

**RAKENNUSJÄTEPUU BIOHIILEN RAAKA-AINEENA JA
BIOHIILEN KÄYTTÖSOVELLUKSET RAKENNUSALALLA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Hämeenlinna, Bio- ja elintarviketekniikka

Syksy, 2020

Silja-Sofia Lassilantuomi

Bio- ja elintarviketekniikka
Hämeenlinna

Tekijä	Silja-Sofia Lassilantuomi	Vuosi 2020
Työn nimi	Rakennusjätepuu biohiilen raaka-aineena ja biohiilen käyttösovellukset rakennusallalla	
Työn ohjaajat	Annakaisa Elo ja Maritta Kymäläinen	

TIIVISTELMÄ

Työ toteutettiin osana *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hanketta. Työn tarkoituksena oli selvittää rakennusjätepuun käyttömahdollisuuksia biohiilen raaka-aineena, perehtyä puupohjaisen biohiilen teknisiin sovelluksiin rakennusteollisuudessa ja tienrakennustekniikassa sekä tarkastella biohiilipohjaisten rakennussovellusten käyttömahdollisuuksia Kanta-Hämeen alueella. Tarkoituksena oli tuottaa tietoa, joka edistäisi rakennusjätepuupohjaisen biohiilen yritystoimintaa ja rakennusjätepuupohjaisen biohiilen käyttöä Kanta-Hämeessä. Tutkimusmetodeina käytettiin tutkimuskyselyä ja yrityshaastattelua.

Työn kirjallisessa osuudessa tarkasteltiin, millaisin edellytyksin rakennusjätepuusta voidaan valmistaa käyttöön sopivaa biohiiltä. Raaka-aineena rakennusjätepuu on osoittautunut varsin epätasalatuiseksi, ja sen sisältämät pintakäsittelyaineet ja raskasmetallit saattavat vaatia erilaisia käsittelymenetelmiä. Rakennusjätepuusta tuotetun biohiilen käyttöpotentiaali on teknisissä sovelluksissa, esimerkiksi betonin, sementin ja asfaltin tukiaineena. Rakennussovelluksista erityisesti biohiilipohjaisella asfaltilla on potentiaalia biohiilimarkkinoilla. Lisätutkimuksia kuitenkin tarvitaan.

Tutkimuskyselyn vastausprosentiksi saatiin 20,5. Kyselyn mukaan kantahämäläisistä yrityksistä 87,5 % oli kiinnostuneita toimittamaan rakennusjätepuuta biohiilen raaka-aineeksi ja 68,7 % käyttämään biohiilipohjaisia rakennussovelluksia, mikäli näistä ei synny yrityksille merkittäviä lisäkustannuksia. Lisäksi ilmeni, että biohiilipohjaisia rakennusmateriaaleja olisi hyvä markkinoida myös rakentajia laajemmalle kohderyhmälle. Tulevaisuudessa biohiilipohjaiset rakennusmateriaalit voisivat olla osana rakennusten hiilensidontatavoitteita ja kompensoida syntyneitä hiilidioksidipäästöjä.

Avainsanat Biohiili, rakennusjätepuu, rakennusalan käyttösovellukset, kyselytutkimus

Sivut 60 sivua, joista liitteitä 3 sivua

Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering
Hämeenlinna University Centre

Author	Silja-Sofia Lassilantuomi	Year 2020
Subject	Construction Wood Waste as a Raw Material for Biochar and the Potential of Biochar in the Construction Industry	
Supervisors	Annakaisa Elo and Maritta Kymäläinen	

ABSTRACT

This thesis was part of the *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* project. The objective was to find out the potential usability for construction wood waste as a raw material for biochar, get an overview of the technical applications of the wood-based biochar solutions in the construction industry and road construction technology and to examine the potential of biochar-based construction solutions in Kanta-Häme region. In addition, the aim was to provide information that encourages companies to use waste wood-based biochar and build businesses around it.

The theoretical part examined the conditions under which the companies could use construction wood waste to produce biochar. As a raw material, construction wood waste has some significant quality irregularities, and it contains heavy metals and surface treatment materials that may require different treatment methods. The biochar produced from the construction wood waste has potential in concrete, cement or particularly in biochar-based asphalt production. However, further research is still needed.

The used methods in the thesis were a survey and interview with the business owner. The response rate of the survey was 20.5 %. As a result, 87.5 % of the companies in Kanta-Häme were interested in providing the construction wood waste for biochar production and 68.7 % would use biochar-based construction applications if they did not increase the cost significantly. Besides constructors, biochar-based building materials should be marketed to a broader target group. In the future, these biochar-based materials help construction sites to comply with the carbon sequestration targets and consequently compensate carbon emissions.

Keywords Biochar, construction wood waste, construction applications in the construction industry, questionnaire

Pages 60 pages including appendices 3 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	KOKONAISPROSESSI – RAKENNUSJÄTEPUUSTA BIOHIILEKSI	2
2.1	Esikäsittelyt	2
2.2	Pyrolysointi.....	3
2.2.1	Puubiomassan pyrolysointi	4
2.2.2	Hidas ja nopea pyrolysointi	5
2.3	Sivu- ja lopputuotteiden käsittely	6
2.3.1	Biohiili	6
2.3.2	Bioöljy	7
2.3.3	Kaasut	9
3	BIOHIILI JA SEN KÄYTTÖKOHTEET.....	10
3.1	Biohiili.....	11
3.2	Rakennusteollisuus.....	11
3.2.1	Biohiili betonin ja sementin lisäaineena.....	12
3.2.2	Biohiili pinnoitteena ja eristysmateriaalina.....	12
3.2.3	Muita koetuloksia	13
3.3	Tienrakennus.....	14
3.3.1	Biohiili asfaltin lisäaineena	15
3.3.2	Biohiili bitumin lisäaineena	16
3.4	Muita käyttösovelluksia	16
4	RAKENNUSJÄTEPUU BIOHIILEN RAAKA-AINEENA.....	18
4.1	Rakennusteollisuuden puujäte.....	18
4.1.1	Rakennuspuuna käytetyt puulajit.....	19
4.1.2	Rakennusjätepuun kierrätystavoitteet.....	19
4.1.3	Rakennusjätepuun laatuluokittelu	19
4.1.4	Rajoituksia ja haasteita rakennusjätepuupohjaisen biohiilen käyttöön 20	
4.2	Puujätteen pyrolyysitutkimus	21
4.2.1	Biohiilen saanto	21
4.2.2	Raskasmetallit ja haitta-aineet biohiilessä	23
4.2.3	Haihtuvat yhdisteet pyrolyysikaasussa	24
4.2.4	Pyrolyysiöljy	25
4.3	Muita tutkimustuloksia	25
4.4	Käytännön laitossovelluksia ja suunnitelmia	27
5	KARTOITUS JA KYSELYTUTKIMUS	28
5.1	Kartoitus rakennusalan toimijoista	28
5.2	Kysely biohiilen käyttömahdollisuuksista	28
5.2.1	Tutkimuskysely	28
5.2.2	Rakenne	29
5.2.3	Toteutus.....	29
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	29

6.1	Rakennusalan toimijat Kanta-Hämeen alueella	30
6.1.1	Betonipalvelut	30
6.1.2	Rakentamispalvelut	31
6.1.3	Tienrakentamispalvelut	31
6.2	Tutkimuskysely	32
6.2.1	Kyselytulokset	32
6.2.2	Haastattelu	39
6.2.3	Yhteenvedo ja johtopäätökset	41
6.3	SWOT-analyysi	43
6.3.1	Vahvuudet	44
6.3.2	Heikkoudet	45
6.3.3	Mahdollisuudet	45
6.3.4	Uhat	46
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	47
	LÄHTEET	51

Liite 1. Saatekirje

Liite 2. Haastattelu kysymykset

1 JOHDANTO

Biohiilen tutkimus ja käyttöttestaukset ovat lisääntyneet merkittävästi viimeisen vuosikymmenen aikana. Biohiilellä on lukuisia potentiaalisia käyttökohteita mm. kasvualustana, suodatusmateriaalina ja kosmetiikkatuotteiden lisääineena, mutta sen markkinat ovat silti edelleen hyvin vähäiset. Kehittämistä kohdistetaan koko ajan erityisesti uusiin sovelluksiin, tuotantoprosessin tehostamiseen ja prosessikustannusten alentamiseen. Lähi-vuosina uusien kaupallistuvien innovaatioiden odotetaan tuovan markkinoille mm. biohiilipohjaisia rakennusmateriaaleja, jotka tukisivat tulevaisuuden hiilineutraalia rakentamista. (Salo, 2020)

Metsäteollisuus on merkittävä osa suomalaista teollisuutta. Biohiilen valmistuksen raaka-aineena Suomessa käytetään eniten puubiomassoja, jotka koostuvat pitkälti harvennetusta metsäpuusta. Metsäpohjaisten sivuvirtojen käyttö biohiilen valmistuksessa olisi Suomen kannalta poikkeuksellinen mahdollisuus, jota ei muilla EU-mailla ole. Vastaavasti myös esimerkiksi rakennusalalla syntyvän puujätteen hyötykäyttöä on pyritty kasvattamaan. Polttoon sopivat uudisrakentamisen puutähteet, puiset kuormalavat, käytöstä poistetut puutuotteet ja lievästi saastunut purkupuu voitaisiin mahdollisesti ottaa hyötykäyttöön myös biohiilen raaka-aineena. Pyrolysoimalla ainakin osa puuhun sitoutuneesta hiilidioksidista kyetään sitomaan biohiileen sadoiksi jopa tuhansiksi vuosiksi. Samalla hiilidioksidin pääsy ilmakehään saadaan estettyä. Biohiili on siis osa ilmastonmuutoksen hillintää. (Salo, 2020; Suomen biohiili, 2019)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää rakennusjätepuun käyttömahdollisuuksia biohiilen raaka-aineena, perehtyä puupohjaisen biohiilen teknisiin sovelluksiin rakennusteollisuudessa ja tienrakennustekniikassa sekä tarkastella biohiilipohjaisten rakennussovellusten käyttömahdollisuuksia Kanta-Hämeen alueella. Tarkoituksena oli tuottaa tietoa, joka edistää rakennusjätepuupohjaisen biohiilen yritystoimintaa ja rakennusjätepuupohjaisen biohiilen käyttöä Kanta-Hämeessä.

Opinnäytetyö tehtiin osana Hämeen ammattikorkeakoulun (HAMK) EAKR-rahoitteista *Biohiilestä bisnestä Hämeeseen* -hanketta. Hankkeen toteutusaika on 1.9.2018–31.12.2020, ja sen tarkoituksena on selvittää biohiilipohjaisten ratkaisujen ja liiketoiminnan mahdollisuuksia Kanta-Hämeessä. Hankkeeseen kuuluu myös biohiilen tuottomahdollisuuksien määrittely jäte- ja sivuvirroista. Samanaikaisesti tämän työn kanssa hankkeessa oli käynnissä toinenkin aiheeseen liittyvä opinnäytetyö (Åhlström, 2020), joka käsittelee biohiilen valmistamista rakennusjätepuun käsittelyratkaisuna. Opinnäytetyöt täydentävät toisiaan ja antavat siten aiheesta varsin kattavan kokonaiskuvan.

Työn tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Millaisin edellytyksin rakennusjätepuuta voidaan hyödyntää biohiilen raaka-aineena?
- Minkälaisia tutkimustuloksia rakennusjätepuun käytöstä biohiilen raaka-aineena on saatu?
- Mitkä ovat rakennusjätepuusta tuotetun biohiilen käyttösovellukset rakennusteollisuudessa ja tienrakennuksessa sekä mitkä ovat näiden käyttösovellusten näkymät Kanta-Hämeessä?

2 KOKONAISPROSESSI – RAKENNUSJÄTEPUUSTA BIOHIILEKSI

Rakennusjätepuun käsittelyketju raaka-aineesta biohiileksi on tunnettava, jotta voidaan tuottaa laadukasta biohiiltä. Pyrolyysiprosessilla tarkoitetaan biomateriaalin kuumentamista hapettomassa tai vähähappisissa olosuhteissa. Menetelmä perustuu makromolekyylien hajottamiseen, ei polttamiseen. Prosessissa syntyy hiiltä, nesteitä ja kaasuja. Biohiilen lisäksi prosessin sivutuotteiden, kuten syntyvien nesteiden, hyödyntäminen korkeamman lisäarvon tuotteissa on huomionarvoista. (Elo, 2020a)

Rakennusjätepuun hyödyntäminen biohiilen raaka-aineena vähentäisi prosessissa käytettävän neitseellisen metsäpuun käyttöä ja edistäisi jätepuun kierrätysmahdollisuuksia.

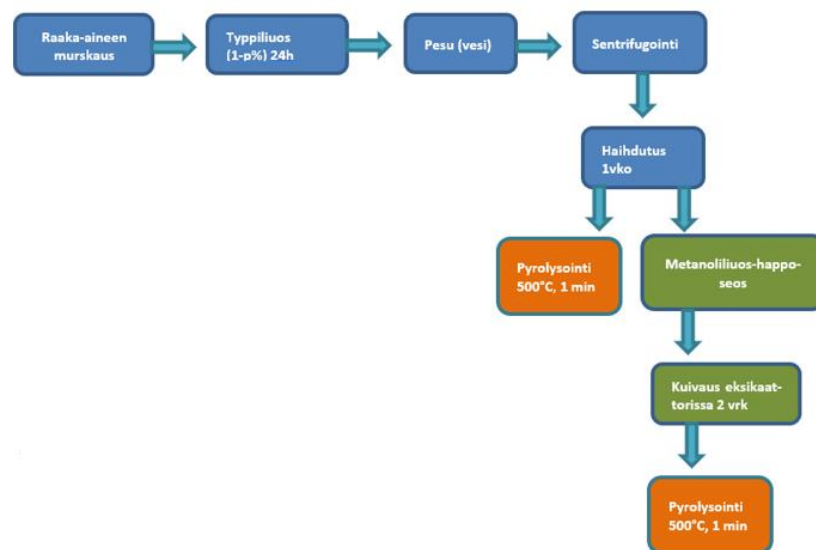
2.1 Esikäsittelyt

Rakennustyömailla puujätteeksi luokiteltu materiaali tulee jatkokäsittelylaitokselle yleensä joko syntypaikkalajiteltuna tai sekalaisen rakennusjätteen seassa. Puumateriaali voi olla puhdasta, sisältää mekaanisia epäpuhtauksia, kuten betonia ja nautoja, tai olla pintakäsitelty esimerkiksi maalamalla. Se saattaa sisältää myös sinertymiä ja homekasvustoa. Koostumuksensa takia materiaalivirta voi vaatia jonkinlaisen esikäsittelyn ennen pyrolysointia. (Asikainen ym., 2015, ss. 8–10)

Murskaus, haketus ja seulonta ovat mekaanisia esikäsittelyjä, joiden avulla jätettä voidaan muokata tasalaatuiseksi ja siten prosessiin sopivammaksi. Puumateriaalin murskaaminen pienemmiksi partikkeleiksi edistää lämmön jakautumista biomateriaaliin, mutta yhdistettynä seulontaan se poistaa myös mekaanisia epäpuhtauksia, kuten nautoja, sementtiä, betonia, hiekkaa ja kiviä. Nautoja ja metalleja voidaan erotella homogenisoinnin jälkeen myös magneetin avulla. (Asikainen ym., 2015, ss. 11–14) Raaka-aine ei

myöskään saisi olla liian kosteaa, sillä kostea materiaali kuluttaa enemmän energiaa ja syntynyt vesihöyry voi haitata prosessin kulkua. Raaka-aineen kosteuspitoisuus olisikin hyvä olla korkeintaan noin 20 %. Kuivaus voidaan toteuttaa omana menetelmänään, tai siihen voidaan hyödyntää prosessin aikana syntyvää lämpöä kierrättämällä sitä prosessin alkupäähän. (Elo, 2020b)

Raaka-aineessa olevien raskasmetallien ja haitta-aineiden määrää voidaan esikäsittelyvaiheessa vähentää kemiallisin menetelmin happoliuoksen avulla. Tätä käsitellään myös luvussa 4.2.2 *Raskasmetallit ja haitta-aineet biohiilessä*. Arauzon, Garcia-Perezin & Pechan (2015, ss. 66–101) tekemässä tutkimuksessa kuusipuupohjaiselle puumateriaalille suoritettiin happopesut ennen materiaalin pyrolysointia (500 °C, 1 min.). Prosessikaavio on esitetty kuvassa 1. Happopesuilla todettiin olevan alentava vaikutus raaka-aineen metallipitoisuuteen. Esimerkiksi maalatun puun elohopeapitoisuus oli happopesuja ennen 62,99 mg/kg ja pesujen jälkeen alle havaitsemisrajan. Vastaavasti käsitellyn puun arseenipitoisuudet ja lyijypitoisuudet ennen pesuja olivat 170,42 mg/kg (As) ja 61,67 mg/kg (Pb), mutta pesujen jälkeen lyijypitoisuus laski noin 90 % ja arseenipitoisuus jäi jopa alle havaitsemisrajan. Kokonaisuudessaan käsitellyn puun raskasmetallipitoisuudet laskivat pesuilla 97,3 % ja maalatun puun 69,4 %. Käsitellylle puulle tehokkain pesumenetelmä raskasmetallien poistoon oli etikkahappopesu ja vesipesu (100 °C), maalatulle puulle puolestaan suolahappopesu.



Kuva 1. Prosessikaavio biohiilen raaka-aineen raskasmetalli- ja haitta-ainepitoisuuden alentamisesta kemiallisin menetelmin.

2.2 Pyrolysointi

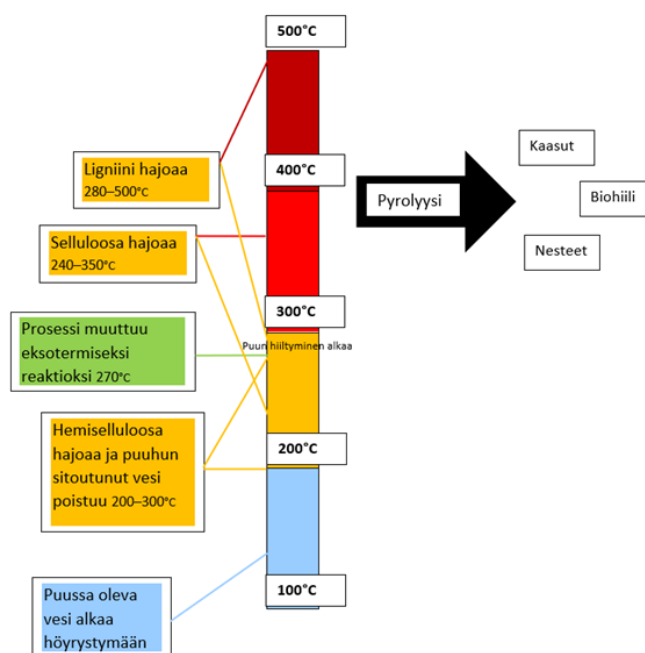
Pyrolyysillä eli toiselta nimeltään kuivatislauksella, tarkoitetaan vähähapellisissa tai täysin hapettomissa olosuhteissa tapahtuvaa biomassan lämpökemiallista hajoamista. Pyrolyysi toteutetaan yleensä 330–800 °C:ssa.

(Lehmann & Joseph, 2015, ss. 64–66) Raaka-aine ja pyrolyysiolosuhteet vaikuttavat lopputuotteen ja sivutuotteiden saantoon. Keskimäärin kuitenkin kolmasosa raaka-aineena käytetystä biomassasta muuttuu biohiileksi, kolmas osa nesteiksi ja loput kaasuiksi. Prosessissa syntyvät kaasut ovat yleensä häkää, vetyä ja metaania. Menetelmä on eksoterminen, mikä tarkoittaa sitä, että energiaa syntyy enemmän kuin sitä prosessin ylläpitoon tarvitaan. (Lampila, 2019)

2.2.1 Puubiomassan pyrolysointi

Puubiomassa koostuu kolmesta pääkomponentista, jotka ovat hemiselluloosa, selluloosa ja ligniini. Puun pyrolysointi vaatii yleensä vähintään 300–375 °C:n lämpötilan. Prosessi alkaa vähitellen kuitenkin jo 200–300 °C:ssa, jolloin hemiselluloosan hajoaminen käynnistyy. Tämän jälkeen hajoaa selluloosa 240–350 °C:ssa ja myöhemmin ligniini pyrolysoituu 280–500 °C:n lämpötiloissa. (Czajczynska ym., 2017, s. 177) Kuvassa 2 on kuvattu puubiomassan hajoamisvaiheet pyrolyysin aikana.

