaaleissa esiintyy. Jätteenpolttoasetusta ei sovelleta *SFS-EN ISO 17225-1* -standardiin, jonka vuoksi A- ja B-laatuluokan puuta voidaan polttaa energiantuotantolaitoksilla. (VTT, 2014, s. 7–8, 12)

Laatuluokkaan A kuuluu metsä- ja puunjalostusteollisuuden sivutuote tai kemiallisesti käsittelemätön ja puhdas puutuote. Rakennustyömaiden osalta tähän luokkaan kuuluvat maalaamaton sillan- tai talonrakennuspuu sekä puupakkaukset. (Häkämies ym., 2019, s. 9) Puupakkausten ohjaaminen biopolttoaineeksi ei ole kuitenkaan suositeltavaa, sillä niille on määritelty EU:n kiertotalouspaketissa kierrätystavoitteet vuodelle 2025, jotka tiukkenevat edelleen vuoteen 2030 mennessä (Euroopan parlamentti, 2018).

Laatuluokkaan B kuuluu kemiallisesti käsitelty käytöstä poistettu puu, joka on lakattu, maalattu tai pinnoitettu sellaisella aineella, joka ei sisällä orgaanisia halogeeniyhdisteitä. Esimerkiksi kuormalavat, pinnoitettu ja pinnoittamaton vanerilevy, kaapelikelat, betonilaudoitus ja muut rakennustyömaiden puujätteet kuuluvat tähän laatuluokkaan. (Häkämies ym., 2019, s. 9; VTT, 2014, s. 17)

Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous- hankkeessa haasteltiin purkujätteen käsittelijöitä ja energialaitosten edustajia. Haastatteluin varmistettiin, että puhdasta A-laatuluokan puuta ei ole markkinoilla tarjolla, vaan voimalaitoksille toimitetaan A- ja B-laatuluokan sekoitusta eli AB:ta. A- ja B-laatuluokan puu yhdistetään yleensä viimeistään haketuksen yhteydessä, eikä niiden erilliskerääminen ole työmaillakaan yleistä. (Häkämies ym., 2019, s. 10)

### 2.2.2 C-laatuluokan jätepuu

Eurooppalainen *SFS-EN 15359* -kierrätyspolttoainestandardin mukaista kiinteää kierrätyspolttoainetta voidaan polttaa Jätteenpolttoasetuksen (VNA 151/2013) mukaisissa laitoksissa. Kiinteät kierrätyspolttoaineet valmistetaan tavanomaisesta jätteestä, joka voi olla myös purku- ja rakennusjätettä. VTT:n tutkimusraportissa määritelty C-laatuluokan puu luetaan näihin polttoaineisiin, eli siihen sovelletaan jätteenpolttoasetusta. (VTT, 2014, s. 8, 12)

Laatuluokkaan C kuuluu puujäte, joka ei sisällä puunkyllästysaineita, mutta joka sisältää raskasmetalleja ja orgaanisia halogenoituja yhdisteitä luonnonpuuta enemmän (VTT, 2014, s. 12). Muun muassa puukomposiitit, kaikki purkupuu pois lukien kestopuu sekä epäpuhtauksia, kuten metallia tai muovia sisältävä rakennusjätepuu, kuuluvat C-laatuluokkaan. Esimerkiksi hirret tai talon runkorakenteet on kuitenkin mahdollista luokitella myös laatuluokkaan B, jos ne pystytään osoittamaan kemiallisesti käsittelemättömiksi analyysein tai laatujärjestelmän avulla. (Häkämies ym., 2019, s. 9; VTT, 2014, s. 18–19)

### 2.2.3 D-laatuluokan jätepuu

D-laatuluokkaan kuuluu purkupuujäte, joka sisältää kestopuuta sekä esimerkiksi sähkö- ja puhelinpylväät. D-laatuluokan puujäte on vaarallista jätettä, jonka hävittämisessä noudatetaan voimassa olevaa lainsäädäntöä. (VTT, 2014, s. 19)

## 2.3 Purku- ja rakennusjätepuun uusiokäytön ja kierrätyksen haasteita

Purku- ja rakennusjätepuun uusi- ja hyötykäyttö on erittäin haastavaa monesta syystä (kuva 4, s. 11). Rakennusjätepuun nykyistä laajempi hyödyntäminen materiaalina esimerkiksi puukomposiitin, lastulevyn, vaahtoarkkien ja puukuitulangan raaka-aineena olisi kuitenkin mahdollista. Myös rakennusjätepuun uusiokäyttö olisi periaatteessa mahdollista hyvän työstettävyytensä puolesta, sillä esimerkiksi vaurioituneiden kohtien poistaminen tai kappaleiden lyhentäminen on helppoa. (CircHubs, 2017) Hyvälaatuisenkin puun uudelleenkäyttöä vaikeuttaa kuitenkin kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen, sillä vaikka jollain työmaalla syntyisi toiselle työmaalle kelpaavaa puuta esimerkiksi ylijäämänä, on kyseisen materiaalin hyödyntäminen usein logistisesti vaikeaa tai tieto materiaalista ei kulje. Muille sopivaa materiaalia on siis vaikeaa saada uudelleenkäyttöön suoraan syntypaikalta, joten tämän ongelman ratkaiseminen luo kuljetustarpeita jätteen syntypaikalta välivarastointiin, mahdolliseen jalostukseen ja jälleen uudelleenkäyttöön, joka puolestaan lisää kustannuksia. (Häkämies ym. 2019, s. 28)

Työmailla syntyvän ylijäämämateriaalin ympärille on kuitenkin syntynyt liiketoimintaa. Esimerkiksi Netlet Oy noutaa työmailta veloituksetta ylijäämämateriaalia, kuten puutavaraa, harkkoja, tiiliä sekä maaleja ja toimittaa niistä rakennusliikkeelle työmaakohtaisen raportin. Yritys hoitaa myös materiaalien välivarastoinnin ja myynnin kehittämänsä Rakennusoutlet -konseptin kautta, joka käsittää sekä verkkokaupan että varastomyymälän. Yritykset voivat myydä ylijäämänsä myös itse verkkokaupan kautta rekisteröitymällä myyjiksi, jolloin Netlet Oy perii provisiota toteutuneista kaupoista. (Netlet, n.d.a, n.d.b, n.d.c)

Rakennustyömaatoiminnasta syntyvän puujätteen kierrättämiseen tai uusiokäyttöön ei siis tällä hetkellä ole kovin paljon mahdollisuuksia. Rakennusjätepuuta hyödyntävää teollisuutta ei juuri ole, ja hyvälaatuisia metsäteollisuuden sivutuotteita sekä neitseellistä puuta on tarjolla paljon ja edullisesti. Kuljetusmatkat ovat pitkiä, ja puun kevyet kuormapainot lisäävät mahdollisen kierrätyksen kustannuksia. Rakennusjätepuuta murskaamalla voitaisiin saavuttaa korkeampia kuormapainoja, mutta palakoon pienentäminen rajaisi pois osan mahdollisista kierrätysvaihtoehdoista. (CircHubs, 2017)

Rakennusjätepuusta, ja erityisesti purkupuusta valmistettujen uusioraaka-aineiden ja -tuotteiden kysyntää voisivat myös heikentää ennakkoluulot ja mielikuvat rakennusten home- ja sisäilmaongelmista, vaikka kyseisten tuotteiden ja materiaalien puhtaus olisi varmistettu. Näin ollen myös tuotevastuukysymykset tulisi ottaa mahdollisessa hyödynnyksessä huomioon. (Häkämies ym., 2019, s. 28)

Lisäksi rakennusjätepuun ja erityisesti purkupuun talteenotto, uudelleenkäyttö ja kierrätys vaatisi paljon työvoimaa sekä tietämystä puun laadusta ja materiaalin mahdollisesti sisältämistä epäpuhtauksista sekä näiden asioiden huomioimista materiaalin lajittelussa. Rakennusjätepuulla on oma arvonsa polttoaineena ja raakapuu on halpaa. Rakennusjätepuun kierrätys ja uudelleenkäyttö ei siis ole taloudellisesti kannattavaa, ellei siitä saataisi jotain ratkaisevaa lisäarvoa. (Häkämies ym., 2019, s. 28)

Edellä mainittujen haasteiden lisäksi muun muassa purku-urakoitsijoille, rakennuttajille ja suunnittelu- ja konsultointitoimistoille 17.6.2020 järjestetyssä *Purkamisen uudet tuulet* -webinaarin paneelikeskustelussa purettavien materiaalien uudelleenkäytön haasteeksi mainittiin se, että rakennussuunnittelijat eivät ota kierrätysmateriaaleja lainkaan huomioon suunnitelmia laatiessaan.

Myös eri lainsäädännöt tuovat omat haasteensa rakennusjätepuun kierrätykselle. Esimerkiksi rakennustuotelainsäädännön mukaan käytettyjen tuotteiden ja kierrätysraaka-aineista valmistettujen tuotteiden tulee noudattaa samoja vaatimuksia ja standardeja kuin neitseellisistä raaka-aineista tehtyjen tuotteidenkin. Myös jätelainsäädäntö vaikeuttaa kierrätystä, sillä puu määritellään jätelain mukaisesti jätteeksi, kun se poistetaan tarpeettomana käytöstä ja toimitetaan jätteenkäsittelyyn. Jätteeksi luokiteltua materiaalia saa kuljettaa ja käsitellä ainoastaan luvan omaava toimija, joten kuka tahansa yrittäjä ei voi hyödyntää sitä omassa liiketoiminnassaan. Jätteeksi luokitellulle materiaalille on kuitenkin mahdollista hakea jätteeksi luokittelun päättymistä (EoW), jota käsitellään tarkemmin seuraavassa luvussa. (Häkämies ym., 2019, s. 28)

Viimeisenä haasteena saattaa ilmetä kierrätysraaka-aineista valmistettujen materiaalien kierrätys tai muu hyödyntäminen sitten, kun ne tulevat elinkaarensa päähän. Esimerkiksi puujätteestä ja erilaisista muovilaaduista

valmistetulle komposiitille lienee vaikeaa löytää muuta käyttöä kuin energiahäydyntä. Toisaalta kierrätysmateriaaleista valmistettujen tuotteiden käyttö säilyttää niissä olevat raaka-aineet vielä ainakin yhden kerran kierrossa. (Häkämies ym., 2019, s. 26)



Kuva 4. Purku- ja rakennusjätepuun kierrätyksen ja uusiokäytön haasteita.

## 2.4 Sivutuote ja End-of-Waste

Jätteen määritelmä esitetään jätelain (646/2011) 5.1 §:ssä ja jätepuitedirektiivin 3(1) artiklassa (98/2008/EY)11, joiden mukaan jäte on aine tai esine, jonka sen haltija on poistanut, aikoo poistaa tai on velvollinen poistamaan käytöstä. Kaikki materiaalit ovat jätelain näkökulmasta katsottuna joko jätettä, johon sovelletaan lainsäädäntöä, tai ei-jätettä, johon sitä ei sovelleta. Tämän lainsäädännöstä löytyvän jätteen määritelmän ympärille on muodostettu EU:ssa laajempi oikeuskäytäntö, jossa on laadittu muun muassa jätteeksi luokittelun päättymisen niin sanotut EoW (End of Waste) -kriteerit sekä niin sanotun sivutuotteen alakäsite. (Häkkinen ym., 2018, s. 25)

Sivutuotetta on jätelain 5 §:n mukaan sellainen aine tai esine, joka syntyy tuotantoprosessissa, jonka ensisijaisena tarkoituksena ei ole kyseisen aineen tai esineen valmistaminen. Muita kriteereitä sivutuotteeksi luokittelemisessa ovat, että aineen tai esineen jatkokäytöstä on varmuus, ainetta tai esinettä voidaan käyttää suoraan tai sen jälkeen, kun sitä on muunnettu enintään tavanomaisen teollisen käytännön mukaisesti, aine tai esine syntyy tuotantoprosessin olennaisena osana ja että aine tai esine täyttää sen suunniteltuun käyttöön liittyvät tuotetta sekä ympäristön- ja terveydensuojelua koskevat vaatimukset eikä sen käyttö kokonaisuutena arvioiden aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle ja ympäristölle. (Häkkinen ym., 2018, s. 25–26) Sivutuotteeseen ei sovelleta jätelain tai sen nojalla annettuja säännöksiä, sillä sivutuote ei ole jätelaissa tarkoitettua jätettä (Ympäristö, 2020).

Nykyinen lainsäädäntö antaa mahdollisuuden poistaa jätteeksi luokittelu, kun jätelain 5 §:n säädetyt edellytykset täyttyvät. EoW voidaan tehdä silloin, kun kaikki seuraavista kriteereistä täyttyvät: aine tai esine on läpikäynyt hyödyntämistoimen ja sillä on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään



yleisesti. Aineella tai esineellä on myös oltava markkinat tai kysyntää, ja sen tulee täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset sekä olla vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen. Lisäksi sen käyttö ei saa kokonaisuutena arvioiden aiheuttaa vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle. (Häkkinen ym., 2018, s. 26) Edellä mainittujen seikkojen lisäksi varmistetaan, että valmiista tuotteesta tulee vaatimusten mukainen määrämällä jätejakeen prosessointiin kriteerit. Näitä ovat esimerkiksi käsittelyprosesseille ja -tekniikoille, syöttöpanoksena käytetylle materiaalille, laadunhallintajärjestelmälle ja lopputuotteelle asetetut kriteerit. (Vahänen, 2017)

*Hallituksen esitys jätelain ja eräiden muiden lakien muuttamisesta* -esityksessä ehdotetaan toimenpiteitä kansallisen lainsäädännön muuttamiseksi EU:ssa vuonna 2018 hyväksytyin jätesäädöspaketin mukaiseksi. Esitys sisältää pieniä muutoksia myös nykyiseen sivutuote- ja EoW-sääntelyyn, kuten yhden jätteeksi luokittelun päättymistä koskevan edellytyksen lieventämistä: Kun aineella tai esineellä on aikaisemmin edellytetty olevan yleinen käyttö tiettyihin tarkoituksiin, jatkossa riittäisi, että sitä on määrä käyttää erityisiin tarkoituksiin. (Ympäristöministeriö, 2020a)

EoW-kriteereiden tarkoituksena on helpottaa korkealaatuisten ja turvallisten jätemateriaalien kierrätystä EU:ssa poistamalla jätelainsäädännöstä aiheutuvia hallinnollisia rasitteita sekä luoda tasapuoliset toimintaedellytykset kierrätykselle (European Commission, 2019). EU:ssa on tällä hetkellä määritelty EoW-kriteerit rauta-, alumiini- ja teräsromulle, kupariromulle ja lasimurskalle, mutta toimivaltainen viranomais voi tehdä myös kansallisia EoW-päätöksiä jätteeksi luokittelun päättymisestä. Kansalliset EoW-päätökset ovat voimassa ainoastaan siinä maassa, jossa ne on tehty, ja EU:n EoW-kriteeritkin ainoastaan EU:n alueella. (Ympäristö, 2020) Suomessa päätökset jäteluokituksen päättymisestä tehdään viranomaisen päätöksellä tapauskohtaisesti, eikä kansallisen tason EoW-kriteereitä ole määritelty. EoW-menettelystä on Suomessa annettu tähän mennessä muutamia myönteisiä päätöksiä, joista esimerkkinä puujätteen osalta Des-tacleanin puukivi. (Vahänen, 2017; ks. myös Rinne, 2016)

Kun jätteeksi luokittelu aineen tai esineen osalta päättyy, tulee siitä tuote. Näin ollen jätelainsäädännön velvoitteet loppuvat ja REACH-asetus sekä tuotelainsäädäntö astuvat voimaan. (Pekki, 2017, s. 40)

Ympäristöministeriön *Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat* -raportin päätelmissä pohditaan, milloin EoW tai sivutuotestatuksen luova asetus on järkevää hakea jätemateriaalille. Raportin mukaan asetus tulisi jättää säätämättä muun muassa silloin, jos se ei joko edistä merkittävästi jätemateriaalin hyödyntämistä tai nosta kyseisen materiaalin käyttöä ylöspäin jätehierarkiassa. On myös tärkeää, että jätemateriaalilla korvataan neitseellisiä luonnonvaroja ja että se on lopputuotteen kannalta tarpeellinen. EoW:n päätarkoitus on keventää jätteen hyödyntämisen sääntelytaakkaa. Näin ollen asetusta ei kannata säätää myöskään siinä

tapauksessa, jos jätteeksi luokittelusta ei aiheudu merkittävää sääntelyä tai sen tilalle tulisi yhtä suuri tai isompi sääntelytaakka tuote- tai kemikaalisääntelystä. (Häkkinen ym., 2018, s. 82–83)

Pekki (2017, s. 59) on tutkinut opinnäytetyössään *Jätepuun EoW-menettely teollisuuslaitoksen raaka-aineen käsittelyssä* A-, B- ja C-laatuluokan puujätteen tuotteistamispotentiaalia EoW-menettelyn kautta. Kyseisessä työssä päädyttiin siihen, että A- ja B-laatuluokan puulla on hyvät edellytykset tuotteistamiseen, sillä niiden ominaisuudet ja pitoisuudet vastaavat pääsääntöisesti luonnonpuun pitoisuuksia. C-laatuluokan puu puolestaan todettiin vaikeammaksi hyödyntää, mutta senkin todettiin soveltuvan tuotteistamiseen siinä tapauksessa, että sen pitoisuudet alittavat hyödyntämistoimen jälkeen tietyt raja-arvot. Tuotteistamisen haasteeksi todettiin esimerkiksi jätepuun puutteellinen lajittelu sekä jätteen haltijoiden tietämättömyys tuotteistamisen tuomista mahdollisuuksista. (Vahanen, 2017)

*Jätteen luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat* -raportissa todetaan, että puujäte hyötyisi EoW-asetuksesta, joka mahdollistaisi sen puhtaimpien jakeiden tehokkaamman kierrätyksen esimerkiksi puumurskeena. (Häkkinen ym., 2018, s. 83) Koska jätteen laitospäinen ja ammattimainen käsittely vaatii toimivaltaisen viranomaisen luvan, olisi myös biohiilen tuotanto jätepuusta EoW-menettelyn jälkeen todennäköisesti sääntelyltään kevyempää (Narvi, 2018, s. 8).

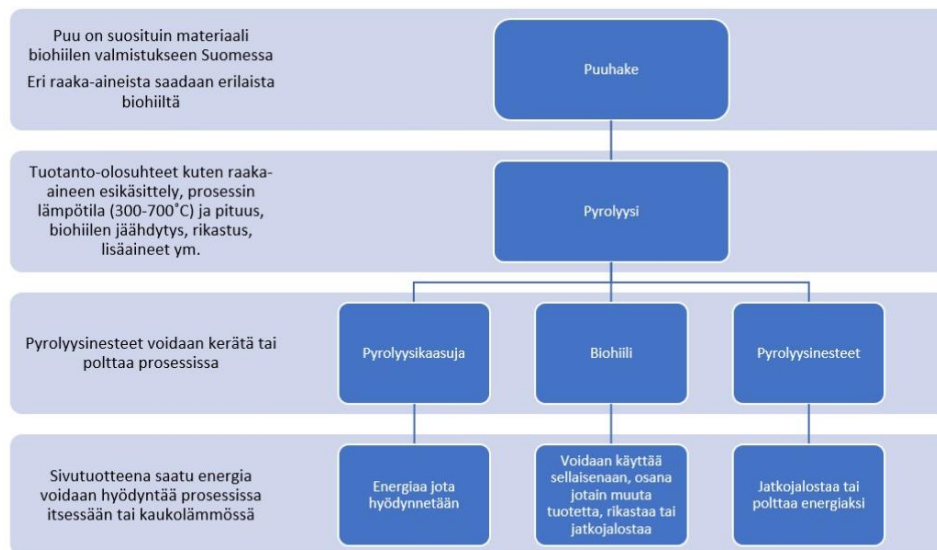
### 3 BIOHIILI RAKENNUSJÄTEPUUN KÄSITTELYRATKAISUNA

Kuten edellisessä luvussa esitettiin, on rakennusjätepuulle erittäin vaikeaa löytää järkevää uusiokäyttö- tai kierrätyskohdetta. Tämä on osaltaan tehnyt rakennusjätepuun energiahyödynnyksestä tarjolla olevista harvoista vaihtoehdoista kokonaisuudeltaan toimivimman ratkaisun. Voisiko rakennusjätepuun ohjaaminen biohiilen tuotantoon edes osittain olla vaihtoehto energiahyödynnykselle?

#### 3.1 Biohiili

Biohiili on hiiltä, jota tuotetaan biomassasta vähähappisen pyrolyysin eli kuivatislauksen avulla noin 300–800 °C:n välillä prosessista riippuen. Pyrolyysin sivutuotteena syntyy myös pyrolyysinesteitä, lämpöenergiaa sekä synteetikaasuja, joita voidaan hyödyntää joko prosessissa tai esimerkiksi kaukolämpönä (kuva 5, s. 14). Biohiilen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa muun muassa pyrolyysiprosessin kestolla ja lämpötilalla sekä prosessissa käytettävällä biomassalla. (Salo, 2018, s. 12; Lehmann, 2007, s. 1–2) Pyrolyysiprosessi voidaan jakaa edelleen nopeaan pyrolyysiin, jossa lämpötila on korkeampi ja kesto lyhyempi sekä hitaaseen pyrolyysiin, jossa lämpötila on matalampi ja kesto pidempi. Nopeassa pyrolyysissä muodostuu

enemmän pyrolyysinesteitä ja hitaassa pyrolyysissä enemmän biohiiltä, jonka vuoksi hidasta pyrolyysia käytetään silloin, kuin halutuin lopputuote on biohiili. (Cheng, Colosi & Luo, 2020, s. 2; Lehmann, 2007, s. 1–2)

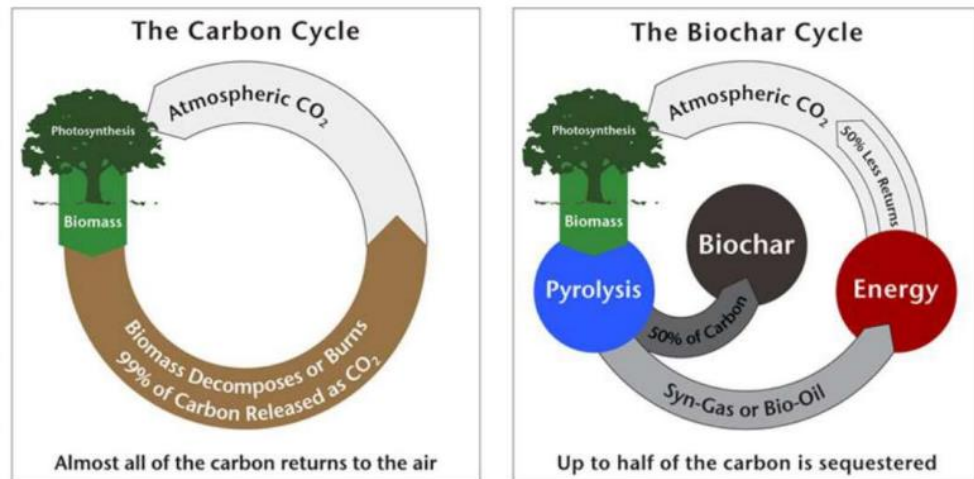


Kuva 5. Biohiilen valmistus ja lopputuotteet (Salo, 2018, s. 12)

Keksintönä biohiili on vanha, sillä sitä käytettiin esimerkiksi Amazonin alueella maanviljelyssä jo tuhansia vuosia sitten. Biohiili teki maasta viljavampaa kuin ympäröivästä maasta, ja kyseiset maat eli niin kutsuttu Terra Preta, ovat sitä vielä tänäkin päivänä. (Salo, 2018, s. 11; Lehmann & Joseph, 2009, s. 25) Maanparannuksen lisäksi biohiilelle on tunnistettu jopa 55 erilaista käyttötapaa. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi lannoitteiden tehokkuutta parantamaan, rakennusmateriaalien osana, rehun lisäaineena, kasvualustoina sekä erilaisten suodatusjärjestelmien osana, sillä biohiili kykenee sitomaan epäpuhtauksia, kuten kadmiumia ja sinkkiä. (Schmidt, 2012, s. 287, Redling, 2019)

### 3.1.1 Biohiili ilmastonmuutoksen torjunnassa

Biohiiltä tutkitaan yhä enemmän myös ilmastonäkökulmasta, sillä biomassan muuntaminen pyrolyysillä biohiileksi sitoo jopa 50 % sen sisältämästä hiilestä, jonka lisäksi sähköä ja lämpöä voidaan tuottaa hiilinegatiivisesti pyrolyysiprosessissa (kuva 6, s. 15). Yhden tonnin biohiiltä on laskettu sitovan jopa 3,5 tonnia hiilidioksidia. Tämän jälkeen biohiili voidaan hyödyntää esimerkiksi maanviljelyssä, jolloin hiili pysyy varastoituna satoja tai jopa kymmeniä tuhansia vuosia, mikäli biohiili ei pala. Hiilidioksidin lisäksi biohiili vähentää kasvihuonekaasupäästöjä sitomalla kemiallisesti itseensä metaania ja typpioksiduuleja (Elo, 2020a, 2020b, 2020c; Lehmann, 2007, s. 2). Hiilidioksidin talteenotto biohiiliratkaisuihin esitetäänkin eräänä keinona hallita ilmastonmuutosta hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n vuonna 2018 julkaisemassa *Negative Emissions Technologies* -raportissa (Fifita ym., 2019, s. 121).



Kuva 6. Hiilen sidonta biohiilikierrossa (Elo, 2020a)

Kasvihuonekaasujen sidonnan lisäksi biohiilen tuotannolla on muitakin positiivisia vaikutuksia ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi. Esimerkiksi lannoitteiden, suodattimien tai rakennusmateriaalien korvaaminen biohiilellä estää sellaisia päästöjä, jotka olisivat syntyneet näiden tuotteiden valmistamisessa. Biohiilen hyödyntäminen kasvualustana tai maanparannusaineena voi parantaa satoa jopa 10 prosentilla, joten ruoan tuotantoon tarvitaan joko vähemmän maata tai samalla maa-alalla voidaan kasvattaa enemmän ruokaa. Lisäksi biohiilen tuotannon kasvu lisää hiilineutraalia ta-  
louskasvua. (Puro.earth, 2020a)

Biohiilen mahdollisuudet ilmastonmuutoksen torjunnassa on otettu osaksi yrityksille tarjottavia vapaaehtoisia päästöhyvityksiä. Esimerkiksi Fortumin käynnistämä Start up-hanke Puro on huutokauppa ja markkinapaikka yrityksille, jotka haluavat tehdä ilmastonmuutosta hillitseviä toimia sekä yrityksille, joiden on mahdollista poistaa hiilidioksidia ilmasta. Markkinapaikan tarkoituksena on luoda taloudellisia kannustimia kehittää hiilidioksidin poistoa mahdollistavia innovaatioita sekä antaa yrityksille mahdollisuus kompensoida toiminnastaan syntyviä päästöjä. Purosta pystyy ostamaan teollisiin hiilidioksidin poistomenetelmiin perustuvia pitkäkestoisia CORCs- eli CO<sub>2</sub> Removal Certificates-sertifikaatteja, joita niitä ostanut yritys voi esittää esimerkiksi vastuullisuusraportissaan. Puroon tällä hetkellä hyväksytyjä hiilidioksidin poistomenetelmiä ovat biohiili, puiset rakennuselementit sekä karbonaattikivielementteihin kiinnitetty hiilidioksidi. Biohiilen osalta CORCs-sertifikaatin mahdollistaa tällä hetkellä Carbofex Oy, joka toimittaa biohiilen Tukholman kaupungin istutuksiin, hulevesien fosforin suodatukseen Espooseen tai kaatopaikan suotovesien suodatukseen Tamperelle. (Puro.earth, 2020; Sallinen, 2019)

Puro-markkinapaikan avulla saatuja päästöhyvityksiä ei kuitenkaan lasketa kansallisiin päästövähennyksiä mittaaviin taseisiin, eikä sillä siis ole samanlaista statusta kuin EU:n päästökauppajärjestelmällä (Sallinen, 2019).

### 3.1.2 Biohiilen tuotannon haasteita

Biohiilellä on siis paljon hyviä ominaisuuksia ja käyttökohteita, mutta sen käytön lisääminen on monesta syystä haastavaa. Kaupallisia tuottajia on toistaiseksi liian vähän, mikä aiheuttaa saatavuusongelmia sekä pitää biohiilen hinnan liian korkeana useisiin sovelluksiin. Lisäksi markkinoilla liikkuu paljon huonolaatuista biohiiltä ja katteettomia lupauksia sen toimivuudesta, kun ei osata tarjota oikeanlaista biohiiltä oikeaan käyttökohteeseen. Biohiilen tuotanto ei myöskään ole vielä vakiintunutta, vaan useat biohiilen tuotantolaitokset ovat joko pieniä pilottilaitoksia tai vasta innovaatiovaiheessa. Puu biohiilen raaka-aineena kilpailee myös biojalostamojen tai energiantuotannon kanssa. (Salo, 2018, s. 36–37)

Pyrolyysissä syntyvää öljyä voidaan käyttää energiantuotannossa ja tisleille olisi mahdollisia käyttökohteita esimerkiksi kasvinsuojelussa. Tisleet ovat kuitenkin REACH -kemikaaliasetuksen piirissä, joten niiden turvallinen käyttö tulisi osoittaa kunkin mahdollisen käyttökohteen osalta. (Hagner, Keskinen, Sarvi & Rasa, 2019, s. 6; ks. myös ECHA, n.d.)

## 3.2 Esimerkkejä biohiilen valmistamisesta rakennusjäte- ja purkupuusta

Biohiilipohjaisia rakennusmateriaaleja on tutkittu käytännössä jo useita vuosia, esimerkiksi Sveitsissä Ithaka Instituuttiin vuonna 2013 valmistuneessa rakennuksessa käytettiin biohiilipohjaisia materiaaleja (Ithaka Institute, n.d.). Rakennusjäte- ja purkupuun käytöstä biohiilen raaka-aineena ei ole vielä kovin montaa esimerkkiä. Yhdysvalloissa biohiilen tuotantoa on kuitenkin nostettu viimeisen vuoden aikana yhdeksi rakennusjätepuun käsitteilyratkaisuksi uusien, liikuteltavien laitteiden tultua markkinoille, jotka mahdollistavat biohiilen tuotannon rakennusjätepuusta teollisesti. Nämä laitteet pystyvät prosessoimaan jopa 8–15 tonnia puuta tunnissa, mikä on aikaisemmin ollut mahdollista ainoastaan kiinteissä tuotantolaitoksissa. *Construction & Demolition Recycling* -lehdessä joulukuussa 2019 ilmestyneessä artikkelissa Biohiilen tuotantoa esitetään ratkaisuksi ”puhtaalle, polttoainelaatuiselle puulle”. Artikkelin mukaan mobiileiden biohiiltä valmistavien laitteiden etuja jätteen toimijoille ovat esimerkiksi puujätteen muuttaminen aikaisempaa arvokkaammaksi materiaaliksi sekä puujätteen massan pienentyminen biohiilen valmistusprosessissa ja tätä kautta kuljetuskaluston tehokkaampi käyttö. (Redling, 2019)

Norjalaisessa Cornelissenin ym. *Waste Timber Pyrolysis in a Medium-Scale Unit: Emission Budgets and Biochar Quality* -tutkimuksessa selvitettiin rakennusjätepuun pyrolyysissä syntyviä kaasu-, aerosoli-, metalli- sekä PAH-yhdisteiden pitoisuuksia verrattuna puhtaaseen, lehtiä sisältävän puun pyrolyysistä syntyviin päästöihin. Lisäksi molemmista raaka-aineista valmistettujen biohiilien ominaisuuksia ja pitoisuuksia verrattiin toisiinsa (Cornelissen ym., 2019, s. 1). Rakennusjätepuusta valmistetusta biohiilestä mitatut raskasmetallipitoisuudet olivat tässä tutkimuksessa verrattain korkeita. Lisäksi mitatut PAH-yhdisteet olivat Euroopan biohiilsertifikaatin

ohjearvojen ylärajalla ja sinkin pitoisuus ylitti selvästi standardihiillelle asetetut ohjearvot. (Elo, Kymäläinen & Lahti, 2020, s. 10) Tutkimuksessa käytettyä rakennusjätepuuta kuvailtiin sekoitukseksi lievästi epäpuhdasta huonekalu-, rakennus-, purku- tai muuta puuta, jossa on jämiä maalista, sidosaineista ja metallista (Cornelissen ym., 2019, s. 2–3). Kuvauksen perusteella on vaikeaa yhdistää kyseistä materiaalia Suomessa käytössä oleviin laatuluokkiin sellaisella varmuudella, etteivätkö lisätutkimukset kyseisellä luokittelulla olisi perusteltuja.

*Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hankkeessa selvitetään Kanta-Hämeen alueella syntyvien jäte- ja sivuvirtojen soveltuvuutta biohiilen raaka-aineeksi. Yhdeksi potentiaalisesti raaka-aineeksi on tunnistettu myös rakennusjäte- ja purkupuuta, joiden pyrolyysia testataan kontrolloiduissa testiolosuhteissa. Koepyrolyyseyssä syntyneitä biohiiliä analysoidaan muun muassa raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden osalta ja verrataan niitä lähtömaterialiin. Analyysien perusteella voidaan antaa suuntaviivoja rakennusjäte- ja purkupuusta valmistetun biohiilen mahdollisista käyttökohteista sekä kyseisen raaka-aineen potentiaalista biohiilen tuotannossa. (Elo ym., 2020, s. 10)

### 3.3 Biohiilen raaka-aineeksi soveltuva puujäte

*Construction & Demolition Recycling* -lehden artikkelissa U.S Biochar Initiative-organisaation johtaja Tom Miles kertoo ”puhtaan, polttoainelaatuksen” puun olevan niin puhdasta, että siitä voi tehdä biohiiltä, jonka arvo on 80–100 \$ kuutiometriltä. Puhdas, polttoainelaatuinen puu tarkoittanee uudisrakennuksista syntyvää puujätettä sekä esimerkiksi puistopuuta, sillä Milesin mukaan se on yhdistelmä rakennus- ja kaupunkipuuta (urban wood). Tämän laatusesta puusta tehdyllä biohiilellä ei artikkelissa mainita olevan sellaisia käyttökohteita, joihin sitä ei voisi käyttää. (Redling, 2019)

Cornelissenin ym. tutkimuksen mukaan pyrolyysi on lupaava jätteenkäsittelymenetelmä rakennusjäte- ja purkupuulle, sillä pyrolyysiprosessin päätöt jäivät tutkimuksessa melko mataliksi ja biohiili oli tarpeeksi laadukasta jatkohyödynnettäväksi tietyissä käyttökohteissa, kuten maaperän epäpuhtauksien stabilisoinnissa, jätevesien puhdistuksessa sekä sementin lisäaineena. Rakennusjätepuuta ei tule tämän tutkimuksen mukaan kuitenkaan käyttää esimerkiksi maanparannusaineena, sillä tuotettu biohiili ei täysin vastannut Euroopan biohiilisertifikaatin mukaisia raja-arvoja. Toisaalta tutkimuksessa todettiin, että jatkoselvityksiä erilaisten pyrolyysilaitteistoiden ja -lämpötilojen sekä lopputuotteen jäähtymisajan vaikutuksista jättepuusta valmistetun biohiilen laatuun tulisi tehdä, sillä parempilaatuisemmalla biohiilellä olisi useampia käyttökohteita. (Cornelissen ym., 2019, s. 9–10)

*Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hankkeen osaraportin mukaan, jotkut pyrolyysiprosessit vaativat rakennusjätepuun esikäsittelyn hakettamalla sekä mahdollisesti kuivaamalla. Myös materiaalin sisältämät epäpuhtaudet,

kuten betoni tai maa-ainekset voidaan seuloa pois ennen pyrolyysia ja nauhat poistaa esimerkiksi magneetilla sopivassa vaiheessa prosessia. Pyrolyysiprosessin odotetaan poistavan rakennusjätepuusta mahdolliset orgaaniset tai kemialliset epäpuhtaudet, mutta tämä varmennetaan vielä analyysien avulla hankkeen aikana. Pyrolyysiolosuhteet puupohjaiselle materiaalille riippuvat käytettävästä menetelmästä tai prosessista, mutta mikäli rakennusjätepuun mahdollisista kemiallisista epäpuhtauksista on tarpeeksi ennakkotietoa, voidaan pyrolyysin kesto ja lämpötilaa yrittää optimoida sellaiselle tasolle, jossa varmistetaan niiden haihtuminen tai palaminen prosessissa. (Elo ym., 2020, s. 9–10)

Rakennusjätepuun käytössä biohiilen raaka-aineena tulee huomioida myös edellisessä luvussa esitetty jätteenpolttoasetuksen mukainen laatu luokittelu. A- ja B-laatuluokan puu sekä näiden sekoitukset vastaavat ominaisuuksiltaan sekä käyttökohteiltaan energiapuuta (lehti- tai havupuu-pohjainen hake), joka on biohiilituotannon yleisin raaka-aine Suomessa. A- ja B-laatuluokan puusta valmistettua biohiiltä lienee siis mahdollista käyttää kaikissa biohiilisovelluksissa silloin, kun lähtömateriaali on hyvin dokumentoitua ja siitä tuotettu biohiili on analysoitu. (Elo ym., 2020, s. 4, 9–10)

C-laatuluokan jätepuuhun sovelletaan jätteenpolttoasetusta (151/2013). Jätteenpolttoasetusta ei kuitenkaan sovelleta kaasutus- tai pyrolyysilaitokseen siinä tapauksessa, jos jätteen lämpökäsittelyssä syntyvä kaasu puhdistetaan niin, että se ei ole enää jätettä ennen sen polttamista eikä se voi aiheuttaa päästöjä, jotka ovat suurempia kuin maakaasun polttamisessa aiheutuvat päästöt. (Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta, 2013/151, 1§) Näin ollen C-laatuluokan jätepuuta lienee mahdollista pyrolysoida, mikäli edellä mainitut asiat otetaan prosessissa huomioon.

C-laatuluokan jätepuusta valmistetulla biohiilellä olisi Elon ym. mukaan eri käyttökohteet kuin puhtaammasta rakennusjätepuusta valmistetulla biohiilellä. Näitä voisi olla esimerkiksi vesiensuodatus- tai maanparannus teiden reuna-alueilla tai kaatopaikoilla sekä erilaiset tekniset sovellukset muun muassa rakennusteollisuudessa. D-laatuluokan jätepuuta ei ainakaan tämän hetkisen näkemyksen mukaan voi käyttää biohiilen tuotannossa lainkaan. (Elo ym., 2020, s. 9–10)

Mikäli rakennusjätepuun ohjaaminen laadukkaan biohiilen tuotantoon halutaan Suomessa käsittelyratkaisuksi, kannattanee purkupuun osalta kaikki mahdollinen materiaali koittaa ohjata laatuluokkaan B. Ylipäättänsä lähtömateriaalin luotettava dokumentointi ja lajittelu on tärkeää, eikä koostumukseltaan tai alkuperältään erilaista rakennusjätepuuta kannata missään vaiheessa sekoittaa keskenään, jolloin ylläpidetään rakennusjätepuusta tuotettavan biohiilen laatua. (Elo ym., 2020, s. 10)

### 3.3.1 A- ja B-laatuluokan rakennusjätepuun määrä

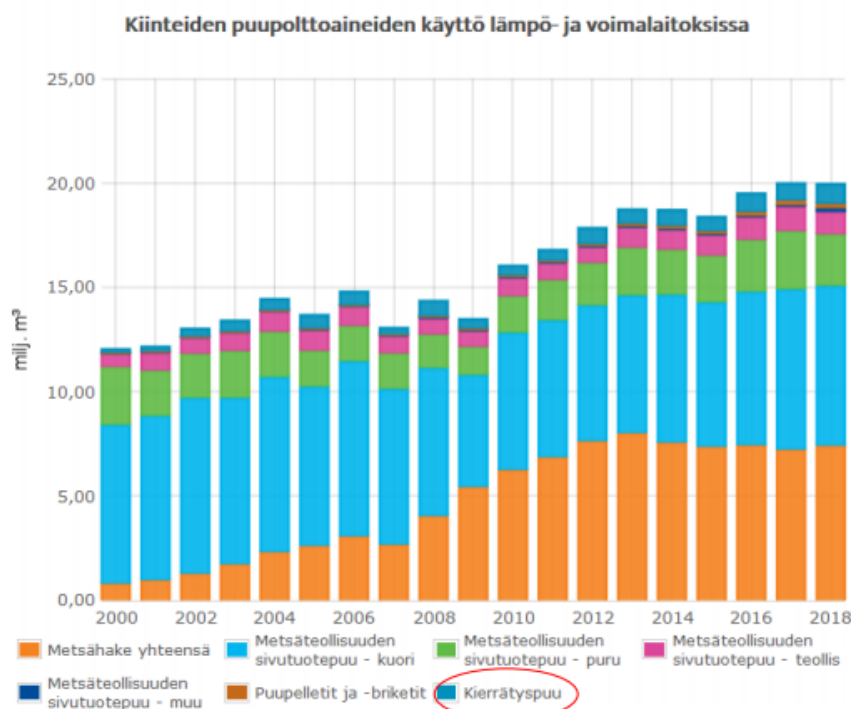
Taulukossa 2. ilmenee *Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous*-raporttia varten Energiateollisuus ry:n vuoden 2017 kaukolämpötilastoista koostettuja tietoja, joiden oletetaan sisältävän purkamisen ja rakentamisen puujätettä. Energiateollisuuden tilastoissa ilmoitetut lämpöarvot (GWh) on tässä taulukossa muunnettu tonneiksi Tilastokeskuksen muuntokertoimilla. Gaian ja Ytekin asiantuntijatiimin tekemä arvio purkujätteen osuudesta eri polttoaineluokissa on merkitty taulukkoon sinisellä. (Häkämies ym., 2019, s. 13)

Taulukko 2. Energiantuotantolaitosten polttoainekäytöt vuonna 2017 ja arvio purkupuun osuudesta ko. polttoaineluokassa (Häkämies ym., 2019, s. 13)

Polttoainetyyppi	muuntokerroin n GJ/t (Tilastokeskus)	GJ	GWh	tonnia	arvio	Rakennus- ja
					purkupuujätteen osuudesta	purkutoiminnan puujäte
Kierrätyspolttoaineet	18	2035798	565,5	113 100	20 %	22 620
Kierrätyspuu	12	2034358	565,1	169 530	50 %	84 765
Purkupu	12,5	1559879	433,3	124 790	100 %	124 790
Kyllästetty puu	12	147600	41	12 300	100 %	12 300
Yhdyskuntajäte/sekajäte	10	11192391	3109,1	1 119 239	1 %	11 192
<b>Yhteensä</b>				<b>1 538 959</b>		<b>255 668</b>

Raporttia varten selvitettiin myös AB-laatuluokan puun määriä Luken ja Energiateollisuus ry:n keräämistä tiedoista koskien Suomen energiantuotantolaitoksien käyttämiä polttoaineita. Näillä laitoksilla poltetaan luvussa 2. esiteltyä kierrätyspuuksi luokiteltua biopolttoainetta, joka myötäilee laatuluokkia A ja B. Kuvassa 7 (s. 20) on esitetty Luken puupolttoaineita käyttäville laitoksille suunnattuun kyselyyn pohjautuva tilasto, joka sisälsi mahdollisuuden raportoida kierrätyspuu luokan lisäksi myös jätteeksi luettavaan luokkaan 'purkupu- ja kyllästetty puu'. Koska kysely suuntautui ensisijaisesti puupolttoaineita käyttäville laitoksille jättäen näin ulkopuolelle osan jätteen käsittelyyn erikoistuneista laitoksista, voidaan tilastoa pitää luotettavana ainoastaan A- ja B-laatuluokan puun määrätietojen osalta. (Häkämies ym., 2019, s. 12–13)





Kuva 7. Puun energiakäyttö Suomessa vuosina 2000-2018. (Häkämies ym., 2019, s. 12)

Raportin mukaan vuonna 2018 kierrätyspuuta eli laatuluokan AB-puuta poltettiin 0,9 kuutiometriä, joka muunnettiin 225 000 tonniksi jätteenkäsittelijöiden haastatteluissa varmennetulla muuntokertoimella 0,25 t/m<sup>3</sup>. Luku pitää sisällään myös muualta kuin purku- ja rakennustyömailta peräisin olevan kyseisen laatuluokan puun. (Häkämies ym., 2019, s. 13)

### 3.3.2 Purkupuun määrä

Rakennus- ja purkujätteen määrästä ei kerätä Suomessa tietoa niiden syntypaikoilta, minkä vuoksi todellista tietoa niissä syntyvistä jättejakeista ja -määristä on vaikeaa saada selville. Useat ympäristöhuoltoyritykset tarjoavat asiakkailleen internet-pohjaisen raportointityökalun, josta asiakas näkee työmaakohtaisesti syntyvien jätteen määrän sekä työmaan kierrätysasteen. Yleensä näitä tietoja ei kuitenkaan viestä muihin tietojärjestelmiin, lukuun ottamatta niitä kuntia, jotka käyttävät Lupapiste.fi-järjestelmää purku- ja rakennuslupien käsittelyyn. Näissä kunnissa on alettu edellyttämään joko jätetietojen syöttämistä palvelun jätetietolomakkeeseen tai jäteraportin liittämistä hankeen loppudokumentteihin. (Häkämies ym., 2019, s. 17)

*Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous* -raporttia varten selvitetiin puujätteen määrää useassa työmaaseurantakohteessa eri puolilla Suomea. Mukana oli eri rakennustyyppisiä (julkinen-, asuin-, teollisuus- ja liikerakennuksia) ja sekä kokonaispurkukohteita että saneerauspurkukohteita. Näiden lisäksi selvitetiin kyseisten rakennusten pääasiallinen rakennusmateriaali sekä niiden bruttoneliötieto, joiden avulla laskettiin

puujätteen ominaisjättemäärät kohteissa. Lisäksi purkupuun määrän arvioimiseksi hyödynnettiin eri lähteiden, kuten Tilastokeskuksen, RAKLI ry:n sekä Väestörekisterikeskuksen tutkimustietoja Suomen rakennuskannasta ja sen jakautumisesta eri rakennustyyppisiin sekä tietoja purkujen ja perusrakennusten määrästä. Edellä mainittuja tietoja hyödyntäen saatiin taulukossa 3. esitetty arvio purkupuun määrästä eli 199 321 tonnia. (Häkämies ym., 2019, s. 17–19)

Taulukko 3. Purkamisessa syntyvän puujätteen määrä työmaaotannan ja puretun rakennuskannan perusteella (Häkämies ym., 2019, s. 19)

Rakennuksen runkomateriaali	Osuus (m <sup>2</sup> ) puretuista rakennuksista	Ominaisjättemäärä (t/br-m <sup>2</sup> )	Määrä (tonnia)
Puurunko	33 %	0,080	127 380
Betonirunko	46 %	0,021	46 610
Muu/tuntematon	21 %	0,025	25 331
<b>Yhteensä</b>			<b>199 321</b>

Taulukossa ei ole huomioitu sekalaisen rakennusjätteen joukkoon päätyvää puujätettä, jota saattaa olla jopa 20 % jätteen vastaanottajien arvioiden mukaan. Vaaralliseksi jätteeksi luokiteltavaa D-laatuluokan painekyllästettyä puuta sekä B-laatuluokan puuksi kelpaavaa purkupuuta ei ole myöskään eritelty tutkimuksessa. (Häkämies ym., 2019, s. 19)

Painekyllästetty puu tulee kerätä työmailla aina erilleen muusta puusta, sillä se luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi. Muu purkupuuta voidaan jakaa purkutyömailla käsittelemättömään puujätteeseen, johon lajitellaan esimerkiksi käsittelemättömät laudat ja puhtaat hirret, sekä käsiteltyyn tai sekalaiseen puuhun, johon lajitellaan muun muassa lastulevyt, laminoidut taso-levyt, mdf-levyt sekä pinnoitetut ja maalatut laudat. Joillakin paikkakunnilla sekalaisen ja käsittelemättömän puun käsittelymaksussa on niin iso ero, että niiden erilliskeräys työmaalla olisi kannattavaa. *Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous* -raportin seurantatyömaista suurin osa ei kuitenkaan tehnyt lajittelua, vaan tavanomainen puujäte toimitettiin seka-kuormina käsittelyyn. Näin toimittiin siitä huolimatta, että eri tyyppiset purkupuut olisi helppo tunnistaa ja erilliskerätä purkutyömailla. (Häkämies ym., 2019, s. 21)

Purkupuujätteen jakauma käsittelemättömään puujätteeseen, käsiteltyyn tai sekalaiseen puujätteeseen ja painekyllästettyyn puuhun vaihtelevat huomattavasti rakennushanketyypin (purku- tai korjausrakentaminen) ja päärakennusmateriaalien mukaan. Esimerkiksi hirs- ja puurunkoisisten rakennusten purkutyömaalla käsittelemättömän puujätteen määrä on luonnostaan suurempi kuin vaikkapa betonirakenteisten rakennusten purkutyömaalla, vaikka hirsirakennuksissakin esiintyy pinnoitettuja ja käsiteltyjä hirsisiä. *Puupohjaisen rakennus ja purkujätteen kiertotalous* -raporttia

varten haastateltujen purku-urakoitsijoiden kertoman perusteella käsittelemättömän puujätteen määräksi arvioitiin noin puolet kaikesta puujätteestä. Koska purkupuujäte menee tällä hetkellä polttoaineeksi energian tuotantoon, ei ole kuitenkaan tietoa siitä, missä määrin siinä esiintyy esimerkiksi kosteus- ja mikrobivaurioita. (Häkämies ym., 2019, s. 21)

### 3.4 Biohiili Suomessa ja Ruotsissa

Suomessa kaikki kymmenen suurinta kaupunkia, eli Helsinki, Espoo, Tampere, Vantaa, Oulu, Turku, Jyväskylä, Lahti, Kuopio ja Pori, ovat osallistuneet biohiiliprojekteihin, ja yhteensä biohiiltä on käytetty noin 30 kaupungissa tai kunnassa. Projekteja on pääsääntöisesti tehty viimeisen kahden vuoden aikana, ja suurin osa niistä on ollut pieniä. (Suomen biohiiliyhdistys, n.d.) Biohiilen käytön lisäämiseen Suomessa on kuitenkin kiinnostusta, ja se mainitaankin Sanna Marinin hallituksen ohjelmassa kosteikkoviljelyn ohella hiilensidontaa lisäävänä tai ilmastopäästöjä vähentävänä viljelytekniikkana, joiden käyttöönottamista tullaan edistämään (Valtioneuvosto, 2019, s. 121).

Useat suomalaisten kaupunkien ja kuntien projekteista ovat saaneet vaikutteita Tukholman kaupungista, jossa biohiiltä on käytetty kasvualustojen materiaalina jo vuodesta 2009. Tukholmassa biohiiltä hyödynnetään katupuustutuksissa, vedenlaadun parantamisessa sekä hulevesien suodatuksessa. (Suomen biohiiliyhdistys, n.d.) Lisäksi kaupungissa on tällä hetkellä menossa *Stockholm Biochar Project*-hanke, jossa rakennettiin lämpöenergian talteenotolla varustettu pyrolyysivoimala. Voimalassa pyrolysoidaan Tukholman puisto- ja puutarhajätettä, josta saatavaa biohiiltä hyödynnetään kaupungin julkisissa istutuksissa. Näin luodaan urbaani hiilinielu ja tuotetaan samalla kaukolämpöä kaupungin asukkaille. (Global Opportunity Explorer, 2018; Gustafsson, 2019) Muihin Ruotsiin valmistuneisiin biohiililaitoksiin lukeutuu esimerkiksi Hammenhögin rakennettu biohiilivoimala, joka on yksi Euroopan suurimpia. Laitos rakennettiin osana kahta Ruotsin hallituksen tukemaa hanketta; *Rest till Bäst*-hanketta, jossa kehitetään orgaanisen aineksen, kuten levien, puistojätteen ja lietteen hallintaa sekä niiden muuttamista arvokkaaksi raaka-aineeksi sekä *Klimatklivet*-hanketta, jolla tuetaan ilmastomuutosta hillitseviä toimintoja. (Bernhoff, Fransson, Malmberg & Paulsson, 2019) Biohiiliprojektien määrän ja kokoluokan odotetaan kasvavan Ruotsissa vielä entisestään tulevana vuosina (Suomen biohiiliyhdistys, n.d.).

### 3.5 Nordic Biochar Network

Suomen biohiiliyhdistys ylläpitää biohiilikarttaa, johon kootaan tietoja biohiiliprojekteista, tutkimusorganisaatioista sekä alan toimijoista. Lisäksi Suomen biohiiliyhdistys tekee yhteistyötä Nordic Biochar Network-yhdistyksen kanssa välittämällä tietoa suomalaisista toimijoista yhdistyksen ylläpitämään laajempaan, kaikki Pohjoismaat kattavaan biohiilikarttaan.

Pohjoismaiden lisäksi kartalle on viety myös muualla Euroopassa, kuten Englannissa, Itävallassa ja Saksassa, sijaitsevien biohiilialan toimijoiden tietoja. Molemmissa kartoissa on kymmeniä biohiileen liittyviä hankkeita, yrityksiä sekä tutkimuksia suurista voimalaitoksista pieniin, paikallisiin hankkeisiin. Karttojen avulla pyritään auttamaan sidosryhmiä verkostoitumaan, ymmärtämään markkinatilannetta sekä helpottamaan toimijoita saamaan näkyvyyttä myös omien maidensa rajojen ulkopuolella. (Suomen biohiiliyhdistys, n.d.; Nordic Biochar Network, 2018)

### 3.6 Biohiilen parissa toimivat yritykset Suomessa

Suomessa on tällä hetkellä ainakin kahdeksan biohiilen tai pyrolyysiprosessin parissa toimivaa tai niitä hyödyntävää yritystä, jotka on merkitty Suomen biohiiliyhdistyksen biohiilikartalle mustalla tehtaan (biohiilen valmistus tai jalostus) tai jakoavaimen (pyrolyysilaitteiden valmistus ja suunnittelu tai jälleenmyynti) kuvalla (kuva 8). Lisäksi suunnitteilla on viisi biohiililaitosta, jotka näkyvät kartalla keltaisena tehtaan kuvana. Näiden lisäksi löytyy ainakin yksi yritys, jota ei ole merkitty karttaan.



Kuva 8. Olemassa olevat ja suunnitteilla olevat biohiililaitokset ja -yritykset Suomessa. (Salo ym., 2018)

### 3.6.1 Olemassa olevat yritykset ja laitokset

Ecomation Oy suunnittelee ja valmistaa teollisen mittakaavan laitteita esimerkiksi muovin, kumin ja sähkö- ja elektroniikkaromun kierrätykseen sekä waste-to-energy-ratkaisuita. Yritys tarjoaa myös kierrätysalan konsulttipalveluita sekä olemassa olevien kierrätyslaitteistojen huoltoja ja modernisointeja. (Ecomation, n.d.) Lisäksi Ecomation Oy on kehittänyt pyrolyysiteknologiaa, jolla pystytään tuottamaan biohiiltä erilaisista orgaanisista materiaaleista, kuten jätevesilietteistä, jätteistä ja sivuvirroista. Yritys toimii yhteistyössä esimerkiksi HSY:n ja Luken kanssa. Lisäksi yritys on toimittanut Gasumille Turussa sijaitsevan biohiilen pilottitehtaan, jossa käytetään syötteenä lingottua mädätejäännöksen kuiva-ainetta. (Salo ym., 2018; ks. myös Salmela, 2018, s. 17)

Innovaatiopalvelu Koivukunnas Oy kehittää ja myy biohiilen omatoimiseen valmistamiseen tai pienimuotoiseen yritystoimintaan soveltuvia kartiohiillettimiä. Lisäksi uutuuksena myydään Kaskinuotio-tuotetta, joka soveltuu ruoanvalmistukseen samalla, kun se tuottaa biohiiltä risuista ja oksista. Yritykseltä voi tilata myös erilaisia työpajoja. (Salo ym., 2018; Innovaatiopalvelu, n.d.)

Puutarhatuotteita, kuten erilaisia multia, valmistava Biolan Oy tuottaa Virossa biohiiltä lehtipuusta ja käyttää sitä tuotteissaan (Salo ym., 2018; Biolan, 2018).

Carbofex Oy on biohiilen tuottaja sekä tukku- ja jälleenmyyjä. Carbofex Oy:lla on Euroopan suurin jatkuvatoiminen pyrolyysilaitos, jossa tuotetaan korkealaatuista biohiiltä, kaasua, öljyä ja muita tisleitä PEFC-sertifioidusta kuusesta. Tuotettu öljy ja kaasu hyödynnetään lämmöntuotannossa Tampereen Sähkölaitoksen kaukolämpöverkossa, jolloin saadaan hiilidioksidinegatiivista kaukolämpöä noin kolmellekymmenelle kerrostalolle Tampereella. Hiedanrannan laitoksen kapasiteetti on 400–500 kiloa puuhaketta tunnissa, josta syntyy 100–140 kiloa biohiiltä. Laitoksen vuosituotanto on 700 tonnia biohiiltä ja 600 tonnia öljyä vuodessa. Kesäaikana tuotettu öljy varastoidaan ja käytetään uuden lämmityskauden alettua. Carbofex Oy:n biohiiltä voidaan käyttää esimerkiksi kasvualustana ja rehun lisäaineena, ja se on hyväksytty luomuruoan tuotantoon. (Carbofex, 2019; ks. myös Salo ym., 2018) Carbofex Oy:n laitos saattaa olla maailman ensimmäinen sekä hiilidioksidinegatiivista kaukolämpöä että biohiiltä tuottava tehdas, sillä toisista vastaavan mittakaavan toteutuksista ei ole tietoa (Mansikka, 2018).

Mikkelissä sijaitseva Carboner Oy valmistaa pyrolyysilaitteita biohiilen ja tisleiden tuotantoon. Raaka-aineenaan laitteet käyttävät oksia sekä puuta ja puutähteitä. Laitteiden käsittelyaika vaihtelee 5–24 tuntiin ja tuotantokapasiteetti sykliä kohden 80 kilosta 1000 kiloon biohiilen osalta ja 40 litrasta 1000 litraan tisleiden osalta. (Carboner, 2019) Carboner Oy:tä ei ole merkitty oheiseen biohiilikarttaan.

Carbons Finland Oy jalostaa erilaisia alihankkijoiden tuottamia biohiiliä tuotteiksi, joita voi käyttää esimerkiksi kasvualustoihin, luomuviljelyyn sekä suoto- ja valumavesien käsittelyyn. Yritys suunnittelee myös oman biohiilituotannon aloittamista. (Carbons, 2020; Salo ym., 2018)

Charcoal Finland Oy valmistaa monenlaisia tuotteita koivusta. Biohiilen lisäksi myynnissä on esimerkiksi erilaisia maaleja, kosmetiikkaa, tervaa ja hajusteita. (Charcoal Finland, 2020)

Noireco Oy valmistaa biohiiltä kasvualustoiksi, maanparannukseen, viherkentämiseen ja suodatinmateriaaliksi. Noireco Oy myy teollisten toimijoiden lisäksi biohiilestä valmistettuja tuotteita myös kuluttaja-asiakkaille. Näitä ovat esimerkiksi savustushake, grillihiilet sekä biohiili puutarhaan. Biohiilen raaka-aineena käytetään kuusta ja koivua. (Noireco, 2018b.; ks. myös Salo ym., 2018)

### 3.6.2 Suunnitteilla olevat laitokset

Boreal Bioref Oy on Kemijärvelle suunnitteilla oleva biojalostamo, jossa puusta valmistetaan esimerkiksi erilaisia selluja, bioenergiaa ja tärpättiä (Boreal Bioref, n.d.). Jalostamolle tuleva havupuu päätyy prosessiin, mutta esimerkiksi koivusta on tarkoitus valmistaa biohiiltä. Prosessin ylijäämälämpöä aiotaan hyödyntää kasvien ja kalojen kasvattamisessa, ja valmistuvaa biohiiltä lääketeollisuudessa ja jätevesien puhdistuksessa. (Palmqvist, 2019)

HSY on tehnyt investointipäätöksen biohiilen tuotantolaitoksesta, jossa raaka-aineena käytetään jätevesilietettä. Valmistuvaa biohiiltä aiotaan hyödyntää maanparannuksessa esimerkiksi kompostoinnin kautta, ja muita mahdollisia käyttötarkoituksia tutkitaan parhaillaan. Mikäli vuoden 2020 aikana rakennetusta pilottilaitoksesta saadaan hyviä käyttökokemuksia, rakennetaan mahdollisesti täyden mittakaavan laitos, jonka kapasiteetti on jopa 30 000 tonnia vuodessa. (Salo ym., 2018; ks. myös Kainulainen, 2019)

Pyhäjärven Callion Bioenergiaterminaali on hanke, jossa Pyhäsalmi Mine Oy: lähialueelle suunnitellaan bioenergian ja biohiilen valmistusta. Potentiaalisimmiksi toiminnoiksi bioenergiaterminaalille on tunnistettu energia-puun haketus ja käyttö biohiilen valmistuksessa, biohiilen ja aktivoitujen biohiilen valmistus suodatinkäyttöön sekä kuitupuun välivarastointi, kuorinta, haketus ja kuljetus sellutehtaille. (Salo, 2019)

Stora Enso rakentaa biohiilen pilottilaitosta Sunilan tehdasalueelleen Kotkassa. Biohiilen raaka-aineena on tarkoitus käyttää Sunilan tehtaan tuottamaa ligniiniä, ja sieltä valmistuvaa biohiiltä on ajateltu käytettävän raaka-aineena erilaisissa akuissa korvaamassa fossiilisia raaka-aineita. Tehtaan

vuotuinen tuotantokapasiteetti tulee olemaan 50 000 tonnia ja laitos valmistuu vuonna 2021. (Kykkänen & Veteli, 2019; ks. myös Salo ym., 2018)

Tampereen Sähkölaitos Oy ja Carbofex Oy ovat tehneet aiesopimuksen Länsi-Tampereelle rakennettavasta maailman suurimmasta biohiililaitoksesta, josta syntyvää ylijäämälämpöä, kaasua ja öljyä on tarkoitus hyödyntää kaukolämmön tuotannossa. Tavoitteena on käynnistää laitos vuoteen 2022 mennessä. Laitoksen on ajateltu tuottavan ensimmäisessä vaiheessa noin 60 000 kuutiota biohiiltä 30 megawatin lämmityskapasiteetilla. Mikäli biohiili käy hyvin kaupaksi, voidaan laitoksen kapasiteettia lisätä jopa nelinkertaiseksi. Laitoksessa tuotettua biohiiltä on ajateltu käytettävän esimerkiksi kasvualustoina. (Palomaa, 2019)

### 3.7 Puupolttoaineen ja biohiilen arvo

Vuonna 2014 valmistuneessa *Rakennus- ja purkujätteen mukana syntyvän puujätteen hyödyntämisen kustannukset ja potentiaaliset hyödyntämiskohteet* -pro gradu -tutkielmassa selvitettiin puujätteen kustannuksia. Vastaanottohinnat vaihtelivat 0,00–89,00 euroon tonnilta. Rakennusjätepuu murskataan ennen toimittamista energiahyödynnykseen, josta aiheutui tutkielman mukaan kustannuksia keskimäärin 15,60 €/tonni. Energiantuotantolaitokset maksoivat puuhakkeesta keskimäärin 38,50 €/tonni. (Kiuru, 2014) Puuhakkeesta saatu hinta vaihtelee kuitenkin voimakkaasti saatuvuuden, puuhakkeen energiasisällön ja vuodenaikojen mukaan. (Hakamies ym., 2019, s. 25)

Puujätteen vastaanottohinnoitteluun vaikuttaa jätteen laatu sekä se, pystyvätkö lähitöllä sijaitsevat energiantuotantolaitokset vastaanottamaan purkupuuta (Hakamies ym., 2019, s. 25). Alueelliset erot voivat siis olla suuria jopa saman yrityksen eri toimipisteissä, esimerkiksi Delete Oy:n Porin toimipisteellä puhtaan ja sekalaisen puujätteen vastaanottohinta on 0,00 €, kun se on Uudellamaalla 40,00 €/tonni puhtaasta ja 60,00 €/tonni sekalaisesta puusta ja Pirkanmaalla 3,00 €/tonni puhtaasta ja 13,00 €/tonni sekalaisesta puusta (Delete, 2020a, 2020b, 2020c).