Hemiselluloosan hajoamistuotteina syntyy vettä ja hiilidioksidia. Samassa vaiheessa muodostuu myös vesiliukoisia ja happopitoisia aineita kuten etikkahappoa sekä fenolisia yhdisteitä. Hemiselluloosan hajoaminen vapauttaa myös reaktiolämpöä, mikä tekee reaktiosta vähitellen eksotermisen. Lämpötilan kohotessa reaktiossa alkaa muodostumaan myös hiilivetyjä, joita ovat mm. metaani ja asetyleeni. Hiilivetyjen reagoitessa toistensa kanssa syntyy pitkäketjuisia yhdisteitä kuten tervaa. Prosessin loppupuolella lämpötila on jo niin korkea, että puun kaasuntuvat yhdisteet ovat pääosin jo tislautuneet ja jäljelle on jäänyt musta hiili. (Suopajarvi, 2013, ss. 22–29)



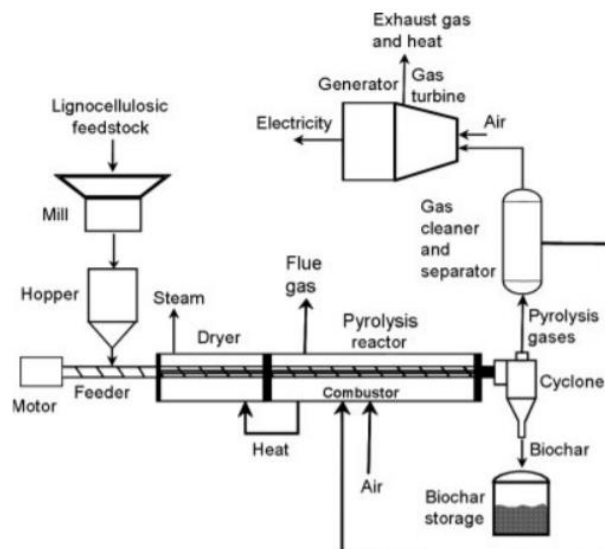
Kuva 2. Puubiomassan hajoamisvaiheet pyrolysoinnissa.

Pyrolyysi voidaan toteuttaa eri olosuhteissa käytetystä raaka-aineesta ja halutusta lopputuotteesta riippuen. Säädettäviä prosessiparametrejä ovat mm. prosessin lämpötila ja paine, materiaalin viipymäaika reaktorissa sekä jäähtytys. Lisäksi prosessiin voidaan vaikuttaa reaktorityypillä ja lisäaineilla. (Boateng ym., 2015, ss. 64–85)

2.2.2 Hidas ja nopea pyrolysointi

Pyrolyysiprosessi voidaan toteuttaa hitaana tai nopeana prosessina. Menetelmä valitaan lähes aina halutun lopputuotteen mukaan. Hidas pyrolyysi kestää minuuteista jopa vuorokausiin ja tuottaa suurempia määriä biohiiltä kuin nopea prosessi. (Basu, 2010, ss. 69–89) Hitaalle pyrolyysille ominainen prosessilämpötila on n. 300–700 °C. Käytetty prosessilämpötila on kuitenkin riippuvaista käytetystä pyrolyysilaitteistosta. Hitaassa pyrolyysissä reaktoreina voidaan käyttää esimerkiksi kiertopetireaktoria tai ablatiivista reaktoria. (Lehmann ym., 2015, s. 66, s. 72) Lämmitysnopeus on noin 0,1–0,8 °C/s ja viipymäaika voi vaihdella 5 minuutista jopa 35 tuntiin. Hitaan pyrolyysin tarkoituksena on maksimoida biohiilen saanto edistämällä sekundäärisiä reaktioita, mikä saavutetaan höyryn pidemmällä viipymäajalla. Hitaaseen pyrolyysiprosessiin voidaan lisäksi hyödyntää raaka-aineen varsin laajojakin hiukkaskokoja (5–50 mm). (Chandraratne & Daful, 2018, s. 4) Kuvassa 3 (s. 6) on esitetty hitaan menetelmän pyrolyysilaitos.

Nopean pyrolyysin viipymäaika voi puolestaan olla vain muutamia sekunteja ja sitä käytetään pääasiassa silloin, kun tavoitellaan maksimaalisen biohiilentuotannon sijaan maksimaalista bioöljyn saantoa. Nopean pyrolyysimenetelmän tarkoituksena on kuumentaa biomassa pyrolyysilämpötilaansa niin nopeasti, että massan hajoaminen ei ehdi vielä kunnolla alkamaan. Biohiilen tuotantoon käytetään kuitenkin yleisesti hidasta pyrolyysimenetelmää. (Basu, 2010, ss. 69–89) Komponenttijakaumat hitaassa pyrolyysissä ovat noin 20–50 % biohiiltä, 0–15 % nesteitä ja 40–75 % kaasua. Nopean pyrolyysin komponenttijakauma puolestaan on noin 20–25 % biohiiltä, 40–70 % nesteitä ja 20–40 % synteettistä kaasua. (Lehmann ym., 2015, s. 66)



Kuva 3. Jatkuvatoiminen pyrolyysilaitos, jossa hyödynnetään hidasta prosessimenetelmää. (Laird ym., 2009, s. 548)

2.3 Sivu- ja lopputuotteiden käsittely

Pyrolyysissä molekyylien hajoamisen seurauksena syntyvät prosessin sivu- ja lopputuotteet. Haluttu lopputuote määrittelee prosessin sivutuotteet. Prosessissa syntyvät tuotteet voidaan luokitella kolmeen tyyppiin:

- kiinteisiin tuotteisiin: hiili
- nestemäisiin tuotteisiin: raskaat hiilivedyt, terva sekä vesi
- kaasumaisiin tuotteisiin: hiilidioksidi, etyyni, eteeni, etaani, bentseeni yms. (Basu, 2010, ss. 77–79)

2.3.1 Biohiili

Biohiilituotannossa hiilipitoinen kiintoaine on pyrolyysiprosessin lopputuote. Kaikki prosessiolosuhteet raaka-aineen laadusta alkaen vaikuttavat biohiilen ominaisuuksiin. Voidaan siis enemmänkin puhua pyrolyysissä valmistuvasta tuoteryhmästä kuin yksittäisestä tietyn laatustandardin omaavasta tuotteesta. Fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet biohiilien välillä vaihtelevat voimakkaasti. Tästä syystä myös biohiilen soveltuvuus eri käyttökohteisiin vaihtelee. Optimaalisissa prosessiolosuhteissa valmistetusta, puupohjaisesta biohiilestä on nähtävissä puuaineksen solukkorakenne. Nämä rakenteet muodostavat biohiilikappaleisiin toivotun makrorakenteen (>50 nm halkaisija). Lisäksi rakenteista on helposti tunnistettavissa syötteenä käytetty puulajike. Puubiohiilen tilavuuspaino vaihtelee käytetyn puulajin mukaan. Tilavuuspaino (hiilipartikkelit + partikkelien välinen tyhjätila) on keskimäärin noin 300–450 kg m³. (Riikonen, 2017, ss. 2–8)

Jälkikäsittelyiksi luetaan biohiilen jäähdytys ja rakenteellisten ominaisuuksien muokkaus, kuten jauhanta, seulominen sekä aktivointi. Aktivointi

voidaan toteuttaa fysikaalisesti tai kemiallisesti. Fysikaalisesti biohiiltä voidaan aktivoida esimerkiksi höyryttämällä, jolloin hiili on vuorovaikutuksessa höyryn tai hiilidioksidin kanssa. Menetelmän avulla biohiilen huokosrakennetta saadaan avattua ja laajennettua. Höyryttämistä käytetään mm. aktiivihiilen valmistukseen. (Lehmann, 2015, ss. 89–90)

Kemiallinen aktivointi on fysikaalista aktivointia moninaisempi ja voidaan tarvittaessa myös integroida osaksi pyrolyysiprosessia. Kemiallisen aktiivoinnin kustannukset vaihtelevat paljon. Useimmiten kemiallinen aktivointi kuitenkin osoittautuu fysikaalista aktivointia kalliimmaksi menetelmäksi, koska se nostaa tuotantokustannuksia ja energiantarpeen määrää. Kemiallisella aktivoinnilla biohiili voidaan kuitenkin spesifioida sitomaan itseensä erityisesti joitakin tiettyjä aineita. (Riikonen, 2017, ss. 6–18) Kemiallinen käsittely tehdään yleensä alhaisemmissa lämpötiloissa kuin fysikaalinen, mikä edesauttaa biohiilen huokosrakenteen kehittymistä ja sen myötä biohiilen pinta-alan kasvamista. Aktivointireagensseja ovat esimerkiksi NaOH, KOH, sinkkisuolat, metallihydroksidit ja fosforihappo. Aktivointi voidaan toteuttaa monin tavoin, kuten liottamalla biohiiltä kemikaaliliuoksessa. Aktivointituloksiin vaikuttavat myös aktivointiin käytetty aika ja lämpötila. Biohiilen jälkikäsittely valmistusprosessin jälkeen vaihtelee sen mukaan, mihin käyttötarkoitukseen biohiili on suunniteltu. Biohiili ei myöskään välttämättä tarvitse jälkikäsittelyä, jolloin sitä voidaan käyttää suoraa sellaisenaan valmistuksen jälkeen. (Lehmann, 2015, ss. 89–95)

Jossain tapauksissa biohiileen saattaa pyrolyysin aikana sitoutua myös polyyklisiä aromaattisia hiilivetyjä eli PAH-yhdisteitä. Oletetaan, että tähän vaikuttaa eniten käytetty pyrolyysitekniikka, mutta myös käytetyllä raaka-aineella voi olla merkitys yhdisteiden syntyyn ja niiden siirtymiseen biohiileen. Erityisesti sellaisissa laitossovelluksissa, joissa pyrolyysiterva ja -kaasut pääsevät kondensoitumaan uudelleen biohiileen, tavataan korkeimpia PAH-pitoisuuksia. Puhtaan puupohjaisen materiaalin on kuitenkin todettu tuottavan alhaisempia PAH-pitoisuuksia kuin muut materiaalit. PAH-pitoisuuksien vaikutuksista biohiileen ja niiden biosaatavuudesta, eli siirtymisestä biohiilestä ravintoketjuun, tiedetään kuitenkin vielä suhteellisen vähän. Tämän takia eurooppalaisessa biohiilsertifikaatissa PAH-pitoisuuksien raja-arvot on asetettu alhaisiksi. (Hagermann ym., 2020)

Tietyissä maissa, kuten Suomessa, biohiili luokitellaan palovaaralliseksi aineeksi syttymisherkkyytensä takia. Tämän takia myös sen oikeanlainen varastointi ja säilytys on olennaista huomioida. (Riikonen, 2017, s. 6)

2.3.2 Bioöljy

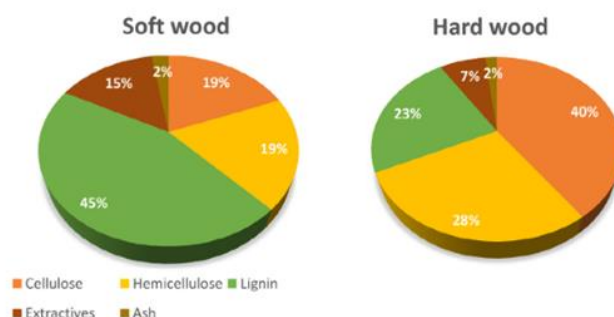
Prosessissa syntyvät pyrolyysinesteet jaetaan kolmeen luokkaan, joita ovat vesiliukoiset hapot, kevyet öljymäiset nesteet sekä raskaat pitkäketjuiset molekyyleistä koostuvat fenolit kuten terva. Vesiliukoisia happoja, kuten puuetikkaa, voidaan käyttää biohajoavana kasvinsuojeluaineena. Kasvinsuojeluaineena käytetty tisle toimii torjunta-aineen tavoin ja suojelee

viljelysalueita tuholaishyönteisiltä ja kasvitaudeilta. Toistaiseksi Euroopan kemikaalilainsäädäntö kuitenkin hankaloittaa syntyvän puutisleen jatkokäyttöä kasvinsuojeluaineena. (Lampila, 2019) Tällä hetkellä pyrolyysissä sivutuotteena syntyvälle tislelle ei siis toistaiseksi olekaan kovin suuria markkinoita maailmalla. Tulevaisuudessa niillä voi kuitenkin olla kaupan käynnin kannalta jopa biohiiltä oleellisempi merkitys. (Salo, 2020)

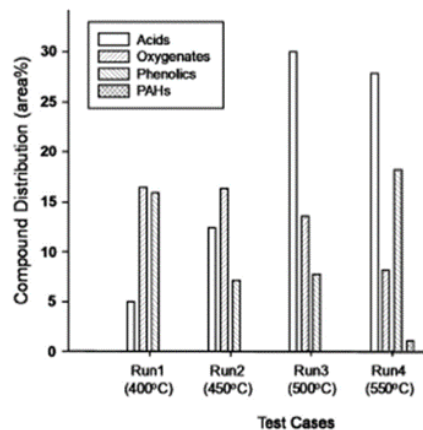
Öljymäisiä nesteitä voidaan puolestaan käyttää nestemäisinä polttoaineina, joilla voitaisiin tulevaisuudessa korvata fossiilisia polttoaineita. Eri-laiset raaka-aineet käyttäytyvät pyrolyysiprosessissa eritavoin, mutta puumateriaalin (puuaines, puunkuori, hakkuutähteet ym.) käyttöä bioöljyn tuotannossa pidetään potentiaalisena. (Vainio, Helle & Hynönen, 2013, ss. 3–4)

Purkupuusta pyrolysoimalla tuotetun bioöljyn kosteuspitoisuus on keskimäärin 20–30 %, mitä pidetään tyypillisenä kosteuspitoisuutena biomassasta tuotetulle bioöljylle. Purku- ja kalustepuu voi kuitenkin joskus sisältää erilaisia orgaanisia lisäaineita, jotka voivat nostaa syntyneen bioöljyn kosteuspitoisuuden korkeaksi jopa 40–60 %:iin. Rakennusteollisuudesta peräisin olevien lastulevyjen, vanerien, kalusteiden ja ”hukkapätkien” pyrolysoinnissa paras reaktori bioöljyn tuottamiseen on leijupetireaktori. Leijupetireaktorilla öljyssä olevien fenolien määräksi saatiin 40 % nesteen koostumuksesta. Panosreaktorissa vastaava luku oli noin 30 %. (Czajczynska ym., 2017, ss. 177–178)

Bioöljyn koostumukseen vaikuttaa käytetty raaka-aine ja sen koostumus. Eroavaisuuksia on havaittavissa jopa eri puulajikkeiden välillä (kuva 4). Esimerkiksi lehti- ja havupuun ligniinirakenne on toisistaan poikkeava. Sen seurauksena myös pyrolyysissä muodostuneen bioöljyn ligniinipohjaisten yhdisteiden saannot vaihtelevat näiden puulajikkeiden välillä. (Branca ym., 2003, ss. 3190–3202.) Pyrolyysissä muodostuvalla bioöljyllä on hyvät potentiaalit tulevaisuuden uusiutuvaksi polttoaineeksi (Bridgewater & Czerwik, 2004, s. 595). Kuvassa 5 (s. 9) on esitetty lämpötilan vaikutuksia huonekalupuun pyrolysoinnissa muodostuneen öljyn koostumukseen.



Kuva 4. Havupuun (soft wood) ja lehtipuun (hard wood) tyypillinen kemiallinen koostumus (p-%). (Czajczynska ym., 2017, s. 177)



Kuva 5. Huonekalupuun pyrolysoinnissa muodostuneen öljyn koostumusmuutokset lämpötilan noustessa leijupetireaktorissa. (Czajczynska ym., 2017, s. 178)

Polttoainekäytön lisäksi bioöljyn on tutkittu soveltuvan myös asfaltin sidosaineeksi, koska se vahvistaa asfaltin rakenteita. Esimerkiksi rakennusjätepuusta saadaan pyrolyysin avulla tuotettua suoraan sellaista bioöljyä, joka on tutkimusten mukaan tähän käyttötarkoitukseen sopivaa sellaisenaan ilman jatkokäsittelyjä. Suositeltava määrä on kuitenkin vain alle 10 % asfaltissa käytettyjen sidosaineiden painosta. Polymeerillä modifioitu bioöljy voi pienissä määrissä käytettynä toimia alkuperäistä bioöljyä tehokkaammin. Suuremmilla käyttömäärillä erot vaikutuksissa ovat kuitenkin lähes olemattomat. Asfaltin tukiaineeksi soveltuva, polymeerillä modifioitu bioöljy, voidaan valmistaa esimerkiksi lisäämällä bioöljyyn polyeteeniä 4 p-% öljyn painosta. (Dai, Mills-Beale, Yang & You, 2013, ss. 424–430)

Bioöljystä voidaan erottaa myös erilaisia kemikaaleja ja erikoiskemikaaleja erilaisiin jatkokäyttökohteisiin. Korkea selluloosapitoisuus tuottaa bioöljyyn mm. suuren määrän levoglukosaania. Levoglukosaanin läsnäolo polttoainetuotannossa on tarpeeton, joten sen erottaminen, talteenotto ja hyötykäyttö muissa kohteissa olisi kannattavaa. Levoglukosaanilla on tutkittua potentiaalia esimerkiksi lääkeaineiden, tensidien ja biohajoavien polymeerien valmistuksessa. Haasteeksi on kuitenkin koettu, että täydellistä, aukotonta ja kustannustehokasta erotusmenetelmää ei vielä ole markkinoilla. (Bridgewater & Czernik, 2004, s. 597)

2.3.3 Kaasut

Pyrolyysin aikana syntyvä kaasufraktio koostuu pääasiassa hiilidioksidista ja kevyistä hiilivedyistä (C1-C4). Kaasun koostumus vaihtelee ja lämpötilan kasvaessa hiilidioksidipitoisuus vähenee, mutta samalla hiilimonoksidin ja hiilivetyjen määrä kasvaa. Kaasun saanto kasvaa lämpötilan noustessa. (Czajczynska ym., 2017, ss. 171–172) Syntyvä pyrolyysikaasu voidaan jakaa

myös kahden tyyppiseen fraktioon, jotka ovat kondensoituva kaasu ja ei-kondensoituva kaasu. Kondensoituva kaasu, joka on lähinnä höyryä, tiivistyy jäähdytysvaiheessa nesteeksi. Sen sijaan ei-kondensoituva, ensisijainen kaasu ei tiivisty jäähdytyksessä. Ensisijainen kaasu koostuu pääasiassa hiilidioksidista, hiilimonoksidista, etyleenistä, etaanista sekä metaanista. Toissijaiseksi kaasuksi kutsutaan kondensoituvasta kaasusta krakkaamalla muodostunutta ei-kondensoituvaa kaasua. Lopullinen kaasuseos koostuu sekä ensisijaisesta että toissijaisesta kaasusta. (Basu, 2010, ss. 70–71)

Rakennustyömailta peräisin oleva puujäte sisältää usein jonkin verran pintakäsittelyaineita, kuten öljyä, liimaa, maalia tai lakkaa. Tällaisen materiaalin pyrolyysikaasussa on mm. mitattu ammoniakkipitoisuuksia, joita vastaavasti käsittelemättömän puun pyrolysointikaasussa ei ilmene lainkaan. Tästä syystä pyrolyysikaasujen koostumus tulisi aina mitata, mikäli kaasu aiotaan vapauttaa ympäristöön. Kaasu ei saisi sisältää sellaisia yhdisteitä, jotka tiedetään olevan vaaraksi ympäristölle tai ihmisille. Kaasun mahdollisesti sisältämien haitallisten yhdisteiden takia biohiili suositellaankin valmistettavan suljetuissa olosuhteissa laitospäristössä. Näin prosessissa syntyvät kaasut voidaan ottaa talteen ja polttaa, eivätkä ne pääse karkaamaan ilmakehään. Samalla saadaan talteen myös syntyvä lämpöenergia. (Czajczynska ym., 2017, ss. 171–172, s. 178) Kaasun lämpöarvoksi on arvioitu noin 20 MJ/Nm³ (Basu, 2010, ss. 70–71).

Tampereen Hiedanrannalla toimiva, biohiilituotteita valmistava Carbofex Oy hyödyntää tuotannossaan muodostuvasta pyrolyysikaasusta saatavan lämmön oman prosessinsa energiantarpeeseen sekä Tampereen kaupungin kaukolämpöverkkoon. Hyödynnettävän energian katsotaan olevan hiilinegatiivista. (Yle, 2019) Tällä hetkellä sivutuotteena syntyvää energiaa hyödynnetään yleisesti kuitenkin vain harvoin (Salo, 2020).

3 BIOHIILI JA SEN KÄYTTÖKOHEET

Biohiili ei suinkaan ole uusi keksintö, vaan sillä on varsin vahvat juuret historiaan maanparannustekniikkana. Jo tuhansia vuosia sitten Etelä-Amerikan intiaanit käyttivät biohiiltä muuttamaan maaperää ravintorikkaammaksi. Biohiilen käyttö ja siihen liittyvät perinteet kuitenkin unohtuivat, kunnes 1950-luvulla hollantilainen tieteilijä Wim Sombroek herätti kansainvälisesti uutta mielenkiintoa biohiiltä kohtaan löydettyään Amazonista ”Terra Preta” eli mustaa maata. (Salo, 2020)

3.1 Biohiili

Biohiili on biohajoavasta massasta kuivatistaamalla eli pyrolyysilla valmistettu hiilituote. Valmistuksen raaka-aineena voidaan käyttää lähes mitä tahansa orgaanista ainesta, kuten puuta, biohajoavaa kotitalous- ja puutarhajätettä, lantaa tai raakapuuvillatekstiilejä. Prosessi tapahtuu täysin hapettomissa tai vähähappisissa olosuhteissa ja korkeissa lämpötiloissa. (International Biochar Initiative, 2018) Olomuodoltaan biohiili on kiinteää ja huokoista. Huokoisuutensa ansiosta sillä on myös laaja käyttöpinta-ala. Kemiallisesti sen rakenne on hyvin vahva. (Spears, 2018) Biohiilen hiilipitoisuus vaihtelee käytetyn raaka-aineen ja prosessiolosuhteiden mukaan. Tamperelaisen Carbofex Oy:n valmistaman biohiilen hiilipitoisuus on jopa 95 %. (Carbofex, n.d.) Biohiilen koostumuksesta jäljelle jäävä osuus muodostuu tuhkasta sekä tpeystä, vedystä ja hapestä (Spears, 2018).

Biohiilellä on vahvat juuret historiaan, ja sitä on jo pitkään käytetty maanparannuskeinona ja rehun lisäravinteena (International Biochar Initiative, 2018). Biohiilen avulla peltojen viljavuutta ja vedenpidätyskykyä on saatu tehostettua. Vastaavasti kaupunkialueilla sitä on voitu hyötyä käyttää viherkentämiseen. (Suomen biohiili, 2019) Tukholman kaupunki mm. hyödyntää biohiilen tehokkaan veden- ja ravinteidensidontakyvyn alueensa hulevesien käsittelyssä (Gustafsson, 2019). Nykyään tutkimuksia on kohdennettu myös erityisesti uusiin sovelluksiin, joiden yhteisenä tavoitteena on hiilipäästöjen vähentäminen ilmakehästä. Uusien innovaatioiden myötä lähiaikoina on odotettavissa esimerkiksi biohiilipohjaisia rakennus- ja lisäainemateriaaleja, joiden tarkoituksena on tukea tulevaisuuden hiilineutraalia rakentamista. (Suomen biohiili, 2019)

Biohiili ei kuitenkaan toistaiseksi ole vielä kovin standardoitua ja ala kaipaa yhteisiä laatuohjeistuksia, jotta tuotetun biohiilen tasalaatuisuus voitaisiin taata. Tällä hetkellä laadulla ja ominaisuuksilla on suuria eroja, jotka vaikuttavat siihen, toimiiko biohiili oikein sen käyttökohteessa. (Salo, 2020)

3.2 Rakennusteollisuus

Biohiilen ominaisuudet sitoa suuria määriä vettä ja johtaa heikosti lämpöä tekevät siitä sovelluskelpoisen materiaalin rakennusteollisuuteen, esimerkiksi eristeenä ja kosteudensääntäjänä. Biohiilen huokokset voivat sitoa suuriakin määriä ilmaa, jolloin se voisi toimia erinomaisena eristysmateriaalina rakennuksissa. (Schmidt, 2013)

Kansainvälisessä Ithaca-insituutin tutkimussäätiössä on toteutettu rakennushanke, jossa selvitettiin, voidaanko säätiön seminaari- ja toimistotilat remontoida biohiilipohjaisilla rakennusmateriaaleilla. Samassa hankkeessa selvitettiin, kuinka biohiilipohjaisella rakennusmateriaalilla voidaan säästää vanhaan viinikellariin optimaalisimmat kellariolosuhteet viinintuotantoon. Viinikellari-projektissa valmistettiin biohiilipohjainen laasti, jota

ruiskutettiin 10 cm:n paksuudella viinikellarin seinille. Seinäpinnoitteella luotiin kellariin hyvä kosteuden säätö sekä lämmöneristys. Tämä vähensi lämpötilan vaihteluita huoneistossa. Myöhemmin kun tällainen rakennus tai huoneisto puretaan, biohiilipohjaiset rakennusmateriaalit, kuten kipsilevyt, voidaan kierrättää esimerkiksi kompostoinnin lisäaineena ilman, että ne päätyisivät jätteeksi. (Schmidt, 2013)

3.2.1 Biohiili betonin ja sementin lisäaineena

Yhdessä saven, kalkin ja sementtilaastin kanssa biohiiltä voidaan käyttää kipsin ja betonielementtien lisäaineena jopa 80 %:n osuuteen asti. Ithaka-instituuttiin edellä mainitussa hankkeessa biohiilipohjaisen laastin koostumus oli 50 % biohiiltä, 30 % hiekkaa ja 20 % savea. (Schmidt, 2013) Hiiltä ja savea voidaan sekoittaa 50/50-suhteessa. Kalkki- ja sementtiseoksissa käytetty hiekka puolestaan voitaisiin korvata kokonaan biohiilellä. (Lampila, 2019) Ithaka-instituutin tutkimusten mukaan tällainen biohiilipohjainen kipsi- tai betonielementtiseinä ylläpitäisi huoneen kosteuspitoisuutta 45–70 %:ssa riippumatta vuodenajasta. Tasaisemman huoneilman myötä kondensoituminen estyisi, mikä muutoin voisi pahimmillaan johtaa mikrobikasvustoon ja homevaurioihin rakennuksessa. Samalla myös kuivasta ilmasta johtuvat allergiaoireet vähenisivät. (Schmidt, 2013)

Tutkimusten mukaan oleellista on huomioida myös biohiilen raekoko sen käyttökohteen mukaan. Sisempiin ratkaisuihin voitaisiin käyttää suurempia raekokoja, halkaisijaltaan jopa 25 mm:n kokoisia biohiilipartikkeleita. Näin voitaisiin estää esimerkiksi materiaalin aiheeton halkeilu. Sen sijaan pintamateriaaleissa, kuten erilaisissa rappausmenetelmissä, olisi suositeltavaa käyttää mahdollisimman hienojakoista biohiiltä seoksen valmistuksessa. Massan väriin ja sen voimakkuuteen voidaan vaikuttaa biohiilen määrällä. Vaaleampaa sävyä varten biohiilen osuus seoksesta voidaan laskea 20–25 %:iin. (Schmidt, 2013)

Ithaka-instituutin esimerkissä on kuitenkin otettava huomioon, että kyseisistä remontoituista tiloista kellari on lämmittämätön ja säätötoimisto-tiloissa sisäseinät eivät ole alttiina kylmälle ulkoympäristölle. Etenkin Suomen olosuhteissa rakennusmateriaaleilta vaaditaan lämpötilaerovaihtelujen sietämistä. Ulkomateriaalien täytyy kestää kuumuutta, kylmyyttä, jäätä ja sadetta.

3.2.2 Biohiili pinnoitteena ja eristysmateriaalina

Biohiiltä yhdessä kalkin kanssa voidaan levittää spray-suihkutustekniikalla myös rakennuksien ulkoseiniin. Biohiili-kalkkiseoksella, jota on levitetty maksimissaan 20 cm:n paksuudelta, voidaan korvata styroksilevyt. Ulkopintojen käsittely on kuitenkin haasteellisempaa, sillä pinta täytyy suojata erikseen sadevedeltä. Ulkopintoihin on suositeltavampaa käyttää

biohiilen, kalkin ja hiekan tai biohiilen, sementin ja hiekan seosta kuin biohiilen ja saven seosta. Sisäpinnoilla biohiili-muta-laasti toimii kipsilevypohjaiselle seinälle levitettynä lämmöneristäjänä. Puupohjaiselle seinälle suositellaan biohiili-savi-laastia, joka lämmöneristämisen lisäksi suojaa puunpintaa. Biohiiltä voidaan käyttää myös kattoeristeenä, mutta ei ilman sidosainetta. Hiili on yhdistettävä saveen tai muuhun sidosaineeseen, jotta se ei pölyävänä materiaalina, ilmankosteuden vaikutuksesta, ala hapettumaan ja sytytä kattoa tuleen. (Schmidt, 2013)

Suomessa Savimestarit ovat ensimmäinen pintasavilaastien valmistaja. Heidän valikoimastaan löytyy mm. biohiili-savirappauslaastia, joka parantaa sisäilman laatua sitomalla itseensä toksiineja. (Savimestarit, 2019)

3.2.3 Muita koetuloksia

Biohiilen lisäyksellä voidaan saada myös tehostavia vaikutuksia sementtiseoksien kestävyysominaisuuksiin. Choi, Yun & Lee (2012, ss. 71–73) toteuttamassa tutkimuksessa todettiin, että paras sementin puristuslujuuden kasvu saadaan, kun sementistä 5 % korvataan biohiilellä. Puristuslujuus kasvaa tällöin 10 %:lla tavanomaiseen seokseen verrattuna. Käytetty seossuhde oli 950 g sementtiä, 50 g biohiiltä, 3 000 g hiekkaa ja lisäksi vettä puolet seoksen määrästä. Tutkimuksessa hyödynnetty biohiili oli valmistettu jalopuusta hitaalla pyrolyysimenetelmällä. Sementtiseoksia tehtiin 11 erilaista seosta, joista neljässä käytettiin jalopuupohjasta biohiiltä. Biohiilen lisäyksiä sementtiseoksiin tehtiin suhteissa 5 %, 11 %, 17 % ja 25 %. Puristuslujuus heikkeni, mitä suurempi osuus betonia sisältävästä sementistä oli korvattu biohiilellä. Puristuslujuudeksi 5 %:n biohiilen lisäyksellä saatiin 60,5 MPa ja 25 %:n lisäyksellä 28,4 MPa. Seoksen valmistuksesta oli tällöin kulunut 52 päivää. Pienimmällä biohiilen lisäyksellä puristuslujuus saatiin voimakkaammaksi kuin yhdelläkään tavanomaisista seoksista, jotka eivät sisältäneet biohiiltä.

Tavanomaisen betonin puristuslujuus on noin 30–80 MPa, korkealujuusbetonin 60–100 MPa ja erikoislujien betonien 150–250 MPa. Korkeamman puristuslujuuden tavoittelulla saadaan vähennettyä materiaalikuluja ja ympäristövaikutuksia. (Betoni, n.d.)

Kipsi- ja sementtirakenteiden halkeamisen lisäksi biohiilen on todettu sementtiin sekoitettuna antavan betonille paremman kyvyn suojata sähkömagneettiselta säteilyltä (Fang, Smith & Tian, 2019, s. 140). Biohiilipohjainen betoniseos pidättää itseensä myös enemmän vettä (Choi, Yun & Lee, 2012, s. 69).

New Yorkin osavaltiossa sijaitsevassa Hajimin ammattikorkeakoulussa on kehitelty kevään 2020 aikana oppilastyönä toteutettu prototyyppi biohiilitiilestä. Tiiliä tehtiin kahdentyyppisiä, joissa pääraaka-aineina käytettiin joko biohiiltä ja sementtiä tai biohiiltä ja muovia. Käytetty biohiili oli valmistettu havupuusta. Tiiliseoksia tehtiin seuraavanlaisissa suhteissa:

- 75 % biohiiltä ja 25 % sementtiä
- 50 % biohiiltä ja 50 % muovia
- 25 % biohiiltä, 60 % muovia ja 15 % hiekkaa
- 50 % biohiiltä, 40 % muovia ja 10 % hiekkaa.

Tiilistä suoritettiin analyysjä niiden rakenteellisten ominaisuuksien selvittämiseksi. Tulokset osoittivat, että biohiilipohjaisen tiilen eristysarvo on perinteistä betonitiiltä korkeampi. Vastaavasti myös veden absorptiokyky-analyysi paljasti betoni- ja biohiilitiilien välillä huomattavan eron. Biohiilen lisäys paransi veden absorptiokykyä. Kovuustestauksessa betonitiilet puolestaan saivat korkeampia arvoja kuin biohiilipohjaiset tiilet. Tämä tosin voi johtua biohiilitiilien seossuhteesta ja sementin määrää nostamalla biohiilipohjaisen tiilien kovuus voitaisiin mahdollisesti saada samalle tasolle kuin betonitiilien. Korkeimmat puristuslujuusarvot saatiin biohiiltä ja muovia 1:1 sisältävästä tiilestä. Tuon tiilen puristuslujuus ylitti selvästi perinteisen betonitiilen arvon (2500 psi). Lisäksi suoritettiin syttyvyyskoe osalle tiili-prototyypeistä. Biohiiltä ja sementtiä sisältävän tiilen syttymisajaksi saatiin vajaa 2,5 minuuttia. Syttymiskoetuloksia ei kuitenkaan voida pitää kovin luotettavina ajankäytön puutteen ja teknisten ongelmia takia. Syttyvyys-testit ovat kuitenkin tärkeitä, kun määritellään rakennusmateriaalien ja rakenteiden turvallisuutta. (Barton, Kim, Patel & Twizerimana, 2020, s. 12, ss. 27–29)

Biohiilitiilet voivat eristeominaisuutensa ja keveytensä puolesta olla mahdollisia eristemateriaaleja muille rakennusmateriaaleille, sekä toimia vaihtoehtoisesti jalkakäytävä- tai kattotiilinä. Biohiilen lisääminen betoniin vähentäisi myös käytetyn sementin määrää ja siten prosessissa syntyviä hiilidioksidipäästöjä. (Barton ym., 2020, s. 12, ss. 27–29)

3.3 Tienrakennus

Eri puolilla maailmaa rakennetaan ja uudistetaan kymmeniä tuhansia kilometrejä teitä joka vuosi. Biohiilen sisällyttäminen asfalttimassaan voisi parantaa teiden kuntoa ja edesauttaa kohti hiilinegatiivista tienrakentamista. Havupuusta valmistettua biohiiltä voidaankin tutkimusten mukaan käyttää osana tienrakennustekniikkaa. Bitumiin sekoitettu puupohjainen biohiili estää asfaltin halkeilua ja pidentää sen käyttöikä. (Fang ym., 2019, s. 140) Asfaltin hajoaminen hapetuksen seurauksena on yksi päällysteteollisuuden suurimmista ongelmista. Korvaamalla biohiilellä ainakin osa asfaltin sisältämistä kemiallisia reaktioita aiheuttavista aineista, voitaisiin estää haitallisten reaktioiden syntyä. Lisäksi biohiilen kemiallinen stabiilius vahvistaa asfaltin rakennetta, riippumatta siitä käytetäänkö biohiili osana asfalttiseosta vai pinnoitteena sen päällä. (Gupta & Kua, 2017, ss. 1–2)

3.3.1 Biohiili asfaltin lisäaineena

Eteläafrikkalainen tienrakennus yritys CarbonCor on jo useamman vuoden ajan kokeillut erityyppisten biohiilipohjaisten asfalttien käyttöä ympäri maailmaa. Yritys on kehittänyt biohiilellä vahvistetun tierakennusmateriaalin, joka tutkimusten mukaan on osoittautunut perinteistä asfalttimallia paremmaksi ja kestävämmäksi. Yrityksen kehittämä seos koostuu bitumista, biohiilestä, vedestä, anioniemulsiosta sekä erilaisista lisä- ja täyteaineista, kuten pH:n säätöaineesta ja yrityksen omasta, patentoidusta lisäaineesta. Heidän tutkimuksensa ovat mm. osoittaneet, että kyseisellä tuotteella valmistettuun kilometrin pituiseen, 7,5 metriä leveään ja 30–40 millimetriä paksuun asfalttiin saadaan sidottua noin 5 %:n biohiilipitoisuudella 30 tonnia hiiltä. Pitoisuutta voidaan kasvattaa jopa 10 %:iin, jolloin asfaltti sitoo itseensä noin 300 tonnia hiiltä. (International Biochar Initiative, 2020)

CarbonCorin biohiilipohjaisen asfalttimassan etuna perinteisen asfaltin levittämiseen on, että massa voidaan levittää ilman korkeaa kuumennusta. Kuuma massa aiheuttaa asfalttiin helpommin ennen aikaisesti syntyviä halkeamia, mikä johtaa tiepinnan tiheämpään uusimiseen. Kylmää asfalttiseosta käyttäen tulokset ovat olleet vastakkaisia ja seoksen on todettu pidemmän teiden käyttöikä. Kylmän seoksen ansiosta biohiilipohjaista asfalttia voidaan yhtä kalustoa käyttämällä rakentaa jopa neljä kertaa enemmän samassa ajassa kuin kuumaa biohiiletöntä massaa käyttämällä. Tämä on tierakennusyritykselle suuri etu, sillä se nopeuttaa työn etenemistä, projektien valmistumista ja vähentää samalla kustannuksia. (International Biochar Initiative, 2020)

Biohiilipohjaisella asfaltilla on olemassa muitakin etuja. Se on esimerkiksi tavanomaiseen massaan verrattuna stabiilimpaa. Tämä johtuu siitä, että asfaltissa oleva biohiili sitoo itseensä kosteutta, jolloin maaperä asfaltin alla pysyy vakaampana eikä aiheuta teihin vajoamia. Mikäli lopputuote ei lämmön lisäksi myöskään sisällä liuottomia, siihen voidaan lisätä myös UV-inhibiittoreita estämään säteilyn rappauttavaa vaikutusta asfalttiin. CarbonCorin asfalttimassalla tien lämpötila ei myöskään nouse yhtä merkittävästi kuin perinteisellä asfalttimassalla. Kylmät seokset valmistetulla biohiilipohjaisella asfalttitiellä on mitattu jopa 10 °C:ta alhaisempia lämpötiloja perinteiseen tiehen verrattuna. Lisäksi asfalttimassaa voidaan värjätä ekologisilla väreillä tehden siitä mahdollisimman luonnollisen näköisen elementin ympäristössä. Kylmä massaseos ei myöskään vaadi valssijyrän käyttöä, vaan se voidaan levittää pelkästään rengasjyrällä. (International Biochar Initiative, 2020)

Biohiilipohjaisen asfaltin haaste voi kuitenkin olla sen tasalaatuisuuden takaaminen. Asfalttimassaa vaaditaan pitkiin tiepätkiin paljon ja sitä joudutaan valmistamaan useissa eri erissä. Tämä voi johtaa siihen, että samalla tiepätkällä asfaltissa ilmenee suuriakin eräkohtaisia eroja sen laadussa ja ominaisuuksissa. (International Biochar Initiative, 2020)

Tällä hetkellä biohiilipohjaisen asfaltin käytölle ei ole vielä kansainvälisellä tasolla minkäänlaista lainsäädäntöä. CarbonCorin teettämät tutkimukset ja asfalttikokeilut tie- ja lentokenttäalueilla ovat perustuneet tilaajan omaan vastuuseen ja harkinnanvaraisuuteen. Yritys on tehnyt tierakennuskokeiluja autoteille ja lentokentille trooppisissa olosuhteissa kuten Malesiassa, Nepalissa, Mosambikissa, Thaimaassa ja Australiassa yhteistyössä yliopistojen ja tutkijoiden kanssa. Näitä asfalttialueita on seurattu yli 1,5 vuoden ajan, minkä jälkeen ne on edelleen todettu hyviksi ja kestäviksi. Yrityksen asfalttikokeiluja ja tuloksia voidaan siis pitää varsin luotettavina ja todenmukaisina. (International Biochar Initiative, 2020)

Zhao, Huang, Shu & Yen (2014, ss. 57–63) tekemän tutkimuksen mukaan optimaalisimmat vaikutukset asfalttipinnan kestävyys- ja lämpöherkkyyden parantamiseksi saadaan, kun biohiiltä lisätään bitumiseokseen 10 % bitumin määrästä. Tutkimuksessa käytettiin kasvibiomassapohjaista biohiiltä, joka oli pyrolysoitu 400 °C:ssa 15 minuutin ajan. Alkulämpötila oli 25 °C ja prosessin kokonaiskesto 60 minuuttia. Näillä prosessiolosuhteilla biohiilen tuotantoasteeksi saatiin 27,92 %. Tutkimuksessa mainitaan tärkeänä huomiona myös, että liian suuri biohiilen lisäys voi tuottaa negatiivisia vaikutuksia seokseen. Näin todettiin esimerkiksi asfaltin kosteuserkkyysosalta, jossa biohiilen lisäys 5 %:sta 10 %:iin heikensi tuloksia. Vastaavia tuloksia ovat omissa tutkimuksissaan saaneet myös Gupta & Kua (2017), jotka ovat todenneet liian suuren biohiilen määrän mm. jäykistävän asfalttia liikaa.