Mikäli puu tulee hakettaa ennen pyrolyysiprosessia, säilyvät murskauksesta aiheutuvat kustannukset ennallaan, vaikka rakennusjätepuu toimitettaisiin biohiilen tuotantoon. Suomessa yleisimmin biohiilen raaka-aineena käytettävän raaka-aineen eli energiapuun hinta on hankintahinnaltaan Metsälehdessä ajantasaisen hinnaston mukaan keskimäärin 23,92 €/m<sup>3</sup> (Metsälehti, 2020). *Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous* -loppuraportissa käytetyllä muuntokertoimella 0,25 t/m<sup>3</sup> sen hinnaksi muodostuu 5,98 €/tonni. Tonnihinnaksi muodostuu siis murskauskustannusten jälkeen reilu 20,00 €/tonni. Energiantuotantolaitosten maksama hinta rakennusjätepuupohjaisesta puuhakkeesta on siis luultavasti laskenut vuodesta 2014, sillä ei liene mahdollista, että jättepohjaisen raaka-aineen hinta on suurempi kuin puhtaan polttoaineen.

Suomessa valmiin kaupallisen biohiilen hinta liikkuu 225,00–300,00 €/m<sup>3</sup> välillä (Elo & Nummela, 2020). Puro-markkinapaikassa voi ostaa biohiilipohjaisen kompensaaation minimissään viidelle tonnille hiilidioksidia yhteensä 309,00 eurolla, joka muodostaa yhden hiilidioksiditonin hinnaksi 61,80 € (Puro.earth, 2020a). Tulevaisuudessa hiilikompensatio biohiilen sidontana vaikkapa peltoon voikin toimia merkittävänä tulonlähteenä esimerkiksi maatalousalan yrittäjille. (Elo, 2020c)

Biohiilen raaka-aineen hinta riippuu käytettävästä biomassasta, joka saattaa joskus olla jopa ilmaista. Esimerkiksi Cheng ym. olettivat *Slow Pyrolysis as a Platform for Negative Emissions Technology: An Integration of Machine Learning Models, Life Cycle Assessment, and Economic Analysis* -julkaisussaan lietteen olevan ilmaista raaka-ainetta (Cheng ym., 2020, s. 11).

Cheng ym. tutkivat lietettä, viljelytähteitä tai puujätettä raaka-aineenaan käyttävän pyrolyysiprosessin taloudellista kannattavuutta, jossa puujätettä edustivat hakkuutähteet. Heidän tulostensa perusteella on taloudellisesti kannattavampaa tuottaa biohiiltä matalammassa lämpötilassa (400 °C) kuin korkeammassa lämpötilassa (550 °C ja 700 °C). Korkeamman lämpötilan pyrolyysissä syntyy enemmän myytävää lämpöä, mutta biohiilen saanto vähenee ja käyttökustannukset ovat korkeammat. Tutkimuksessa laskettiin MPSP eli minimum product selling price (tuotteen vähimmäismyyntihinta) eri lämpötiloissa ja eri raaka-aineista tuotetuille biohiilille, joka vaihteli 774–1256 \$/tonni. Lietteestä valmistettu biohiili nousi tutkimuksessa taloudellisesti kannattavimmaksi vaihtoehdoksi, muun muassa valmiin biohiilen saannin ja korkeimman typpipitoisuuden vuoksi. Puujäte oli kannattavuudeltaan hyvin lähellä viljelytähteitä. Tutkimuksessa kuitenkin huomautettiin biohiilen hinnan vaihtelevan suuresti muun muassa biohiilen laadun, käyttökohteen ja ostomäärän mukaan. (Cheng ym., 2020, s. 5 ja 8 ja 11–14)

### 3.8 Puujätteen käsittelytavan vaikutus rakennusjätteen kierrätysasteeseen

Jätedirektiivin mukaiseen 70 % kierrätystavoitteeseen vuoteen 2020 mennessä ei Suomessa päästy, vaan rakennusjätteestä päätyi kierrätykseen ainoastaan noin 50 prosenttia (Tolpo, 2020). Millaisia vaikutuksia puujätteen kierrätyksellä olisi rakennusjätteen kierrätysasteeseen?

Rakennusjätteen vuoden 2018 syntyneestä 15 715 tuhannesta tonnista puuta oli 401 tuhatta tonnia, eli 2,55 prosenttia kokonaismäärästä. Saman vuoden puujätteen käsittelyä kuvaavassa tilastossa kierrätyksen osuus oli ainoastaan 4 prosenttia. Koska tilasto pitää sisällään myös muun puujätteen kuin rakennusjätepuun käsittelyn eikä rakennusjätepuuta hyödynnetä merkittävästi materiaalina, voitaneen olettaa suurimman osan rakennusjätepuusta päätyneen energiahyödynnykseen.

Vaikka kaikki rakennusjätepuu painekyllästetty puu pois lukien pystyttäisiin jatkossa ohjaamaan biohiilen tuotantoon, ja mikäli se laskettaisiin

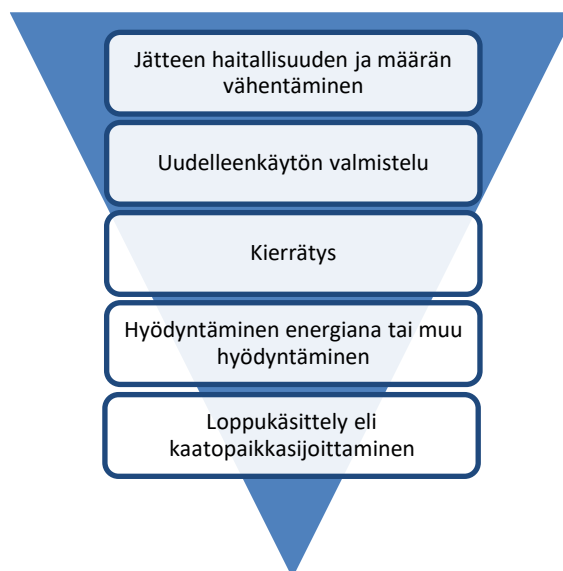


kierrätykseksi, nostaisi tämä rakennusjätteen kierrätysastetta alle 3 prosenttia. Vaikka sekalaisen rakennusjätteen joukossa saattaa olla jopa 20 prosenttia puuta *Puupohjaisen rakennus ja purkujätteen kiertotalous* -raportin mukaan, ei tämänkään puujätteen ohjaaminen kierrätykseen nostaisi kokonaiskierrätysastetta kovin merkittävästi sekalaisen jätteen vähäisen määrän vuoksi suhteessa rakennusjätteen kokonaismäärään.

Rakennusjätepuun ohjaamista kierrätykseen ei kuitenkaan kannata väheksyä, sillä vuonna 2018 jätedirektiiviin lisättiin jäsenmaille velvollisuus aloittaa toimia purku- ja rakennusjätteiden lajittelujärjestelmien kehittämiseksi muun muassa puujätteen osalta (Ympäristöministeriö, 2020a, s. 8). Lisäksi useilla rakennusliikkeillä on omia tavoitteita yrityksensä kierrätysasteen suhteen, jotka ovat tällä hetkellä usein vaikeat saavuttaa puujätteen suuren määrän vuoksi. Rakennustyömaiden kokonaisjättemäärästä puuta on keskimäärin 30 prosenttia, joten sen käsittelytavalla on merkitystä (Tupala, 2020). Lisäksi rakennushankkeiden ympäristösertifiointijärjestelmien, kuten LEED-, BREEAM- tai Joutsenmerkki-sertifikaatin käyttäminen on yleistynyt. Useissa näistä järjestelmistä kierrätyksen osuus jätehuollosta on yksi arvioitavista osa-alueista (GBCF, 2018, s. 6).

#### 4 PUUJÄTTEEN KÄSITTELYRATKAISUIDEN ELINKAARIARVIOINTEJA

Suomessa puujätteen energiahyödyntämistä on pidetty meidän oloisamme kustannuksiltaan ja ympäristövaikutuksiltaan kierrätystä järkevämpänä ratkaisuna. Kuitenkin EU:n jätedirektiivissä (2008/98/EY) säädettyssä etusijajärjestyksessä, eli niin kutsutussa jätehierarchyssä (kuva 9, s. 29), tulee jätepolitiikassa ja lainsäädännössä noudattaa seuraavaa järjestystä: Ensisijaisesti tulee vähentää syntyvän jätteen haitallisuutta ja määrää. Jos jätettä kuitenkin syntyy, tulee jätteen haltijan ensisijaisesti valmistella jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrättää se. Mikäli kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan tulee hyödyntää jäte muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, tulee jäte loppukäsitellä, eli sijoittaa kaatopaikalle. (Judl, Manninen & Myllymaa, 2015, s. 7)



Kuva 9. Jätehierarkia. (Judl ym., 2015, s. 7)

Direktiivissä todetaan kuitenkin, että etusijajärjestyksestä poikkeaminen on mahdollista siinä tapauksessa, että se on tietyn jätteen syntymisen ja jätehuoltoon koskevien kokonaisvaikutusten tarkastelun perusteella elinkaariarvioinnin mukaisesti perusteltua. Poikkeamisessa on otettava huomioon parhaan tuloksen saavuttaminen lain tarkoituksen kannalta, taloudelliset ja tekniset edellytykset sekä ympäristönsuojelun varovaisuus- ja huolellisuusperiaate. (Judl ym., 2015, s. 7)

Tässä luvussa esitellään, mitä seikkoja elinkaariarvioinneissa tulee ottaa huomioon sekä muutamia puujätteestä ja biohiilestä tehtyjä elinkaariarviointeja. Luvun loppuun esitellään Suomen strategiatyötä ja tahtotilaa sähkön ja lämmön tuottamiseksi tulevaisuudessa, jotta elinkaariarviointeja voidaan tarkastella myös tässä asiayhteydessä.

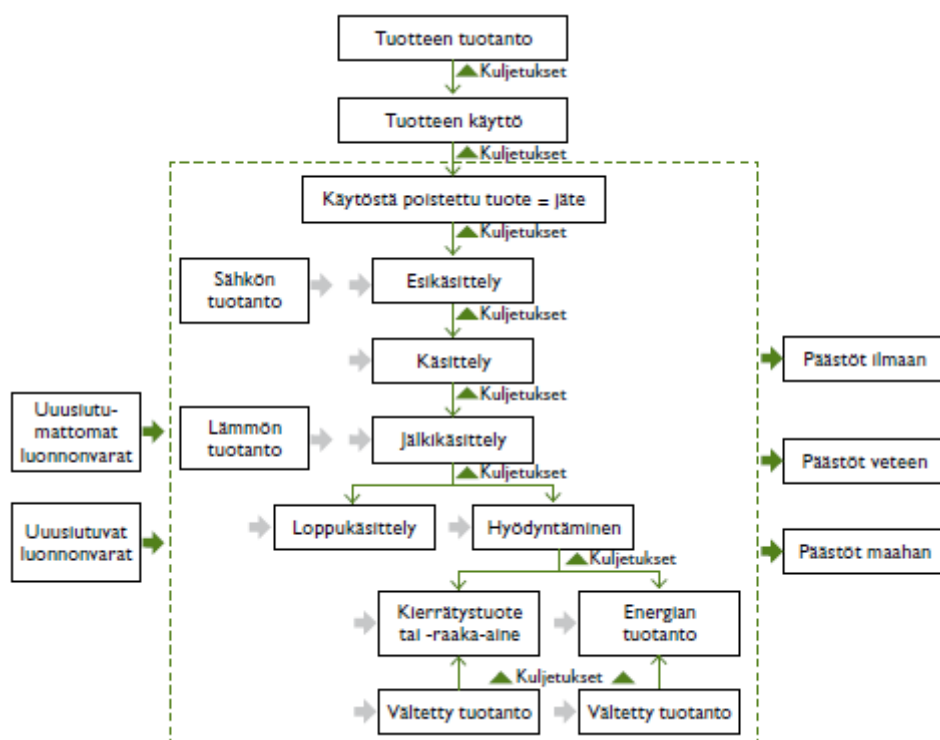
#### 4.1 Elinkaariarviointi

Palvelun tai tuotteen elinkaarella tarkoitetaan kaikkia sen tuottamiseen, käyttöön sekä käytön jälkeiseen jätehuoltoon liittyviä kuljetuksia ja prosesseja. Elinkaariarvioinnilla (life cycle assessment, LCA) puolestaan tarkoitetaan palvelun tai tuotteen koko elinkaaren aikaisen ympäristönkuormituksen arviointiin, tunnistamiseen ja tulkintaan tarkoitettua tiedon keruuta ja analysointimenetelmää. Elinkaariarvioinnissa huomioidaan kattavasti kaikki tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana kuluvat raaka-aineet, energia ja luonnonvarat sekä eri toimintojen ympäristökuormitus. Elinkaariarvioinnin loppuun ympäristöä kuormittavien tekijöiden mahdolliset ympäristövaikutukset arvioidaan. Ympäristövaikutuksia ovat päästöjen aiheuttamat vaikutukset muun muassa eliöille, vesistöille ja ilmakehälle, mutta arvioita voidaan tehdä vielä laajemminkin ottamalla huomioon esimerkiksi luonnonvarojen ehtymisen. Menetelmänä elinkaariarviointi on kansainvälisesti standardisoitu, ja sen tulosten tulkintaa ja laatimista määrittelevät

SFS ISO 14044:2006- ja 14040:2006 -standardit. (Dahlbo & Myllymaa, 2012, s. 30)

#### 4.2 Rakennusjätepuun elinkaariarvioinneissa huomioitavia seikkoja

Ympäristöministeriön vuonna 2012 julkaistussa *Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa* -raportissa annetaan tiettyjä kriteereitä nimenomaan jätehuoltoon liittyville elinkaariarvioinneille, jotta niitä voidaan pitää luotettavina. Lisäksi raportissa esitetään rajaukset jätehuollon elinkaariarvioinnin tekemiselle (kuva 10), joiden tulisi sisältää kaikki jätehuoltoon liittyvät kuljetukset ja prosessit sekä oletetut vaikutukset muihin järjestelmiin mukaan lukien niistä johtuvat välilliset vaikutukset. Kuvassa katkoviivalla rajatun järjestelmän tarvitsemien luonnonvarojen käyttö sekä siinä syntyneet päästöt tulisi huomioida elinkaari-tarkastelussa. Mikäli elinkaariarvioinnin tarkoituksena on arvioida erilaisia käsittelyprosesseja, tuotteen tuotannon tai käytön aikaisia päästöjä ei sisällytetä tarkasteluun. (Dahlbo & Myllymaa, 2012, s. 15, 17)



Kuva 10. Rajaukset jätehuollon elinkaaritarkastelulle. (Dahlbo & Myllymaa, 2012, s. 17)

Raportissa todetaan, että sen valmistumisen aikoihin puujätteestä oli tehty hyvin vähän elinkaarianalyseja, eikä kierrätystä ollut suurimmassa osassa niistä käsittelyvaihtoehtona. Sen sijaan elinkaariarvioinneissa vertailtiin pääsääntöisesti puujätteen kaatopaikkasijoitusta ja polttoa, joista poltto oli selvästi kaatopaikkaa parempi vaihtoehto. Muutamassa elinkaarianalyysissä oli tarkasteltu energiahyödyntämistä ja kierrätystä, mutta niissä

tutkittavana olevana puujätteenä oli tasalaatuisia materiaaleja, kuten kiitulevyjä. Näiden elinkaarianalyysien tulosten mukaan kierrätys oli usein suositeltava vaihtoehto GWP:n (Global warming potential eli ilmastonmuutosta kiihdyttäviä vaikutuksia kuvaava lyhenne) näkökulmasta, mutta energiankulutuksen näkökulmasta energiahyödynnys oli puolestaan suositeltavaa. Näiden tulosten yleistämistä meidän olosuhteisiimme kuitenkin heikentää se, että Suomessa puujätteet ovat harvoin tasalaatuisia ja määrät ovat hyvin suuria rakentamisessa käytetyn puun käytön yleisyyden vuoksi. (Dahlbo & Myllymaa, 2012, s. 78)

Jätteiden elinkaaren tarkasteluun kannattaa sisällyttää myös niiden kuljetamisesta aiheutuva kuormitus ympäristölle, vaikka sillä onkin yleensä vähäinen merkitys verrattuna elinkaarenaikaiseen kokonaiskuormitukseen. Kuljetuksen merkitys kuitenkin kasvaa, mikäli elinkaariarvioinnissa tarkastellaan ainoastaan suoria päästöjä jätteiden elinkaaren ajalta ja jätetään hyvitystarkastelut arvioinnin ulkopuolelle. Jätteiden kuljetukset ovat myös kustannusvaikutuksiltaan yksi merkittävimmistä tai jopa merkittävin elinkaaren vaihe. (Dahlbo & Myllymaa, 2012, s. 24)

Rakennusjätepuuta polttoaineena hyödyntäviä laitoksia on Suomessa useita eri puolilla maata, sillä sitä poltetaan niin rinnakkaispolttolaitoksissa, energiantuotantolaitoksissa kuin jätteenpolttolaitoksissakin. (Häkämies ym., 2019, s. 8). Rakennusjätepuuta raaka-aineena hyödyntäviä biohiililaitoksia ei ole vielä lainkaan.

### 4.3 Käsittelytavat

Biohiilen valmistuksesta on tehty elinkaarianalyysyjä, mutta ei sellaisia, joissa raaka-aineena olisi käytetty rakennusjätepuuta. Cornelissen ym. (2019, s. 10) toteavatkin *Waste Timber Pyrolysis in a Medium-scale Unit: Emission Budgets and Biochar Quality* -tutkimuksessaan, että vaikka heidän tuloksensa olivat lupaavia valmiin rakennusjätepuusta valmistetun biohiilen osalta, tulisi asiaa tarkastella myös elinkaarianalyysin näkökulmasta.

#### 4.3.1 Energiahyödynnys, lastulevyn tuotanto ja puukomposiitti

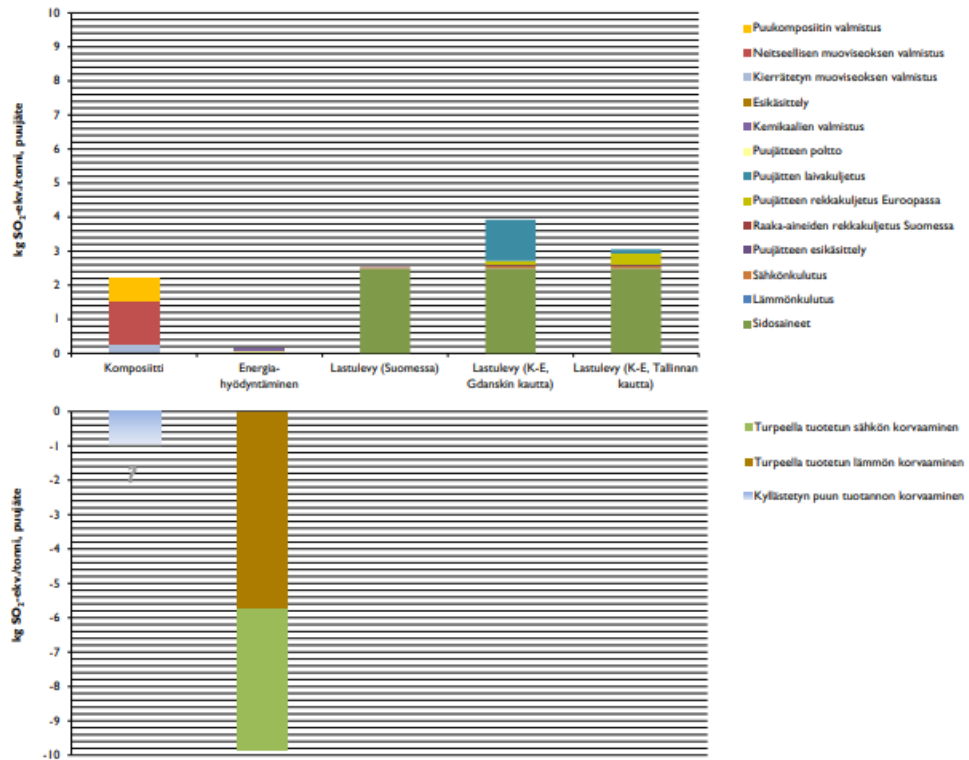
Judl ym. arvoivat *Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset* -selvityksessä kolmen puujätteenkäsittelyvaihtoehdon elinkaari-vaikutuksia. Nämä olivat puujätteen käyttäminen puukomposiitista valmistetuissa terassilautoissa korvaamassa kyllästettyä terassilautaa, puujätteen hyödyntäminen lastulevyn valmistuksessa joko Keski-Euroopassa tai Suomessa sekä puujätteen energiahyödyntäminen turpeen sijasta monipolttoainekattilassa. Selvityksessä verrattiin kyseisten käsittelyvaihtoehtojen elinkaaren aikaisia vaikutuksia ilmastonmuutoksen, rehevöitymisen ja happamoitumisen vaikutusluokissa. Selvityksessä saadut tulokset eivät kuvaa suoraan

yksittäisten käsittelylaitoksen vaikutuksia, vaan ne perustuivat erilaisten tietokantojen inventaarioaineistoihin, kirjallisuuteen ja aiempiin kotimaisiin elinkaaritarkasteluihin. (Judl ym., 2015, s. 7, 26)

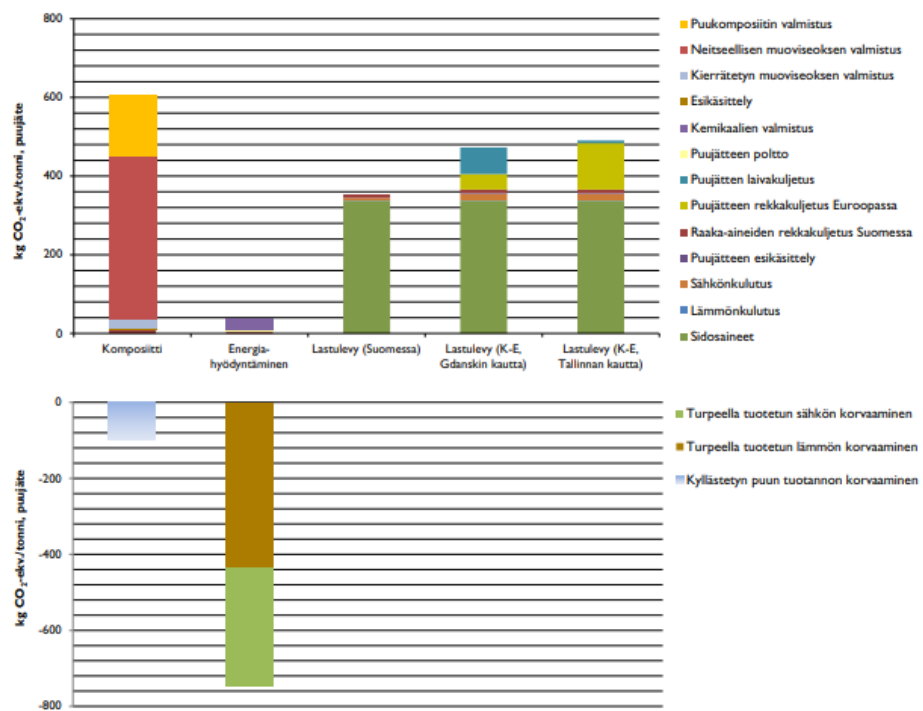
Puujätteen hyödyntäminen lastulevyteollisuudessa todettiin selvityksessä elinkaarivaikutuksiltaan huonoimmaksi vaihtoehdoksi, sillä kaikki lastulevy valmistetaan jo nykyisellään teollisuuden puuperäisistä jätteistä ja sivuvirroista. Puujätteen käytöllä lastulevyn valmistuksessa ei täten voitaisi korvata neitseellisiä raaka-aineita, eikä valmistukseen kytkeytyisi vältettyjä prosesseja, jonka vuoksi tulokset koostuivat vain suorista päästöistä. Lastulevymerkkien kasvaminen tulevaisuudessa voisi mahdollisesti korvata jotakin toista rakennuslevytuotetta, jolloin vältettäviä prosesseja pitäisi tarkastella uudestaan. Tällaista markkinan muutosta ei kuitenkaan pidetty selvityksessä todennäköisenä. (Judl ym., 2015, s. 26–27)

Puukomposiitin osalta elinkaarenaikaiset nettopäästöt olivat kaikissa vaikutusluokissa suuremmat kuin vältetyt päästöt korvattavan kyllästetyn puun tuotannossa. Ympäristövaikutusten epävarmuustarkasteluilla pystyttiin kuitenkin osoittamaan tulosten riippuvan vahvasti siitä, käytetäänkö puukomposiitin valmistuksessa kierrätettyä vai neitseellistä muovia. Neitseellisen muovin valmistus on erittäin energiaintensiivistä, joten puukomposiitin valmistuksen kuormituksen todettiin olevan sitä pienempi, mitä enemmän raaka-aineena käytetään kierrätettyä muovia. Puukomposiitin valmistuksen todettiin asettuvan ilmastonmuutoksen osalta lastulevyn valmistuksen edelle, mikäli suurin osa valmistuksessa käytetystä muovista olisi kierrätettyä. (Judl ym., 2015, s. 26)

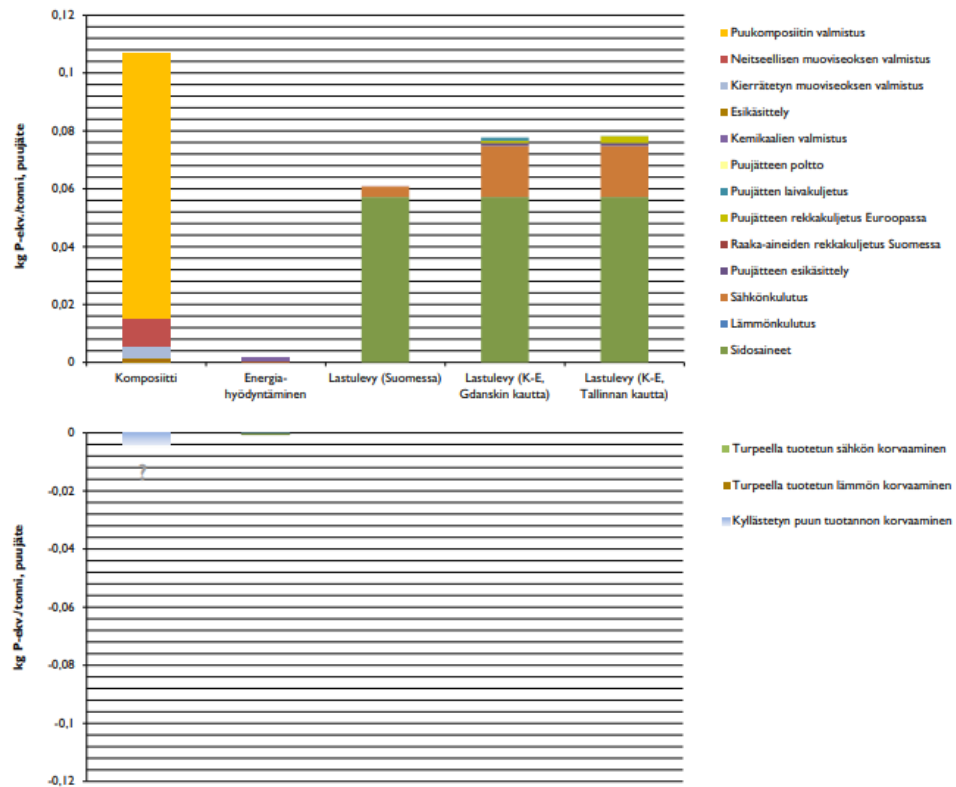
Puujätteen polton nettovaikutukset asettuivat elinkaariarvioinnissa siten, että niiden vaikutukset happamoitumiseen (kuva 11, s. 33) ja ilmastonmuutokseen (kuva 12, s. 33) olivat pienemmät kuin korvattavan turpeenpolton (kuva 13, s. 34), ja rehevöittävien päästöjen nettovaikutukset asettuivat nollan lähelle. Polttoprosessin tulokset osoittautuivat kuitenkin melko epävarmoiksi, ja nettovaikutuksen todettiin riippuvan voimakkaasti siitä, kuinka iso osa puujätteestä tuotetusta lämpöenergiasta saadaan hyödynnettyä. Tästä huolimatta tutkimuksessa todettiin, että puujätteen energiahyödynnys on nettoympäristövaikutuksiltaan tarkastelluista käsittelyvaihtoehdoista parhain vaihtoehto, eli jätehierarkiasta poikkeamisen katsottiin puujätteen osalta olevan perusteltu ratkaisu. Lisäksi tutkimuksessa esitettiin, että koska fossiilisten polttoaineiden korvaaminen energiatuotannossa puujätteellä edistää ilmastotavoitteiden saavuttamista ja puujätteen polttaminen on myös elinkaarivaikutuksiltaan kierrätystä parempi vaihtoehto, tulisi asia ottaa huomioon puun kierrätysasteen laskentamenetelmiä määriteltäessä ja EU:n jätedirektiivin kierrätysasteen laskentamenetelmiä määriteltäessä. (Judl ym., 2015, s. 26–27)



Kuva 11. Puujätteen käsittelyketjujen happamoitusvaikutukset elinkaarivaiheittain kg SO<sub>2</sub>-ekvivalenttina/tonni. Kysymysmerkki kuvaa kyllästetyn puun oletettuja happamoittavia vaikutuksia. (Judl ym., 2015, s. 21)



Kuva 12. Puujätteen käsittelyketjujen ilmastomuutosvaikutukset elinkaarivaiheittain kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina/tonni. (Judl ym., 2015, s. 20)



Kuva 13. Puujätteen käsittelyketjujen rehevöitymismisvaikutukset elinkaarivaiheittain kg P-ekvivalenttina/tonni. Kysymysmerkki kuvaa kyllästetyn puun oletettuja rehevöitymisvaikutuksia. (Judl ym., 2015, s. 20)

Tähän mennessä tehtyihin elinkaariarviointeihin perustuen näyttää siis siltä, että rakennusjätepuun energiahyödynnys on elinkaariajattelun mukaan järkevin käsittelytapa, sillä Judl ym. ovat ottaneet tutkimuksessaan huomioon *Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa* -raportissa esitetyt keskeiset puujätteen elinkaariarviointien mallinnuksessa huomioitavat tekijät. Raportissa kuitenkin todetaan, että tekijöitä on syytä tarkastella uudestaan muun muassa silloin, kun puujätteiden käsittelytekniikat kehittyvät olennaisesti tai kun kehitetään uutta puuta hyödyntävää kierrätystä (Dahlbo & Myllymaa, 2012, s. 21).