3.3.2 Biohiili bitumin lisäaineena

Chaala, Chebil ja Roy (2000, ss. 671–682) suorittivat tutkimuksen, jossa havupuusta tuotettua biohiiltä käytettiin bitumin lisäaineena ja vertailtiin seoksen ominaisuuksia mustaa hiiltä sisältävään kaupalliseen verrokkiin. Biohiilen raaka-aineena käytettiin 1,4 kilogrammaa havupuuseosta, joka sisälsi eri kuusilajikkeiden, kuten lehti- ja jalokuusen kaarnaa sekä kuorirakennetta. Pyrolyysi suoritettiin panosperiaatteella 500 °C:ssa ja 5 kPa:n paineessa. Lopputulokseksi saatiin 79,35 % hiiltä sisältävää puupohjaista biohiiltä. Tutkimuksen johtopäätökset olivat, että 5–15 %:n lisäys biohiiltä bitumiin vähentää bitumin halkeilua, 15 %:n lisäys parantaa bitumin viskositeettia ja 5 %:n lisäyksellä saadaan vahvistettua pinnan kestävyttä ja vähennettyä urautumista.

3.4 Muita käyttösovelluksia

Schmidt (2012) on maininnut biohiilelle jopa 55 erilaista käyttökohdetta. Yleisimpiä biohiilen käyttösovelluksia viime vuosina ovat olleet

- ravinteiden suodatus nesteestä
- kasvualusta
- kompostoinnin tukiaine, lannoite

- rehun lisäaine
- hulevesien käsittely.

Lisäksi on mainittu tuleviksi ja kehitteillä oleviksi biohiilisovelluksiksi seuraavia:

- rakennustekniikan sovellukset
- ilmanpuhdistus ja -suodatusmenetelmät
- palokaasusuodattimet
- elintarvikepakkausten tukiaine
- tekstiilit ja funktionaaliset vaatteet.

Tuotetun biohiilen perinteiset käyttökohteet ovat olleet pelto- ja puutarhaviljely, viherrakentaminen ja kasvualustat. Lisäksi biohiiltä voidaan käyttää maataloudessa mm. rehun lisäaineena ja kuivikkeena. Vedenpidätysoikeus sekä ravinteiden ja haitta-aineiden absorptio- ja adsorptio-kykyänsä ansiosta, se on menestynyt tutkimuksissa myös tehokkaana kompostoinnin ja lannoitteiden tukiaineena sekä erilaisten hulevesi- ja suodatusmenetelmien sovelluksena. (Schmidt, 2012) Viimeisimmät tutkimukset ovat mm. osoittaneet, että biohiilipohjainen suodatusmenetelmä vähentää jäteveden kemiallista hapenkulutusta (COD) ja ionipitoisuuksia (NH_4^+ , PO_4^{3-} , Pb^{2+} ym.) jopa tehokkaammin kuin aktiivihiili. Tutkimuksien mukaan biohiili olisi myös kiinnostava materiaali akkujen, paristojen ja kondensaattorien valmistuksessa sähköominaisuuksiensa ansiosta. Biohiilen sähkökemiallisia ominaisuuksia voidaan aktivoida kemiallisilla aktivointikäsitteilyillä, joiden myötä biohiilen funktionaaliset ryhmät hiilen pinnassa kasvavat. (Bartoli ym., 2020)

Aasiassa biohiiltä on käytetty jo kauan myös tekstiilien tuotannossa. Bambupohjainen biohiili esimerkiksi parantamaan tekstiilien lämmönsäätelyä sekä hengitysominaisuuksia. Lisäksi biohiilen hyvä adsorptio-kyky mahdollistaisi sen käytön sukissa ja kengissä hienhajun poistajana. Biohiiltä on käytetty myös muissa funktionaalisissa tekstiilituotteissa. Japanissa esimerkiksi tyynyjä ja peittoja on täytetty biohiiltä sisältävällä massalla. Sen tarkoituksena on parantaa nukkujan unta ja niskajännityksiä. (Schmidt, 2012)

Muita tutkittuja biohiilelle sopivia käyttösovelluksia ovat esimerkiksi biomuovin valmistus sekä biohiilipohjaiset komposiitit ja polttokennot. (Bartoli ym., 2020)

4 RAKENNUSJÄTEPUU BIOHIILEN RAAKA-AINEENA

Rakennusjätepuu on materiaalivirta, jota syntyy uudisrakentamisen, korjausrakentamisen ja purkutoimien yhteydessä. Se sisältää useimmiten puumateriaalin lisäksi myös mekaanisia epäpuhtauksia, kuten nauvoja ja saranoita. Tällä hetkellä rakennusjätepuu hyödynnetään pääasiassa polttamalla energiatuotannossa, mikä ei ole kierrättämistä. (Häkämies & Lehtonen, 2019, ss. 4–10) Polton sijaan rakennusjätepuu voitaisiinkin tulevaisuudessa mahdollisesti kierrättää biohiilen raaka-aineeksi.

4.1 Rakennusteollisuuden puujäte

Rakennusteollisuuden alalla syntyy työmaalta jätteeksi jäävää purku- ja rakennuspuuta, jonka kierrättämisen edistämistä halutaan kasvattaa. Suurin osa puupohjaisista rakennus- ja purkujätteistä hyödynnetään nykyisin energiana, minkä myötä uusia kierrätysmuotoja pyritään edistämään ja kierrättämistä monipuolistamaan. Rakennusteollisuudessa syntyvää puujätteen määrää on kuitenkin hankala määritellä, sillä se on voimakkaasti riippuvaista alueesta ja vuotuisesta rakentamisesta. Lisäksi puujätteestä ei kerätä yhtenäisiä määrä- ja laatutietoja. Satunnaisia tilastoja on olemassa, mutta niissä voi ilmetä suuriakin eroavaisuuksia keskenään, jolloin materiaalivirran tilastotietoja ei voida pitää täysin aukottomina. Arvioidaan kuitenkin, että Suomessa syntyy vuosittain 193 000–256 000 tonnia rakentamisen puujätettä. (Häkämies & Lehtonen, 2019, ss. 2–16)

Kanta-Hämeessä ja osaksi Keski-Uudellamaalla toimii jätehuolto-yhtiö Kiertokapula Oy. He ovat vuoden 2018 vuosikatsauksessaan ilmoittaneet yhtiön vastaanottaneen vuoden 2018 aikana 10 726 tonnia puhdasta puuta ja purkupuuta jätteenkäsittelyalueeltaan. (Kiertokapula, n.d.) Tällainen rakennusteollisuudesta ja uudis-, sekä purkurakennuskohteista peräisin oleva puupohjainen materiaalivirta koostuu työn seurauksena alueelta raivatusta puhtaasta puumateriaalista sekä käytöstä poistetusta, käsitellystä että käsittelemättömästä puutavarasta (Alakangas & Wiik, 2008, ss. 24–26).

Keskikokoisen pienkerrostalon rakentamisen arvioidaan vuoden aikana tuottavan 80 tonnia jätettä, josta 20 p-% arvioidaan koostuvan käsittelemättömästä puusta ja 2 p-% käsitellystä puusta. Uudisrakentamiskohteissa jätteeksi päätyvä puumateriaali koostuukin pääasiassa käsittelemättömästä puusta toisin kuin purkutyömaiden puujäte. Käsitellyn puun määrä uudisrakentamistyömailla on pieni, koska maalaukset ja muut puupinnan käsittelyt suoritetaan pääasiassa määrämittaiseen puuhun. Uudisrakentamiskohteissa käsiteltyjä ja kierrätykseen päätyviä puuosia saattaa kuitenkin syntyä esimerkiksi lattiamateriaaleista ja kalusteasennuksista. Nämä ovat usein maalilla tai muulla pinnoitteella käsiteltyä lastulevyä. Kierrätettävää purku- ja rakennuspuuta syntyy myös tie- ja siltatyömailta. (Alakangas & Wiik, 2008, ss. 24–26)

4.1.1 Rakennuspuuna käytetyt puulajit

Rakennustyömailla syntyvä puujäte koostuu pääasiassa kuusesta ja männystä. Lisäksi joukossa saattaa olla myös koivupohjaisia huonekaluja tai vanereja sekä harvemmin rakennuspuuna käytettyjä puulajeja, kuten haapaa, leppää ja vaahteraa. Ulkomaisten puulajien käyttö rakennuspuumateriaalina on epätavallista. Kierrätykseen päätyvä rakennuspuu voi kuitenkin jossain määrin sisältää myös pyökki-, jalava- tai mahonkipohjaisia materiaaleja. (Opetushallitus, n.d.)

4.1.2 Rakennusjätepuun kierrätystavoitteet

Puumateriaalia kierrätetään EU:n alueella edelleen suhteellisen vähän. Vähemmän kuin esimerkiksi paperi- ja kartonkijätettä. Europarlamentin uusien säännösten mukaan jätehuollon tavoitteena onkin nostaa puujätteen kierrätys 25 %:iin vuoteen 2025 mennessä ja 30 %:iin vuoteen 2030 mennessä. Rakennusten hiilijalanjäljen pienentäminen tulee myös osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä, mikä tarkoittaa samalla sitä, että rakennusmateriaaleilla ja materiaalitehokkuudella tulee olemaan rakennusteollisuuden alalla yhä suurempi merkitys. (Euroopan parlamentti, 2018)

Suomen jätelainsäädäntö pohjautuu Euroopan unionin 2008 laatimaan jätedirektiiviin. Tämä direktiivi esimerkiksi edellytti, että rakennusalalta syntyvän rakennus- ja purkujätteen kierrätysasteen tulisi nousta 70 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Suomessa kierrätysasteen arvioitiin olevan vuonna 2013 vasta 26 %. Tähän tosin ei ole huomioitu energiaksi hyödynnettäviä rakennusjättemateriaaleja. Rakennusjättemäärästä noin 41 % on puupohjaista jätettä, joka syntyy pääasiassa kokonaisten rakennusten purkamisesta. (Asikainen ym., 2015, s. 6) Syntyvää rakennusjättemateriaalin määrää ja sen kierrätysastetta ei kuitenkaan tarkasti osata arvioida, sillä alalta puuttuu vielä toistaiseksi jättemateriaalien tieto- ja tilastointijärjestelmä (Dahlbo ym., 2018, ss. 28–33).

4.1.3 Rakennusjätepuun laatuluokittelu

Rakennusjätepuun luokittelua, lupamenettelyä ja raportointia helpottamaan on laadittu jätepuun laatuluokittelu. Luokittelun avulla jätepuulle voidaan sen laadun mukaan valita sopivin jatkoprosessi tai käyttökohde. Samalla kyetään esimerkiksi erottelemaan massasta sellainen puhdas puu, joka ei haitallisissa määrin sisällä epäpuhtauksia eikä näin ollen vaadi hävitystä esimerkiksi polttamalla. Rakennusjätepuun laatuluokittelu on laadittu neliportaiseksi ja jaoteltu A-, B-, C- ja D-luokkiinsa. Luokat A ja B kuuluvat standardin SFS-EN ISO 17225–1 vaikutuspiiriin. A-luokka on täysin puhdasta ja kemiallisesti käsittelemätöntä puuta. B-luokkaan taas kuuluvat kemiallisesti käsitellyt puujätteet, jotka eivät kuitenkaan sisällä vaarallisia

ja myrkyllisiä yhdisteitä. A- ja B-luokat ovat niin kutsuttuja biopolttoaineluokkia, eikä niihin sovelleta jätteenpolttoasetusta. C- ja D-luokat puolestaan kuuluvat jätteenpolttoasetuksen vaikutuspiiriin. C-luokan puujäte luokitellaan kierrätyspolttoaineeksi ja noudattaa standardia SFS-EN15359. Se saa sisältää halogenoituja orgaanisia yhdisteitä (esim. PVC) sekä raskasmetallia, muttei puunkyllästysaineita (esim. painekyllästettyä puuta). Useimmiten C-luokkaan määritellyn puujätteen alkuperä on myös vaikeasti todennettavissa. D-luokkaan kuuluva puujäte on vaarallista jätettä. Se sisältää kyllästysaineella käsiteltyä puuta, jolloin käsittelyssä tulee noudattaa vaaralliselle jätteelle määriteltyjä lainsäädännöllisiä asetuksia. (VTT Oy, 2014, ss. 2–4, ss. 12–14)

A- ja B-luokan puumateriaaliin ei sovelleta jätteenpolttoasetusta, joten biohiilen valmistuksessa tulisi suosia juuri näitä puulaatuja. Rakennusjätepuun luokittelusta on tarkempi kuvaus Satu Åhlströmin opinnäytetyössä ”*Biohiilen valmistus rakennusjätepuun käsittelyratkaisuna*” (Åhlström, 2020).

4.1.4 Rajoituksia ja haasteita rakennusjätepuupohjaisen biohiilen käyttöön

Puu sitoo kasvaessaan hiilidioksidia ilmakehästä, mutta ei pitkällä aikavälillä ole kuitenkaan hyvä hiilivarasto. Palatessaan, lahotessaan tai maatuessaan puu vapauttaakin sitomansa hiilidioksidin takaisin ilmakehään. Pyrolysoinnissa puujäte tai muuhun hyötykäyttöön soveltumattomat puun osat voidaan valmistaa biohiileksi ja sitoa puussa oleva hiili parhaimmillaan jopa 50-prosenttisesti biohiileen. Biohiili voidaan ottaa jatkokäyttöön esimerkiksi maaperän parannusaineena, jolloin hiili saadaan sidottua jopa tuhansiksi vuosiksi ilmakehästä maaperään. (Lampila, 2019)

Biohiilellä ei ole Suomessa vielä pitkää kaupallista historiaa. Sen valmistuksesta puuttuvat vakiintunut lainsäädäntö ja laatuluokitukset, joiden avulla voitaisiin aina taata yhdenmukainen ja tasalaatuinen biohiilen tuotanto. Tästä huolimatta rakennusjätepuun pyrolysoinnille ja siitä valmistetulle biohiilelle on olemassa tiettyjä sen käyttöä rajoittavia seikkoja. Esimerkiksi kyllästepitoinen D-laatu luokan jätepuu ei sovellu biohiilen valmistukseen. Mikäli käyttöön tarvitaan elintarvikekelpoista biohiiltä, silloin haitta-aineita, kuten raskasmetalleja ja PAH-yhdisteitä ei saisi esiintyä lopputuotteessa. Lähtökohtaisesti rakennusjätepuupohjaista biohiiltä ei suositella elintarvike- tai rehukäyttöön. (Salo, 2020; Tiilikkala, 2020)

Lisäksi saadakseen vapaaehtoisen European Biochar Certificate -säätiön ylläpitämän eurooppalaisen biohiilisertifikaatin, biohiilen raaka-aine ei saisi sisältää maaleja, liuottimia eikä orgaanisia- tai epäorgaanisia haitta-aineita. Sertifikaatin saaminen edellyttäisi myös, että metsätaloustuotteita biohiilen raaka-aineena käytettäessä, on puulla oltava asianmukaiset PEFC- tai FSC- sertifikaatit. Näillä sertifikaateilla varmistetaan kestävä metsätalous. (European Biochar Foundation, 2019, s. 7)

Prosessin kannalta teknisiä ongelmia voivat tuottaa puumateriaalin sisältämät metallit ja materiaalin alkanut lahoaminen. Jatkovatoimisessa prosessissa metallien erottelu puumassasta on välttämätöntä mm. prosessin kuormittavuuden laskemiseksi. Panosperiaatteella toimivassa prosessissa erottelu ei ole välttämätöntä. Metallin erottelu voi hyvin sekalaisesta materiaalista olla haasteellista ja aikaa vievää. Siksi jatkovatoimisissa prosesseissa usein käytetäänkin mielellään suoraan puhdasta puubiomassaa biohiilen raaka-aineena. Jatkovatoimisissa prosesseissa myös puun alkanut lahoaminen tuottaa ongelmia hiilen jäähtymyksessä, ja voi aiheuttaa biohiilen itsesyttymistä. Lahonnut puu on myös märkää, jolloin se usein hiiltyy huomattavasti tervettä puumateriaalia heikommin. (Tiilikkala, 2020)

Rakennusjätepuun tehokkaalle kierrättämiselle yksi merkittävä haaste on myös heikko ennakkotieto syntyvän materiaalin määrästä ja laadusta. Olennaista olisi tietää jo ennen rakennus- tai purkutoiminnan aloittamista, mitä materiaaleja kohde sisältää. Tällöin materiaalivirran kierrätys- ja käsittelymahdollisuudet osattaisiin arvioida etukäteen. Materiaalivirran laadun tunnistaminen tehostaisi samalla vaarallisten aineiden, kuten asbestin, paikantamista. (Punkkinen & Wahlström, 2020)

4.2 Puujätteen pyrolyysitutkimus

Yhdysvalloissa Washingtonin osavaltiossa toteutettiin vuosina 2015–2017 tutkimushanke, jonka tarkoituksena oli edistää kaikenlaisen sivuvirtana syntyvän orgaanisen aineen jatkohyödyntämistä alueella. Hanke toteutettiin yhdessä Washingtonin yliopiston sekä Washingtonin osavaltion ekologian laitoksen kanssa. Hankkeen kokeissa biohiilen valmistukseen käytettiin erilaisia käytettyjä ja sivuvirtana syntyneitä puupohjaisia materiaalivirtoja. Näitä puumateriaaleja pyrolysoitiin 30 minuutin ajan 400 °C:ssa tai 600 °C:ssa. Tämän jälkeen biohiilen saanto sekä alku- ja haitta-aine koostumukset analysoitiin. Lisäksi tehtiin koostumusanalyysi pyrolysoinnissa muodostuneelle kaasulle ja pyrolyysiöljylle. Pyrolyysiprosessin aikana voi syntyä ympäristölle haitallisia PAH- ja VOC-yhdisteitä sekä raskasmetalleja. Ne voivat kertyä myös pyrolyysin lopputuotteisiin. Nämä yhdisteet voivat vaikuttaa negatiivisesti biohiilen laatuun sille valitussa käyttökohteessa, etenkin maanparannuksessa ja kasvualustoissa. (Ayiania & Garcia-Pérez, 2018, s. 95)

Seuraavat asiat on koottu tutkimuksesta tehdystä yhteisraportista *Advancing Organics Management in Washington State: The Waste to Fuels Technology Partnership* (2018, ss. 95–137).

4.2.1 Biohiilen saanto

Biohiili on yksi pyrolyysiprosessissa syntyvä lopputuote. Washingtonin tutkimushankkeessa käytettiin pyrolyysin lähtöaineena koostumukseltaan ja alkuperältään erilaisia puumateriaaleja. Raaka-aineina käytettiin mm. puu-

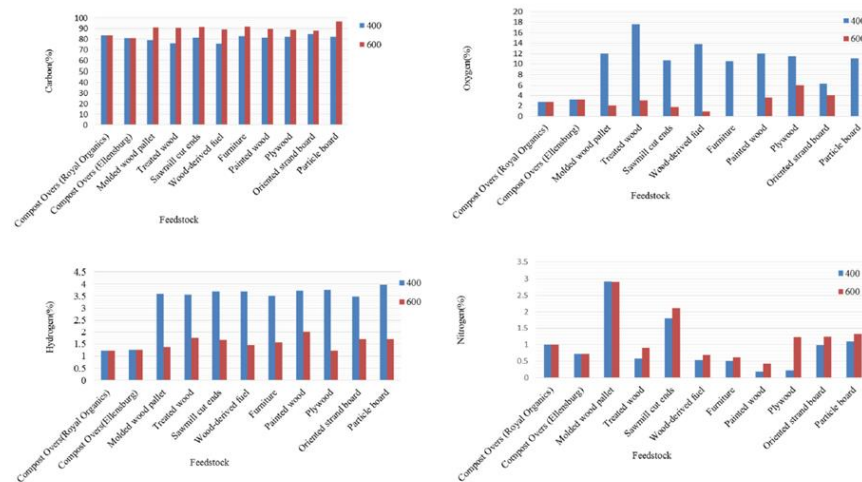
ja lastulavoja, vaneria, ylijäämäpaloja, maalattua tai muuten esikäsiteltyä puuta sekä huonekalujen puuosia (kuva 6). (Ayiania ym., 2018, ss. 95–112)



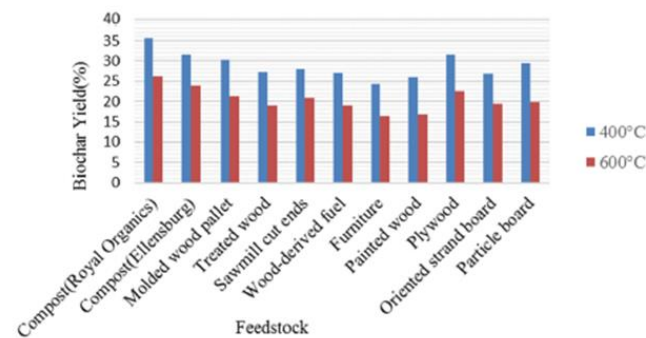
Kuva 6. Tutkimuksessa raaka-aineena käytettyjä puumateriaaleja. (Ayiania ym., 2018, s. 98)

Biohiilen alkuaineanalyyseistä selviää, että sen alkuainekoostumus on riippuvainen käytetystä raaka-aineesta sekä käsittelyajasta ja -lämpötilasta. Biohiilen alkuaineanalyyseiden tulokset on esitetty kuvassa 7 (s. 23). (Ayiania ym., 2018, ss. 100–102)

Biohiilen saannosta puolestaan tehtiin havainto, että raaka-aineesta riippumatta parhain biohiilen saanto saadaan alhaisemmassa lämpötilassa (400 °C). Parhaimmat saannot saatiin jo kompostoituneella puumassalla sekä vanerin paloista koostuneella puubiomassalla. Alhaisin biohiili määrä sen sijaan valmistui vanhoista huonekalujen puuosista. Biohiilen saanto eri lämpötiloissa on esitetty kuvassa 8 (s. 23). (Ayiania ym., 2018, ss. 95–112, ss. 131–132)



Kuva 7. Raaka-aineiden ja pyrolyysilämpötilojen vaikutukset biohiilen alkuainekoostumukseen. (Ayiania ym., 2018, s. 102)



Kuva 8. Biohiilen saantoprosentit eri lämpötiloissa ja eri raaka-aineilla. (Ayiania ym. 2018, s. 100)

4.2.2 Raskasmetallit ja haitta-aineet biohiilessä

Raskasmetallien ja haitta-aineiden määrät valmistetussa biohiilessä vaihtelevat raaka-aineen mukaan. Maalattua puusta valmistetun biohiilen elohopeapitoisuudet ja käsitellystä puusta valmistetun biohiilen arseenipitoisuudet ylittivät maankäytölle Yhdysvalloissa määritetyt sallitut raja-arvot. Jatkotutkimukset osoittivat happopesun olevan tehokkain menetelmä poistaa raskasmetalleja biohiilestä (taulukko 1, s. 24 & taulukko 2, s. 24). Tutkimus suosittelee etenkin etikkahapon käyttöä, sillä vaikka suolahappoliuos toimisi yhtä tehokkaasti se voi etikkahappoa todennäköisemmin aiheuttaa myös ei-toivottuja muutoksia biohiilen ominaisuuksissa. Liukoisia PAH-yhdisteitä ei havaittu yhdessäkään tutkimuksen aikana valmistetussa biohiilessä. (Ayiania ym., 2018, ss. 95–98, ss. 107–110)

Taulukko 1. Raskasmetallien määrät maalatusta puusta valmistetussa biohiilessä ennen ja jälkeen pesukäsittelyn (Ayiania ym., 2018, s. 107, s. 110)

Raskasmetallit ennen pesukäsittelyä						Raskasmetallit pesukäsittelyn jälkeen				
Metals (mg kg ⁻¹)	Maximum allowable standard ¹	Painted wood	Oriented			Painted Wood				
			Ply wood	strand board	Particle board	Before wash	HCl	Acetic acid	Hot water, 100° C	
Arsenic (As)	5.0	0.29	0.47	0.36	0.19	Arsenic (As)	0.29	nd ¹	nd	nd
Selenium (Se)	1.0	nd ²	0.51	nd	nd	Selenium (Se)	nd	1.72	3.35	1.81
Molybdenum (Mo)	-	18.74	1.11	0.79	1.97	Molybdenum (Mo)	18.74	0.95	6.11	3.93
Cadmium (Cd)	1.0	nd	1.49	nd	nd	Cadmium (Cd)	nd	nd	nd	nd
Antimony (Sb)	-	2.03	2.83	1.92	0.83	Antimony (Sb)	2.03	nd	nd	nd
Lead (Pb)	5.0	7.02	4.85	2.98	1.32	Lead (Pb)	7.02	3.18	8.87	8.38
Indium (In)	-	8.73	13.41	11.03	15.61	Indium (In)	8.73	nd	nd	nd
Tin (Sn)	-	nd	nd	nd	nd	Tin (Sn)	nd	nd	nd	nd
Mercury (Hg)	0.2	62.99	26.46	47.18	25.79	Mercury (Hg)	62.99	nd	nd	56.57
Ruthenium (Ru)	-	2.21	0.31	0.66	0.36	Ruthenium (Ru)	2.21	nd	nd	nd
Platinum (Pt)	-	1.51	0.45	1.09	0.85	Platinum (Pt)	1.51	nd	nd	nd
Total		103.52	51.91	66.01	46.92	Total	103.52	5.86	18.34	70.69

¹ nd = below detection limit

Taulukko 2. Raskasmetallien määrät käsitellystä puusta valmistetussa biohiilessä ennen ja jälkeen pesukäsittelyn (Ayiania ym., 2018, s. 107, s. 109)

Raskasmetallit ennen pesukäsittelyä						Raskasmetallit pesukäsittelyn jälkeen				
Metals (mg kg ⁻¹)	Maximum allowable standard ¹	Treated wood	Wood-			Treated Wood				
			Sawmill cuts ends	derived fuel	Furniture	Before wash	HCl	Acetic acid	Hot water, 100° C	
Arsenic (As)	5.0	170.42	2.54	0.92	6.63	Arsenic (As)	170.42	nd ¹	nd	nd
Selenium (Se)	1.0	nd ²	10.18	nd	6.63	Selenium (Se)	nd	2.10	2.08	1.66
Molybdenum (Mo)	-	15.69	8.63	2.28	5.93	Molybdenum (Mo)	15.69	2.16	1.50	1.05
Cadmium (Cd)	1.0	nd	nd	nd	5.09	Cadmium (Cd)	nd	nd	nd	nd
Antimony (Sb)	-	90.93	1.75	0.89	6.47	Antimony (Sb)	90.93	nd	nd	nd
Lead (Pb)	5.0	61.67	7.23	8.10	4.62	Lead (Pb)	61.67	8.48	5.15	5.55
Indium (In)	-	8.41	8.90	17.26	26.00	Indium (In)	8.41	nd	nd	nd
Tin (Sn)	-	11.25	nd	7.07	11.40	Tin (Sn)	11.25	nd	nd	nd
Mercury (Hg)	0.2	3.53	0.24	23.39	22.34	Mercury (Hg)	3.53	nd	nd	nd
Ruthenium (Ru)	-	1.12	1.90	0.10	1.08	Ruthenium (Ru)	1.12	nd	nd	nd
Platinum (Pt)	-	0.19	5.75	2.18	3.11	Platinum (Pt)	0.19	nd	nd	nd
Total		363.22	47.12	62.18	99.30	Total	363.22	12.74	8.74	8.26

¹ nd = below detection limit

Tutkimuksessa todetaan, että sellaista puujaetta, joka sisältää raskasmetalleja tai muita epäpuhtauksia ei tulisi käyttää maaperän parannukseen tarkoitetun biohiilen valmistukseen. Raaka-aineessa olevat raskasmetallit saattavat rikastuttaa biohiilen. Tällä hetkellä tutkimustietoa on kuitenkin hyvin vähän siitä, missä määrin nämä haitalliset aineet siirtyvät biohiileen, ja mitkä ovat tällöin niiden ominaisuudet sekä vaikutukset biohiilessä ja sille valitussa käyttökohteessa. Tutkimustietoa on toistaiseksi vähän myös menetelmistä, joilla puusta saataisiin poistettua haitallisia aineita. (Ayiania ym., 2018, ss. 95–98, ss. 104–110)

4.2.3 Haihtuvat yhdisteet pyrolyysikaasussa

Tutkimuksessa esitetään yhdeksi huolen aiheeksi myös pyrolyysissä muodostuvan kaasun sisältämät epäpuhtaudet. Tutkimuksen aikana suurimmat pitoisuudet erilaisia haihtuvia epäpuhtauksia mitattiin syntyvän

käsitellyn puun pyrolyysistä (taulukko 3, s. 25). Käsitellyn puun pyrolyysikaasussa ilmenivät myös suurimmat määrät klooria ja typpeä. Kaasun sisältämien epäpuhtauksien jatkotutkimuksia kuitenkin tarvitaan lisää, jotta oikeanlainen kaasufaasin puhdistusmenetelmä osattaisiin tunnistaa, eivätkä epäpuhtaudet päätyisi ilmaan. (Dunsmoor & Garcia-Perèz, 2018, ss. 113–125)

Taulukko 3. Käsitellyn puun pyrolyysikaasun sisältämät haihtuvat yhdisteet (Dunsmoor ym., 2018, s. 126)

Table 6.11: Significant compounds identified in vapor from pyrolysis of treated wood

Compound	% Composition
Carbon dioxide	4.79 ± 1.89
Acetic acid	3.65 ± 0.52
n-Hexadecanoic acid	3.64 ± 0.32
Formic acid, chloro-, (3,4,4-trimethyl-1,2-dioxetan-3-yl) methyl ester	3.17 ± 0.49
Phenol, 2-methoxy-4-(1-propenyl)-, (E)-	3.06 ± 0.31
Phenol, 2-methoxy-4-methyl-	3.02 ± 0.17
Octadecanoic acid	2.83 ± 0.25
2-Methoxy-4-vinylphenol	2.83 ± 0.22
2-Propanone, 1-hydroxy-	2.47 ± 0.08
4-((1E)-3-Hydroxy-1-propenyl)-2-methoxyphenol	2.19 ± 0.35
Phenol, 2-methoxy-	2.03 ± 0.30
2-Cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-	1.64 ± 0.13
4-Hydroxy-2-methoxycinnamaldehyde	1.58 ± 0.21
Propanoic acid, 2-oxo-, methyl ester	1.37 ± 0.30
12-Ethylsophoramine	1.32 ± 0.33
Vanillin	1.27 ± 0.13
1,6-Anhydro-beta-D-glucopyranose (levoglucosan)	1.15 ± 0.13

4.2.4 Pyrolyysiöljy

Pyrolyysissä syntyy biohiilen ja kaasun lisäksi myös pyrolyysiöljyä eli bioöljyä. Washingtonin tutkimus teki öljystä koostumusanalyysit ja halusi selvittää pyrolyysiöljyn furfuraali-, levoglukosaani- ja guajakolipitoisuudet. Nämä yhdisteet ovat peräisin raaka-aineen selluloosa-, hemiselluloosa-, ja ligniini-jakeista. Polttoaineksi käytettävän bioöljyn kannalta näiden yhdisteiden läsnäoloa ei kuitenkaan nähdä kovinkaan merkittävänä. Sen sijaan yhdisteiden erottelun myötä, ne voidaan jatko hyödyntää erikseen korkeamman lisäarvon tuotteissa. Tutkimuksessa furfuraali-, levoglukosaani- ja guajakolisaannot jäivät kuitenkin alhaisiksi, eikä raaka-aine materiaalien välillä ilmennyt suuria poikkeavuuksia. (Garcia-Perèz, Mainali, Neuschwander & Terrell, 2018, ss. 126–127)

4.3 Muita tutkimustuloksia

Rakennusjätepuun mahdollisuutta toimia biohiilen raaka-aineena on tutkittu myös Norjassa, yhteistyössä alan muiden asiantuntijoiden kanssa. Sormo ym., (2020, ss. 1–11) ovat tutkineet jätepuun pyrolysointia tarkoituksenaan selvittää, kuinka mahdollisen epäpuhtaan tai käsitellyn

puumateriaalin haitta-aineet reagoivat pyrolyysiprosessissa, ja miten mahdolliset epäpuhtaudet jakautuvat kaasujen ja biohiilen välillä. Lisäksi tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, mikä on epäpuhtauksien pitoisuus valmiissa biohiilessä. Tutkijoiden mukaan nämä tekijät vaikuttavat merkittävästi pyrolyysin käyttöön rakennusjätepuun jätteenkäsittelyvaihtoehtona.

Tutkimuksessa pyrolyysin raaka-aineena käytettiin epäpuhdasta ja laadultaan sekalaista puutavaraa, kuten talojen purkupuuta, kontteja, huonekaluja ja muuta kierrätykseen päätynyttä puutavaraa. Osa puumateriaalista sisälsi metallilevyjä ja nauvoja, jotka poistettiin magneetilla osittain ennen materiaalin haketusta. Vertailukohteenä tutkimustuloksille käytettiin risupohjaista puutarhajätettä. Raaka-ainemateriaalin kosteuspuiteisuus oli 8,6 % (vertailukohteen 20,9 %). Materiaali kuivattiin ennen pyrolyysin aloitusta 110 °C:ssa yön yli. Pyrolyysi tehtiin 600 °C:ssa, ja massan viipymäaika reaktorissa oli 20 minuuttia. Analyysit tehtiin sekä prosessissa syntyneestä kaasusta että biohiilestä. Tuloksia verrattiin risupohjaisen biomassan pyrolyysituloksiin. (Sormo ym., 2020, ss. 2–4)

Tutkimuksen keskimääräinen biohiilisaanto oli jätepuulla 26 % ja vertailunäytteellä 25 %. Jätepuusta pyrolysoitun biohiilen hiilipitoisuus oli korkea 81 %. Biohiileen tehdyt analyysit osoittivat, että orgaanisista epäpuhtauksista biohiilessä havaittiin ainoastaan PAH-yhdisteitä (mm. naftaleeni ja fenantreeni) ja dioksiinejä. Muiden orgaanisten haitta-aineiden voidaan olettaa hajoaneen pyrolyysin aikana. Raportissa viitataan myös muihin tutkimuksiin, joissa on todettu lyhyen viipymäajan nostavan PAH-yhdisteiden syntyä pyrolyysissä. Tutkimuksessa käytetty lyhyt viipymäaika on voinut olla osatekijä syntyneiden PAH-pitoisuuksien määrään. Metallien haihtuvuuteen pyrolyysin aikana puolestaan vaikuttaa pyrolyysiolosuhteet, kuten lämpötila sekä käytetty raaka-aine, ja metallien ominaisuudet. Jätepuusta valmistetun biohiilen analyysitulokset osoittivat joidenkin raskasmetallien, kuten lyijyn, sinkin ja kuparin ylittävän European Biochar -sertifikaatin vaatimuksissa määritetyt sallitut raja-arvot. Tämä johtaa siihen, ettei kyseistä biohiiltä saisi käyttää esimerkiksi maatalouden käytössä olevan maaperän parannukseen, vaan sen käyttöpotentiaali olisi muissa, vähemmän herkissä sovelluksissa, kuten rakennusmateriaaleissa. (Sormo ym., 2020, ss. 7–9)

Jätepuun pyrolyysissä rikastuvien ja syntyvien raskasmetallien sekä PAH-yhdisteiden määrää voitaisiin vähentää optimoimalla niiden haihtuminen. Esimerkiksi yli 800 °C:ssa prosessi on termodynaamisessa tasapainossa lyijyn ja sinkin haihtumisen suhteen. Raaka-ainemateriaali osoittautui tutkimuksessa varsin heterogeeniseksi ja tätä voitaisiin vähentää etsimällä tehokkaita käsittelymenetelmiä metallien poistoon ennen pyrolyysiprosessia. (Sormo ym., 2020, ss. 9–10)

Tutkimuksessa todetaan pyrolyysin olevan potentiaalinen vaihtoehto jätepuun käsittelymenetelmänä. Prosessissa syntyviä päästöjä, kuten haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, hiilimonoksia ja aerosoleja kyetään

nykyaikaisilla prosessilaitteistoilla alentamaan merkittävästi. Prosessilaitteistolla onkin suuri merkitys syntyvien päästöjen käsittelyssä. Pyrolyysikaasujen koostumuksessa on huomioitava myös CO- ja CH₄-päästöt sekä PAH- ja metallipäästöt. (Sormo ym., 2020, ss. 9–10)

Jätepuusta tuotettu biohiili on laadultaan hyvää, joten prosessia ja biohiilen jatkokäyttöä voidaan pitää perusteltuna. Edellytyksenä kuitenkin on huomioida raaka-aineen korkea orgaanisten haitta-aineiden pitoisuudet ja raskasmetallipitoisuudet, sekä näiden siirtyminen biohiileen että pyrolyysikaasuun. Tarkemman arvion saamiseksi vaadittaisiin myös elinkaariaanalyyysien vertailu sekä jätepuun pyrolyysistä jätteenkäsittelymenetelmänä että nykyisestä toimintatavasta. (Sormo ym., 2020, ss. 9–10)

4.4 Käytännön laitossovelluksia ja suunnitelmia

Hong Kongissa on käynnistymässä hanke, jossa pilotoidaan puumaisen jätteen, kuten käytettyjen kuormalavojen ja bamburakennustelineiden kierrätyslaitoksen potentiaalia. Tarkoituksena on nostaa alueen kierrätysastetta. Pilottitehtaan vuorokausikapasiteetiksi suunnitellaan 24 tonnia puupohjaista biomassaa. Tästä biomassasta valmistetaan biohiiltä erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tavoitteena on myös kartoittaa korkeampiarvoisten lopputuotteiden mahdollista käyttöpotentiaalia. Hankkeessa on mukana kansainvälinen insinööriyritys Black & Veatch. (Taylor, 2020)

Stora Ensolla on suunnitelmissa alkaa tuottamaan ligniinistä biohiiltä ja käyttää sitä raaka-aineena akkujen valmistuksessa. Näitä akkuja voidaan tulevaisuudessa käyttää autoteollisuudessa, kulutuselektronikassa sekä vartiointijärjestelmissä. Lisäksi yritys näkee, että ympäristölle vastuullisemmalle elektroniikalle on maailmanlaajuinen kysyntä. Yritys on rakentamassa koelaitosta Kotkaan, jonka on tarkoitus valmistua vuonna 2021. (NEWS Powered by CISION, 2020)

Hämeenlinnan Kiertokapula Oy järjesti yhdessä Biohiilestä bisnestä Hämeeseen -hankkeen kanssa biohiilen valmistusdemonstraation toukuussa 2020. Projektissa paikallista purkupuuta pyrolysoitiin biohiileksi Mayt Oy:n kontissa. Pilotoinnin tarkoituksena oli pohjustaa tutkimusta siitä, voidaanko alueella syntynyttä rakennusjätepuuta käyttää biohiilen valmistukseen ja sitä kautta jatkojalostaa uusiin käyttökohteisiin. Kiertokapulan Karanojan jätteenkäsittelyalueella on tutkittu rakennuspuupohjaisen biohiilen käyttöä mm. alueen ravinnepitoisten suotovesien puhdistamiseen. Projekti on osa Biohiilestä bisnestä Hämeeseen -hanketta. (Juutilainen, 2020) Hankkeesta on lisätietoja osoitteessa: <https://www.hamk.fi/projektit/biohiili-biohiilesta-bisnesta-hameeseen/>

5 KARTOITUS JA KYSELYTUTKIMUS

Tässä opinnäytetyössä yhtenä tutkimusmetodina käytettiin kyselytutkimusta. Kyselytutkimuksen avulla selvitettiin kantahämäläisten rakennustoimijoiden mielenkiintoa biohiiltä kohtaan, sekä heidän kiinnostustaan toimittaa syntynyttä rakennusjätepuuta biohiilen raakaa-aineeksi. Opinnäytetyön tutkimuskysymykseen ”Mitkä ovat rakennusjätepuusta tuotetun biohiilen käyttösovellukset rakennusteollisuudessa ja tienrakennuksessa sekä mitkä ovat näiden käyttösovellusten näkymät Kanta-Hämeessä?” saatiin vastaus kyselyn tulosten pohjalta.