#### 4.3.2 Biohiiletys mobiilisti ilman energian talteenottoa

Markkinoilla on helposti liikuteltavia mobiilibiohiilettämiä, joilla voi tehdä biohiiltä esimerkiksi suoraan rakennustyömaalla tai jätteenkäsittelylaitoksella. Tässä esimerkkinä käytettävässä Tigercat-yrityksen Carbonator 6050-mallin laitteessa puujätettä ei tarvitse murskata pieneen palakokoon, vaan riittää että se on tarpeeksi pieninä palasina mahtuakseen ari-nalle (kuva 14, s. 35) (Tigercat, 2020).

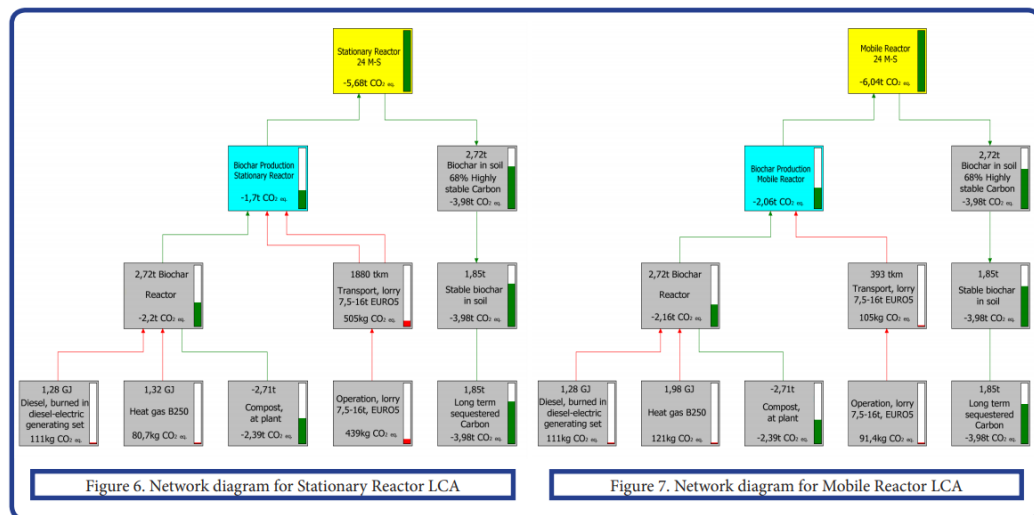


Kuva 14. Carbonator 6050 mobiilibiohiiletin, kuvakaappaus esittelyvideolta. (Tigercat, 2020)

Carbonatorin luvataan pienentävän siihen syötetyn puumassan volyymiä 90 prosentilla. Laitteessa oleva ilmapuhallin kierrättää ilmaa pyrolyysiprosessin tehostamiseksi ja jäähdytysjärjestelmä viilentää lopputuotteena syntyvän biohiilen lähes yhtä viileäksi kuin ympäröivä ilma. Carbonatorin eduiksi mainitaan myös muun muassa helppo liikuteltavuus kohteessa laitteessa olevan telaketjun vuoksi, ympäristöystävällinen prosessi sekä puujätteen kuljetuskustannusten pieneneminen. (Tigercat, 2020)

Mobiilibiohiilettimien käytöstä rakennusjätepuun pyrolyysiin ei löydy elinkaariarviointeja. Caraa ym. esittelevät vähäistä esikäsittelyä vaativan mobiilibiohiilettimen ja kiinteän biohiililaitoksen hiilidioksidipäästöjä *Autothermal and Mobile Pyrolysis Reactor for Vineyard Residues with Low Pre-treatment* -julkaisussaan, kun raaka-aineena käytettiin viinitilojen tuotantotähteitä ja valmistuva biohiili hyödynnettiin molemmissa vaihtoehtoissa maanparannusaineena kompostiin sekoitettuna. Heidän tulostensa mukaan mobiilibiohiiletys oli parempi vaihtoehto, koska CO<sub>2</sub>-päästövähennyspotentiaali oli mobiilibiohiilettimellä 18 g/CO<sub>2</sub> ja kiinteällä biohiililaitoksella 17 g/CO<sub>2</sub> pulloa kohden. Tutkimustulokset esitetään kuvassa 15 (s. 36), josta voi huomata tuloksen perustuvan pääsääntöisesti pitkään kuljetusmatkaan kiinteälle pyrolyysilaitokselle. (Caraa ym., 2014)





Kuva 15. Elinkaariarviointien tulokset *Auto-thermal and Mobile Pyrolysis Reactor for Vineyard Residues with Low Pre-treatment* -tutkimuksessa. Negatiiviset luvut kuvaavat vältettyjä päästöjä. (Caraa ym., 2014)

Kuten Caraan ym. tutkimus osoittaa, mobiilibiohiilettimen etu muihin käsitteilyratkaisuihin nähden lienee juuri kuljetusten päästöjen vähenemisessä. Rakennusjätepuupohjaisen biohiilen hyödyntäminen valmistuskohdessa lienee kuitenkin haastavaa, ellei sitä käytetä esimerkiksi istutusten kasvualustana.

#### 4.3.3 Biohiiletys keskitetysti energian talteenotolla

Rakennusjätepuun hyödyntämisestä biohiilen raaka-aineena ei löydy elinkaarianalyseja. Rakenteeltaan ja palakooltaan samantyyppisestä metsäpuuhakkeesta löytyy joitakin elinkaarianalyseja, joista tässä esitellään kaksi.

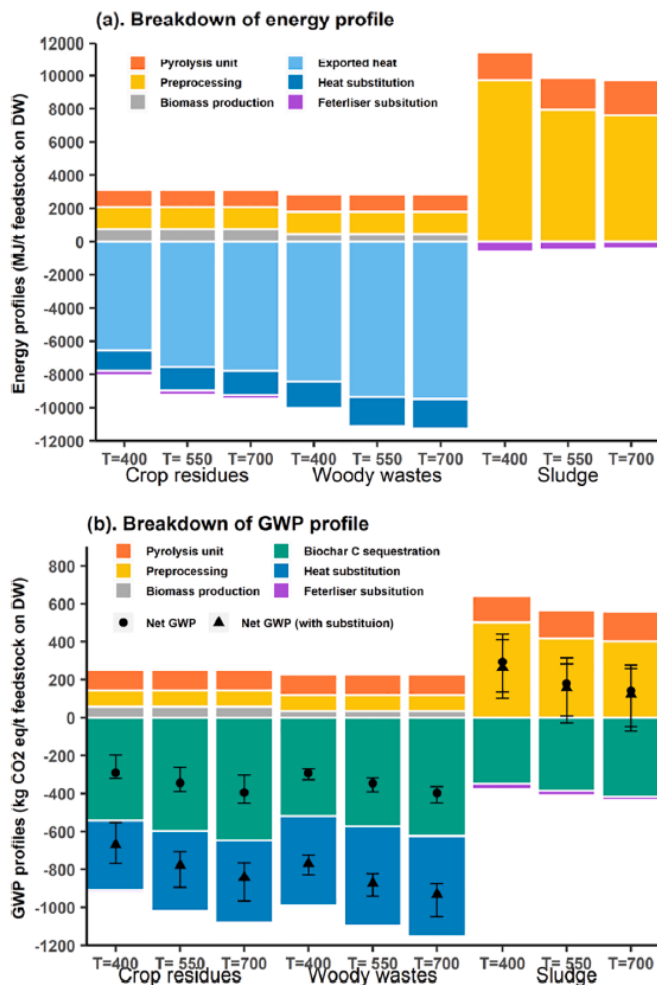
Jo aiemmin mainitussa Chengin ym. *Slow Pyrolysis as a Platform for Negative Emissions Technology: An Integration of Machine Learning Models, Life Cycle Assessment, and Economic Analysis* -julkaisussa tutkittiin lietettä, viljelytähettä ja puujätettä taloudellisen kannattavuuden lisäksi myös elinkaarianalyysin näkökulmasta. Elinkaarianalyysissä keskityttiin kasvihuonekaasupäästöihin sekä eri biomassojen pyrolyysiprosessin energian syötteisiin ja tuotoksiin. Tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, voisiko hidas pyrolyysi olla energiaa tuottava hiilinegatiivinen ratkaisu. Tämän vuoksi muut ympäristöindikaattorit, kuten vaikutukset maahan, vesistöihin tai rehevöitymiseen, rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkimuksessa pyrolyysiprosessin arvioinnissa käytetyt parametrit esitetään taulukossa 4 (s. 37). (Cheng ym., 2020, s. 4–5)

Taulukko 4. Yhteenveto pyrolyysiprosessissa käytetyistä parametreista (Cheng ym., 2020, s. 5)

The summary of input parameters for pyrolysis systems.

	Values	Refs.
<i>Preprocessing unit</i>		
Sludge thickening and belt dewatering – electricity consumption (kW h/t)	249	[30]
Grinding – electricity consumption (kW h/t)	71.2	[31]
Sludge moisture content before drying (% wb)	80	[30]
Crop residue moisture content before drying (% wb)	16	[32]
Woody wastes moisture content before drying (% wb)	22	[33]
Drying – electricity consumption (kW h/t)	118	[30]
Drying – heat consumption (MJ/t)	Eq. (7)	This study
Drying – thermal efficiency (%)	75	
<i>Pyrolysis unit</i>		
Pyrolysis – electricity consumption (kW h/t)	149	[34]
Pyrolysis – heat consumption (MJ/t)	Eq. (8)	This study
Gas and oil combustion efficiency (%)	85	[34]
<i>Biochar application</i>		
Fraction of biochar C remains in soil after 100 years (400 °C)	0.65	[35]
Fraction of biochar C remains in soil after 100 years (550 °C)	0.8	[35]
Fraction of biochar C remains in soil after 100 years (700 °C)	0.89	[35]

Tutkimuksessa eri raaka-aineiden osalta laskettiin GWP (global warming potential) sadan vuoden ajalle sekä energiantuotantopotentiaali kolmella eri pyrolyysilämpötilalla (400 °C, 550 °C, ja 700 °C.). Pyrolyysissä syntyvän lämmön laskettiin korvaavan maakaasua ja prosessissa syntyvän biohiilen typpilannoitetta. Tutkituista raaka-aineista liete eroaa merkittävästi puujätteestä ja viljelytähteistä energiantarpeen osalta, sillä sen kuivaamiseen tarvitaan maakaasua lietteen korkean kosteuspitoisuuden vuoksi. Sekä viljelytähteiden että puujätteen osalta pyrolyysiprosessissa syntyvä biokaasu ja -öljy riittää kuivaamaan kyseiset raaka-aineet. Lietteestä valmistetulla biohiilellä on myös alhaisempi hiilipitoisuus, jonka vuoksi se ei toimi yhtä hyvänä hiilivarastona kuin viljelytähteistä ja puujätteestä valmistettu biohiili. Tämän vuoksi lietepohjaisen biohiilen pyrolyysi aiheuttaa hiilidioksidipäästöjä, kun viljelytähteiden ja puujätteiden pyrolyysi on puolestaan elinkaareltaan hiilinegatiivista. Tämä siitä huolimatta, että liete oli tutkituista syötteistä ainoa, jonka tuotannolle ei laskettu energiankulutusta tai kasvihuonekaasupäästöjä, koska liete on jätemateriaali. Tulokset on esitetty kuvassa 16 (s. 38). (Cheng ym., 2020, s. 6–9)



Kuva 16. Erittely energiaprofileista (a) MJ/tonni ja ilmastovaikutuksista (b) kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina/tonni. (Cheng ym., 2020, s. 10)

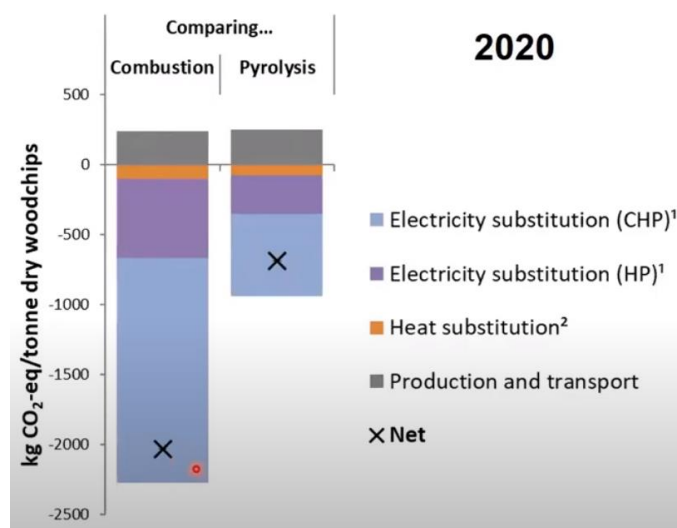
Tutkimuksessa merkittävimmiksi positiivisiksi ilmastovaikutuksiksi saatiin pyrolyysissä syntyvä ylijäämälämpö, jolla voi korvata maakaasulla tuotettua lämpöä sekä hiilivarastona toimiminen. Lannoitteiden korvaaminen biohiilellä osoittautui vaikutuksiltaan erittäin pieneksi sekä energiansäästön että ilmastovaikutusten osalta. Elinkaarianalyysin lopputulemana oli, että sekä puujätteiden että viljelytätteiden hitaalla pyrolyysillä voidaan tuottaa nettopositiivista energiaa ja nettonegatiivisia kasvihuonekaasupäästöjä erityisesti korkeammassa pyrolyysilämpötiloissa (550 °C, ja 700 °C.). (Cheng ym., 2020, s. 9–12)

Azzin ym. tekemässä *Prospective Life Cycle Assessment of Large-scale Biochar Production and Use for Negative Emissions in Stockholm* -elinkaarianalyysissä selvitettiin mahdollista suuren mittakaavan biohiilituotantoa Tukholmassa. Kyseisessä tutkimuksessa selvitettiin ilmastoystävällisintä vaihtoehtoa metsähakkuutätteiden hyödyntämiseen sekä sitä, kannattaako Tukholman investoida tulevaisuudessa biohiililaitokseen vai tavanomaiseen puuhaketta raaka-aineena hyödyntävään voimalaitokseen saatuttaakseen ilmaston kannalta parhaan lopputuloksen. (Azzi, 2019)

Tukholman nykyinenkin kaukolämpöjärjestelmä perustuu biomassapohjaisiin ratkaisuihin, sillä fossiilisiin polttoaineisiin perustuvat ratkaisut on saatu korvattua uusiutuvilla vaihtoehdoilla kaupungin kunnianhimoisten ilmastotavoitteiden vuoksi. Tukholma haluaa olla tulevaisuudessa hiilinegatiivinen, mutta on samalla yksi nopeimmin kasvavista kaupungeista Euroopassa. (Azzi, 2019)

Elinkaarianalyysissä otettiin huomioon biomassan eli hakkuutähteen tuotanto, kuljetus junalla, laivalla ja rekalla sekä uuden lämpölaitoksen vaikutus Tukholman energiajärjestelmään eli kaupungille nykyisin sähköä ja lämpöä tuottaviin laitoksiin. Myös biohiililaitokselta valmistuvan biohiilen käyttötarkoituksia ja vaikutuksia mallinnettiin tutkimuksessa niiden kuljetukset mukaan lukien. Biohiiltä oletettiin käytettävän rehun lisäaineena karjataloudessa, lantaan lisättävänä ainesosana kasvihuonekaasupäästöjä vähentävässä sekä pellolle levitettävänä maanparannusaineena, ja sen hiilidioksidia sitova sekä teollisia lannoitteita korvaava vaikutus laskettiin mukaan tutkimustuloksiin. (Azzi, 2019)

Valmiissa elinkaarianalyysissä esitellään kuusi eri skenaariota, joista Azzi esitteli yhden joulukuussa 2019 pidetyssä *Green Carbon* -webinaarissa. Tässä skenaariossa metsähakkeen tuotanto- ja kuljetusvaiheessa laitokselle ilmastovaikutukset olivat odotetusti käytännössä samat niin biohiilikuin tavanomaisen voimalaitoksenkin osalta. Energiantuotantovaiheessa tavanomainen voimala suoriutuu biohiililaitosta paremmin erityisesti sähköntuotannossa niin sähkön ja lämmön yhteistuotannon (CHP, combined heat and power) kuin lämmön tuotannonkin osalta (HP, heat production), koska tavanomainen voimala tuottaa enemmän energiaa vähentäen tarvetta muille polttoaineille (kuva 17). (Azzi, 2019)



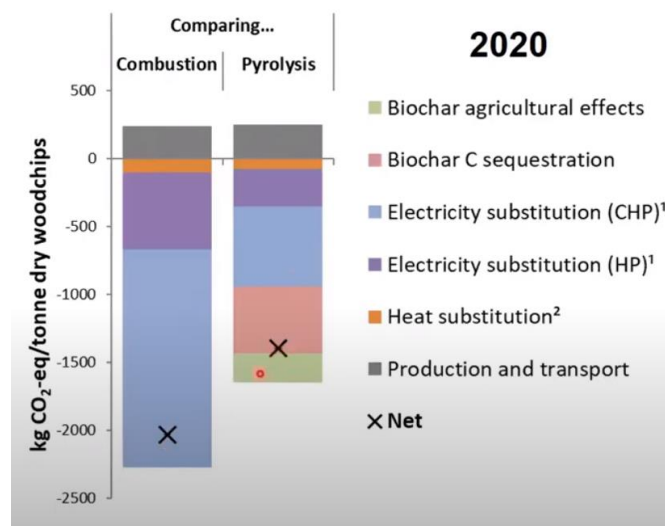
Kuva 17. Tavanomaisen voimalaitoksen ja biohiililaitoksen lämmön ja sähköntuotannon ilmastovaikutukset kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina/tonni kuivaa puuhaketta. (Azzi, 2019)

Elinkaarianalyysiin lisättiin taulukossa 5 esitetyt oletukset biohiilen kyvystä sitoa hiilidioksidia ja metaania sekä sen hyödyntäminen maa- ja karjataloudessa (Azzi, 2019):

Taulukko 5. Biohiilen käytöllä karja- ja maataloudessa vältetyt oletetut päästöt (Azzi, 2019)

Step	Avoided climate impact (kg CO <sub>2</sub> -eq/ton woodchips)						
	CH <sub>4</sub>	d-N <sub>2</sub> O	i-N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub> -f	CO <sub>2</sub> -bio	CO <sub>2</sub> -py	
Enteric fermentation	32	4,6%	100%	-	-	-	-
Manure storage	58	8,2%	95%	4%	2%	-	-
Manure application	38	5,3%	-	68%	32%	-	-
Mineral fertiliser application	53	7,4%	-	87%	13%	-	-
Mineral fertiliser production	9,2	1,3%	-	-	100%	-	-
Avoided lining production	2,2	0,3%	-	-	100%	-	-
Soil methane sink	-7,9	-1,1%	100%	-	-	-	-
Slurry transport and spreading	-1,2	-0,2%	-	-	100%	-	-
<i>Sub total: agricultural effects</i>	<b>183</b>	<b>26%</b>	<b>43%</b>	<b>40%</b>	<b>11%</b>	<b>4%</b>	<b>-</b>
Field SOC increase	32	4,6%	-	-	-	100%	-
Biochar C sequestration	493	70%	-	-	-	-	100%
<b>Total</b>	<b>708</b>	<b>11%</b>	<b>10%</b>	<b>2,8%</b>	<b>1,4%</b>	<b>4,6%</b>	<b>70%</b>

Biohiililaitoksen tulokset paranevat, kun edellä mainitut asiat otetaan huomioon, mutta ne eivät ole silti tarpeeksi merkittäviä nostamaan biohiililaitosta samalle tasolle tavanomaisen voimalaitoksen kanssa vuonna 2020 (kuva 18) (Azzi, 2019).



Kuva 18. Tavanomaisen voimalaitoksen ja biohiililaitoksen ilmastovaikutukset vuonna 2020 biohiilen hiilen sidonta ja maatalousvaikutukset huomioon ottaen kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina/tonni kuivaa puuhaketta. (Azzi, 2019)

Tuloksiin vaikuttaa kuitenkin merkittävästi niin kutsuttu energiasakko (energy penalty), eli se, miten sähkö tuotetaan. Energiasakko on jatkuva, mutta se jakautuu eri tavalla, mikäli sähköntuotannossa siirrytään kasvihuonekaasupäästöiltään matalampiin vaihtoehtoihin. Tutkimuksessa

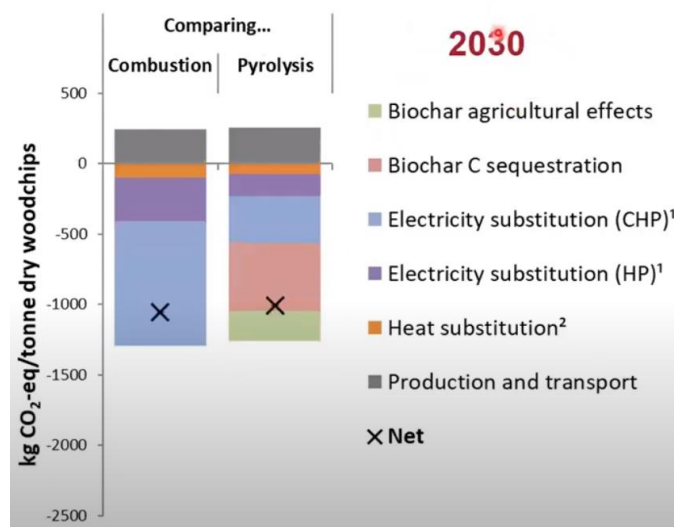
oletettiin, että vuosina 2030 ja 2040 energia tuotetaan vähemmällä kasvi-huonekaasupäästöillä kuin nykyisin (taulukko 6). (Azzi, 2019)

Taulukko 6. Oletetut energiantuotantotavat Ruotsissa ilmastovaikutuksi-neen CO<sub>2</sub>-ekvivalentteina kilowattituntia ja kilojoulea kohti ilmaistuna vuosina 2020-2040 (Azzi, 2019)

#### Long-term marginal electricity, Sweden (IVL, 2017)

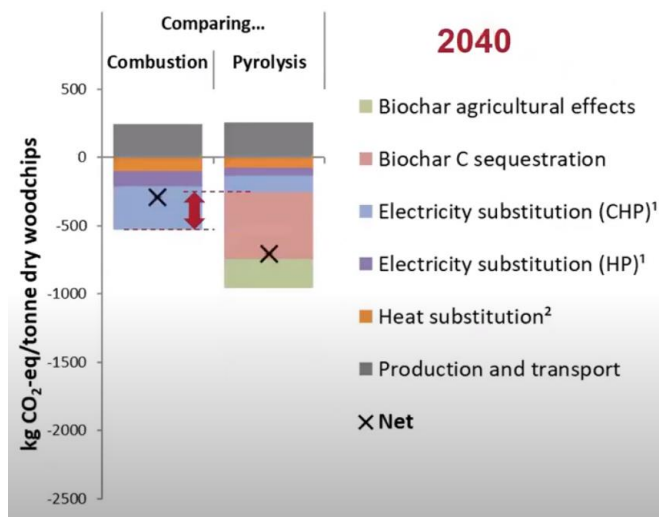
Timeframe	gCO <sub>2</sub> -eq kWh <sup>-1</sup>	gCO <sub>2</sub> -eq GJ <sup>-1</sup>	
2020	1000	277	Coal & natural gas
2030	550	153	Natural gas
2040	200	56	Efficient natural gas & other

Vuonna 2030 biohiilivoimala onkin tutkimuksen mukaan ilmastovaikutuksiltaan jo hiukan tavanomaista voimalaitosta parempi vaihtoehto (kuva 19) (Azzi, 2019):



Kuva 19. Tavanomaisen voimalaitoksen ja biohiililaitoksen ilmastovaikutukset vuonna 2030 biohiilen hiilen sidonta ja maatalousvaikutukset huomioon ottaen kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina/tonni kuivaa puuhaketta. (Azzi, 2019)

Vuonna 2040 biohiilivoimala on ilmaston kannalta jo merkittävästi parempi vaihtoehto (kuva 20, s. 42) (Azzi, 2019):



Kuva 20. Tavanomaisen voimalaitoksen ja biohiililaitoksen ilmastovaikutukset vuonna 2040 biohiilen hiilen sidonta ja maatalousvaikutukset huomioon ottaen kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina/tonni kuivaa puuhaketta. (Azzi, 2019)

Koko elinkaarianalyysin kaikkien skenaarioiden lopputulemana oli, että biohiililaitos on ilmaston kannalta paras vaihtoehto pidemmän aikavälin tarkastelulla, mikäli myös laitoksia pyörittävä sähkö pystytään tuottamaan jatkossa ilmaston kannalta kestävämmillä vaihtoehdoilla ja mikäli biohiili toimii odotetusti käyttötarkoituksissaan. Esimerkiksi biohiilen käyttö karjataloudessa saattaisi lisätä ilmastomuutosta lieventävää vaikutusta jopa 10–20 % verrattuna sen käyttöön pelkkänä maanparannusaineena. (Azzi, 2020).

Azzin ym. tutkimustulokset kuulostavat teoriassa lupaavilta biohiilen osalta. Tuloksia arvioidessa tulee kuitenkin huomioida, että elinkaarianalyysissä selvitettiin ainoastaan perinteisen voimalaitoksen ja biohiililaitoksen ilmastovaikutuksia ottamatta huomioon esimerkiksi happamoittavia vaikutuksia. Lisäksi tutkimuksessa selvisi, ettei pyrolyysillä pystytty tuottamaan yhtä paljon energiaa kuin perinteisellä polttotekniikalla, joten myös puuttumaan jäävän energian tuotanto tulisi ottaa mahdollisissa tulevisissa elinkaarianalyseissä huomioon.

#### 4.4 Energian tuotannon tulevaisuus Suomessa

Ruotsissa energiantuotannossa ollaan siis siirtymässä kasvihuonekaasuiltaan matalampiin vaihtoehtoihin, ja samanlainen suunta on myös Suomessa. Työ- ja elinkeinoministeriön *Energia- ja ilmastotiekartta 2050* -julkaisussa todetaan, että energiajärjestelmä tulee muuttua lähes päästöttömäksi vuoteen 2050 mennessä. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että turpeesta ja fossiilisista polttoaineista on luovuttava melkein kokonaan kaukolämmön ja sähkön tuotannossa, elleivät hiilidioksidin varastointitekniologia ja talteenotto kaupallistu. Näitä on tarkoitus korvata pääasiassa metsäbiomassalla sekä muilla uusiutuvilla polttoaineilla. (Työ- ja

elinkeinoministeriö, 2014, s. 10). Vuoden 2019 *Energian hankinta ja kulu-* -tilastossa puupolttoaineiden osuus energianlähteenä olikin 28 prosenttia, joka teki niistä Suomen käytetyimmän energialähteen (Tilastokeskus, 2020d). Suurin osa puupohjaisesta energiasta tuotetaan metsäteollisuuden sivuvirroista, esimerkiksi puun kuorista, puruista ja mustalipeästä sekä hakkuutähteistä (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2014, s. 29–30).

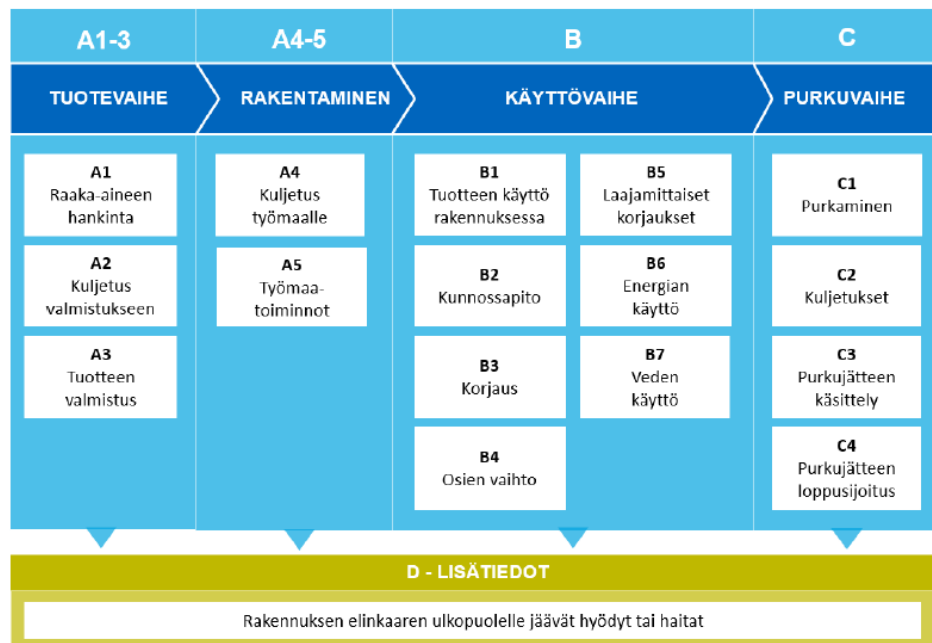
Sanna Marinin hallitusohjelmassa asetetaan tavoitteeksi, että Suomi on hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivinen pian sen jälkeen. Tiukentuneet tavoitteet tarkoittavat, että myös kansallista ilmasto ja energiastrategiaa tullaan päivittämään muiden toimenpiteiden, kuten ilmistolain ohjausvaikutuksen vahvistamisen ohella. Suomi pyrkii myös maailman ensimmäiseksi fossiilivapaaksi hyvinvointiyhteiskunnaksi, jonka saavuttamiseksi lämmön ja sähkön tuotannon tulee olla lähes päästötöntä jo 2030-luvun loppuun mennessä. Energiaverotuksen uudistuksen lisäksi keinoina mainitaan muun muassa energiatukijärjestelmän kehittäminen, kivihiilen käytön lopettaminen energiakäytössä vuoteen 2029 mennessä, fossiilisen öljyn lämmityskäytöstä asteittain luopuminen 2030-luvun alkuun mennessä sekä turpeen energiakäytön lopettaminen 2030-luvun aikana sen säilyessä kuitenkin huoltovarmuuspolttoaineena. Tuulivoiman osuutta kasvatetaan ja käytössä olevat ydinvoimalat saavat jatkoluvat, mikäli Säteilyturvakeskus puoltaa niitä. Lisäksi kehitetään pohjoismaiden yhteisten energiajärjestelmien integraatiota ja sähkömarkkinaa sekä tehdään lisäpanostuksia esimerkiksi energiatehokkuuden, kiertotalouden, päästöttömien energiantuotantomuotojen sekä hiilen talteenoton ja hyödyntämisen kehittämiseksi. (Valtioneuvosto, n.d.)

## 5 VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN

Suomen päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi tulee tehdä merkittäviä päästövähennyksiä kaikilla yhteiskunnan osa-alueilla, myös rakentamisessa (Kuittinen, 2019, s. 9, 11). Ympäristöministeriön tavoitteena onkin, että rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä tullaan ohjaamaan lainsäädännöllä 2020-luvun puoliväliin mennessä (Ympäristöministeriö, 2020b).