5.1 Kartoitus rakennusalan toimijoista

Kyselytutkimusta ja biohiilen käyttökohteiden selvitystä varten selvitettiin Kanta-Hämeen alueella toimivia betoni-, rakennus- ja tienrakennusalan toimijoita. Yhteystiedot kerättiin yritysrekisterin sekä nettihaun avulla. Tutkimuskyselyn linkki lähetettiin sellaisille yrityksille, joiden sähköpostiosoite oli saatavissa yritystiedoista. Henkilöstömäärälle tai palveluille ei määritelty muita tarkempia rajoituksia. Tarkoituksena oli kerätä toimijoita koko Kanta-Hämeen alueen kaikilta rakennusteollisuuden sovellusaloilta.

5.2 Kysely biohiilen käyttömahdollisuuksista

Opinnäytetyössä Kanta-Hämeen alueella toimivien rakennusteollisuusalan yritysten kiinnostusta mm. biohiilipohjaisia käyttösovelluksia kohtaan, selvitettiin kyselytutkimuksen avulla. Kyselytutkimus oli kvalitatiivinen ja antaa yhdessä yrityshaastattelun kanssa laajemman näkökulman tutkimuskysymykseen kuin kyselytutkimus yksikään.

5.2.1 Tutkimuskysely

Kyselytutkimuksia pidetään helppokäyttöisinä tutkimusmenetelminä, sillä niiden avulla voidaan tavoittaa suuria määriä vastaajia ja saada laaja-alainen tutkimusaineisto. Lisäksi niiden toteutus on moneen muuhun menetelmään verrattuna vaivatonta, aikaa säästävää ja vähäkustanteista. Haasteeksi kyselytutkimuksessa voi osoittautua väärinymmärretyt kysymykset, jotka ovat useimmiten seurausta heikosti asetetuista kysymyksistä. Vastauksiin voivat vaikuttaa myös vastaajien suhtautuminen kyselyyn, heidän tarkkaavaisuutensa ja rehellisyytensä. Vastaajan vastuu korostuu etenkin menetelmissä, jossa tutkija ei ole vaikuttamassa läsnäolollaan vastaushetkeen. Kyselynä tuotetun tutkimuksen ongelmaksi voi nousta myös vastamattomuus, mihin voi vaikuttaa kyselyiden yleistymisen viime vuosina. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 1998, ss. 191–194)

5.2.2 Rakenne

Luotettavan kyselytutkimuksen kannalta on oleellista laatia kyselyasettelu helppotajuiseksi ja tehdä kokonaisrakenteesta yksinkertainen. Standardoitu kysely toteutetaan aina niin, että kysymykset tullaan esittämään kaikille vastaajille täysin samanlaisina ja arvioidaan samalla tavalla. Standardisuus vaatii täsmällisiä ja kohtuullisia kysymyksiä. Niitä laatiessa onkin oleellista muistaa, että vastaajajoukko harvoin tuntee kyselyn aihetta yhtä hyvin kuin kyselyn laatija. (KvantiMOTV, 2010) Kysymystyyppit jaetaan avoimiin- ja monivalintakysymyksiin, asteikkoon perustuvaan kysymysmalliin sekä näiden yhdistelmiin (Hirsjärvi, 1998, ss. 194–195).

Kysymysten asettelulla on tutkimuskyselyä laadittaessa tärkein merkitys. Sen avulla herätetään vastaajan mielenkiinto ja kasvatetaan motivaatiota kyselyä kohtaan. Kysely kannattaakin aloittaa muutamilla helpoilla taustatieto kysymyksillä ennen intensiivisempiä kysymyksiä itse tutkimusaiheesta. Johdattelevia ja ammattitermistöä sisältäviä kysymyksiä kannattaa välttää. Helppointa ja mielekkäintä vastaajalle on myös se, että samaa asiaa koskevat kysymykset on laadittu loogisesti peräkkäin. (KvantiMOTV, 2010)

5.2.3 Toteutus

Kyselytutkimuksessa päädyttiin käyttämään sähköistä kyselylomaketta, joka lähetettiin Kanta-Hämeen alueella toimivien rakennusteollisuusalan toimijoille sähköpostiin saatesanojen kera. Sähköiseen versioon päädyttiin sen helppouden, vaivattomuuden ja ajankäytön takia. Verkossa suoritettavalla kyselyllä pyrittiin saamaan suurempi määrä vastauksia lyhyemmässä ajassa kuin ainoastaan haastattelupyynnöjä lähettämällä.

Kysely luotiin kyselynetti.com sivustolle, jonne kerättiin yhteensä 12 tutkimusaiheeseen liittyvää kysymystä. Kysymykset laadittiin yhdessä toisen opiskelijan Satu Åhlstromin kanssa, jonka opinnäytetyö käsittelee biohiilen valmistamista rakennusjätepuun käsittelyratkaisuna.

Laaditut kysymykset olivat rakenteeltaan avoimia- ja monivalinta- kysymyksiä, sekä näiden yhdistelmiä. Kysely pidettiin avoimena 23.5.–30.6.2020. Kyseessä oli kvalitatiivinen tutkimuskysely, joten tilastollista tarkastelua kyselystä ei nähty tarpeelliseksi suorittaa.

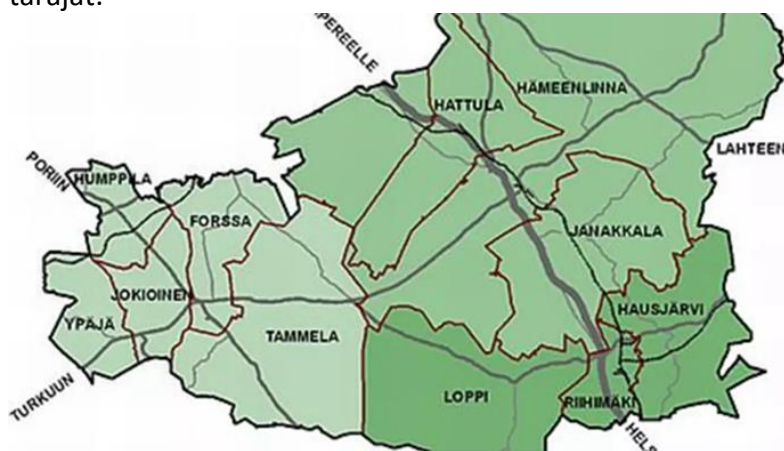
6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Tutkimuskyselyn tulokset esitellään sekä sanallisesti että graafisesti. Lisäksi kappaleessa kuvataan aineistonkeruumenetelmät, jotka suoritettiin rakennusalan toimijoiden yhteystietojen löytymiseksi. Johtopäätöksiin on koottu yhteenveto sekä tutkimuskyselyn tuloksista että yrityshaastattelusta, tuoden esiin työn kannalta oleellimmat asiat.

6.1 Rakennusalan toimijat Kanta-Hämeen alueella

Rakennusteollisuus on Suomessa suhteellisen nuori teollisuudenala. Rakennusteollisuuden alle kuuluu useita ja erilaisia palveluja tuottavia toimijoita. Rakennusteollisuuden toimialoja ovat talonrakennus- ja talotekniikka, LVI-tekniinen urakointi, rakennustuoteteollisuus, infrastruktuuri sekä pintatekniikka. Rakennustuoteteollisuus ryhmitellään vielä neljään alahaaraan, joita ovat pientaloteollisuus, rakennusmateriaalit, teräsrakenteet sekä betonituotteet. Infrastruktuurin alle puolestaan kuuluvat erilaisten väylien, kuten vesi-, energia- ja tietoliikenneverkostojen sekä lentokenttä-, satama- ja virkistysalueiden perus- ja tekniset rakenteet. (Rakennusteollisuus RT ry, n.d.)

Yritystietoja voi hakea alueittain tai alakohtaisesti Suomen Yritysrekisterin hakemistosta. Lisäksi kuntien verkkosivuilla on erikseen oman alueensa yrityshakemistoja. Hämeenlinnan kaupungin sivuilla on Hämeenlinnan yritys- ja palveluhakemisto, josta voi etsiä hakusanoilla Hämeenlinnan seudulla toimivia yrityksiä. Vastaavanlainen palvelu on myös Forssan ja Riihimäen kaupungeilla. Yritysrekisterit ovat toimijoille yleensä vapaaehtoisia, joten ne eivät näytä kaikkia hakualueella toimivia yrityksiä. Ne voivat myös näyttää jo lopettaneita toimijoita, eivätkä näin ollen anna tarkkaa arviota yritysten määrästä kyseisellä toimialueella. (Linna Kehitys Oy, n.d.; Suomen yritysrekisteri, 2020) Kuvassa 9. on kuvattu Kanta-Hämeen maakuntarajat.



Kuva 9. Kanta-Häme sijaitsee Etelä-Suomessa ja on yksi Suomen 18 maakunnasta. (Kiinteistöliitto Kanta-Häme, n.d.)

6.1.1 Betonipalvelut

Suomen Yritysrekisterin mukaan Kanta-Hämeen alueella toimii 15 betoni-alan toimijaa. Fonecta Finder yritysshaun mukaan toimijoita puolestaan on noin 35–45 kappaletta. Molemmissa palveluissa hakusanana käytettiin ”*Betoni, Kanta-Häme*”. Toimijoita Kanta-Hämeen alueelta löytyy sekä yksityisyrityksinä että osakeyhtiö muodossa. Betonialan yrityksistä suurin osa toimii maakunnan kaupungeissa, Hämeenlinnassa, Riihimäellä ja

Forssassa, mutta liikeyrityksiä löytyy jonkin verran myös pienimmistä kunnista, kuten Ypäjäältä, Launosista ja Ryttylästä. Osa yrityksistä on valtakunnallisia toimijoita, jotka tarjoavat palveluitaan myös muihin maakuntiin, osa puolestaan toimii ainoastaan Kanta-Hämeen maakunta-alueella. Yritykset tarjoavat erilaisia betonipohjaisia palveluita ja tuotteita. Näitä ovat esimerkiksi valmisbetonit, lattiavalut, betonielementit, pilarit, harkot, ja laatat sekä muut betonituotteet.

Tässä opinnäytetyössä tutkimuskyselyn sähköinen linkki lähetettiin 16:lle Kanta-Hämeessä toimivalle betonialan yritykselle.

6.1.2 Rakentamispalvelut

Rakentamispalvelut pitävät sisällään hyvin laajan joukon erilaisia rakentamiseen liittyviä palveluita ja tuotteita. Rakentamispalveluita myyvät toimijat voivat tarjota esimerkiksi uudisrakentamis-, korjaus- ja remontointipalveluita, rappaus-, maalaus- ja tasoitetöitä sekä sisäilmankorjauksia, suunnittelua tai muita erikoispalveluita. Suomen Yritysrekisteristä hauilla ”*Rakennus, Kanta-Häme*” erilaisia rakennuspalveluita tuottavia yrityksiä Kanta-Hämeestä löytyi 603 kappaletta. Fonecta Finder yrityshaun mukaan vastaavaa yritystoimintaa alueella harjoittaisi 422 yritystä. Tämä sektori on huomattavasti betoni- ja tienrakentamisalaa suurempi. Toimijat ovat leviittäytyneet laajalti koko Kanta-Hämeen alueelle, ja joukossa on sekä osakeyhtiömuotoisia yrityksiä että pienempiä ja paikallisesti toimivia toiminnimiyrittäjiä.

Tässä opinnäytetyössä tutkimuskyselyn sähköinen linkki lähetettiin 58:lle rakennusalalla Kanta-Hämeessä toimivalle yritykselle.

6.1.3 Tienrakentamispalvelut

Tienrakentamiseen kuuluvat päällyste- ja asfaltointitekniikoiden lisäksi myös maarakennus ja -muokkaus. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin kuitenkin ainoastaan päällyste- ja asfaltointipalveluita tuottaviin kantahämäläisiin yrityksiin. Toimiala on muihin edellä mainittuihin sektoreihin nähden hyvin pieni. Suomen Yritysrekisterin haun mukaan Kanta-Hämeen alueella toimii kuusi asfaltointipalveluita tarjoavaa yritystä. Fonecta Finder yrityshaussa yrityksiä löytyy ainoastaan viisi kappaletta. Toimijat painottuvat etupäässään Hämeenlinnan ja Forssan kaupunkeihin ja tuottavat erilaisia asfaltointipalveluita, kuten teiden, pihojen ja erikoiskohteiden asfaltointia, jyräintöitä sekä erilaisia asfalttimassoja (asfalttibetoni, kivimastikiasfaltti ym.) Hakukoneiden hakusanana käytettiin ”*Asfaltti, Kanta-Häme*”.

Tutkimuskyselyn sähköinen linkki lähetettiin 4:lle Kanta-Hämeessä toimivalle asfaltointi- ja päällystepalveluita tuottavalle yritykselle.

6.2 Tutkimuskysely

Tutkimuskyselyn sähköinen linkki lähetettiin 23.5.2020 saatesanojen kera sähköpostilla yhteensä 78:lle Kanta-Hämeen alueella, rakennusteollisuuden alaisuudessa toimivalle yritykselle. Muistutus sähköposti lähetettiin 21.6.2020. Vastauksia saatiin yhteensä 16 kappaletta ja vastausprosentti oli 20,5. Kyselyn kohderyhmään ei ollut ennestään minkäänlaista suhdetta, joten saatua vastausprosenttia voidaan pitää kohtuullisen hyvänä.

6.2.1 Kyselytulokset

Tutkimuskyselyn tulokset esitetään sekä sanallisesti että graafisesti ympyrä- ja pylväsdiagrammeja hyödyntäen. Tarkempi analyysi tuloksista esitetään kappaleessa ”Yhteenveto ja johtopäätökset”.

Tutkimuskyselyn ensimmäiseen kysymykseen (kuva 10) ”Mitä seuraavista palveluista yrityksesi tai yritys, jossa työskentelet, tuottaa?” 18,8 % yrityksistä kertoi tuottavansa betonia ja kiviainesmateriaaleja. Rakennuspalveluita, kuten uudisrakentamis-, saneeraus- ja korjauspalveluita tuotti 93,8 % vastaajista. Vastausprosentissa on otettava huomioon, että 2 yrityksistä ilmoitti tuottavansa sekä betonia ja kiviainesmateriaaleja että rakennuspalveluita. Tierakennus- ja päällystepalveluita tai muita alan palveluita ei tuottanut yksikään vastanneista yrityksistä.

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

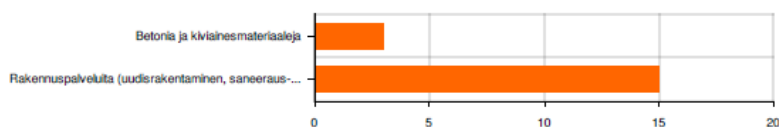
Osallistujamäärä: 16

3 (18.8%): Betonia ja kiviainesmateriaaleja

15 (93.8%):
Rakennuspalveluita
(uudisrakentaminen,
saneeraus- ja
korjauspalvelut yms.)

- (0.0%): Tierakennus- ja
päällystepalveluita
(asfaltti yms.)

- (0.0%): Muuta



Kuva 10. Kysymys 1. Mitä seuraavista palveluista yrityksesi tai yritys, jossa työskentelet, tuottaa?

Toisessa kysymyksessä (kuva 11) kysyttiin, kuinka monta henkilöä yrityksessä työskentelee, ja suurin osa (75 %) vastaajista vastasi yrityksessä työskentelevän 1–10 henkilöä. Vastaajista 18,8 % työskentelee 11–50 henkilön yrityksessä ja 6,3 % kertoi yrityksen palveluksessa olevan 51–100 henkilöä.

2. Kuinka monta henkilöä yrityksessä työskentelee? *

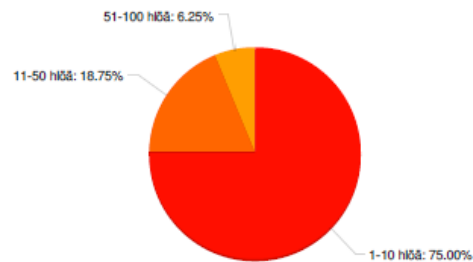
Osallistujamäärä: 16

12 (75.0%): 1-10 hlöä

3 (18.8%): 11-50 hlöä

1 (6.3%): 51-100 hlöä

- (0.0%): yli 100 hlöä



Kuva 11. Kysymys 2. Kuinka monta henkilöä yrityksessä työskentelee?

Kolmanteen kysymykseen (kuva 12, s. 34) ”Jos toiminnassanne syntyy puujätettä, olisitteko valmiita toimittamaan sitä biohiilyrittäjälle tai jätehuollon toimijalle biohiilen raaka-aineeksi?” 12,5 % vastasi ”Kyllä, mikäli ympäristöhuoltoyritys lajittelee puujätteen ja toimittaa sen biohiilen valmistajalle”. Vastaajista 75 % vastasi ”Kyllä, mikäli siitä ei synny lisäkustannuksia tai lisätyötä (pidentynyt kuljetusmatka tai lisääntynyt lajittelun tarve yms.)”, 6,3 % vastasi ”Emme ole valmiita lajittelemaan puujätettä, emmekä maksamaan lajittelusta” sekä loput 12,5 % vastasi, että ”toiminnassamme ei synny puujätettä”. Kysymyksen vastausprosentteissa on otettava huomioon, että yksi yrityksistä vastasi sekä ”Kyllä, mikäli ympäristöhuoltoyritys lajittelee puujätteen ja toimittaa sen biohiilen valmistajalle” että ”Kyllä mikäli siitä ei synny lisäkustannuksia tai lisätyötä (pidentynyt kuljetusmatka/ lisääntynyt lajittelun tarve yms.)”.

3. 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 jätehuollon toimijalle biohiilen raaka-aineeksi? *

Osallistujamäärä: 16

2 (12.5%): Kyllä, mikäli ympäristöhuoltoyritys lajittelee puujätteen ja toimittaa sen biohiilen valmistajalle

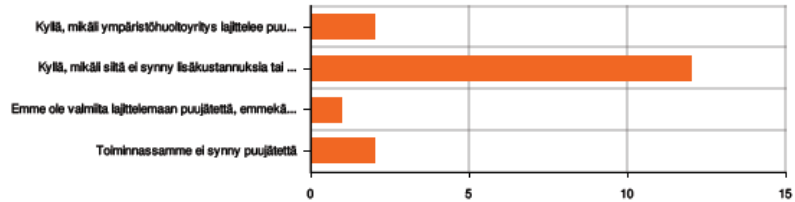
12 (75.0%): Kyllä, mikäli siitä ei synny lisäkustannuksia tai lisätyötä (pidentynyt kuljetusmatka/ lisääntynyt lajittelun tarve yms.)

- **(0.0%):** Kyllä, vaikka tästä syntyisi lisäkustannuksia tai lisätyötä

- **(0.0%):** Ainoastaan siinä tapauksessa, että laki tai asetukset velvoittavat tähän

1 (6.3%): Emme ole valmiita lajittelemaan puujätettä, emmekä maksamaan lajittelusta

2 (12.5%): Toiminnassamme ei synny puujätettä



Kuva 12. Kysymys 3. Jos toiminnassanne syntyy puujätettä, olisitteko valmiita toimittamaan sitä biohiili-yrittäjälle tai jätehuollon toimijalle biohiilen raaka-aineeksi?

Kyselyn neljänteen kysymyksen (kuva 13, s. 35) ”Kuinka monta prosenttia enemmän jätepuun toimittaminen biohiilen raaka-aineeksi saisi kustantaa nykyiseen jätteenhoitoon verrattuna?” 81,3 % vastasi < 10 % ja 18,8 % vastasi 11–50 %.

4. Kuinka monta prosenttia enemmän jätepuun toimittaminen biohiilen raaka-aineeksi saisi kustantaa nykyiseen jätteentoimitus kustannukseenne verrattuna? *

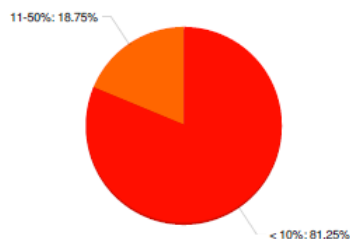
Osallistujamäärä: 16

13 (81.3%): < 10%

3 (18.8%): 11-50%

- (0.0%): 51-100%

- (0.0%): >100%



Kuva 13. Kysymys 4. Kuinka monta prosenttia enemmän jätepuun toimittaminen biohiilen raaka-aineeksi saisi kustantaa nykyiseen jätteentoimitus kustannukseenne verrattuna?

Viidenteen kysymykseen (kuva 14) ”Seurataanko yrityksessänne jätteiden kierrätysastetta?” 6,3 % vastaajista totesi seuraavansa jätteiden kierrätysastetta aktiivisesti ja tekevnsä toimenpiteitä kierrätysasteen nostamiseksi. Suurin osa 68,8 % vastaajista kertoi seuraavansa kierrätysastetta ilman tavoitteellisuutta, ja neljäsosa (25 %) ei kiinnitä lainkaan huomiota yrityksen kierrätysasteeseen.

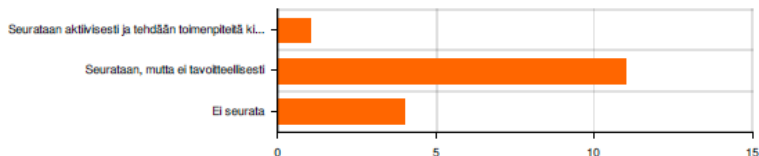
5. Seurataanko yrityksessänne jätteiden kierrätysastetta? *

Osallistujamäärä: 16

1 (6.3%): Seurataan aktiivisesti ja tehdään toimenpiteitä kierrätysasteen nostamiseen

11 (68.8%): Seurataan, mutta ei tavoitteellisesti

4 (25.0%): Ei seurata



Kuva 14. Kysymys 5. Seurataanko yrityksessänne jätteiden kierrätysastetta?

Kyselyn kuudenteen kysymykseen (kuva 15, s. 36), jossa tiedusteltiin ovatko yritykset ottaneet toiminnassaan jo huomioon vuonna 2025 voimaan tulevat uudet rakennusmääräykset, suurin osa vastaajista 62,5 % vastasi, että ”Emme ole ottaneet asiaa vielä huomioon toiminnassamme”. Vastaajista 12,5 % vastasi, että ovat ottaneet asian jo huomioon, samoin kuin 18,8 % vastaajista, jotka sen lisäksi vielä toivoisivat lisäideoita ja ratkaisuja asian suhteen. Loput 12,5 % vastaajista vastasivat, että ”Asia ei koskea meidän yritystämme”. Kysymyksen vastausprosentissa on otettava huomioon, että yksi yrityksistä

vastasi sekä ”Emme ole ottaneet asiaa vielä huomioon toiminnassamme ” että ”Asia ei koskea meidän yritystämme”.

6. Rakennusten hiilijalanjäljen pienentäminen tulee osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä, jolloin rakennusmateriaaleilla ja materiaalitehokkuudella tulee olemaan suuri vaikutus.

Oletteko miettineet yrityksessänne jo nyt, kuinka uudet rakennusmääräykset otetaan toiminnassanne huomioon? *

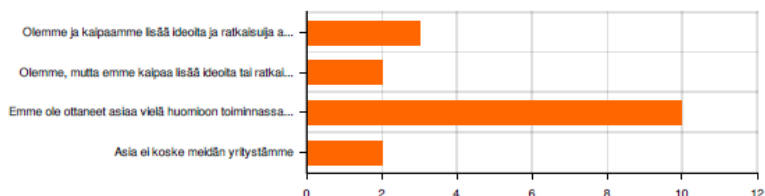
Osallistujamäärä: 16

3 (18.8%): Olemme ja kaipaamme lisää ideoita ja ratkaisuja asian tiimoilta

2 (12.5%): Olemme, mutta emme kaipaa lisää ideoita tai ratkaisuja asian tiimoilta

10 (62.5%): Emme ole ottaneet asiaa vielä huomioon toiminnassamme

2 (12.5%): Asia ei koske meidän yritystämme



Kuva 15. Kysymys 6. Oletteko miettineet yrityksessänne jo nyt, kuinka uudet rakennusmääräykset otetaan toiminnassanne huomioon?

Kysyttäessä seitsemännessä tutkimuskysymyksessä (kuva 16) yrityksiltä asiakkaiden mielenkiinnosta ympäristöystävällisiä tuotteita ja palveluita kohtaan, vastaukset jakoutuivat melko tasaisesti. Kaikista vastaajista 56,3 % kertoi asiakkaiden toivovan yritykseltä ympäristöystävällisiä palveluita/tuotteita ja 43,8 % kertoi, ettei asiakaskunnalta ole tullut toiveita asian suhteen.

7. Toivovatko asiakkaanne teiltä ympäristöystävällisiä tuotteita/palveluita? *

Osallistujamäärä: 16

9 (56.3%): kyllä

7 (43.8%): ei



Kuva 16. Kysymys 7. Toivovatko asiakkaanne teiltä ympäristöystävällisiä tuotteita/palveluita?

Kyselyn kahdeksannessa kysymyksessä (kuva 17) tiedusteltiin, minkälaisista biohiilipohjaisista materiaaleista yritykset olisivat kiinnostuneita. Eniten kiinnostusta herätti biohiilipohjaiset pinnoitteet, josta 43,8 % vastaajista oli kiinnostuneita. Toiseksi eniten kiinnostusta herättivät eristysmateriaalit (37,5 %) ja kolmanneksi eniten betoni (31,3 %). Biohiilipohjaisesta sementistä ja -asfaltista vastaajat olivat kiinnostuneita yhtä paljon, molemmista 12,5 %. Lisäksi 31,3 % kyselyyn vastanneista yrityksistä ilmoitti, että eivät ole kiinnostuneita biohiilipohjaisista materiaaleista lainkaan.

8. Olisitteko yrityksessänne kiinnostuneita käyttämään biohiilipohjaisia materiaaleja? Jos niin mitä alla olevista? Voitte valita useita. *

Osallistujamäärä: 16

5 (31.3%): betonia

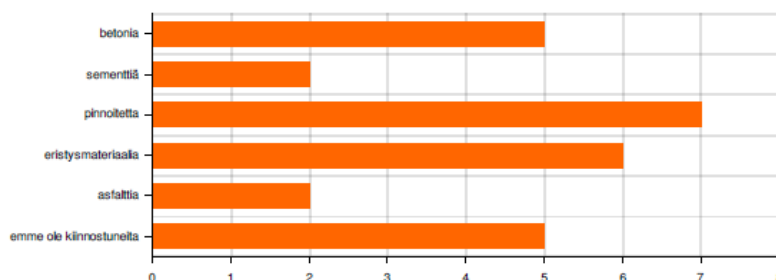
2 (12.5%): sementtiä

7 (43.8%): pinnoitetta

6 (37.5%): eristysmateriaalia

2 (12.5%): asfalttia

5 (31.3%): emme ole kiinnostuneita



Kuva 17. Kysymys 8. Olisitteko yrityksessänne kiinnostuneita käyttämään biohiilipohjaisia materiaaleja? Jos niin mitä alla olevista?

Yhdeksänteen kysymykseen (kuva 18) ”Kuinka monta prosenttia enemmän biohiilipohjaiset materiaalit saisivat kustantaa nykyisiin materiaaleihinne verrattuna?” 87,5 % vastaajista vastasi ”< 10 %” ja loput 12,5 % vastasi ”11–50 %”.

9. Kuinka monta prosenttia enemmän biohiilipohjaiset materiaalit saisivat kustantaa nykyisiin materiaaleihinne verrattuna ? *

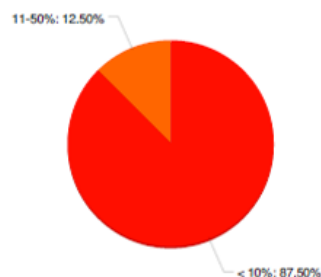
Osallistujamäärä: 16

14 (87.5%): < 10%

2 (12.5%): 11-50%

- (0.0%): 51-100%

- (0.0%): > 100%



Kuva 18. Kysymys 9. Kuinka monta prosenttia enemmän biohiilipohjaiset materiaalit saisivat kustantaa nykyisiin materiaaleihinne verrattuna?

Kyselyn kymmenennessä kysymyksessä (kuva 19) tiedusteltiin yritysten toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi lähitulevaisuudessa. Vastaajista 43,8 % kertoi yrityksen tekevän toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi tulevaisuudessa ja 12,5 % ilmoitti, ettei aio kyseisiä toimia tehdä. Lisäksi 43,8 % vastaajista vastasi ”En tiedä”.

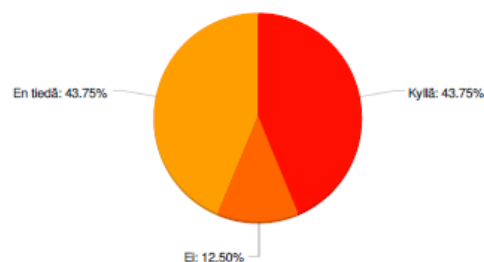
10. Aikooko yrityksenne tehdä toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi lähivuosina? *

Osallistujamäärä: 16

7 (43.8%): Kyllä

2 (12.5%): Ei

7 (43.8%): En tiedä



Kuva 19. Kysymys 10. Aikooko yrityksenne tehdä toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi lähivuosina?

Viimeisessä monivalintakysymyksessä (kuva 20) kysyttiin, voisivatko yritykset kuvitella käyttävänsä biohiilipohjaisia materiaaleja hiilensidonnassa. Vastaajista 25 % vastasivat ”Kyllä” ja 25 % ”Ei”. Loput 50 % vastaajista vastasivat, että mahdollisesti.

11. Puu sitoo hiiltä, mutta ei ole hyvä hiilivarasto. Kun puu poltetaan, hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään, mutta mikäli puu pyrolysoidaan hiilidioksidia ei vapaudu, vaan se sitoutuu biohiileen.

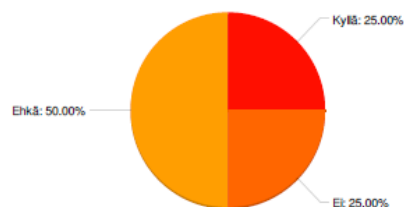
Voisitteko kuvitella yrityksessänne kompensoivanne hiilensidonnalla biohiilisovelluksilla? *

Osallistujamäärä: 16

4 (25.0%): Kyllä

4 (25.0%): Ei

8 (50.0%): Ehkä



Kuva 20. Kysymys 11. Voisitteko kuvitella yrityksessänne kompensoivanne hiilensidonnalla biohiilisovelluksilla?

Kyselyn viimeinen kysymys (kuva 21) oli avoin, ja siinä tiedusteltiin, millaisia biohiilipohjaisten materiaalien käyttämistä ja käyttöönottoa helpottavia toimia yritykset toivoisivat biohiilen valmistajilta ja/tai julkisilta tahoilta. Yksikään tutkimukseen osallistuneista yrityksistä ei kuitenkaan vastannut tähän kysymykseen.

12. Minkälaisia toimia toivoisitte biohiilen valmistajien, julkisten tahojen, kunnan tai valtion tekevän, mitkä helpottaisivat biohiilipohjaisten materiaalien käyttämistä tai käyttöönottoa yrityksessänne ?

Esimerkiksi biohiilikokeilujen tukeminen tai julkiset biohiiliprojektit.

Osallistujamäärä: 0

Kuva 21. Kysymys 12. Minkälaisia toimia toivoisitte biohiilen valmistajien, julkisten tahojen, kunnan tai valtion tekevän, mitkä helpottaisivat biohiilipohjaisten materiaalien käyttämistä tai käyttöönottoa yrityksessänne?

Lopussa vastanneilla oli vielä mahdollisuus jättää yhteystietonsa haastattelua varten.

6.2.2 Haastattelu

Syvemmän näkökulman saamiseksi tutkimuskyselyyn vastanneiden yritysten joukosta valittiin haastateltavaksi kantahämäläinen yritys, joka tuottaa rakennusalan palveluita Kanta-Hämeen ja Pirkanmaan alueella. Yrityksen asiakaskunta koostuu suurista rakennusliikkeistä sekä kunnista ja kaupungeista. Työkohteita ovat pääasiassa kerrostalot ja julkiset rakennukset. Yrityksessä toimii 12–15 työntekijää ja haastateltu henkilö oli yrityksen työnjohtaja. Vastaajan pyynnöstä opinnäytetyössä ei julkaista yrityksen eikä haastateltavan nimeä.

Vastaaja kertoo, että työmaille kertyy paljon varsin vaihtelevaa kierrätysmateriaalia. Toiminnasta syntyy kierrätykseen päätyvää puu-, pahvi-, muovi- ja teräsmateriaalia sekä kipsi- ja rakennussekajätettä, josta osa on poltettavaa materiaalia. Yrityksessä materiaalien kierrätys on rutinoitunut eikä sitä koeta hankalaksi. Kaikki syntyvä jäte, joka koetaan taloudellisesti mielekkääksi, pyritään kierrättämään. Vastaaja kertoo myös, että työmailta ei juurikaan päädy sellaista materiaalia jätteeksi, joka olisi voitu kierrättää tai käyttää mahdollisesti uudelleen. Työmaa-alueella pyritään panostamaan lajitteluun mahdollisimman paljon, mutta kierrätysasteen seuraamista yrityksessä ei kuitenkaan koeta tarpeelliseksi.

Rakennusprojekteissa syntyvää puujätettä ei vastaajan mukaan käsitellä tai jaotella laadun perusteella työmaa-alueella mitenkään. Kaikki syntynyt

puumateriaali kerätään ”yhtenä laatuna” kuorma-auton vaihtolavalle. Pääasiassa vaihtolavalle päätyvä puumateriaali koostuu mänty- ja kuusi-pohjaisista laudoista, lankuista sekä puisista kuormalavoista. Työmaa-alueelta puumateriaali kuljetetaan jätteenkäsittelyalueiden kierrätyspisteisiin ulkopuolisten toimijoiden toimesta. Vastaaja kertoo, että yhden rakennusprojektin aikana syntyy noin 3–4 tonnia puujätteeksi luokiteltavaa materiaalia. Tämä tarkoittaa noin 3–5 kuorma-auton lavallista. Ylijäävä puumateriaali synnyttää rakennusurakoitsijalle myös kustannuksia, jotka ovat paikakuntakohtaisia ja vaihtelevat suuresti. Lavallinen puumateriaalia voi maksaa rakennusurakoitsijalle jopa 1 000–1 500 euroa, Forssassa 600 euroa ja toisaalta joissakin paikoissa rakennusjätepuuta voi vastaajan mukaan toimittaa jatkokäsittelyyn myös täysin ilmaiseksi. Yrityksessä puujätteen keräys ja sen välittäminen jatkokäsiteltäväksi koetaan toimivana tapana, joka ei työnjohtajan mukaan ole aiheuttanut haasteita, kunhan kaikki ”jaksavat” viedä syntyvät jätteet lavalle asti.

Työnjohtajan mukaan asiakaskunta toivoo yritykseltä materiaalien kierrättämistä. Muita ympäristöystävällisyyteen tai hiilijalanjälkeen liittyviä asioita, kuten esimerkiksi ekologisia palveluita, ei vastaajan mukaan yritykseltä ole kysytty tai pyydetty. Yritys kuitenkin pyrkii toimillaan mahdollisimman pieneen hiilijalanjälkeen työmailla. Vastaaja haluaa erikseen painottaa myös sitä, että hiilijalanjälkeen ja sen suuruuteen voitaisiin parhaiten vaikuttaa jo rakennusvaiheen suunnittelussa. Rakennustöiden suunnittelusta ja materiaalivalinnoista vastaavat pitkälti arkkitehdit ja rakennussuunnittelijat, joiden rooli rakennusten hiilijalanjäljessä on rakennusurakoitsijaan nähden varsin suuri. Uudet rakennusmääräykset tulevat voimaan vuonna 2025 ja edellyttävät todennäköisesti rakennusten riittävän pientä hiilijalanjälkeä. Tämä tuntuu yrityksen ja urakoitsijan näkökulmasta vielä varsin kaukaiselta asialta ja vastaaja kertoo, ettei yrityksessä ole toistaiseksi vielä paneuduttu tuleviin rakennusmääräyksiin lainkaan.

Biohiili on vastaajalle melko tuntematon. Hän kertoo lukeneensa joskus biohiilestä, mutta toteaa samalla biohiilen tuotteena olevan varsin outo. Vähäisestä biohiilituntemuksesta huolimatta, hän pitää kaikkia biohiilipohjaisia rakennussovelluksia varsin potentiaalisina. Yritys voisi mahdollisesti kokeilla biohiilipohjaista sementtiä, -betonia ja -asfalttia sekä pinnoitteita ja eristysmateriaaleja, joissa käytetään biohiiltä. Tuotteet eivät ympäristöystävällisyydestään tai ekologisuudestaan huolimatta saisi maksaa juurikaan enempää kuin perinteinen materiaali, ellei rakennusprojektin tilaaja ole siitä valmis maksamaan. Materiaalikustannukset nostattavat vastaajan mukaan kaikkia kustannuksia, kuten rakennus-, asumis-, huolto- ja korjauskustannuksia. Vastaaja kuitenkin korostaa tässäkin kohtaa suunnittelijoiden ja arkkitehtien roolia materiaalivalinnoissa. Urakoitsijan työ tehdään pääasiassa aina rakennussuunnittelijoiden valmiiksi laatimien suunnitelmien mukaan, joihin on mm. merkitty materiaalivalinnat. Materiaalivalintoihin vaikuttavat useat tekijät, mutta haastateltavan yrityksessä tärkeimpiä seikkoja valinnan kannalta ovat materiaalin hinta, laatu, saatavuus ja toimitusaika.

Vastaaja näkee biohiilipohjaiset rakennussovellukset mahdollisuutena rakentamisen aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin, mutta pitäisi siirtymistä nykyisestä betonirakentamisesta puurakentamiseen helpompana ratkaisuna. Puurakentaminen vähentäisi vastaajan mukaan huomattavasti energiaa vaativien tuotteiden, kuten sementin, tarvetta. Vaikka haastateltavan yritys tuottaakin toiminnassaan suhteellisen vähän puujätettä, näkisi hän positiivisena mahdollisuutena olla osa konseptia, jossa rakennustyömailla syntyvä puumateriaali toimitettaisiin biohiilen raaka-aineeksi ja tuotteistettaisiin rakennusteollisuuden käyttösovellukseksi.