Vähähiilisessä rakentamisessa pyritään minimoimaan hiilidioksidipäästöt koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Elinkaaren aikainen hiilijalanjälki rakennuksilla syntyy niissä käytettävien materiaalien valmistuksesta, kuljetuksesta, työmaatoiminnoista, korjauksesta ja kunnossapidosta ja niihin liittyvistä materiaalien vaihdoista, veden ja energian käytöstä sekä lopulta rakennusten purkamisesta ja niistä syntyvien materiaalien loppukäsittelystä. Nämä ympäristövaikutusten laskentamenetelmät sekä elinkaaren vaiheiden määritelmät on standardisoitu eurooppalaisiksi standardeiksi, joita tuottaa CEN/TC 350 *Sustainability of Construction Works* (kuva 21, s. 44). (Bionova, 2017, s. 2, 13)





Kuva 21. Rakennushankkeen CEN/TC 350-standardiperheen mukainen elinkaarimalli. (Bionova, 2017, s. 13)

Nykyisin suurin osa hiilijalanjäljestä syntyy rakennusten käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Elinkaaren päästöissä isossa roolissa on kuitenkin myös rakennusmateriaalien osuus, ja niiden merkitys tulee edelleen jatkossa kasvamaan rakennusten energiatehokkuuden kehittyessä ja energiantuotannon päästöjen laskiessa. (Bionova, 2017, s. 2). Hyvällä suunnitellulla pystytäänkin vaikuttamaan rakennuksen vähähiilisyyteen merkittävästi esimerkiksi valitsemalla ekologisesti kestäviä lämmitys- ja energiajärjestelmiä sekä rakennusmateriaaleja. (Varis, 2019, s. 3)

## 5.1 Vähähiilisen rakentamisen tiekarttatyö

Vuonna 2017 Ympäristöministeriö teetti *Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa* -selvityksen, jolla edistetään Suomen kiinteistö- ja rakennusalaan koskevia ilmastotavoitteita sekä vähennetään rakentamisen ja rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä. Kyseisen selvityksen pohjalta julkistettiin kolmivaiheinen tiekartta, jonka ensimmäinen vaihe käynnistyi vuonna 2017. Ensimmäisessä vaiheessa muun muassa kehitettiin päästötietokantaa ja hiilijalanjäljen laskentamallia sekä testattiin niitä yksityisellä sektorilla sekä julkisissa rakennushankkeissa. (Ympäristöministeriö, 2020b)

Tiekartan toinen vaihe, ohjausjärjestelmän laatiminen, käynnistyi vuonna 2019. Tässä osassa on tarkoitus valmistella hiilijalanjäljen ohjauksen kytke mistä energiaohjaukseen ja kaavoitukseen, kehittää säädösohjausta sekä mahdollisia kannustimia, valmistella rakennusten päästötietojen

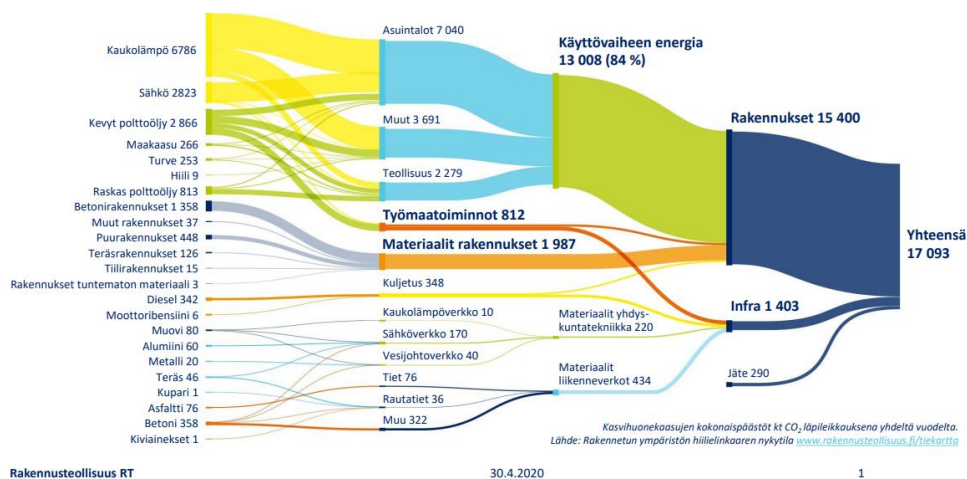
seurantaa ja tilastointia sekä laajentaa pilottihankkeita. (Ympäristöministeriö, 2020b)

Tiekartan kolmannessa vaiheessa ohjausjärjestelmä pyritään saamaan käyttöön vuoteen 2025 mennessä. Tässä osiossa rakennuskanta pyritään kytkemään ohjaukseen asteittain muun muassa julkisten hankintojen ja tärkeimpien rakennustyyppien kautta. Lisäksi rakennuskannan päästötietoja aletaan seuraamaan sekä mahdollisesti lisätään rakennushankkeille ilmoitusvelvollisuus ennen sitovia rakennuskohtaisia raja-arvoja. (Ympäristöministeriö, 2020b)

Myös Rakennusteollisuudella on meneillään oma *Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035* -tiekarttaprojekti, joka on osa Työ- ja elinkeinoministeriön koordinoimaa hallitusohjelman mukaista eri toimialaliittojen tiekarttatyötä. Tiekartta tehdään yhteistyössä eri sidosryhmien ja Ympäristöministeriön kanssa. (Rakennusteollisuus, 2020)

Rakennusteollisuuden tiekartan ensimmäinen vaihe eli nykytilan kartoitus on jo valmistunut. Suomen koko rakennetun ympäristön hiilijalanjälki laskettiin vuoden 2017 tietojen perusteella siten, että yhteen laskettiin purkamisen, korjaus- ja uudisrakentamisen sekä olemassa olevien rakennusten ylläpidon ja käytön päästöt. Laskemissa oli mukana Suomen koko rakennuskanta, yhdyskuntatekniikka sekä liikenneverkot. Tulokseksi saatiin 16 590 kt/CO<sub>2</sub>, josta kolme neljäsosaa muodostuu rakennusten käytönäikaisesta energiankulutuksesta (kuva 22). Lopuista päästöistä puolet syntyi esimerkiksi kuljetuksista ja työmaatoiminnoista ja puolet rakennusmateriaaleista. (Rakennusteollisuus, 2020)

## Rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen nykytila



Kuva 22. Rakennetun ympäristön elinkaaren hiilijalanjälki (kt CO<sub>2</sub>), laskennan kokonaistulos. (Rakennusteollisuus, 2020)

## 5.2 Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä

Rakennusten vähähiilisyyden arviointi tulee osaksi rakennusmääräyksiä 2020-luvulla. Ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2019 ensimmäisen version yhdenmukaisesta kansallisesta menetelmästä, jolla arviointia voidaan toteuttaa. *Rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmä* -julkaisussa esiteltävä menetelmä perustuu tieteelliseen tutkimukseen aiheesta sekä eurooppalaisiin kestävän rakentamisen standardeihin pohjaavaan Level(s)-menetelmään, jonka on laatinut Euroopan komissio. Arviointimenetelmää on tarkoitus parannella ensimmäisestä versiosta saadun palautteen ja kokemuksen pohjalta, sekä kehittää oheen päästötietokanta elinkaariarvioita varten. (Kuittinen, 2019, s. 11, 56)

Rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmään sisältyy koko rakennuksen lisäksi tontin rakenteet sekä taloteknisten järjestelmien keskeinen osa. Arvioinnin ulkopuolelle jätetään rakentamisen väliaikaiset suojaukset ja telineet sekä tontin maaperä ja kasvillisuus. Arviointi tehdään rakennuksen koko elinkaaren ajalle, ja siihen sisällytetään kaikki kuvassa 21 (s. 44) esitetyt elinkaaren vaiheet. Arviointi voidaan tehdä rakennussuunnittelun aikana tai ennen suunnittelua esimerkiksi silloin, kun asetetaan tavoitteita julkisille hankinnoille. Arviointia on tarkoitus tehdä rinnakkain rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnin kanssa, ja se soveltuu sekä korjaus- että uudisrakentamisen hankkeisiin. (Kuittinen, 2019, s. 12)

Rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmässä esitetään tarkat ohjeet siitä, mitkä asiat eri elinkaaren vaiheissa tulee sisällyttää hiilijalanjäljen laskentaan ja mitkä jätetään ulkopuolelle. Esimerkiksi materiaalit- osiossa laskentaan sisällytetään kantavien rakenteiden osalta perustukset, alapohjat, runko, julkisivut ym. mutta ei tuotteisiin kuulumattomia erillisiä rakennusmateriaaleja, kuten nauvoja, liimoja, ruuveja tai tiivisteitä. Lopuksi eri vaiheiden hiilidioksidipäästöt lasketaan yhteen, jolloin tulokseksi saadaan rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjälki. (Kuittinen, 2019, s. 18)

Kaikkien elinkaaren osa-alueiden hiilijalanjäljen lisäksi arviointimenetelmässä lasketaan hiilikädenjälki summaamalla yhteen hiilinielut, eloperäiset hiilivarastot sekä elinkaaren ulkopuolella tapahtuvan materiaalien energiahyödyntämisen, kierrätyksen tai uudelleenkäytön avulla vältettävät päästöt. Hiilikädenjäljen lisäksi arviointimenetelmässä voidaan esittää lisätietona myös muita ympäristö- tai sosiaalivaikutuksia. (Kuittinen, 2019, s. 34–34)

## 5.3 Biohiilen merkitys vähähiiliselle rakentamiselle

Biohiilen käytöllä erilaisissa rakentamisen teknisissä sovelluksissa, kuten eristeiden, sementin tai betonin raaka-aineena, on tutkittu olevan useita hyötyjä. Biohiili esimerkiksi keventää betonia, toimii hyvänä äänieristeenä, suodattaa kaasuja ja hajuja, parantaa ilmanlaatua sekä sitoo kosteutta, joka saattaa ehkäistä sisäilmaongelmien muodostumista. Myös biohiilen

käyttöä akkujen raaka-aineena kokeillaan, ja siitä valmistetun akkumulaattorin avulla on ideoitu mahdollisuutta tehdä sähköä varastoiva talo. Biohiilen käyttö esimerkiksi bitumin, sementin tai asfaltin raaka-aineena myös varastoisi hiilidioksidia pitkäksi aikaa pienentäen erityisesti sementtiteollisuuden valtavaa hiilijalanjälkeä. (Elo, 2020c)

Biohiiltä ei oteta tällä hetkellä huomioon rakennusten *Vähähiilisyiden arviointimenetelmä* -julkaisussa eikä sen rinnalla julkaistussa työkalussa, joka on luonnosversio hiilijalanjäljen laskemisen testaamista varten. Arvioinnissa on kuitenkin osa-alueita, joissa biohiilellä voisi tulevaisuudessa olla merkitystä.

*Vähähiilisen rakentamisen arviointityökalussa* materiaalit- osiossa on esitetty rakennusmateriaalien päästötietoja niin hiilijalanjäljen kuin hiilikädenjäljen osalta kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenttina/kilo (Ympäristöministeriö, 2019b). Puutuotteille on annettu hiilikädenjälki siksi, että ne toimivat pitkäaikaisina hiilivarastoina. Listassa on useita materiaaleja, joiden osana biohiiltä voidaan mahdollisesti tulevaisuudessa käyttää, kuten sementti. Nämäkin materiaalit saanevat hiilikädenjäljen, mikäli niiden käyttö yleistyy tarpeeksi niiden lisäämiseksi työkaluun.

Arviointityökalussa otetaan huomioon myös rakentamisvaiheen ja käytön aikaisten korjauksien sekä osien vaihdosta syntyvä jäte. Lisäksi huomioidaan rakennuksen elinkaaren lopussa syntyvä purkujäte. Arvioinnissa kyseiset jätteet lasketaan joko kokonaan tai osittain hiilijalanjälkeen ja joissain tapauksissa hiilikädenjälkeen materiaalien kierrätyksen tai rakennusosien uudelleenkäytön kautta vältettyinä kasvihuonekaasupäästöinä. (Kuittinen, 2019, s. 48–80). Mikäli rakennusjätepuuta alettaisiin hyödyntämään biohiilen raaka-aineena, vaikuttaisi se todennäköisesti myös tämän osion laskentatapaan.

Mikäli hiilineutraali rakentaminen yleistyy tulevaisuudessa, biohiilellä saataisi olla arvoa myös rakennuksen hiilidioksidipäästöjen kompensoinnin työkaluna.

#### 5.4 Hiilineutraali rakennus

Hiilineutraalissa rakennuksessa hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki ovat tasapainossa. Ruotsissa Sweden Green Building Council (SGBC) on kehittänyt *No/CO2* -sertifiointijärjestelmän tavoitteenaan hiilineutraali rakennus, jossa rakennusten tulee täyttää seuraavat kriteerit (USBC, 2019):

- Rakennusten kokonaishiilidioksidipäästöt tulee laskea
- Rakennusmateriaalien hiilidioksidipäästöjen jäädä 240 kg/m<sup>2</sup>
- Rakennusprosessin hiilidioksidipäästöjen tulee jäädä 60 kg/m<sup>2</sup>
- Kaikki rakennuksen hiilidioksidipäästöt tulee hyvittää hankkeen koko elinkaaren ajan

*No//CO2* -sertifiointijärjestelmä on tällä hetkellä pilottivaiheessa. Sen toimivuutta testaan kolmessa eri projektissa, joiden suuruus vaihtelee 2250 m<sup>2</sup>–25000 m<sup>2</sup> välillä (USBC, 2019).

Hyllie Terrass (kuva 23) rakennetaan Skanskan toimesta Malmöön vuosina 2020-2022, ja se on yksi *No//CO2* -sertifiointijärjestelmän pilottikohteista. *No//CO2* -sertifikaatin lisäksi rakennukselle haetaan ympäristösertifikaatti LEED sekä terveysertifikaatti WELL. (Skanska, 2020)



Kuva 23. Havainnekuva Hyllie Terrass-rakennuksesta. (Skanska, n.d)

Hyllie Terrass-rakennushankkeessa hiilineutraaliuteen pyritään muun muassa tarkastelemalla jatkuvasti sen ympäristövaikutuksia, ympäristöystävällisillä materiaalivalinnoilla ja viherkatoilla sekä käyttämällä vihreää sähköä ja uusituvia polttoaineita. Rakennuksessa käytetään paljon kierrätettyjä raaka-aineita, esimerkiksi jätetuusta ja PET-pulloista valmistettuja materiaaleja. Toimenpiteiden odotetaan laskevan rakennuksen hiilijalanjälkeä jopa 35 prosentilla. (Skanska, n.d.)

## 6 KYSELYTUTKIMUS JA HAASTATTELUT

Kyselytutkimus on hyvä tapa kerätä ja tutkia tietoa monenlaisista asioista, kuten mielipiteistä, yhteiskunnallisista ilmiöistä tai arvoista. Se soveltuu työkaluksi useaan erilaiseen käyttökohteeseen, esimerkiksi tutkimukseen, testiin tai tiedusteluun. Kyselytutkimuksessa vastaajalle esitetään kysymyksiä kyselylomakkeen välityksellä, ei kasvotusten tai puhelimitse, kuten perinteisessä haastattelututkimuksessa. Tämän vuoksi on tärkeää, että kyselylomake toimii itsessään ilman haastattelijan tukea. (Vehkalahti, 2014, s. 11)

Kyselytutkimus koostuu yksittäisistä väitteistä tai kysymyksistä eli osioista, joilla lähtökohtaisesti mitataan aina ainoastaan yhtä asiaa. Osioita

laatiessa on tärkeää, että ne koostetaan ymmärrettävästi, ytimekkäästi ja selkeästi monimutkaisia käsitteitä ja sanamuotoja välttämällä. Osiot voidaan laatia suljetuiksi, jolloin lomakkeessa on valmiit vastausvaihtoehdot, tai avoimiksi, jolloin osioon voi vastata vapaamuotoisesti. Valmiiden vaihtoehtojen tulee olla toisensa poissulkevat. (Vehkalahti, 2014, s. 23–24)

Myös vastauslomakkeen selkeä ulkoasu sekä kohtuullinen pituus ovat kyselytutkimuksessa tärkeitä seikkoja niin vastaajalle kuin tietojen käsittelijälle. Kysymysten asetannassa tulee ottaa huomioon, että vastaajat tuntevat harvoin tutkittavan aihealueen samalla tarkkuudella kuin kysymysten esittäjä. (KvantiMOTV, 2010)

Kyselytutkimuksen haasteena ovat useat epävarmuustekijät, kuten vastausten määrän riittävyys, riittävän kattavat vastaukset tai kyselyn ajoittaminen siten, että mahdollisimman moni pystyy vastaamaan siihen. (Vehkalahti, 2014, s. 12) Lisäksi kyselytutkimuksen onnistumiseen vaikuttaa oikeanlaisen perusjoukon ja siitä edustavan otoksen muodostaminen. Perusjoukolla tarkoitetaan niitä, keistä tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita ja otoksella tutkimukseen valittuja vastaajia. Jotta tutkimustulokset voidaan yleistää koskemaan perusjoukkoa, on otantamenetelmän oltava tarkoituksemukainen ja vastaajien valinnan satunnaista. (Vehkalahti, 2014, s. 43)

Tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttaa myös vastausprosentti, joka kertoo, kuinka moni otoksesta vastasi kyselylomakkeeseen. Mikäli vastausprosentti jää alhaiseksi, perusjoukon vastausten edustavuus saattaa jäädä kyseenalaiseksi. Tämän vuoksi tutkimustulosten luotettavuuden arvioinnin kannalta on tärkeää kertoa vastausprosentti sekä saatujen vastausten laatu, esimerkiksi puutteellisten tietojen määrä. Kyselytutkimusten vastausprosentit jäävät usein alle 50 prosenttiin. (Vehkalahti, 2014, s. 44)

## 6.1 Kyselytutkimuksen laatiminen ja toteutus

Kysely toteutettiin sähköisesti Google Forms -ohjelmalla, johon toimijat saivat linkin saatteena lähetetyn sähköpostin mukana. Tutkimuskyselyn tarkoituksena oli kartoittaa yritysten valmiutta toimittaa rakennusjätteenpuuta biohiilen raaka-aineeksi sekä kiinnostusta biohiilipohjaisiin tuotteisiin. Lisäksi selvitettiin toimijoiden kiinnostusta kierrätykseen sekä vähähilisen rakentamisen ratkaisuihin. Tutkimuskyselyn kysymykset sekä saatekirje ovat liitteissä 1 ja 2.

Kyselylomake koostui pääsääntöisesti monivalintakysymyksistä, joista kahdessa oli mahdollista valita enemmän kuin yksi vastausvaihtoehto. Lisäksi kyselyssä oli yksi vapaa tekstikenttä sekä mahdollisuus jättää omat yhteystiedot syvempää haastattelua varten.

Kyselytutkimukseen valitun otoksen pohjana käytettiin Remeo Oy:n asiakastietokantaa rakennusliikkeiden osalta, jossa on sekä nykyisiä että entisiä kaikenkokoisia asiakkaita suurista rakennusliikkeistä muutaman

henkilön yrityksiin. Tietokannan lisäksi yrityksiä haettiin Google-haulla. Mitään maantieteellistä rajausta ei tehty tässä opinnäytetyössä. Näin saatiin mahdollisimman kattava otos, sillä erityisesti suuret rakentamisen alalla toimivat yritykset palvelevat usein valtakunnallisesti. Kyselyyn valittiin niin suuria, keskikokoisia kuin pieniäkin rakennus-, betoni- ja kiviaines- sekä tienrakennusalalla toimivia yrityksiä, ja se lähetettiin yhteensä 50 vastaanottajalle.

Kyselytutkimus lähetettiin ensisijaisesti yritysten ympäristöasioista vastaaville henkilöille. Mikäli ympäristöasioita ei ollut nimetty kenellekään, se lähetettiin Etelä-Suomen toiminnoista vastaavalle aluejohtajalle tai toimintusjohtajalle. Muutamassa tapauksessa kysely lähetettiin yrityksen yleiseen info-sähköpostiosoitteeseen, sillä tämä oli näiden yritysten toimiva yhteydenottotapa.

Kyselytutkimukseen vastasi yhteensä 9 yritystä muodostaen osallistumisprosentiksi 18 %.

## 6.2 Rakennusliikkeiden haastatteluiden laatiminen ja toteutus

Kaksi yritystä jätti kyselytutkimuslomakkeeseen tarkemmat yhteystiedot haastattelua varten. Haastattelun kysymykset laadittiin yhteistyössä Re-meo Oy:n rakennusliiketoiminnan myyntipäälliköiden kanssa sekä opinnäytetyötä ohjaavien opettajien kanssa. Kysymykset olivat molemmille toimijoille samat.

Haastatteluissa kartoitettiin muun muassa rakennusliikkeiden nykytilaa puujätteen kierrätyksen ja vähähiilisen rakentamisen osalta, kiinnostusta puujätteen tarkempaan lajitteluun, biohiilipohjaisiin ratkaisuihin sekä vähähiilisen rakentamisen liiketoimintamahdollisuuksia. Haastatteluiden yhteenveto esitetään seuraavassa luvussa, ja kysymyskohtaiset vastaukset ovat liitteessä 3.

## 6.3 Biohiilialan toimijoiden haastatteluiden laatiminen ja toteutus

Tätä opinnäytetyötä varten haastateltiin kahta biohiilialan yritystä, Carboner Oy:tä ja Carbofex Oy:tä sekä Suomen Biohiiliyhdistyksen Esko Saloa. Haastattelukysymykset laadittiin yhteistyössä opinnäytetyötä ohjaavien opettajien kanssa.

Haastatteluissa kysyttiin biohiilialan toimijoiden näkemystä muun muassa ympäristöluvista, biohiilen markkinatilanteesta Suomessa nyt ja tulevaisuudessa sekä kiinnostuksesta jättemateriaaleihin. Haastatteluiden yhteenveto esitetään seuraavassa luvussa ja toimijakohtaiset haastattelut ovat liitteessä 4.

## 7 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

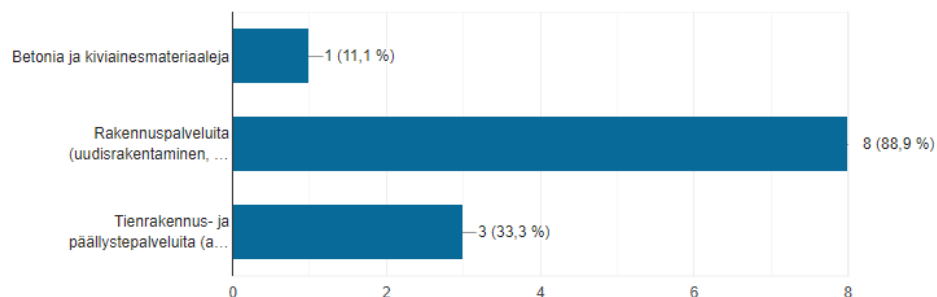
Tutkimuskyselyn tulokset esitellään pääsääntöisesti Google Forms -ohjelman tuottamilla valmiilla graafeilla. Kaikki kyselyyn vastanneet yritykset vastasivat kaikkiin kysymyksiin. Sinisinä pylväsgraafeina näkyvissä vastauksissa yrityksellä oli mahdollisuus valita monta vastausvaihtoehtoa, kun taas ympyrädiagrammeina esitetyissä vastauksissa yritys pystyi valitsemaan ainoastaan yhden vastausvaihtoehdon.

### 7.1 Kyselytutkimuksen vastaukset

Suurin osa kyselyyn vastanneista yrityksistä eli kahdeksan yritystä tuottaa rakennuspalveluita, joista yksi suuri yritys tuottaa kaikkia mainittuja palveluita ja yksi keskisuuri rakennus- sekä tienrakennus- ja päällystepalveluita. Yksi suuri yritys tuottaa ainoastaan tienrakennus- ja päällystepalveluita (kuva 24).

Mitä seuraavista palveluista yrityksesi tai yritys, jossa työskentelet tuottaa?

9 vastausta



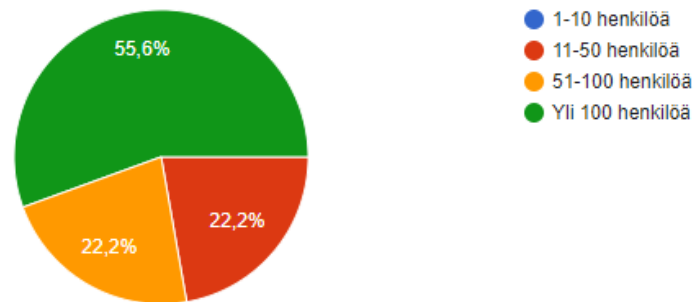
Kuva 24. Vastaukset kyselytutkimuksen 1. kysymykseen: Mitä seuraavista palveluista yrityksesi tai yritys, jossa työskentelet tuottaa?

Yli puolet kyselyyn vastanneista yrityksistä (5 kpl) on suuria, yli 100 hengen yrityksiä. Lopuista vastanneista kahdessa yrityksessä työskentelee 51–100 henkilöä ja kahdessa 11–50 henkilöä (kuva 25, s. 52). Kyselyyn ei vastannut yhtenkään pienen, eli alle kymmenen henkeä työllistävän yrityksen edustajaa. Vastanneisiin yrityksiin viitataan suurina (yli 100 henkeä), keskisuurina (51–100 henkeä) ja pieninä (11–50 henkeä) yrityksinä.



Kuinka monta henkilöä yrityksessänne työskentelee?

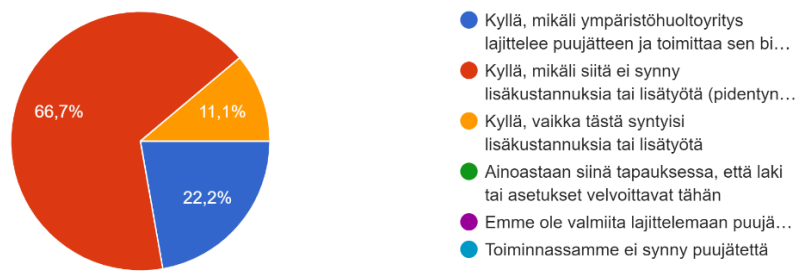
9 vastausta



Kuva 25. Vastaukset kyselytutkimuksen 2. kysymykseen: Kuinka monta henkilöä yrityksessänne työskentelee?

Kyselytutkimuksen kolmatta kysymystä pohjustettiin kertomalla puujätteen olevan rakennusjätteen toiseksi suurin yksittäinen jätejake ja että siitä suurin osa hyödynnetään tällä hetkellä energiantuotannossa. Lisäksi kerrottiin, että *Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous* -selvityksen mukaan biohiiltä kannattaa tarkastella tulevaisuudessa yhtenä mahdollisuutena puujätteen materiaalihyödynnykselle. Suurin osa vastaajista (6 kpl) olisi valmis toimittamaan puujätettä biohiilen raaka-aineeksi, mikäli siitä ei synny lisäkustannuksia tai lisätyötä esimerkiksi lisääntyneenä lajitteluntarpeena tai pidentyneinä kuljetusmatkoina (kuva 26, s. 53). Näin vastanneista yrityksistä kaksi oli pieniä, yksi keskisuuri ja kolme suuria yrityksiä. Kaksi vastaajaa, yksi keskisuuri ja yksi suuri yritys olisivat valmiita toimittamaan puujätettä biohiilen raaka-aineeksi, mikäli ympäristöhuoltoyritys lajittelee puujätteen ja toimittaa sen biohiilen valmistukseen. Yksi suuri yritys olisi valmis toimittamaan puujätettä biohiilen raaka-aineeksi, vaikka tästä syntyisi lisätyötä tai -kustannuksia. Kukaan vastaajista ei valinnut vaihtoehtoja ”emme ole valmiita lajittelemaan puujätettä emmekä maksamaan lajittelusta” tai ”ainoastaan siinä tapauksessa, että laki ja asetukset velvoittavat tähän”.

Puujäte on rakennusjätteen toiseksi suurin yksittäinen jätejäte, ja siitä valtaosa hyödynnetään tällä hetkellä energiantuotannossa. Tämä tekee rakennuspuun materiaalihyödyntämisen mahdollisuutena.  
9 vastausta

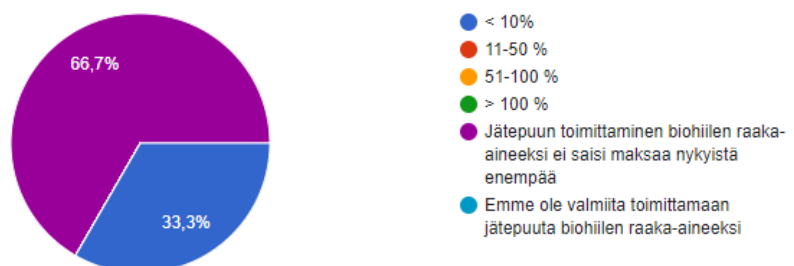


Kuva 26. Vastaukset kyselytutkimuksen 3. kysymykseen: Jos toiminnasanne syntyy puujätettä, olisitteko valmiita toimittamaan sitä biohiili-yritykselle tai ympäristöhuoltoyritykselle biohiilen raaka-aineeksi?

Yli puolet vastaajista (6 kpl) oli sitä mieltä, ettei jätepuun toimittaminen biohiilen tuotantoon saisi maksaa nykyistä käsittelymaksua enempää (kuva 27). Näistä yrityksistä kaksi oli pieniä, keskisuuria yksi ja suuria kolme. Kaksi suurta ja yksi keskisuuri yritys olisivat valmiita maksamaan jätepuun toimittamisesta biohiilen tuotantoon hiukan enemmän, kunhan kustannus ei nousisi yli kymmentä prosenttia nykyiseen verrattuna.

Kuinka monta prosenttia enemmän jätepuun toimittaminen biohiilen raaka-aineeksi saisi kustantaa nykyiseen kustannukseen verrattuna?

9 vastausta

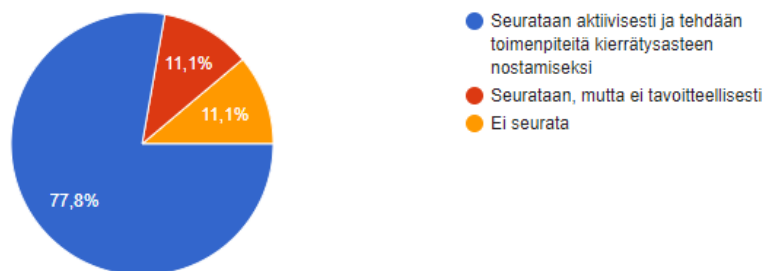


Kuva 27. Vastaukset kyselytutkimuksen 4. kysymykseen: Kuinka monta prosenttia enemmän jätepuun toimittaminen biohiilen raaka-aineeksi saisi kustantaa nykyiseen kustannukseen verrattuna?

Lähes kaikki (7 kpl) kyselytutkimukseen vastanneet yritykset seuraavat aktiivisesti yrityksensä kierrätysastetta ja tekevät toimenpiteitä sen nostamiseksi (kuva 28, s. 54). Yhdessä keskisuudessa yrityksessä seurataan kierrätysastetta, mutta ei tavoitteellisesti ja yhdessä suuressa yrityksessä kierrätysastetta ei seurata lainkaan.

Seurataanko yrityksessänne jätteiden kierrätysastetta?

9 vastausta

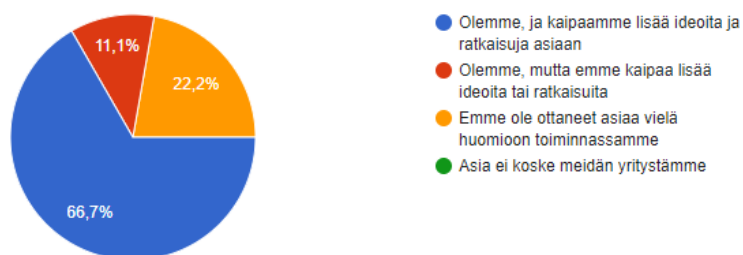


Kuva 28. Vastaukset kyselytutkimuksen 5. kysymykseen: Seurataanko yrityksessänne jätteiden kierrätysastetta?

Kyselytutkimuksen kuudetta kysymystä pohjustettiin kertomalla, että rakennusten hiilijalanjäljen pienentäminen tulee osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä. Kuusi yritystä oli ottanut tämän jo toiminnassaan huomioon, mutta kaipasi lisää ideoita ja ratkaisuita asiaan (kuva 29). Näistä kaksi olivat pieniä ja neljä suuria yrityksiä. Kaksi yritystä, keskisuuri ja iso, eivät olleet ottaneet asiaa vielä lainkaan huomioon toiminnassaan ja yksi keskisuuri yritys oli ottanut asian huomioon, mutta ei kaivannut vinkkejä asian suhteen.

Rakennusten hiilijalanjäljen pienentäminen tulee osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä, jolloin esimerkiksi rakennusmateriaaleilla ja materiaalitehokkuudella tulee olemaan suuri merkitys. Oletteko miettineet yrityksessänne jo nyt, kuinka uudet rakennusmääräykset otetaan toiminnassanne huomioon?

9 vastausta

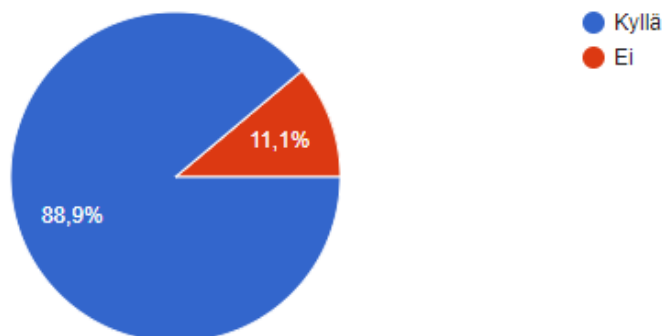


Kuva 29. Vastaukset kyselytutkimuksen 6. kysymykseen: Rakennusten hiilijalanjäljen pienentäminen tulee osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä, jolloin esimerkiksi rakennusmateriaaleilla ja materiaalitehokkuudella tulee olemaan suuri merkitys. Oletteko miettineet yrityksessänne jo nyt, kuinka uudet rakennusmääräykset otetaan toiminnassanne huomioon?

Vastanneista yrityksistä lähes kaikki (8 kpl) kertoivat asiakkaidensa toivovan heiltä ympäristöystävällisiä tuotteita tai palveluita (kuva 30, s. 55). Ainoastaan yksi suuri yritys vastasi, etteivät heidän asiakkaansa toivo niitä.

### Toivovatko asiakkaanne teiltä ympäristöystävällisiä tuotteita/palveluita?

9 vastausta

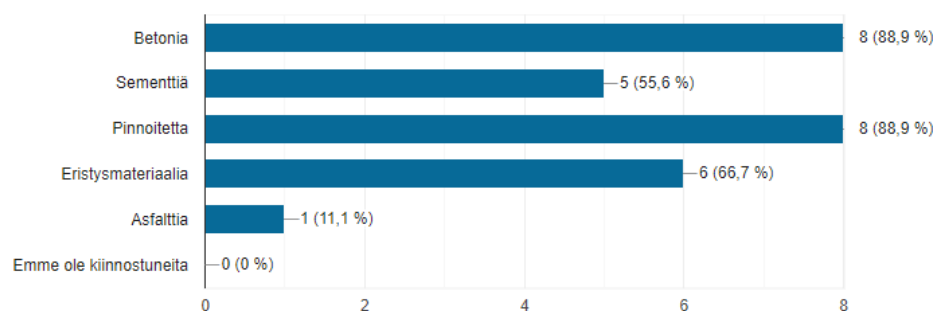


Kuva 30. Vastaukset kyselytutkimuksen 7. kysymykseen: Toivovatko asiakkaanne teiltä ympäristöystävällisiä tuotteita/palveluita

Kaikki kyselytutkimukseen vastanneet yritykset olisivat kiinnostuneita käyttämään biohiilipohjaisia materiaaleja (kuva 31). Yksi keskisuuri yritys olisi valmis käyttämään kaikkia mainittuja materiaaleja. Yksi suuri yritys käyttäisi ainoastaan betonia ja yksi pieni yritys ainoastaan pinnoitetta. Kaikkia materiaaleja pois lukien asfaltti käyttäisi kaksi suurta sekä yksi pieni yritys. Lisäksi yksi suuri yritys käyttäisi betonia, sementtiä ja pinnoitetta ja toinen suuri yritys käyttäisi betonia, pinnoitetta ja eristysmateriaalia. Suosituimmiksi materiaaleiksi nousi siis pinnoite ja betoni.

Olisitteko kiinnostuneita käyttämään biohiilipohjaisia materiaaleja? Jos olisitte, niin mitä alla olevista? Voitte valita useita vastauksia.

9 vastausta

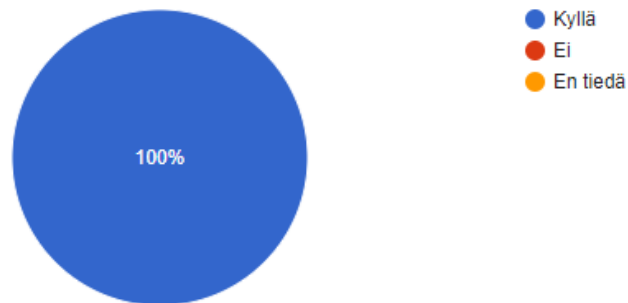


Kuva 31. Vastaukset kyselytutkimuksen 8. kysymykseen: Olisitteko kiinnostuneita käyttämään biohiilipohjaisia materiaaleja? Jos olisitte, niin mitä alla olevista? Voitte valita useita vastauksia.

Kaikki kyselytutkimukseen vastanneet yhdeksän yritystä aikovat tehdä lähivuosina toimenpiteitä yrityksensä hiilijalanjäljen pienentämiseksi (kuva 32, s. 56).

Aikooko yrityksenne tehdä toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi lähivuosina?

9 vastausta

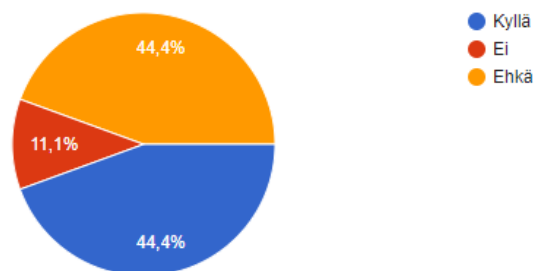


Kuva 32. Vastaukset kyselytutkimuksen 9. kysymykseen: Aikooko yrityksenne tehdä toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi lähivuosina?

Kyselytutkimuksen kymmenennettä kysymystä pohjustettiin kertomalla, että mikäli puu pyrolysoidaan, jopa 50 prosenttia sen sisältämästä hiilidioksidista sitoutuu biohiileen jopa tuhansiksi vuoksiksi. Kaksi pientä, yksi keskisuuri ja yksi suuri yritys olisi kiinnostunut kompensoimaan yrityksensä hiilidioksidipäästöjä biohiilisovelluksilla (kuva 33). Yksi keskisuuri ja kolme suurta yritystä olisivat ehkä kiinnostuneita ja yksi suuri yritys ei ole lainkaan kiinnostunut.

Puu sitoo hiiltä, mutta ei ole hyvä hiilivarasto. Kun puu poltetaan, hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään. Mikäli puu pyrolysoidaan, jopa 50 % sen sisältämästä hiilidioksidista sitoutuu biohiileen jopa tuhansiksi vuosiksi.

9 vastausta



Kuva 33. Vastaukset kyselytutkimuksen 10. kysymykseen: Voisitteko kuvitella kompensoivanne yrityksenne hiilidioksidipäästöjä biohiilisovelluksilla?

Kyselytutkimuksen viimeinen kysymys kuului: Millaisia toimia toivoisitte biohiiltä valmistavilta yrityksiltä, julkisilta tahoilta, kunnalta tai valtiolta, jotka helpottaisivat biohiilipohjaisten materiaalien käyttämistä tai käyttöönottoa yrityksessänne? Vastaukselle annettiin avoin tekstikenttä, johon yritykset saivat itse kirjoittaa vastauksen.

Kustannusten maltillisuus, kokeilun tukeminen ja muut kannusteet nousivat vastauksissa eniten esille:

”Tämä on kuitenkin lopuksi päättäjien ja isojen tilaajien käsissä, kuinka ala kehittyy. Hintakilpailu ratkaisee urakan.”

”Kokeilun tukeminen.”

”Kokeilun tukeminen ja logistiikkapalveluiden helpottaminen, esim. keräily pisteet lähelle, missä jätettä syntyy.”

”Rahallista tukea pilotointiin.”

”Biohiiltä valmistavilta yrityksiltä kustannustehokkaita ratkaisuja ja hyvää yhteistyötä rakennusliikkeiden kanssa. Kannustetaan rakennusliikkeitä vähähiilisiin kohteisiin halvemmilla tonteilla ja muilla kannustuskeinoilla valtiolta. Verotuksen ja säädösten kautta ohjausta vähähiilisiin rakennuksiin ja parempaan elinkaariajatteluun.”

”Sen varmistaminen, ettei se maksa enempää kuin muutkaan tai olisi jopa edullisempaa ja houkuttelisi sen käyttöönottoon.”

Biohiilipohjaisten ratkaisuiden käyttöönottoon kaivattiin myös lisätukimusta ja näyttöä niiden käytettävyydestä rakennushankkeissa:

”Koulutusta ja informaatiota valmistavilta yrityksiltä. Luottamuksen lisäämistä uusiomateriaaleista tuotettujen tuotteiden käytöstä. CE- tai muun hyväksynnän selkeys.”

”Tutkittua tietoa hyödyistä ja käytettävyydestä rakentamisessa.”

Lisäksi kaivattiin ohjeistusta ja koulutusta tulevaisuuden tavoitteiden saavuttamiseksi:

”Rakennusalalle yleispätevä ohjekartta, jolla yritysten on mahdollista saavuttaa tulevaisuuden tavoitteet. Nyt yritykset tekevät kukin pioneerityötä mikä ei ole alalle yleisesti tehokasta.”

”Green Building Councililta hyviä konkreettisia käytäntöjä, lähemmäksi toteutusta soveltaen valtion ja lainsäädännön ohjeistusta.”

Myös viranomaissääntelystä annettiin kommentti:

”Suomen isoin ongelma on viranomaiset, jotka tulevat myös tässä tekemään kaikkensa, ettei tuotteistaminen tule kyseeseen ja että se on mahdollisimman vaikeaa.”

## 7.2 Rakennusliikkeiden haastattelut

Tätä opinnäytetyötä varten haastateltiin kahta yli sata henkilöä työllistävää rakennusliikettä. Molemmat haastattelut tehtiin etäyhteydellä Teams-sovelluksen kautta 27.8.2020. Rakennusliikkeiden haastatteluiden yhteenveto esitetään tässä kappaleessa. Koko haastattelut ovat liitteessä 3.

Rakennusliikkeiltä tiedusteltiin, onko puujätteen nykyinen käsittelytapa eli energiahyödynnys muodostunut ongelmaksi joko erilaisten sertifikaattien tai yritysten omien kierrätystavoitteiden saavuttamisessa. Toinen rakennusliike on keskittynyt erityisesti asuntorakentamiseen, jossa sertifikaatit eivät ole yleisiä, mutta he uskovat ympäristöasioiden tulevan jatkossa olemaan yhä tärkeämpiä myös asuntorakentamisen puolella. Energiahyödynnys ei siis ole toistaiseksi ollut ongelma. Toisella rakennusliikkeellä ei ollut tietoa, että asia olisi haitannut sertifikaattien osalta, mutta uskoi asian saattavan nousta ongelmaksi lähitulevaisuudessa yrityksen omien kierrätystavoitteiden kasvaessa.

Puujätteen tarkemmasta lajittelusta kysyttäessä kummatkin yritykset olisivat valmiita tekemään tarkempaa lajittelua, mikäli ohjeistus tähän olisi selkeä ja helppo. Molemmat yritykset kuitenkin painottivat tilahaasteiden huomioimista lajittelussa. Lisäksi toinen yritys mainitsi, että lajittelun täytyisi olla järkevää myös kustannusten ja jatkohyödynnyksen kannalta.

Biohiili oli terminä tuttu ainoastaan toiselle rakennusliikkeelle, mutta ei rakentamisen yhteydessä. Molemmat rakennusliikkeet kokivat aiheen erittäin mielenkiintoiseksi.

Kumpikaan rakennusliike ei ollut vielä ottanut rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmää kokeiluun, eikä ollut suunnitellut sen käyttöä missään tulevassa projektissa. Toinen rakennusliike arvioi sen tulevan mahdollisesti osaksi jotakin tulevaa rakennushanketta joko yrityksen omasta tai tilaajan toimesta. Yritys myös näkee työkalun tukevan heidän ISO-sertifikaattinsa tavoitteita. Toinen rakennusliike tulee selvittämään työkalun integrointia osaksi yrityksen omia järjestelmiä, sillä yritys on pitkälle digitalisoitunut. Myös laskentapalvelun ostaminen ulkopuoliselta nähdään mahdollisuutena.

Kummallakaan yrityksellä ei ole ollut vielä erityisesti vähähiilisyyteen keskittyviä rakennushankkeita. Toinen rakennusliike kertoi yrityksen keskittyvän jatkossa enemmän toimitilarakentamiseen, jossa asia on koko ajan ajankohtaisempi. Yritys uskoo vähähiilisyyden olevan jatkossa yhä tärkeämpää ja haluaa myös mennä tähän suuntaan. Toinen yritys kertoi, että nämä asiat otetaan huomioon LEED- ja BREEAM-sertifioituissa kohteissa, joita yrityksellä on ollut paljon. He myös tiedostavat, että asia tulee jatkossa olemaan merkityksellinen eri tahojen puolesta yhä etenevässä määrin.

Yrityksiltä kysyttiin, kuinka tärkeänä ne pitävät kotimaista jätteenkäsittelyä. Molemmat yritykset kokevat tärkeäksi, että jätteet käsitellään Suomessa. Toinen yritys kokee asian arvokysymyksenä, eikä jätevastuuta halua siirtää toiseen maahan. Yritys uskoo, että asiakkaatkin saattavat kokea asian tärkeäksi. Toinen yritys ei puolestaan vastusta jätteen ulkomaista käsittelyä silloin, kun vastaanottajamaa pystyy käsittelemään jätteen Suomea paremmin ja mikäli se on myös ympäristönäkökulmasta järkevää.

Molemmat yritykset näkevät vähähiilisen rakentamisen uutena liiketoimintamahdollisuutena. Toinen yritys korosti, että liikkeellä tulee kuitenkin olla hyvissä ajoin ennen muita samankokoisia toimijoita.

Kumpikin yritys näkee, että biohiilipohjaisilla ratkaisuilla voisi olla rooli yritysten tulevaisuudessa. Biohiilipohjaiset materiaalit nähdään potentiaalisena osana yritysten tulevaa liiketoimintaa. Toinen yritys painottaa, että olisi hyvä, mikäli kyseessä olisivat valmiit tuotteet, jotka olisivat hinnoiltaan sopivia myös asiakkaille. Toinen yritys kokee tärkeäksi, että kyseiset materiaalit vastaisivat laadultaan neitseellisistä raaka-aineista valmistettuja tuotteita.

### 7.3 Biohiilialan toimijoiden haastattelut

Carbofex Oy:tä sekä Suomen biohiiliyhdistyksen puheenjohtajaa Esko Saloa haastateltiin etäyhteydellä Teams-sovelluksen kautta 26.8.2020. Carboner Oy vastasi kysymyksiin sähköpostitse. Biohiilialan toimijoiden haastatteluiden yhteenveto esitetään tässä kappaleessa, ja toimijakohtaiset haastattelut ovat liitteessä 4.

Biohiilialan toimijoilta kysyttiin biohiilen kasvunäkymistä Suomessa. Kaikki toimijat kertoivat biohiilen markkinoiden kasvavan koko ajan, ja Suomen Biohiiliyhdistyksen Esko Salo kertoi niiden kasvavan tällä hetkellä erityisesti niin ammattilais- kuin kuluttajapuolenkin viherrakennusratkaisuissa. Carboner Oy huomautti, että biohiilen hyödyntäminen eri käyttökohteissa vaatii kuitenkin vielä paljon neuvontaa. Carbofex Oy kertoi kiinnostuksen biohiileen kasvaneen Suomessakin, vaikkei se ole vielä esimerkiksi Ruotsin tasolla.

Biohiilialan markkinoiden kehittymisestä ja tulevaisuudesta Suomessa kysyttiin niin ikään kaikilta toimijoilta. Esko Salo kertoi biohiilen tulevaisuuden olevan tällä hetkellä kiinni pienestä joukosta toimijoita, ja että erilaisia mahdollisuuksia ja potentiaalia on paljon. Mikäli alalla olevista haasteista päästään yli, hän näkee biohiilen olevan kasvava ala tulevaisuudessa. Carboner Oy kertoi biohiilialan näkymien olevan Suomessa hyviä, mutta viennin olevan tulevaisuudessa tärkeässä roolissa. Carbofex Oy kertoi tietoisuuden ja kiinnostuksen biohiileen kasvavan jatkuvasti ja esimerkiksi hiilinegatiivisen energiantuotannon olevan biohiilen tuotannon lisäksi prosessin etu.



Kaikilta toimijoilta kysyttiin, toisiko jättemateriaalien käyttö lisäarvoa biohiilen tuotantoon. Salo kertoi biohiilen tuotannon perusidean usein olevan sellaisten materiaalien hyödyntäminen, joita ei voi muulla tavalla hyödyntää. Jättemateriaalin käyttö onkin iso lisäarvo, sillä raaka-aine määrittelee sen, kuinka järkevää ja hyväksyttävää biohiilen tuotanto on. Carboner Oy kertoi purkupuun käytön biohiilen valmistuksessa tuovan lisäarvoa, sillä se täyttää kiertotalouden kriteerit. Carbofex Oy kertoi jättemateriaalien käytön tuovan ehdottomasti lisäarvoa jätteen käsittelyn ja energiantuotannon näkökulmasta, vaikka heillä ei ole tällä hetkellä suunnitelmissa käyttää jättemateriaalia omassa tuotannossaan.

Puhtaan, mutta ei sertifioidun biohiilen laatua vastaavan biohiilen kysynnästä ja mahdollisista käyttökohteista esitettiin kysymys kaikille toimijoille. Salo kertoi, ettei sertifikaattien vaatiminen ole vielä kovin yleistä, vaikka niiden käyttöönottoa suositellaankin biohiilen hankinnan helpottamiseksi. Biohiilen laatu voidaan osoittaa myös muulla tavalla, ja Suomen Biohiiliyhdistys on laatinut biohiilen hankintaan laatuohjeen. Sertifioimatonta mutta puhdasta ja raja-arvoissa pysyvää biohiiltä voisi käyttää muun muassa maanparannukseen, hulevesien suodattamiseen tai savukaasujen suodattamiseen aktiivihiihen sijasta. Epäpuhtaampia biohiiliä voisi käyttää mahdollisesti esimerkiksi rakennusmateriaaleihin, kuten asfalttiin ja betoniin. Carboner Oy kertoo puhtaalle biohiilelle olevan kysyntää, ja sen käyttökohteita olevan muun muassa maanparannus, kompostointi, kasvualustat ja hulevesien käsittely. Carbofex Oy kertoo, että sertifioimattomalle biohiilelle on mahdollisesti kysyntää, sillä biohiilen markkinat kasvavat jatkuvasti. Käyttötarkoituksia on myös useita, ja päätös siitä on asiakkaan.

Toimijoilta kysyttiin, näkevätkö he hiilikompensaatioiden olevan jatkossa merkittävä osa biohiilialan liiketoimintaa. Salon mukaan hiilikompensaatioissa on iso potentiaali. Kompensoidun hiilidioksiditonnin hinnalla ei pysty ostamaan biohiiltä, mutta kompensatio toisi biohiilen hintaa alaspäin mahdollistaen sellaisia uusia käyttökohteita biohiilelle, jotka eivät ole tällä hetkellä taloudellisesti järkeviä. Kompensaatioihin kannattaisi laskea mukaan myös muita biohiilen tarjoamia hyötyjä, kuten fosforipäästöjen hillitseminen. Carboner Oy:n mukaan hiilikompensaatiot ovat osa liiketoimintaa, mutta eivät merkittävä osa. Carbofex Oy näkee kompensatioiden olevan jatkossa yhä enemmän osa liiketoimintaa, sillä yritykset ovat yhä kiinnostuneempia kompensoimaan jopa menneitä päästöjään.

Kysymykseen siitä, millaista lisäarvoa biohiilen sivutuotteet, eli lämpö, tisseet ja öljyt tuovat, mainitsivat kaikki toimijat lämmön tuotannon kannattavana toimintana. Tisleissä ja öljyissä nähdään olevan paljon potentiaalia, mutta niiden parhaiden käyttökohteiden löytäminen vaatii raskaan sääntelyn vuoksi vielä lisäselvittelyä.

Toimijoilta kysyttiin mobiililaitoksen ja kiinteän biohiililaitoksen eduista ja mahdollisesta käyttäjäkunnasta. Salo kertoi kiinteän laitoksen soveltuvan laajamittaiseen ja jatkuvaan tuotantoon, esimerkiksi sahan yhteyteen.

Mobiililaitokset puolestaan soveltuvat parhaiten sellaisiin projekteihin, joissa syntyy tietyn aikaa paljon raaka-ainetta, kuten purkutyömaalle. Carboner Oy huomautti mobiililaitosten olevan huomattavasti kiinteitä laitoksia edullisempia, yrittäjävetoisia sekä niiden lupa-asioiden olevan yksinkertaisempia kuin kiinteiden laitosten. Potentiaaliseksi käyttäjäkunnaksi Carboner Oy mainitsi esimerkiksi metsätalousyrittäjät, purkupuun vastaanottajat sekä piensahat. Carbofex Oy kertoi kiinteiden laitosten eduksi hyvän ja tasaisen laadun, teollisen mittakaavan toiminnan sekä jatkuvatoimisuuden. Kiinteää laitosta ei myöskään tarvitse lämmittää ulkoisesti, joka on usein välttämätöntä mobiililaitteissa.

Carboner Oy:ltä ja Carbofex Oy:ltä kysyttiin biohiilivoimaloiden lupien tarpeesta sekä siitä, onko sääntely raskaampaa, mikäli biohiilen raaka-aineena käytetään jättemateriaalia. Lisäksi molemmilta toimijoilta kysyttiin, olisivatko ne valmiita käyttämään rakennusjätepuuta biohiilen tuotannossa. Carboner Oy kertoi olevansa valmis käyttämään purkupuuta omassa tuotannossaan, ja että suunnitteilla on useampia tuotantoyksiköitä, joissa tätä käytetään raaka-aineena. Ympäristölupaa ei heidän mukaansa tarvita alle 3000 tonnia vuodessa tuottaville laitoksille. Carboner Oy kertoi, että purkupuuta biohiilen raaka-aineena käytettäessä savukaasuanalyysit riittävät, eivätkä he osaa sanoa, kuinka muiden jättemateriaalien osalta toimitaan. Carbofex Oy kertoo biohiilivoimalan luvan tarpeen riippuvan laitoksen tyypistä ja koosta, ja että ympäristöviranomainen ratkaisee luvan tarpeen laitoskohtaisesti. He kertovat, että jättemateriaalien käyttö pyrolyysilaitoksen raaka-aineena on luvanvaraista toimintaa, jonka vuoksi jättemateriaalia raaka-aineena käyttävä laitos kannattaisi rakentaa erilleen. Carbofex Oy kertoo haluavansa tuottaa mahdollisimman hyvälaatuista biohiiltä, joten rakennusjätepuun käyttäminen heidän tuotannossaan riippuisi tilanteesta ja materiaalista. He huomauttivat rakentavansa biohiililaitoksia myös myyntiin, joten erityisesti rakennusjätepuuta raaka-aineenaan käyttävän laitoksen valmistaminen olisi mahdollista.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön aikana selvinneet tutkimustulokset esitellään tutkimuskysymyksittäin. Lopuksi esitetään rakennusjätepuupohjaisen biohiilen SWOT-nelikenttäänalyysi.

### 8.1 Rakennusjätepuu biohiilen raaka-aineena Suomessa

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä kysyttiin, millaisia mahdollisuuksia Suomessa on rakennusjätepuun ohjaamiseksi biohiilen raaka-aineeksi.

Suomessa ei tässä opinnäytetyössä tehdyn tutkimuksen perusteella ole tällä hetkellä rakennusjätepuuta biohiilen raaka-aineena hyödyntävää

toimijaa. Carboner Oy:llä on kuitenkin suunnitteilla useampia tuotantoyksiköitä, joiden raaka-aineena aiotaan käyttää purkupuuta.

Ainakin A- ja B-laatuluokan puujätteen hyödyntäminen melko hyvänlaatuisen biohiilen raaka-aineena lienee mahdollista, sillä kyseiset laatuluokat eivät saa sisältää enempää raskasmetalleja tai halogenoituja orgaanisia yhdisteitä kuin mitä niiden alkuperämaan tyyppillisissä luonnonmateriaaleissa esiintyy. Lisäksi purkupuun joukossa on paljon potentiaalia, sillä jopa puolet siitä saattaisi olla luokiteltavissa B-laatuluokan puuksi. Myös C-laatuluokan puusta valmistetulle biohiilelle löytynee kysyntää, koska sen ympärille ollaan rakentamassa liiketoimintaa. Lisätutkimusta kuitenkin tarvitaan eri laatuluokista valmistetun rakennusjätepuupohjaisen biohiilen laadusta sekä mahdollisista käyttökohteista.

Rakennusjätepuupohjaisen biohiilen tuotanto vaatii aina ympäristöluvan, paitsi silloin kun kyseessä on hyvin pieni laitos. Tämä saattaa jarruttaa joidenkin biohiilialan toimijoiden halukkuutta käyttää rakennusjätepuuta raaka-aineena. Metsäteollisuuden sivuvirta lienee puujätepuupohjaisista materiaaleista toimijoille houkuttelevampi vaihtoehto, sillä se on sääntelyltään kevyempää. EoW-päätöksen hakeminen rakennusjätepuulle voisi helpottaa kyseisen raaka-aineen hyödyntämistä. Rakennusjätepuun käyttäminen biohiilen raaka-aineena olisi perusteltua, koska sillä korvattaisiin neitseellistä puuta biohiilen raaka-aineena ja sen käyttö biohiilen tuotannossa saattaisi nostaa rakennusjätepuun hyödyntämistä myös jätehierarkiassa. Toisaalta biohiililaitos vaatii usein itsessään ympäristöluvan, jolloin luvan hakeminen rakennusjätepuun käsittelyyn lupaprosessin yhteydessä ei ole välttämättä enää suuri lisätyö.

Edellä mainittujen seikkojen lisäksi tulee ottaa huomioon, millaiset kustannusvaikutukset rakennusjätepuun ohjaamisella biohiilen tuotantoon olisi. Mikäli rakennusjätepuun käsittelymaksu asiakkaille nousisi paljon tai siitä maksettava korvaus jätehuoltoalan toimijoille heikentyisi merkittävästi, ei ratkaisu liene toteuttamiskelpoinen liiketoiminnan näkökulmasta.

## 8.2 Biohiilen valmistaminen rakennusjätepuusta elinkaarinäkökulmasta

Toisena tutkimuskysymyksenä oli, onko rakennusjätepuun hyödyntäminen biohiilen raaka-aineena elinkaareltaan parempi ratkaisu kuin nykyiset käsittelyratkaisut.

Azzin ym. tutkimusten mukaan biohiilipohjainen vaihtoehto on ilmastonäkökulmasta pitkällä tähtäimellä tavanomaista lämmöntuotantoa parempi vaihtoehto, mutta kaikkia elinkaariarvioinnin osa-alueita ei kyseisessä tutkimuksessa otettu huomioon. Lisäksi tutkimuksessa oletettiin, että tuotettu biohiili toimisi oletetusti käyttötarkoituksissaan ja että sähkö tuotetaan jatkossa ilmaston kannalta kestävämmillä tavoilla. Rakennusjätepuupohjaisen biohiilen käyttömahdollisuuksista ei ole vielä täyttä varmuutta, mutta Suomen tavoitetila tulevaisuuden energiantuotannossa on

hyvin paljon Ruotsin kaltainen. Voitaneen siis olettaa, että tutkimuksessa esitetty niin kutsuttu energiasakko olisi Suomen olosuhteissa pitkällä tähtäimellä samantyyppinen kuin Ruotsin vastaava.

Chengin ym. tutkimuksessa puujätepohjaista biohiiltä vertailtiin muihin syötteisiin, joten yhtymäkohtaa nykyisiin käsittelyratkaisuihin ei ole. Tässäkin tutkimuksessa puujäte kuitenkin nousi lähes yhtä hyväksi vaihtoehdoksi energian- ja biohiilen tuotannossa kuin parhaat tulokset saanut viljelytähde.

Judl ym. tulivat puolestaan siihen tulokseen, että puujätteen energiahyödynnys oli tutkituista vaihtoehdoista nettoympäristövaikutuksiltaan paras mahdollinen vaihtoehto. Heidän mukaansa energiahyödynnys myös edistää ilmastotavoitteiden saavuttamista, koska sillä voidaan korvata fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa. Pyrolyysissä syntyvä lämpö voidaan kuitenkin ottaa talteen ja hyödyntää hiilinegatiivisena kaukolämpönä, jonka lisäksi prosessissa syntyvä biohiili toimii pitkäaikaisena hiilivara-astona. Vaikka Azzin ym. tutkimustulosten mukaan pyrolyysissä ei synny yhtä paljon lämpöä kuin tavanomaisessa lämmöntuotannon prosessissa, ei korvattavaksi jäisi niin paljon lämpöä kuin ilman lämmön talteenottoa tapahtuvassa hyödyntämisessä. Tämän vuoksi rakennusjätepuun pyrolyysi ilman lämmön talteenottoa ei liene elinkaarianalyysin näkökulmasta järkevä vaihtoehto, vaikka siitä syntyvä biohiili sitookin hiilidioksidia. Asiaa on kuitenkin tutkittava vielä biohiilen avulla vältettyjen päästöjen näkökulmasta, joita ei ole vielä tutkittu riittävän kattavasti.

Tässä opinnäytetyössä ei siis pystytä ottamaan varmasti kantaa siihen, olisiko rakennusjätepuun hyödyntäminen biohiilen tuotannossa elinkaareltaan nykyisiä parempi vaihtoehto. Rakennusjätepuun käyttö biohiilen raaka-aineena ja pyrolyysiprosessin lämmön talteenotto kuitenkin tukisi Suomen hallitusohjelman tavoitteita Suomen roolin vahvistamisessa kiertotalouden edelläkävijänä sekä hiilineutraaliuden tavoitetta. Puupohjainen energia on toki tärkeää tavoitteisiin pääsemiseksi, mutta siitä ylivoimaisesti suurin osa tuotetaan jo nykyisellään hakkuutähteistä ja metsätalouden sivuvirroista, kun rakennusjätepuu on vain pieni osa kokonaisuutta. Biohiilen valmistaminen rakennusjätepuusta lämmön talteenotolla olisi siis varteenotettava ratkaisu myös tästä näkökulmasta. Lisätutkimusta kuitenkin tarvitaan siitä, olisiko biohiilen tuotanto rakennusjätepuusta elinkaareltaan järkevämpi vaihtoehto kuin sen tuotanto muista biomassoista.

### 8.3 Rakennusjätepuupohjainen biohiili vähähiilisessä rakentamisessa

Kolmantena tutkimuskysymyksenä oli, onko rakennusjätepuun hyödynnys biohiilen raaka-aineena myös vähähiilisen rakentamisen ratkaisu.

Rakennusmateriaalien osuus rakennuksen hiilijalanjäljestä tulee kasvamaan tulevaisuudessa entisestään, sillä energiantuotannossa siirrytään kestävämpiin ratkaisuihin ja rakennusten energiatehokkuus paranee.

Biohiilen käytöllä erilaisissa rakentamisen teknisissä ratkaisuissa on todettu olevan monia hyötyjä. Rakennusjätepuupohjainen biohiili rakennusmateriaalien raaka-aineena edistäisi alan kiertotaloutta sekä todennäköisesti vaikuttaisi tiettyjen rakennusmateriaalien hiilijalan- ja hiilikädenjäljen laskentaan rakentamisen vähähiilisyyden arviointimenetelmässä. Lisäksi rakennusjätepuun ohjaaminen biohiilen tuotantoon edes osittain parantaisi todennäköisesti rakennusjätteen kierrätysastetta ja vaikuttaisi siten laskentatapaan myös jätehuollon osiossa. Biohiilen huomioiminen osana arviointimenetelmää saattaisi myös lisätä alan innovaatioita ja investointeja.

Mikäli Hyllie Terrass -hankkeen kaltainen hiilineutraali rakentaminen lisääntyy tulevaisuudessa entisestään, biohiiliratkaisut voisivat toimia kierrätyksen ja rakennusmateriaaliratkaisuiden lisäksi myös kompensaaiona rakennuksen elinkaaren aikaisille päästöille. Kyselytutkimusten tulosten perusteella rakennusalan toimijoilla onkin jo kiinnostusta biohiilipohjaisiin tuotteisiin, ja osa niistä olisi valmis myös biohiilikompensatioon.

#### 8.4 Rakennusalan toimijoiden halukkuus ohjata jätepuuta biohiilen tuotantoon

Viimeinen tutkimuskysymys oli, onko rakennusalan toimijoilla halukkuutta ohjata rakennusjätepuuta biohiilen tuotantoon.

Kaikki kyselytutkimukseen vastanneet yritykset olisivat valmiita toimittamaan puujätettä biohiilen raaka-aineeksi. Yritysten tarkemmat vastaukset on esitelty aikaisemmassa luvussa. Kyselytutkimuksen vastausprosentti jäi kuitenkin pieneksi ja valtaosa vastaajista edusti suuria yrityksiä, joten vastausten ei voida olettaa edustavan kaikkien rakennusliikkeiden halukkuutta rakennusjätepuun ohjaamiseen biohiilen raaka-aineeksi erityisen kattavasti.

Kyselytutkimusten vastausten perusteella biohiili ei saisi kuitenkaan maksaa käsittelyvaihtoehtona kovin paljon nykyistä käsittelyä enempää, eikä suurin osa vastanneista rakennusliikkeistä olisi valmis tekemään myöskään lisälajittelua kyseisen käsittelytavan mahdollistamiseksi. Kaikki kyselyyn vastanneet yritykset aikovat joka tapauksessa tehdä lähivuosina toimenpiteitä hiilijalanjälkensä pienentämiseksi, ja suurin osa koittaa myös parantaa kierrätysastettaan. Kyselytutkimuksen vastausten perusteella yritysten kiinnostus ympäristöasioihin ei ole myöskään riippuvainen yrityksen koosta, sillä pienemmätkin toimijat tekivät toimenpiteitä esimerkiksi kierrätysasteen ja vähähiilisen rakentamisen osalta.

Haastatteluiden ja kyselytutkimuksen vastausten perusteella rakennusliikkeet näkevät biohiilessä potentiaalia, joten biohiiliratkaisuilla saattaa olla markkinoita rakennuspuolella tutkimuksen lisääntyessä tulevaisuudessa.

## 8.5 SWOT-nelikenttäanalyysi

Niin kutsuttua SWOT- eli nelikenttäanalyysiä käytetään usein työvälineenä esimerkiksi strategisessa suunnittelussa tai yritystoiminnan analysoinnissa, mutta kyseistä menetelmää voidaan käyttää myös minkä tahansa idean hyödynnettävyyden arviointiin. Nimi tulee englanninkielisistä sanoista strengths (vahvuudet), weaknesses (heikkoudet), opportunities (mahdollisuudet) sekä threats (uhat). (Opintokeskus Sivis, n.d.)

Nelikenttäanalyysissä analysoidaan sekä käsiteltävän asian nykytilannetta vahvuuksien ja heikkouksien näkökulmasta sekä tulevaisuutta uhkia ja mahdollisuuksia pohtimalla. Nelikenttäanalyysissä käsiteltävän asian vahvuuksia ovat ne resurssit tai toimenpiteet, joita pystytään hyödyntämään. Heikkoudet ovat puolestaan niitä tekijöitä, joita täytyy parantaa tehokkaan toteutuksen mahdollistamiseksi. Nelikenttäanalyysin avulla voidaan alkaa miettimään konkreettisia ratkaisu- ja kehitysehdotuksia käsiteltävään asiaan. (Suomen Riskienhallintayhdistys, n.d.)

Tässä opinnäytetyössä nelikenttäanalyysiä käytetään rakennusjätepuu-pohjaisen biohiilen nykytilan ja tulevaisuuden tarkasteluun (taulukko 7).

Taulukko 7. Rakennusjätepuupohjaisen biohiilen nelikenttäanalyysi

<p><b>Vahvuudet</b></p> <p>Hiilinegatiivinen tapa tuottaa lämpöä</p> <p>Hallitusohjelma ja erilaiset tiekartat kannustavat hiilinegatiiviseen lämmöntuotantoon ja vähähiilisiin ratkaisuihin</p> <p>Kiinnostus biohiileen ja hiilidioksidin varastointiin lisääntynyt</p> <p>Neitseellisen raaka-aineen korvaaminen jätemateriaalilla</p>	<p><b>Heikkoudet</b></p> <p>Vähän tutkimusta mahdollisista käyttökohteista ja valmiin biohiilen ominaisuuksista</p> <p>Rakennusjätepuusta valmistettu biohiili ei sovellu jokaiseen käyttökohteeseen</p> <p>Raskas sääntely</p> <p>Ei tietoa, onko rakennusjätepuupohjaiselle biohiilelle kysyntää</p>
<p><b>Mahdollisuudet</b></p> <p>Vähähiilisen rakentamisen kasvu</p> <p>Päästökaupan kehittyminen tulevaisuudessa</p> <p>Yritysten ympäristötavoitteiden kiristyminen</p> <p>Rakennusjätepuun käsittelyn mahdollinen nouseminen jätehierarkiassa</p> <p>Mahdolliset vältetyt päästöt biohiilellä korvattavissa tuotteissa</p> <p>Hiilineutraali talouskasvu</p> <p>Tisleidien käyttökohteiden selvitys</p> <p>Aktiivihiihimarkkinat</p>	<p><b>Uhat</b></p> <p>Lainsäädännölliset haasteet</p> <p>Asenteet kierrätysraaka-aineita kohtaan</p> <p>Ei välttämättä taloudellisesti kannattavaa</p>

Rakennusjätepuupohjaisen biohiilen nelikenttäanalyysistä ilmenee vahvasti, että ratkaisun ympärillä on vielä paljon epävarmuustekijöitä ja selvittävää. Mahdollisuuksia ja vahvuuksia voi kuitenkin tunnistaa useita, joten potentiaalia löytyy paljon. Nelikenttäanalyysiä kannattaakin päivittää esimerkiksi tutkimustulosten lisääntyessä ja sääntelyn helpottuessa.

## 9 POHDINTA

Olen työskennellyt ympäristöhuoltoalalla lähes seitsemän vuotta, ja koko sen ajan puujätteen energiahyödynnys on koettu ongelmaksi kierrätysasteen näkökulmasta niin asiakkaiden kuin erilaisten rakennusalan sidosryhmienkin puolelta. Jätehierarkia ohjaa vahvasti ympäristöhuoltoalaa, jonka vuoksi asia on kiinnostanut myös Remeo Oy:llä. Rakennusjätepuun kierrätysmahdollisuuksia on tutkittu monesta näkökulmasta, mutta toteuttamiskelpoista, suuremman mittakaavan ratkaisua ei ole tähän mennessä tullut vastaan. Biohiilen valmistaminen rakennusjätepuusta vaikutti minusta ensimmäiseltä varteenotettavalta ratkaisulta, jonka olen tähän mennessä nähnyt.

Tätä opinnäytetyötä aloittaessani en aavistanut, kuinka monimutkaisesta ja vähän tutkitusta aiheesta on kyse. Työ kuitenkin vei mukanaan, ja sen edetessä opin hyväksymään, etten pysty yksin ratkaisemaan kaikkia eteeni tulleita kysymyksiä. Ymmärsin myös, että erilaisten lakien ja asetusten tulkinta ei ole viime kädessä minun tehtäväni, vaikka koinkin tärkeänä esitellä ne tutkimuksessa. Työni päämäärä muuttuikin matkan varrella valmiin ratkaisun esittämisestä sellaisen tietopaketin kokoamiseksi, joka kokoaisi yhteen keskeisimmät biohiilen valmistamiseen rakennusjätepuusta liittyvät ja siinä huomioitavat asiat.

Elinkaarianalyysiin liittyvät päätelmät jäivät olemassa olevien tutkimusten puutteen vuoksi heikohkoiksi, mutta toivottavasti sisällöltään tarpeeksi kattaviksi lisätutkimuksen perustelemiseksi. Vähähiilisen rakentamisen tiekarttatyö on puolestaan vasta hyvin alussa, joka saattaa olla hyvä asia rakennusjätepuupohjaisille biohiiliratkaisuille. Uusia asioita ja ideoita kun on usein helpompi ottaa mukaan vasta suunnitteilla oleviin kokonaisuuksiin kuin aivan valmiisiin tuotoksiin.

Ympäristöhuoltoala on työpaikkana erittäin mielenkiintoinen, sillä jätehuollon toimintakenttä kehittyy jatkuvasti ja alalla tapahtuu paljon. Tämän opinnäytetyön tekeminen lisäsi omaa innostumistani alaa kohtaan sekä tietämystäni vähähiilisyydestä rakennusosalalla vielä entisestään. Toivottavasti se myös edesauttaa muita kiinnostumaan alasta sekä osoittaa, että kierrätyksen parissa on edelleen mahdollisuuksia kokonaan uusien ratkaisuiden innovointiin.

## LÄHTEET

Azzi, E. (2020). Overview of Biochar Deployment in Sweden & Related Life Cycle Assessments. Green Carbon Webinar. Haettu 23.7.2020 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=Wd1aSp3Fp-E&t=2s>

Bernhoff, S-O, Fransson, A-M, Malmberg, J. & Paulsson, M. (2019). The Hammenhög Biochar Plant – Residues and By-products to Produce Biochar and Residential Heating. *ECI Digital Archives*. Haettu 24.6.2020 osoitteesta [https://dc.engconfintl.org/biochar\\_ii/60/](https://dc.engconfintl.org/biochar_ii/60/)

Biolan. (2018). Biolan istutusmulta on vuoden puutarhatuote 2018. Haettu 24.6.2020 osoitteesta <https://www.biolan.fi/artikkelit/puutarhanhoito/biolan-istutusmulta-on-vuoden-puutarhatuote-2018>

Bionova. (2017). Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Haettu 27.7.2020 osoitteesta <https://www.ym.fi/download/noname/%7B4B3172BC-4F20-43AB-AA62-A09DA890AE6D%7D/129197>

Boreal Bioref. (n.d.). Toiminta. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <http://www.borealbioref.fi/fi/toiminta/>

Caraa, J., Crivillesc, E., Gómez, N., López, O., Martínez, O., Martínez, A., Morána, A., Payán, E., Rosasa, J.G., Sánchez, M.E., Sortc, X. & Ubaldec, J.M. (2014). Auto-thermal and Mobile Pyrolysis Reactor for Vineyard Residues with Low Pre-treatment. *Research Gate*. Haettu 10.8.2020 osoitteesta [https://www.researchgate.net/publication/262677419\\_Auto-thermal\\_and\\_mobile\\_pyrolysis\\_reactor\\_for\\_vineyard\\_residues\\_with\\_low\\_pre-treatment#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/262677419_Auto-thermal_and_mobile_pyrolysis_reactor_for_vineyard_residues_with_low_pre-treatment#fullTextFileContent)

Carbofex. (2019). Teknologia. Haettu 25.6.2020 osoitteesta <http://www.carbofex.fi/>

Carboner. (2019). The Carboners. Haettu 2.8.2020 osoitteesta <https://www.carboner.fi/the-carboners>

Carbons. (2020). Yritys. Haettu 25.6.2020 osoitteesta <https://carbons.fi/yritys/>

Charcoal Finland. (2020). EcoKoivu. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://charcoalfinland.fi/verkkokauppa/index.php>

Cheng, F., Colosi, L. & Luo, H. (2020). Slow Pyrolysis as a Platform for Negative Emissions Technology: An Integration of Machine Learning Models, Life Cycle Assessment, and Economic Analysis. *Energy Conversion and*



*Management*. 1.11.2020. Haettu 22.8.2020 osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890420308013>

CircHubs. (2017). Puinen rakennusjäte. Haettu 21.5.2020 osoitteesta <https://circhubs.fi/tietopankki/puinen-rakennusjate/>

Cornelissen, G., Gerber, H., Schmidt, P., Silvani, L., Smebye, A., Sørmo, E. & Thuneb, G. (2019). Waste Timber Pyrolysis in a Medium-Scale Unit: Emission Budgets and Biochar Quality. *Science of the Total Environment*. 14.2.2020. Haettu 27.6.2020 osoitteesta <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720308457>

Dahlbo, H. & Myllymaa, T. (2012). Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa - Yhteenveto Suomen jätehuollon elinkaariarvioinneista ja ohjeita päätöksentekoa varten. Helsinki: Ympäristöministeriö. Haettu 21.7.2020 [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41347/YMra24\\_2012\\_Elinkaariarviointien\\_kaytto\\_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41347/YMra24_2012_Elinkaariarviointien_kaytto_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Delete. (2020a). Hinnasto Pori. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://www.delete.fi/wp-content/uploads/Jatehinnasto-Pori-2.pdf>

Delete. (2020b). Hinnasto Uusimaa. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://www.delete.fi/wp-content/uploads/Jatehinnasto-Uusimaa-6.pdf>

Delete. (2020c). Hinnasto Pirkanmaa. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://www.delete.fi/wp-content/uploads/Jatehinnasto-Pirkanmaa-3.pdf>

Destamatic. (2014). Destamaticin puukivet ovat uuden sukupolven kierrätystuotteita. Haettu 21.5.2020 osoitteesta <https://www.epressi.com/tiedotteet/kiinteistot/destamaticin-puukivet-ovat-uuden-sukupolven-kierratystuotteita.html>

Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. (2008). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY. Haettu 14.5.2020 osoitteesta <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02008L0098-20180705>

ECHA. (n.d.). REACH-asetus tutuksi. Haettu 31.7.2020 osoitteesta <https://echa.europa.eu/fi/regulations/reach/understanding-reach>

Ecomation. (n.d.). About us. Haettu 25.6.2020 osoitteesta <http://www.ecomation.com/#ABOUTUS>

Elo, A-K. (2020a). Mitä on biohiili? *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hankkeen opetusaineisto. Haettu 21.7.2020 osoitteesta

<https://www.hamk.fi/projektit/biohiili-biohiilesta-bisnesta-hameeseen/#materiaalit-ja-linkit>

Elo, A-K. (2020b). Biohiilen valmistus. *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hankkeen opetusaineisto. Haettu 31.7.2020 osoitteesta <https://www.hamk.fi/projektit/biohiili-biohiilesta-bisnesta-hameeseen/#materiaalit-ja-linkit>

Elo, A-K. (2020c). Biohiilisovellukset. *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hankkeen opetusaineisto. Haettu 21.7.2020 osoitteesta <https://www.hamk.fi/projektit/biohiili-biohiilesta-bisnesta-hameeseen/#materiaalit-ja-linkit>

Elo, A-K., Kymäläinen, M. & Lahti, I. (2020). *Biohiilituotantoon soveltuvat jäte- ja sivuvirrat Kanta-Hämeen alueella*. Haettu 18.6.2020 osoitteesta [https://hameenamk-my.sharepoint.com/:b/g/personal/mkymalainen\\_hamk\\_fi/EdxHRSRU5HBGvTflp-FCtd0MBGhPQnQApsh9JVWI28SN7Tg?e=GQ2eOw](https://hameenamk-my.sharepoint.com/:b/g/personal/mkymalainen_hamk_fi/EdxHRSRU5HBGvTflp-FCtd0MBGhPQnQApsh9JVWI28SN7Tg?e=GQ2eOw)

Elo, A-K & Nummela, J. (2020). Biohiilen valmistus ja siinä syntyvä energia. Haettu 2.8.2020 osoitteesta <https://maaseudunhankinnat.fi/wp-content/uploads/2020/05/Elo-Nummela-HAMK-Biohiilen-valmistuksessa-syntyv%C3%A4-energia.pdf>

European Commission. (2019). Waste Framework Directive - End-of-waste Criteria. Haettu 17.6.2020 osoitteesta [https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/end\\_of\\_waste.htm](https://ec.europa.eu/environment/waste/framework/end_of_waste.htm)

Euroopan parlamentti. (2018). Kiertotalouspaketti: EU:n uudet tavoitteet kierrätykselle. Haettu 22.5.2020 osoitteesta <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/so-ciety/20170120STO59356/kiertotalouspaketti-eu-n-uudet-tavoitteet-kierrätykselle>

Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C., Kheshgi, H., Kobayashi, S., Kriegler, E., Mundaca, L., Séférian, R. & Vilariño M. (2019). *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*. Haettu 9.9.2020 osoitteesta [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15\\_Chapter2\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf)

GBCF. (2018). Rakennushankkeiden ympäristöluokitukset Suomessa. Haettu 2.8.2020 osoitteesta <https://figbc.fi/wp-content/uploads/2018/11/Rakennushankkeiden-ymp%C3%A4rist%C3%B6luokitukset-Suomessa.pdf>

Global Opportunity Explorer. (2018). Stockholm: World's First Urban Carbon Sink with Biochar. Haettu 24.6.2020 osoitteesta <https://goexplorer.org/stockholm-worlds-first-urban-carbon-sink-with-biochar/>

Gustafsson, M. (2019). Climate Positive Energy. Haettu 26.9.2020 osoitteesta <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/04/Mattias-Gustafsson-pieni.pdf>

Hagner, M., Keskinen, R., Sarvi, M. & Rasa, K. (2019). *Kasviperäiset pyrolyysituotteet liettelannan ravinnearvon turvaajina (PYSTI) -lainsäädäntöselvitys*. Haettu 9.9.2020 osoitteesta [https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/06/PYSTI-Lainsaadantoeselvitys-FINAL\\_final.pdf](https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/06/PYSTI-Lainsaadantoeselvitys-FINAL_final.pdf)

Häkkinen, E., Kauppila, J., Lazarevic, D., Salminen, J. & Turunen, T. (2018). *Jätteeksi luokittelun päättymisen hyödyt ja haitat*. Helsinki: Ympäristöministeriö. Haettu 17.6.2020 osoitteesta [http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160560/YMra\\_9\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160560/YMra_9_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Häkämies, S., Lehtonen, K., Lähdesmäki-Josefsson, K. & Pitkämäki, A. (2019). Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous. Haettu 16.5.2020 osoitteesta <https://www.ym.fi/download/none/%7B03D4B199-2FF6-43DA-93A3-96C19B5B78E0%7D/155463>

Innovaatiopalvelu. (n.d.). Tuotteet. Haettu 25.6.2020 osoitteesta <http://www.innovaatiopalvelu.fi/>

Ithaka Institute. (n.d.). Biochar as a building material. Haettu 18.6.2020 osoitteesta <https://www.ithaka-institut.org/en/ct/97>

Judl, J., Manninen, K. & Myllymaa, T. (2015). *Rakentamisen puujätteiden ja puupakkausjätteiden käsittelyvaihtoehtojen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset*. Helsinki: Ympäristöministeriö. Haettu 21.6.2020 osoitteesta [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159224/YMra\\_29\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159224/YMra_29_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kainulainen, A. (2019). Lietehiilihanke ja lietteen pyrolyysin koetoimintalaitos. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/04/Aino-Kainulainen.pdf>

Kiuru. (2014). *Rakennus- ja purkujätteen mukana syntyvän puujätteen hyödyntämisen kustannukset ja potentiaaliset hyödyntämiskohteet*. Pro gradu -tutkielma. Maatalous- metsätieteellinen tiedekunta. Helsingin Yliopisto. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/156093>

Koppa. (2015). Laadullinen tutkimus. Haettu 15.8.2020 osoitteesta <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/laadullinen-tutkimus>

Kuittinen, M (toim.). (2019). *Rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmä*. Helsinki: Ympäristöministeriö. Haettu 27.7.2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

Kykkänen, V. & Veteli, A. (2019). Stora Enso investoi 10 miljoonaa euroa koelaitokseen Kotkassa – yhtiö tähtää akkumarkkinoille. *Yle Uutiset*. 19.7.2019. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/3-10885254>

KvantiMOTV. (2010). Kyselylomakkeen laatiminen. Haettu 30.7.2020 osoitteesta <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kyselylomake/laatiminen.html>

Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 1.9.2007. Haettu 26.9.2020 osoitteesta [https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)

Lehmann, J. & Joseph, S. (toim.). (2009). Biochar for Environmental Management – Science and Technology. Haettu 26.9.2020 osoitteesta <http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%2013-01-09.pdf>

Mansikka, H. (2018). Ensimmäisenä Suomessa: Tampereen Hiedanrannassa tuotetaan hiilidioksidinegatiivista kaukolämpöä. *Yle Uutiset*. 23.10.2018, päivitetty 24.10.2018. Haettu 14.8.2020 osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/3-10470198>

Metsälehti. (2020). Energiapuun hinnat. Haettu 10.8.2020 osoitteesta <https://www.metsalehti.fi/puunhinta/energiapuun-hinnat/>

Narvi, J. (2018). Velvollisuus hakea ympäristölupaa jätteen käsittelyyn. Haettu 21.8.2020 osoitteesta <https://www.ym.fi/download/no-name/%7B1DDBC969-92F0-4C38-9E84-0A6E7617BEEA%7D/141611>

Netlet. (n.d.a). Raksanouto. Haettu 15.8.2020 osoitteesta <https://www.netlet.fi/raksanouto/>

Netlet. (n.d.b). Välivarastointi. Haettu 15.8.2020 osoitteesta <https://www.netlet.fi/valivarastointi/>

Netlet. (n.d.c). Rakennusoutlet. Haettu 15.8.2020 osoitteesta <https://www.netlet.fi/rakennusoutlet/>

Noireco. (2018b). Ratkaisut. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://noireco.fi/ratkaisut/>

Nousiainen, M. (2019). Rakentamisen ympäristövaikutukset. Haettu 14.5.2020 osoitteesta <https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2019-AK-267112.pdf>

Nummela, J. (2017). Keinoja hallittuun ravinteiden sidontaan ja kiertoon. Haettu 15.5.2020 osoitteesta [https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/08/Tietokortit\\_biohiili\\_final.pdf](https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2018/08/Tietokortit_biohiili_final.pdf)

Opintokeskus Sivis. (n.d.). SWOT-analyysi. Haettu 11.8.2020 osoitteesta <https://www.ok-sivis.fi/jarjestoarvioinnin-ilmansuuntia/arvioinnin-tiedonkeruun-menetelmia/swot-analyysi.html>

Palomaa, A. (2019). Tampereella tehdään biohiiltä ja kaukolämpöä ensimmäisten joukossa maailmassa – uusi laitos kymmenkertaistaisi tuotannon. *Yle Uutiset*. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/3-10873372>

Pakkanen, S. (2018). Wimao tekee roskista komposiittia. *Rakennustaito*. 29.10.2018, päivitetty 2.1.2019. Haettu 21.5.2020 osoitteesta <https://rakennustaito.fi/wimao-tekee-roskista-komposiittia/>

Palmqvist, K. (2019). Koivusta aiotaan jalostaa biohiiltä Kemijärvellä – selutehtaan tuotteiden myyntihinta ratkaisee koko ketjun kannattavuuden. *Lapin Kansa*. 15.4.2019. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <https://www.lapinkansa.fi/koivusta-aiotaan-jalostaa-biohiilta-kemijarvella-s/163944>

Pekki, L. (2017). *Jätepuun EoW-menettely teollisuuslaitoksen raaka-aineen käsittelyssä*. Opinnäytetyö. Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 18.6.2020 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/122597/pekki\\_liisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/122597/pekki_liisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Puro.earth. (2020a). Biochar – Finland. Haettu 21.7.2020 osoitteesta <https://puro.earth/services/biochar-finland-100008>

Puro.earth. (2020b). Methodologies. Haettu 20.7.2020 osoitteesta <https://puro.earth/methodologies/>

Rakennusteollisuus. (2020). Leijonanosa rakennetun ympäristön päästöistä aiheutuu kiinteistöjen lämmityksestä. Haettu 29.7.2020 osoitteesta <https://www.rakennusteollisuus.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2020/leijonanosa-rakennetun-ympariston-paastoista-aiheutuu-kiinteistojen-lammityksesta/>

Redling, A. (2019). Why producing biochar from wood is more viable than ever for C&D recyclers? *Construction & Demolition Recycling*. 3.12.2019. Haettu 18.6.2020 osoitteesta <https://www.cdrecycler.com/article/biochar-construction-demolition-recycling-wood/>

Rinne, K. (2016). Puukivi – pitkä tie ideasta valmiiksi tuotteeksi. Haettu 18.6.2020 osoitteesta <https://betoni.com/wp-content/uploads/2016/11/8.-Puukivi-%E2%80%93-Pitk%C3%A4-tie-ideasta-valmiiksi-tuotteeksi-Kimmo-Rinne-Destaclean-Oy.pdf>

Sallinen, P. (2019). Puro poistaa hiilidioksidia. *Energia Uutiset*. 17.4.2019. Haettu 20.7.2020 osoitteesta <https://www.energiuutiset.fi/uutiset/puro-poistaa-hiilidioksidia.html>

Salmela, J. (2018). Biokaasulaitoksilla syntyvät kierrätyslannoitteet tulevaisuudessa. Haettu 25.6.2020 osoitteesta [https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/09/Tuorla-Nesteravinne\\_2018.pdf](https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2018/09/Tuorla-Nesteravinne_2018.pdf)

Salo, E. (2018). *Current State and Future Perspectives of Biochar Applications in Finland*. Pro gradu -tutkielma. Corporate Environmental Management. Jyväskylä University School of Business and Economics. Haettu 9.9.2020 osoitteesta <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/56920/URN%3aNB%3afi%3ajyu-201801261337.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salo, J. (2019). Biohiilessä on potentiaalia. *Pyhjärven Sanomat*. 7.9.2019. Haettu 26.6.2020 osoitteesta <http://www.pyhajarvensanomat.fi/sivut/biohiilessä-on-potentiaalia>

Salo, E., Riikonen, A., Tammeorg, P. & Elo, A. (2018). Map of biochar activities in Finland. *Finnish Biochar Association (FBA)*. Haettu 24.6.2020 osoitteesta <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiilikartta/>

Skanska. (n.d.). Hyllie Terrass. Haettu 28.7.2020 osoitteesta <https://elin-kaarilaskenta.fi/wp-content/uploads/sites/6/2020/03/12-Skanska.pdf>

Skanska. (2020). Skanska invests about SEK 590 M in a climate neutral office project in Malmö, Sweden. Haettu 28.7.2020 osoitteesta <https://group.skanska.com/media/242187/Skanska-invests-about-SEK-590-M-in-a-climate-neutral-office-project-in-Malmo%2C-Sweden>

Schmidt, H-P., (2012). 55 Uses of Biochar. *Ithaka journal*. Haettu 9.9.2020 osoitteesta <http://www.ithaka-journal.net/druckversionen/e082012-55-uses-of-bc.pdf>

Suomen biohiilyhdistys. (n.d.). Biohiili Suomessa. Haettu 22.6.2020 osoitteesta <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiilikartta/>

Suomen Riskienhallintayhdistys. (n.d.). Nelikenttäänalyysi – SWOT. Haettu 11.8.2020 osoitteesta <https://pk-rh.fi/tools/swot.html>

Tigercat. (2020). 6050 Carbonator. Haettu 10.8.2020 osoitteesta <https://www.tigercat.com/product/6050-carbonator/>

Tilastokeskus. (2020a). Jätteiden käsittely 2018, 1000 tonnia. Haettu 21.6.2020 osoitteesta [http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate\\_2018\\_2020-06-17\\_tau\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-06-17_tau_002_fi.html)

Tilastokeskus. (2020b). Jätteiden synty toimialoittain 2018, 1 000 tonnia. Haettu 26.6.2020 osoitteesta [https://stat.fi/til/jate/2018/jate\\_2018\\_2020-06-17\\_tau\\_001\\_fi.html](https://stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-06-17_tau_001_fi.html)

Tilastokeskus. (2020c). Polttoaineluokitus 2020 - Polttoainemerkkien ja muiden energialähteiden määritelmät 2020. Haettu 21.5.2020 osoitteesta [https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus\\_maaritelmät\\_2020.pdf](https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_maaritelmät_2020.pdf)

Tilastokeskus. (2020d). Energian hankinta ja kulutus 2019. Haettu 5.8.2020 osoitteesta [https://www.stat.fi/til/ehk/2019/04/ehk\\_2019\\_04\\_2020-04-17\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/ehk/2019/04/ehk_2019_04_2020-04-17_tie_001_fi.html)

Tolpo, A. (2020). Suomi pulassa rakennusjätteen kanssa – neljän vuoden päästä alkaa aika kierrätyksen mallimaana, mutta omakin tavoite on liian kaukana. *Yle Uutiset* 9.5.2020. Haettu 31.7.2020 osoitteesta <https://yle.fi/uutiset/3-11341859>

Tupala, T. (2020). Onko rakennusjätteen 70 % kierrätystavoite mahdollista saavuttaa? Haettu 2.8.2020 osoitteesta <https://lassikko.lt.fi/onko-rakennusjätteen-kierratystavoite-mahdollista-saavuttaa>

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2014). *Energia- ja ilmastotiekartta 2050 Parlamentaarisen energia- ja ilmastokomitean mietintö 16. päivänä lokakuuta 2014*. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Haettu 5.8.2020 osoitteesta <https://tem.fi/documents/1410877/2628105/Energia-+ja+ilmastotiekartta+2050.pdf/1584025f-c5c7-456c-a912-aba0ee3e5052>

USBC. (2019). How to Say Zero in Swedish: NollCO2 Climate Neutral Building. Haettu 28.7.2020 osoitteesta <https://www.usgbc.org/education/sessions/greenbuild-2019/how-say-zero-swedish-nollco2-climate-neutral-building-12707728>

Vahanen. (2017). Jätepuun tuotteistaminen edistää kierrättämistä. Haettu 18.6.2020 osoitteesta <https://vahanen.com/fi/vahanen/ajankoh-taista/jatepuun-tuotteistaminen-edistaa-kierrattamista/>

Valtioneuvosto. (2019). *Osallistava ja osaava Suomi – Sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta*. Helsinki: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, julkaisu- ja tuotanto. Haettu 27.6.2020 osoitteesta [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Valtioneuvosto. (n.d.). Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. Haettu 9.8.2020 osoitteesta <https://valtioneuvosto.fi/marin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>

Valtioneuvoston asetus jätteenpolttamisesta 151/2013. Haettu 20.6.2020 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130151>

Varis, S. (2019). *Vähähiilinen rakentaminen*. Opinnäytetyö. Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma. Oulun Ammattikorkeakoulu. Haettu 27.7.2020 osoitteesta <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2019112722748>

Vehkalahti, K. (2014). Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Helsinki: Helsingin yliopisto. Haettu 29.7.2020 osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/305021/Kyselytutkimuksen-mittarit-ja-menetelmat-2019-Vehkalahti.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VTT. (2014). Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön – VTT-M-01931-14. Haettu 21.5.2020 osoitteesta <https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/5097.pdf>

Ympäristö. (2020). Jätteiden kansainväliset siirrot. Haettu 17.6.2020 osoitteesta [https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi/luvat\\_ja\\_ymparisto-vaikutusten\\_arviointi/luvat\\_ilmoitukset\\_ja\\_rekisterointi/Jatteiden\\_kansainvaliset\\_siirrot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/asiointi/luvat_ja_ymparisto-vaikutusten_arviointi/luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Jatteiden_kansainvaliset_siirrot)

Ympäristöministeriö. (2019a). Vähähiilinen rakentaminen. Haettu 16.5.2020 osoitteesta <https://www.youtube.com/watch?v=35vi55fXphi>

Ympäristöministeriö. (2019b). Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityökalu. Haettu 2.8.2020 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/download/nome/%7BD4EE18D2-E07C-48A2-88A5-D266705A0498%7D/149235>

Ympäristöministeriö. (2020a). Hallituksen esitys jätelain ja eräiden muiden lakien muuttamisesta – perustelut. Haettu 26.5.2020 osoitteesta <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/DownloadProposalAttachment?attachmentId=11835>

Ympäristöministeriö. (2020b). Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Haettu 27.7.2020 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/fi->



[FI/Maankaytto ja rakentaminen/Rakentamisen ohjaus/Vahahiilinen rakentaminen/Vahahiilisen rakentamisen tiekartta](#)

## Kyselytutkimuksen kysymykset



## Biohiilikysely

Kysely on osa bio- ja elintarviketekniikan sekä kestävän kehityksen opinnäytetöitä. Lisäksi kyselyllä kerätään tietoa Hämeen Ammattikorkeakoulun Biohiilestä bisnestä Hämeeseen – hanketta varten. Vastauksia käsitellään luottamuksellisesti, eikä kyselyyn vastanneita yrityksiä voida tunnistaa opinnäytetyön tekstistä.

Kyselyssä on 11 kysymystä ja siihen vastaaminen vie noin 5 minuuttia.

Kiitos vastauksista ja kyselyyn käyttämästäne ajasta!

\*Pakollinen

Mitä seuraavista palveluista yrityksesi tai yritys, jossa työskentelet tuottaa? \*

Voitte valita useita vastauksia

- Betonia ja kiviainesmateriaaleja
- Rakennuspalveluita (uudisrakentaminen, korjausrakentaminen, purkutyöt yms.)
- Tienrakennus- ja päällystepalveluita (asfaltti yms.)
- Muu: \_\_\_\_\_

Kuinka monta henkilöä yrityksessänne työskentelee? \*

- 1-10 henkilöä
- 11-50 henkilöä
- 51-100 henkilöä
- Yli 100 henkilöä

Puujäte on rakennusjätteen toiseksi suurin yksittäinen jätejäte, ja siitä valtaosa hyödynnetään tällä hetkellä energiantuotannossa. Tämä tekee rakennusjätteen 70 % kierrätystavoitteesta haastavan saavuttaa. Tuoreen Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous- selvityksen mukaan biohiiltä kannattaa tarkastella tulevaisuudessa rakennusjätepuun materiaalihyödyntämisen mahdollisuutena. \*

Jos toiminnassanne syntyy puujätettä, olisitteko valmiita toimittamaan sitä biohiili- yrittäjälle tai ympäristöhuoltoyritykselle biohiilen raaka-aineeksi:

- Kyllä, mikäli ympäristöhuoltoyritys lajittelee puujätteen ja toimittaa sen biohiilen valmistajalle
- Kyllä, mikäli siitä ei synny lisäkustannuksia tai lisätyötä (pidentynyt kuljetusmatka/ lisääntynyt lajittelun tarve yms.)
- Kyllä, vaikka tästä syntyisi lisäkustannuksia tai lisätyötä
- Ainoastaan siinä tapauksessa, että laki tai asetukset velvoittavat tähän
- Emme ole valmiita lajittelemaan puujätettä, emmekä maksamaan lajittelusta
- Toiminnassamme ei synny puujätettä

Kuinka monta prosenttia enemmän jätepuun toimittaminen biohiilen raaka-aineeksi saisi kustantaa nykyiseen kustannukseen verrattuna? \*

- < 10%
- 11-50 %
- 51-100 %
- > 100 %
- Jätepuun toimittaminen biohiilen raaka-aineeksi ei saisi maksaa nykyistä enempää
- Emme ole valmiita toimittamaan jätepuuta biohiilen raaka-aineeksi

Seurataanko yrityksessänne jätteiden kierrätysastetta? \*

- Seurataan aktiivisesti ja tehdään toimenpiteitä kierrätysasteen nostamiseksi
- Seurataan, mutta ei tavoitteellisesti
- Ei seurata

Rakennusten hiilijalanjäljen pienentäminen tulee osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä, jolloin esimerkiksi rakennusmateriaaleilla ja materiaalitehokkuudella tulee olemaan suuri merkitys. Oletteko miettineet yrityksessänne jo nyt, kuinka uudet rakennusmääräykset otetaan toiminnassanne huomioon? \*

- Olemme, ja kaipaamme lisää ideoita ja ratkaisuja asiaan
- Olemme, mutta emme kaipaa lisää ideoita tai ratkaisuita
- Emme ole ottaneet asiaa vielä huomioon toiminnassamme
- Asia ei koske meidän yritystämme

Toivovatko asiakkaanne teiltä ympäristöystävällisiä tuotteita/palveluita? \*

- Kyllä
- Ei

Olisitteko kiinnostuneita käyttämään biohiilipohjaisia materiaaleja? Jos olisitte, niin mitä alla olevista? Voitte valita useita vastauksia. \*

Biohiilipohjaista...

- Betonia
- Sementtiä
- Pinnoitetta
- Eristysmateriaalia
- Asfalttia
- Emme ole kiinnostuneita
- Muu: \_\_\_\_\_

Aikooko yrityksenne tehdä toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi lähivuosina? \*

- Kyllä
- Ei
- En tiedä

Puu sitoo hiiltä, mutta ei ole hyvä hiilivarasto. Kun puu poltetaan, hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään. Mikäli puu pyrolysoidaan, jopa 50 % sen sisältämästä hiilidioksidista sitoutuu biohiileen jopa tuhansiksi vuosiksi. \*

Voisitteko kuvitella kompensoivanne yrityksenne hiilidioksidipäästöjä biohiilisovelluksilla?

- Kyllä
- Ei
- Ehkä

Puu sitoo hiiltä, mutta ei ole hyvä hiilivarasto. Kun puu poltetaan, hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään. Mikäli puu pyrolysoidaan, jopa 50 % sen sisältämästä hiilidioksidista sitoutuu biohiileen jopa tuhansiksi vuosiksi. \*

Voisitteko kuvitella kompensoivanne yrityksenne hiilidioksidipäästöjä biohiilisovelluksilla?

- Kyllä
- Ei
- Ehkä

Millaisia toimia toivoisitte biohiiltä valmistavilta yrityksiltä, julkisilta tahoilta, kunnalta tai valtiolta, jotka helpottaisivat biohiilipohjaisten materiaalien käyttämistä tai käyttöönottoa yrityksessänne? \*

Esimerkiksi biohiilen kokeilun tukeminen tai julkiset biohiiliprojektit.

Oma vastauksesi

---

Suuri kiitos osallistumisestasi! Jätäthän yhteystietosi alle, mikäli sinuun tai yritykseen jossa työskentelet saa olla yhteydessä haastattelua varten.

Oma vastauksesi

---

**Lähetä**

Älä koskaan lähetä salasanaa Google Formsin kautta.

Google ei ole luonut tai hyväksynyt tätä sisältöä. [Ilmoita väärinkäytöstä](#) - [Palveluehdot](#) - [Tietosuojakäytäntö](#)

Google Forms

Kyselytutkimuksen saate

Arvoisa vastaanottaja,

olemme Hämeen Ammattikorkeakoulun opiskelijoita ja teemme opinnäytetöitämme rakennusjätepuun hyödyntämisestä biohiilen raaka-aineena sekä rakennusjätepuusta valmistetun biohiilen teknisistä sovelluksista rakennusteollisuudessa. Osana opinnäytetöitämme toteutamme tutkimuskyselyn rakennusteollisuuden alalla toimiville yrityksille selvittääksemme toimijoiden kiinnostusta biohiilipohjaisiin tuotteisiin ja puujätteen tarkempaan lajitteluun.

Puujäte on rakennusjätteen toiseksi suurin yksittäinen jätejäte, ja siitä valtaosa hyödynnetään tällä hetkellä energiantuotannossa. Tämä tekee rakennusjätteen 70 % kierrätystavoitteesta haastavan saavuttaa. Tuoreen *Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen kiertotalous-* selvityksen mukaan biohiiltä kannattaa tarkastella tulevaisuudessa rakennusjätepuun materiaalihyödyntämisen mahdollisuutena. Opinnäytetöidemme tarkoituksena onkin selvittää, voisiko rakennusjätepuu toimia biohiilen raaka-aineena ja biohiili olla jatkossa yksi mahdollinen rakennusjätepuun käsitteilyratkaisu. Lisäksi selvitämme, millaiset vaikutukset tällä olisi biohiilen valmistusprosessiin sekä rakennusjätepuun hiilijalanjälkeen.

Kysely sisältää 11 kysymystä, joihin toivoisimme teidän vastaavan 19.6.2020 mennessä. Kyselyyn pääsette vastamaan tästä linkistä: <https://forms.gle/QFBxSJ743Xtv1D6f6>. Kyselyyn vastaaminen kestää vain noin viisi minuuttia.

Vastauksia käsitellään luottamuksellisesti, eikä kyselyyn vastanneita yrityksiä voida tunnistaa opinnäytetyön tekstistä.

Suuret kiitokset vastauksista jo etukäteen!

Ystävällisin terveisin,

Silja-Sofia Lassilantuomi  
Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma

Satu Åhlström  
Kestävän kehityksen koulutusohjelma

Lisätietoja:

Biohiili: <https://www.suomenbiohiili.fi/biohiili/>

*Biohiilestä* *bisnestä* *Hämeeseen -*  
hanke <https://www.hamk.fi/projektit/biohiili-biohiilesta-bisnesta-hameeseen/>

Sadun opinnäytetyön toisena tilaajana toimii ympäristöhuoltoyritys Remeo Oy <https://remeo.fi/>



### **Rakennusliikkeiden haastattelut**

1. Onko puujätteen energiahyödynnys muodostunut ongelmaksi sertifikaattien (LEED, BREEAM, Joutsenmerkki tms.) tai yrityksenne omien kierrätystavoitteiden saavuttamiseksi?

#### Rakennusliike 1:

Ei, koska on keskitytty asuntorakentamiseen, eikä suuria toimitilahankkeita, joissa nämä sertifikaatit ovat yleisiä, ole ollut. Tulevaisuudessa ympäristöasiat tulevat olemaan yhä etenevässä määrin tärkeitä myös asuntorakentamisen puolella. Yrityksessä seurataan kuitenkin jäteraportteja tarkasti.

#### Rakennusliike 2:

Ei ole tietoa, että asia olisi haitannut sertifikaattien osalta. Omien tavoitteiden osalta ei ole ollut haitaksi tähän asti, mutta saattaa nousta ongelmaksi lähitulevaisuudessa, kun yrityksen kierrätystavoitteita nostetaan.

2. Olisiko yrityksenne valmis tekemään puujätteen tarkempaa lajittelua työmaalla, mikäli ohjeistus tähän olisi erittäin selkeä ja helppo?

#### Rakennusliike 1:

Yritys olisi valmis tekemään tarkempaa lajittelua, mikäli vastaanottaja pystyisi hyödyntämään puujätteen materiaalina. Tässäkin yritys kuitenkin tekisi niin, kuin on käytettävissä olevan tilan ja kustannusten kannalta järkevää. Nykyisin lajitellaan vastaanottavan lajittelulaitoksen logiikkaa noudattaen, eikä tarkempaan lajitteluun ole ollut tarvetta.

#### Rakennusliike 2:

Yritys olisi valmis tekemään tarkempaa lajittelua, mutta tilahaasteet huomioiden.

3. Ovatko biohiili ja sen tuomat mahdollisuudet teille entuudestaan tuttuja?

#### Rakennusliike 1:

Biohiili on terminä tuttu, mutta ei ole aiemmin huomannut sen esiintyvän rakentamisen yhteydessä. Aiheena biohiili on erittäin mielenkiintoinen.

Rakennusliike 2:

Ei ollut tuttu aikaisemmin, mutta on aiheena erittäin mielenkiintoinen.

4. Rakennusten vähähiilisyyden arviointi tulee osaksi rakennusmääräyksiä 2020-luvulla, ja Ympäristöministeriö onkin julkaissut ensimmäisen version rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmästä, jolla arviointia voidaan toteuttaa. Onko yrityksenne jo ottanut arviointimenetelmän kokeiluun tai onko sen kokeilu jo suunnitteilla jossain tietyssä rakennushankkeessa?

Rakennusliike 1:

Ei ole vielä käytetty, mutta tullaan mahdollisesti käyttämään tulevissa projekteissa joko tilaajan pyynnöstä tai omasta toimesta. Tukee myös yrityksellä käytössä olevan ISO-sertifikaatin tavoitteita.

Rakennusliike 2:

Ei ole ollut vielä kokeilussa. Työkalun integrointia osaksi yrityksen järjestelmiä tullaan selvittämään, sillä yritys on pitkälle digitalisoitunut. Toinen vaihtoehto on ostaa laskentapalvelu ulkopuoliselta toimijalta.

5. Onko teillä ollut tai tulossa erityisesti vähähiilisyyteen keskittyviä rakennushankkeita, jossa esimerkiksi materiaalivalinnat, jätehuolto tms. olisi otettu tästä näkökulmasta huomioon?

Rakennusliike 1:

Ei vielä, mutta jatkossa tullaan keskittymään enemmän myös toimitilarakentamiseen, joissa nämä ovat enemmän tapetilla. Varmasti tähän suuntaan tullaan menemään tulevaisuudessa, ja sinne myös halutaan mennä.

Rakennusliike 2:

Yrityksellä on ollut paljon LEED- ja BREEAM- kohteita, joissa nämä asiat otetaan huomioon. Yritys tiedostaa, että kyseiset asiat tullaan ottamaan eri tahojen puolesta yhä enemmän huomioon tulevaisuudessa.

6. Kuinka tärkeänä pidätte, että jätteenne käsitellään Suomessa?

Rakennusliike 1:

Kotimainen jätteenkäsittely ja ylipäättänsä kotimaisuus koetaan tärkeäksi ja se nähdään myös arvokysymyksenä, sillä jätevastuuta ei haluta siirtää toiseen maahan. Myös asiakkaat saattavat kokea asian tärkeäksi.

Rakennusliike 2:

Yritys kannattaa kotimaista käsittelyä, mutta ei vastusta jätteen ulkomaista käsittelyä, mikäli vastaanottaja maa pystyy käsittelemään jätteen paremmin ja mikäli se on myös ympäristönäkökulmasta järkevää.

7. Uskotteko, että vähähiilinen rakentaminen tuo yrityksellenne uusia liiketoimintamahdollisuuksia?

Rakennusliike 1:

Varmasti tuo, mikäli ollaan hyvissä ajoin liikkeellä ennen muita samankokoisia toimijoita.

Rakennusliike 2:

Tuo varmasti, ja asioita tullaan viemään yhä enemmän tähän suuntaan rakennuttajien, regulaation ja rahoitusmallien toimesta.

8. Näettekö, että biohiilipohjaisilla ratkaisuilla voisi olla rooli yrityksesänne tulevaisuudessa ja jos näette, niin millainen?

Rakennusliike 1:

Eryteisesti materiaalit nähdään potentiaalisena osana yrityksen tulevaa liiketoimintaa. Asiaa helpottaa, mikäli ne ovat valmiita tuotteita, ja hinnoitetaan sopivia myös asiakkaille. Eryteisesti betonipuolen olisi hyvä profiloitua ympäristöystävällisempänä ja laadukkaampana toimialana.

Rakennusliike 2:

Kierrätysraaka-aineista valmistetut rakennusmateriaalit yleistynevät vähähiilisemmän suunnittelun ja regulaation kautta tulevaisuudessa. Näitä ollaan valmiita ottamaan osaksi yrityksen liiketoimintaa, mikäli ne vastaavat laadultaan neitseellisistä raaka-aineista valmistettuja materiaaleja.

## **Biohiilialan toimijoiden haastattelut**

### Suomen Biohiiliyhdistys

#### 1. Miltä biohiilen tulevaisuus Suomessa mielestänne näyttää?

Potentiaali on korkea ja erilaisia mahdollisuuksia on paljon, mutta biohiilen tulevaisuus on tällä hetkellä kiinni pienestä joukosta toimijoita. Biohiileen liittyviä suunnitelmia ja tehdashankkeita on ajatuksen tasolla paljon, mutta kaikki eivät välttämättä toteudu. Pienet laitosvalmistajat eivät ole saaneet skaalattua tuotannon hinta/laatusuhdetta tehoon nähden sopivaksi. Mikäli näistä haasteista päästään yli, on biohiili kasvava ala tulevaisuudessa.

#### 2. Millaiset markkinat Suomessa on tällä hetkellä ja millaiset näette niiden olevan tulevaisuudessa? Onko biohiiliratkaisuiden ja biohiilen kysyntä mielestänne kasvussa Suomessa?

Viherrakennuspuolella ammattipuolen ratkaisut ovat hiukan kasvussa. Kulluttajapuolellakin kiinnostus on lisääntynyt. Sinne suunnattujen biohiilipohjaisten puutarhatuotteiden valikoima onkin laajentunut merkittävästi, ja niitä on saatavilla jo ympäri Suomen. Myös kiinnostus teräshiileen on kasvussa, ja sillä on valmiit ostajat. Tässä käyttökohteessa hiilen hinta on kuitenkin alhainen, joten toimintaa on vaikeaa saada kannattavaksi.

#### 3. Millaisia biohiililaitossuunnitelmia Suomessa on?

Ympäri Suomea on käynnissä biojalostamohankkeita, joista useissa tutkitaan mahdollisuutta valmistaa myös biohiiltä. Stora Ensolla, Carbofox Oy:llä ja HSY:llä on käynnissä biohiililaitoshankkeita. Lisäksi useat yrittäjät selvittävät jatkuvasti alan mahdollisuuksia, esimerkiksi mobiililaitosten käyttöönottoa purkupuun käsittelyssä.

#### 4. Toisiko jättemateriaalin käyttö mielestänne lisäarvoa biohiilen tuotantoon?

Biohiilen tuotannon perusidea on usein hyödyntää sellaisia materiaaleja, joita ei voi muulla tavalla hyödyntää. Tämä on iso lisäarvo, sillä raaka-aine määrittelee sen, kuinka järkevää ja hyväksyttävää biohiilen tuotanto on.

#### 5. Voisiko puhtaalle, mutta ei sertifioidun biohiilen laatua vastaavalle biohiilelle olla mielestänne kysyntää?

Biohiilen valmistukseen ja laatuun liittyvät sertifikaatit perustuvat vapaaehtoisuuteen ja niiden käyttöönottoa suositellaan, sillä ne helpottavat biohiilen hankintaa. Sertifikaattien vaatiminen ei kuitenkaan ole vielä kovin

yleistä, sillä biohiilen laatu voidaan osoittaa myös muulla tavalla hyväksytysti. Suomen Biohiiliyhdistys on laatinut biohiilen hankintaan laatuohjeen.

6. Entä minkälaisiin käyttötarkoituksiin tällaista biohiiltä voisi mielestänne käyttää?

Esimerkiksi maanparannukseen, hulevesien suodattamiseen ja savukaasujen suodattamiseen aktiivihiihen sijasta, mikäli biohiilen pitoisuudet pysyvät annetuissa raja-arvoissa. Epäpuhtaammat biohiilet saattavat soveltua esimerkiksi rakennusmateriaaleihin, kuten asfalttiin ja betoniin. Erityisesti aktiivihiihen markkina on Euroopassa miljardien arvoinen bisnes, joten biohiilen soveltuvuutta sen korvaajaksi kannattaisi tutkia.

7. Näettekö, että hiilikompensaatiot tulevat olemaan jatkossa merkittävä osa biohiilialan liiketoimintaa?

Hiilikompensaatioissa on iso potentiaali. Kompensoidun hiilidioksiditonnin hinnalla ei pysty ostamaan biohiiltä, mutta kompensatio toisi biohiilen hintaa alaspäin, joka mahdollistaisi uusia käyttökohteita biohiilelle, jotka eivät tällä hetkellä ole taloudellisesti järkeviä. Myös biohiilen tarjoamat muut hyödyt kannattaisi laskea osaksi kompensatiota, kuten fosforipäästöjen hillitseminen sekä hyödyt viherrakentamiselle. Hiilikompensaatioissa biohiilen tuotantoprosessi ja raaka-aine ovat tärkeitä, esimerkiksi päästöjä ilmaan ei saisi syntyä.

8. Minkälaista lisäarvoa biohiilen sivutuotteet lämpö, tisleet ja öljyt tuovat?

Biohiilen tuotantoa ei kannata ajatella vain biohiilen tuleva käyttökohde edellä, vaan sen ympärille kannattaa rakentaa kokonainen bisnesmalli, jossa nämä arvokkaat sivutuotteet ja niiden hyödyntäminen on otettu huomioon. Esimerkiksi hukkalämpö kannattaa ohjata lähelle toisen yrityksen lämmön tarpeeseen. Tisleissä ja öljyissä on paljon potentiaalia, mutta niiden parhaiden hyödynnysmahdollisuuksien selvittäminen vaatii vielä lisäselvitystä niiden raskaan sääntelyn vuoksi.

9. Onko kiinteällä laitoksella etuja verrattuna mobiililaitokseen? Millaisiin kohteisiin eri laitostyyppit soveltuvat parhaiten?

Kiinteä laitos soveltuu laajamittaiseen ja jatkuvaan tuotantoon, esimerkiksi sahan yhteydessä se toisi paljon lisäarvoa. Mobiililaitokset soveltuvat parhaiten projekteihin, jossa syntyy tietyn aikaa paljon raaka-ainetta. Tällainen voisi olla esimerkiksi purkutyömaa.

Carboner Oy

1. Minkälaisia lupia biohiilivoimalan perustamiseen tarvitaan, esim. ympäristölupa?

Ympäristölupaa ei tarvita alle 3 000 tn/vuosi tuottaville laitoksille. Normaali rakennuslupamenettely oli riittävä esim. Hirvensalmella, kun laitos rakennettiin teollisuuskaava alueelle.

2. Tiedätekö, olisiko sääntely raskaampaa, mikäli biohiilen raaka-aineena käytettäisiin jättemateriaalia?

Vaikea sanoa, mutta siihen vaikuttaa mitä jättemateriaalia pyrolysoidaan. Jos se on purkupuuta, menettely on varmasti yksinkertaisempi, koska siihen riittää savukaasuanalyysit.

3. Toisiko jättemateriaalin käyttö mielestänne lisäarvoa biohiilen tuotantoon?

Purkupuun käyttöbiohiilen valmistukseen tuo lisäarvoa, koska se täyttää kiertotalouden kriteerit. Purkupuun polttaminen energiaksi palauttaa sitoutuneen hiilidioksidin takaisin ilmakehään 99 %:sti, mutta jos sama puu pyrolysoidaan ja käytetään biohiilenä esim. maanparannukseen, niin ilmakehään palautuu vajaan 50 % hiilidioksidia.

4. Olisitteko valmiita käyttämään rakennusjätepuuta biohiilen tuotannossa?

Olemme valmiita käyttämään rakennuspuuta biohiilentuotantoon ja suunnitteilla on useampia tuotantoyksiköitä, joissa hyödynnetään purkupuuta.

5. Voisiko puhtaalle, mutta ei sertifioidun biohiilen laatua vastaavalle biohiilelle olla mielestänne kysyntää?

Kysyntää on puhtaalle hiilelle.

6. Entä minkälaisiin käyttötarkoituksiin tällaista biohiiltä voisi mielestänne käyttää?

Maanparannus, kompostointi, kasvualustat, hulevesienkäsittely jne.

7. Onko biohiiliratkaisuiden ja biohiilen kysyntä mielestänne kasvussa Suomessa?

Biohiilenkäyttö Suomessa kasvaa vuosi vuodelta, mutta sen käyttö vaatii paljon neuvontaa, miten sitä voidaan hyödyntää eri kohteissa.

8. Miltä biohiilen tulevaisuus Suomessa mielestänne näyttää?

Tulevaisuus Suomessa näyttää hyvältä, mutta viennissä on tulevaisuus esim. Afrikan "hiekkamaat".

9. Näettekö, että hiilikompensaatiot tulevat olemaan jatkossa merkittävä osa liiketoimintaa?

Kompensaatiot ovat osa liiketoimintaa, mutta eivät ole merkittävää eli yli 50 % liiketoiminnasta.

10. Mitä etuja mobiiliratkaisulla on kiinteään biohiililaitokseen verrattuna?

Mobiiliratkaisut ovat merkittävässä roolissa, koska mobiiliratkaisun hinta on 1/10 kiinteästä laitoksesta, lupa-asiat yksinkertaisempia, yrittäjävetoisia jne.

11. Kuinka näette mobiiliratkaisuiden tulevaisuuden ja käyttäjäkunnan?

Maa- metsätalous yrittäjät, purkuun vastaanottajat, piensahat jne.

12. Minkälaista lisäarvoa biohiilen sivutuotteet lämpö, tisleet ja öljyt tuovat?

Lämmön tuotanto 10-15 % lisäarvon kannattavuuteen ja tisle on erittäin merkittävässä roolissa, koska tisleettä tulee kiloissa saman verran kuin hiiltä, jos tisleestä saadaan vaikka muuta kymmenen senttiä kilolta, niin esim. mobiililaitteiden tuotanto on erittäin kannattavaa.

### Carbofex Oy

1. Minkälaisia lupia biohiilivoimalan perustamiseen tarvitaan, esim. ympäristölupa?

Riippuu paljon laitoksen koosta ja tyypistä, mutta ympäristölupa todennäköisesti tarvitaan. Eri toimijoiden laitoksille on myönnetty joitain ympäristölupia Suomessa. Biohiilitehtaita on vähän ja ne ovat hiukan eri tyyppisiä, joten ympäristöviranomaisen ratkaisee luvan tarpeen laitospäätöksellä.

2. Tiedätkö, olisiko sääntely raskaampaa, mikäli raaka-aineena käytettäisiin jättemateriaalia?

Jättemateriaalien käyttö pyrolyysilaitoksen raaka-aineena on ympäristöluvan alaista toimintaa ja tämän vuoksi jättemateriaalia käyttävä laitos kannattaa rakentaa erilleen.

3. Toisiko jättemateriaalin käyttö mielestänne lisäarvoa biohiilen tuotantoon?

Carbofex Oy:n oman tämänhetkisen tuotannon näkökulmasta ei, mutta jätteen käsittelyn ja energiantuotannon näkökulmasta ehdottomasti kyllä. Jättemateriaalista saataisiin raaka-ainetta, joka tekisi prosessista mahdollisesti kannattavan esimerkiksi energiantuotannon näkökulmasta. Mätää puuta ei kannata hiiltää.

Carbofex Oy tuottaa ECB-Premium/Feed-luokan biohiiltä vaativille asiakkaille ja Carbofex Natural biohiiltä voi käyttää esimerkiksi maanparannusaineena, ruoan tuotannossa ja aktiivihiihtituotteena. Yrityksen tuotanto on myyty loppuun seuraavaksi kahdeksi vuodeksi eikä jättemateriaalien käyttö hiihtuotteen raaka-ainemateriaalina ole Carbofex Oy:llä tällä hetkellä suunnitelmissa.

4. Olisitteko valmiita käyttämään rakennusjätepuuta biohiilen tuotannossa?

Carbofex Oy haluaa tuottaa mahdollisimman korkealaatuista biohiiltä, ja tämän hetkiselällä biohiilellä on EBC-sertifikaatin korkein luokitus, joka mahdollistaa laajat käyttökohteet. Carbofex Oy kuitenkin valmistaa biohiililaitoksia myös myyntiin, joten erityisesti rakennusjätepuuta raaka-aineenaan käyttävän laitoksen valmistaminen olisi mahdollista.

5. Voisiko puhtaalle, mutta ei sertifioidun biohiilen laatua vastaavalle biohiilelle olla mielestänne kysyntää?

Kysyntä kasvaa jatkuvasti, joten tällaisellekin biohiilelle olisi mahdollisesti kysyntää laatuluokitusta vastaavissa sovelluskohteissa. Carbofex Oy:llä ei kuitenkaan ole tarkempaa analyysiä.

6. Entä minkälaisiin käyttötarkoituksiin tällaista biohiiltä voisi mielestänne käyttää?

Käyttötarkoituksia on useita. Asiakkaan on hyvä tutustua jättemateriaali-pohjaisen hiilen käyttökohteisiin itse.

7. Onko biohiiliratkaisuiden ja biohiilen kysyntä mielestänne kasvussa Suomessa?

Kiinnostus ja kysyntä on kasvanut Suomessakin, vaikka ei ole vielä esimerkiksi Ruotsin tasolla.



8. Miltä biohiilen tulevaisuus Suomessa mielestänne näyttää?

Tietoisuus ja kiinnostus biohiileen kasvaa jatkuvasti, ja esimerkiksi hiilinegatiivinen energiantuotanto on biohiilen tuotannon lisäksi prosessin etu. Jätettä ei synny, sillä sivuvirrat saa heti käyttöön.

9. Näettekö, että hiilikompensaatiot tulevat olemaan jatkossa merkittävä osa liiketoimintaa?

Tähän suuntaan olla menossa yhä enemmän, sillä yritykset ovat jatkuvasti kiinnostuneempia kompensoimaan jopa menneitä päästöjään.

10. Minkälaista lisäarvoa biohiilen sivutuotteet lämpö, tisleet ja öljyt tuovat?

Riippuu paljon raakamateriaalista, mutta pääsääntöisesti prosessista syntyvä kaasu poltetaan, joka puolestaan lämmittää reaktorit. Pyrolyysiöljy vastaa läheisesti tervaa, joten sitä voidaan myydä esimerkiksi kemianteollisuuteen. Öljyllä voi olla lukuisiakin käyttökohteita kemian- ja energiateollisuudessa, mutta koska pyrolyysiöljy on REACH-asetuksen alainen, vaatii käyttö kemianteollisuuden käyttökohteissa hieman byrokraattisia toimia.

Markkinoilla on löydettävissä tervatuotteita, joista on vaikeaa selvittää puhtautta ja alkuperää. Kysyntää pohjoismaiselle pyrolyysiöljylle riittäisi.

11. Mitä etuja kiinteällä laitoksella on ja millaisiin kohteisiin soveltuu?

Kiinteillä laitoksilla päästään teollisen mittakaavan toimintaan sekä hyvään ja tasaiseen laatuun. Carbofex Oy:n laitos on myös jatkuvatoiminen, eikä laitteistoa tarvitse lämmittää ulkoisesti, joka on usein välttämätöntä mobiililaitteissa.

12. Miten paljon lämpöenergian tuotanto tuo lisäarvoa?

Kaukolämmön tuotanto on kannattavaa toimintaa ja päästöttömyyden takia myös kiinnostava tuotantomuoto.