6.2.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuskyselyyn vastaajista yli 90 % oli yrityksiä, jotka tuottivat rakennuspalveluita, kuten uudisrakentamista ja korjauspalveluita. Tierakennus- ja päällystyspalveluita tuottavista yrityksistä yksikään ei vastannut kyselyyn. Näin ollen kyselyn tuloksia voidaan pitää luotettavina ainoastaan rakennus- ja betonialan näkökulmasta.

Rakennusalalle on tyypillistä, että alalla on isojen toimijoiden lisäksi myös huomattavan paljon pien- tai yksityisyrittäjiä. Tämä on nähtävissä myös tutkimuskyselystä, sillä kyselyyn vastanneista yrityksistä suurin osa oli henkilöstökooltaan pieniä alle 10 hengen yrityksiä. Työmailla syntyneiden jätteen lajittelu ja kierrättäminen ovat yrityksissä totuttu toimintatapa, mutta sen tavoitteellista seuraamista ei pidetä kuitenkaan kovinkaan tärkeänä. Lajittelun tehokkuus on yritys kohtaista ja pitkälti kiinni myös työntekijöiden motivoituneisuudesta asiaa kohtaan. Kierrätysasteen seuraamattomuus on huolestuttavaa, sillä koko rakennusalan arvoketjun pitää muuttua, jotta kestävä kehityksen tavoitteet tulevaisuudessa tullaan täyttämään. Yrityksillä tulee olemaan edessään suuria toimia, sillä rakennusvaiheen hiilijalanjälki on edelleen massiivinen ja lähitulevaisuudessa määräykset edellyttävät yhä suurempia toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Ala on kuitenkin laaja ja muutokset tapahtuvat yleensä hitaasti.

Kierrättäminen ja lajittelu tuottavat yrityksille myös mittavia kustannuksia, joiden paikkakunta kohtainen vaihtelu on varsin suurta. Puujätteen kierrättämisestä saattaa Kanta-Hämeessä joutua maksamaan jopa 1 500 €/lava. Onkin ymmärrettävää, että mikäli puumateriaali kuljetettaisiin nykyisen kohteensa sijaan suoraan biohiilituottajalle, se ei saisi yrittäjien mielestä aiheuttaa heille juurikaan minkäänlaisia lisäkustannuksia eikä lisätyötä. Osa vastaajista toivoisi myös, että puumateriaalin lajittelu ja sen toimittaminen biohiilen raaka-aineeksi tapahtuisi ulkopuolisen jätehuoltoyrityksen kautta. Puumateriaalin toimittaminen työmaalta biohiilivalmistajalle olisi-kin teoriassa kannattavinta järjestää suoraan työmaalta biohiilivalmistajalle tai jätehuoltoyrityksen kautta. Mikäli materiaali siirtyisi suoraan biohiilen valmistukseen, yksi osa liikkuvasta ketjusta saataisiin pois ja rakennusurakoitsija voisi luovuttaa puumateriaalin ilmaiseksi biohiilen

tuotantoon. Näin myös rakennusurakoitsija säästäisi puumateriaalin jatkokäsittelykustannuksissa. Toimintatapa edellyttää kuitenkin biohiilivalmistajan toimesta tapahtuvaa mahdollista puumateriaalin lajittelua ja puussa olevien haitta-aineiden, kuten betonin ja naulojen, erottelua. Toisaalta, jos puumateriaali toimitetaan perinteiseen tapaan jätehuoltoyritykselle, materiaalin lajittelun ja haitta-aineiden erottelun voisi integroida jätehuoltoyhtiön palveluihin. Tässä tilanteessa biohiilivalmistaja joutuisi todennäköisesti maksamaan raaka-aineeksi tuotavasta puumateriaalista jätehuoltoyritykselle, mutta välttäisi itse edellä mainittujen esikäsittelyjen suorittamisen. Rakennusurakoitsijan kustannukset pysyisivät tässä toimintamallissa oletetusti ennallaan.

Kustannuskysymys nousee esiin myös biohiilipohjaisten tuotteiden kohdalla. Suurin osa yrityksistä on sitä mieltä, että biohiilipohjainen materiaali ei saisi nostaa yrityksen materiaalikustannuksia, ellei työn tilaaja ole siitä erikseen valmis maksamaan. Tässä kohti on myös hyvä muistaa, että suurin osa rakennuksien materiaalivalinnoista toteutetaan jo suunnitteluvaiheessa arkkitehtien ja rakennesuunnittelijoiden toimesta. Sama pätee myös rakennusten hiilijalanjälkeen. Rakennusurakoitsijalla on valitettavan pieni mahdollisuus vaikuttaa rakennuksissa käytettyihin materiaaleihin ja sitä kautta myös syntyneeseen hiilijalanjälkeen. Tämän takia biohiilipohjaisten materiaalien kiinnostusta ja informaation lisäämistä kannattaisi suunnata enemmän rakennusalan suunnittelijoiden suuntaan.

Rakennusalan yrittäjät ovat tutkimustulosten mukaan kuitenkin myönteisiä biohiilipohjaisille tuotteille. Eniten kiinnostusta herättivät biohiilipohjaiset pinnoitteet ja eristysmateriaalit. Lähes kaikki yritykset olivat myös kiinnostuneita useammasta eri tuotteesta ja suosituimmaksi tuoteyhdistelmäksi nousivat ”biohiilipohjaiset pinnoitteet, -eristysmateriaalit ja -betoni”. Asfaltin alhaisen kiinnostuksen osalta on syytä ottaa huomioon, ettei kyselyyn vastanneista yrityksistä yksikään ollut tierakennusyritys, joiden voitaisiin olettaa olevan kiinnostuneita nimenomaan erilaisista asfalttimateriaaleista.

Kyselystä ilmenee myös, että yli puolet vastanneista kokee yrityksen asiakkaiden odottavan heiltä ympäristöystävällisiä tuotteita ja palveluita. Tämä prosenttiosuus tulee lähivuosina varmasti kasvamaan, sillä on odotettavissa, että asiakkaiden ja rakennuttajien tietoisuus sekä vaatimukset ympäristöystävällisyydestä laajentuvat tulevaisuudessa entisestään. Tuotteiden ekologisuus tulee olemaan tulevaisuudessa myös markkinoinnin kannalta merkittävää.

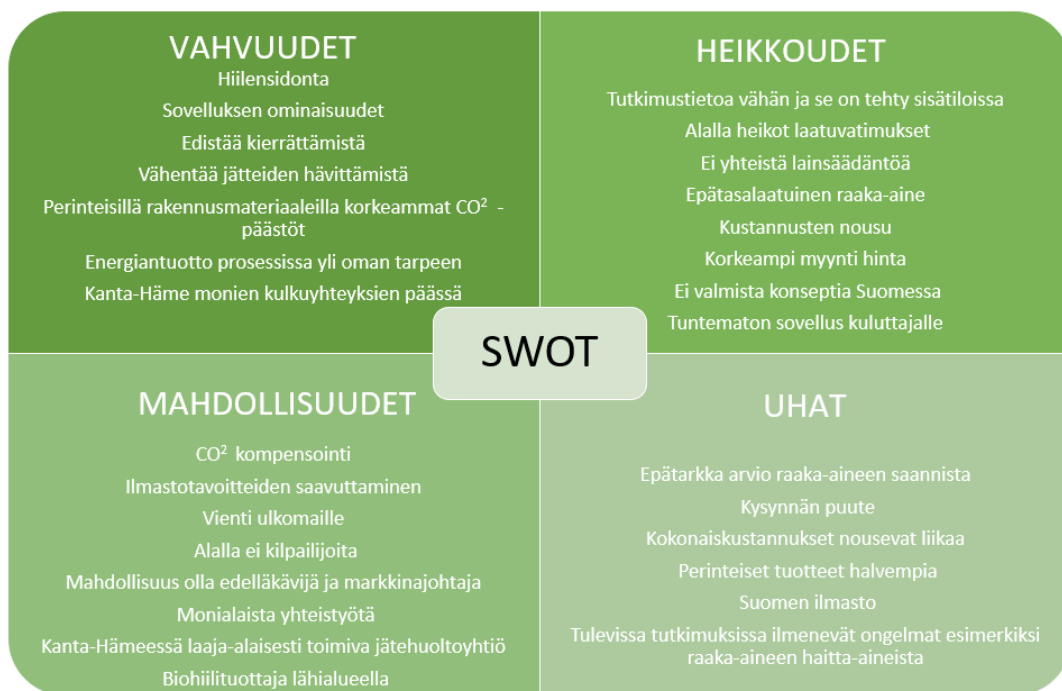
Tietoisuutta ekologisuutta tukevista palveluista ja tuotteista, kuten biohiilipohjaisista materiaaleista, onkin syytä suunnata erityisesti jo rakennusvaiheen suunnitteluun. Biohiilipohjaiset materiaalit voitaisiin yhdistää osaksi rakennusten hiilensidontatavoitteita. Hiilensidonnalla voidaan hyvittää yhteiskunnan erilaisissa prosesseissa syntyneitä hiilidioksidipäästöjä. Kompensointitapoja on useita, joista yleisesti käytetyin on rahallinen

korvaus. Kyselyyn vastanneista yrityksistä neljäsosa olisi kuitenkin heti valmiita hyvittämään hiilensidonnin nimenomaan biohiilisovelluksilla. Puolet vastaajista näkee sen mahdollisuutena, ja loput eivät koe tämän tyyllisen kompensoinnin olevan mahdollista tai järkevää. Lisäämällä yritysten tietoisuutta biohiilestä ja biohiilipohjaisista tuotteista, voitaisiin ainakin osa niistä yrityksistä, jotka nyt vastasivat ”ehkä”, saada kiinnostumaan tämän tyyppisestä kompensoinnista. Olennaista olisi myös kiinnittää alan asiantuntijoiden huomio prosessin kokonaisuuksiin. Vaikka biohiilipohjainen materiaali nostaisi hetkellisesti projektin materiaalikulua, voisi se maksaa itsensä takaisin yksinkertaisena ja helppona CO₂-päästöjen kompensoijana ja mahdollistaa pääsyn lain asettamiin hiilijalanjälkimääräyksiin.

6.3 SWOT-analyysi

SWOT-analyysi (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) on yksinkertainen nelikenttämenetelmä, jota yritystoiminnassa voidaan käyttää analysoinnin apuna esimerkiksi projekteja, tuotteita ja hankkeita visioissa. Menetelmä perustuu neljään yrityksen toimintaan vaikuttavaan ulkoiseen ja sisäiseen tekijään. Näitä tekijöitä ovat yrityksen vahvuudet ja heikkoudet sekä mahdollisuudet ja uhat. Johtopäätökseksi saadaan analyysi toimintaratkaisuihin, joita yrityksen kannattaisi tehdä tehostaakseen analysoitua asiaa. (Suomen Riskienhallintayhdistys, n.d.)

Tässä opinnäytetyössä SWOT-analyysi tehdään biohiilipohjaisesta rakennussovelluksesta, jonka valmistukseen on käytetty rakennusjätepuuta. Analyysissä pohditaan myös lyhyesti kantahämäläisten yritysten mahdollisuuksia toimia osana edellä mainittua ketjua (kuva 22, s. 44).



Kuva 22. SWOT-analyysi biohiilipohjaisesta rakennussovelluksesta, jonka valmistukseen on käytetty kantahämäläisten rakennusyriyten puujätettä.

6.3.1 Vahvuudet

Biohiilipohjaisen rakennussovelluksen vahvuuksia ovat sen ominaisuudet, kuten hiilensidontakyky ja ympäristöystävällisyys. Hiilensidontaa voidaan pitää myös yhtenä tärkeimmistä sovelluksen markkinointitekijöistä tulevaisuudessa. Lisäksi purkutilanteessa biohiilipohjainen rakennusmateriaali voitaisiin kierrättää esimerkiksi kompostoinnin tukiaineena kaatopaikkasijoituksen sijaan. Sovelluksen valmistaminen rakennusjätepuusta voisi mahdollistaa kansainvälisiin kierrätystavoitteisiin pääsemistä, edistäisi kierrätystä ja vähentäisi jätteiden hävittämistä monin eri tavoin.

Biohiiltä voidaan käyttää useisiin erilaisiin rakennussovelluksiin, joiden vahvuuksia ovat biohiilen aikaan saamat positiiviset vaikutukset sovelluksissa. Näitä ovat esimerkiksi lämmön- ja kosteudensäätely sekä kestävyysominaisuudet. Lisäksi tietyissä prosesseissa biohiilen lisäys voi vähentää syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Perinteisillä rakennusmateriaaleilla onkin yleensä korkeammat hiilidioksidipäästöt. Lisäksi biohiilen valmistusprosessissa syntyy energiaa enemmän kuin prosessi itsessään vaatii, joten ylimääräinen energia voidaan hyödyntää myymällä sitä energiaverkkoon.

Kanta-Häme sijaitsee strategisella paikalla Etelä-Suomessa, lähellä Suomen suurimpia kaupunkeja ja kasvukeskuksia. Maantieteellinen sijainti ja

alueen hyvät kulkuyhteydet ovatkin Kanta-Hämeen vahvuuksia puumateriaalin kierrätyksen sekä biohiilen valmistamisen ja tuotteistamisen osalta.

6.3.2 Heikkoudet

Tällä hetkellä biohiilipohjaisia rakennussovelluksia voidaan pitää yrityksille vielä jokseenkin tuntemattomina. Selvänä heikkoutena voidaan nähdä myös aihetta käsittelevä vähäinen ja epätarkka tutkimusaineisto. Tutkimukset on suoritettu pääasiassa sisätiloissa, eikä ulko-olosuhteiden vaikutuksia sovelluksen ominaisuuksiin ole tutkittu vielä riittävästi.

Alalla ei myöskään toistaiseksi ole vielä kunnollista lainsäädäntöä ja laatuvaatimuksia, jonka seurauksena markkinoilla voi olla hyvinkin eri laatuisia biohiilimateriaaleja. Laatuun vaikuttaa myös epätasalaatuinen raaka-aine, jota voidaan tässä tapauksessa pitää heikkoutena sekä itse sovellukselle että koko tuotantokonseptille. Rakennusjätepuun sekalaatuisuus voi aiheuttaa ongelmia yhtenäisen tuotteen valmistuksessa jatkuvatoimisesti. Myös kustannukset saattavat tietyiltä osin nousta, mikäli raaka-aine osoittautuu poikkeuksellisen heterogeeniseksi ja vaatii esimerkiksi erityisiä esikäsittelyjä ennen prosessia. Lisäksi heikkoutena voidaan pitää sitä, että valmista konseptia tuotantoon, jossa biohiilipohjaisia rakennussovelluksia tuotettaisiin rakennusjätepuusta, ei Suomesta vielä löydy. Toiminnan aloittaminen vaatii siis paljon pohjatyötä ja selvittelyjä.

6.3.3 Mahdollisuudet

Tämän kaltaisella tuotantokonseptilla sekä yksittäisellä biohiilipohjaisella rakennussovelluksellakin, olisi hyvät markkinamahdollisuudet niin kotimaassa kuin ulkomaillakin. Suomessa ei toistaiseksi ole sellaista teollisuutta, joka hyödyntäisi käytettyä puumateriaalia raaka-aineena laajamittaisen uuden tuotteen valmistuksessa. Tämä tarkoittaa sitä, että alalla ei ole kilpailijoita ja sovelluksen tuottaja voi toimia ns. edelläkävijänä ja markkinajohtajana. Biohiilipohjainen rakennussovellus voisi myös olla erittäin hyvä ja helppo mahdollisuus yrityksille kompensoida syntyneet hiilidioksidipäästöt. Lisäksi ympäristöystävällisten materiaalien käyttäminen antaa kuluttajille positiivisen yrityskuvan. Rakennusjätepuusta valmistettu biohiilipohjainen rakennussovellus on mahdollisesti myös yksi tehokas keino täyttää kansainväliset ilmastotavoitteet rakennusteollisuudessa.

Monivaiheinen prosessi vaatii todennäköisesti monialaista yhteistyötä ja alihankkijoiden käyttöä, joka toisaalta myös mahdollistaa kustannusten ja osaamisen jakamisen. Mahdollisuudet konseptin toteuttamiseen Kanta-Hämeessä ovat hyvät, sillä alueella ja lähiseudulla on toimintaan liittyvää asiantuntijuutta ja yritystoimintaa. Hämeen Ammattikorkeakoulussa on toteutettu usean vuoden ajan erilaisia biohiileen liittyviä tutkimusprojekteja, joissa mm. alueella laaja-alaisesti toimiva jätehuolto-yhtiö Kiertokapula Oy on ollut mukana. Lisäksi Tampereen alueella toimii vankan

kokemuksen omaava ja kansainvälisestikin tunnettu biohiilivalmistaja Carbofex Oy. Alueen eri tahojen ja asiantuntijoiden yhteistyö voisi luoda mahdollisuudet tuotantokonseptille, jossa alueen rakennusjätepuu pyrolysoitaisiin biohiileksi ja tuotteistettaisiin rakennusteollisuuden käyttösovellukseksi.

6.3.4 Uhat

Suomessa käytetyllä puumateriaalilla on voimakas kysyntä energiateollisuuden parissa. Tämän seurauksena raaka-aineen säännöllinen ja riittävä saatavuus biohiilen tuotantoprosessiin, voi muodostua biohiilipohjaisen rakennussovelluksen tuotannon uhaksi. Toisaalta on myös hankala arvioida kysynnän määrää ja tietää, ovatko kuluttajat tulevaisuudessa valmiita maksamaan ympäristöystävällisyydestä enemmän. Tuotteen hinta voi nousta perinteistä materiaalia korkeammaksi, mikä voi osaltaan alentaa kysyntää. Tähän vaikuttavat monet tekijät, kuten mahdolliset puumateriaalin lajittelu- ja kuljetuskustannukset sekä prosessikäsittelyt. Markkinoilla voi olla ominaisuuksiltaan vastaavanlaisia perinteisiä rakennusalan sovelluksia, joiden hinta on biohiilipohjaista materiaalia alhaisempi. Konseptin luominen ja tuotannon toteuttaminen ei yksinään siis riitä, vaan myös Kanta-Hämeen alueen arkkitehtien ja rakennussuunnittelijoiden pitäisi ottaa käyttöön biohiilisovellukset rakennusmateriaalina ja tuoda niiden edut kuluttajien tietoisuuteen markkinoimalla.

Tutkimusmateriaalia biohiilipohjaisen rakennussovelluksen toimivuudesta suomenkaltaisissa olosuhteissa ei ole, joten sen käyttökelpoisuutta Suomessa on vaikea arvioida. Tästä voi seurata myös odottamattomien ongelmien ilmenemistä. Toisaalta kansainvälisen tutkimuksen eteneminen saattaa tuoda uutta tietoa esimerkiksi rakennuspuun sisältämien haitta-aineiden siirtymisestä ja vaikutuksesta biohiileen, joka saattaisi muuttaa hetkessä käsityksen materiaalin käyttökelpoisuudesta.

7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Poltettaessa puu vapauttaa ilmakehään hiilidioksidia sen verran, kun se on sitä sieltä kasvaessaan sitonut, eli käytännössä hiilen sidonnan nettovaikutukset ovat tällöin nolla. Pyrolysoinnissa puun sitomasta hiilidioksidista kyetään parhaimmillaan sitomaan jopa 50 % biohiileen ja sitä kautta jopa tuhansiksi vuosiksi pois ilmakehästä.

Rakennusjätepuun käyttö biohiilen raaka-aineena voisi samalla kertaa mahdollistaa sekä käyttökelpoisen puumateriaalin poiston yhdyskuntajätteidien jätevirroista että luoda täysin uuden, arvokkaan ja monikäyttöisen tuotteen: biohiilipohjaisen materiaalin. Kannattavan tuotannon kannalta on kuitenkin tärkeää huomioida monia tekijöitä aina lähtömateriaalin valinnasta käyttökohteeseen ja tuotteen toimivuuteen asti. Rakentamisesta ja rakennusten purkutoimista peräisin olevasta puujätteestä voidaan valmistaa ominaisuuksiltaan hyvää biohiiltä, jonka haitta-ainepitoisuudet on mahdollista saada puhtaasta puumateriaalista valmistetun biohiilen tasolle. Tuotannon kannalta on kuitenkin otettava huomioon, että raaka-aineen käyttö voi vaatia välttämättömiä esi- tai jälkikäsittelyjä, kuten kuivauksen, murskauksen, homogenisoinnin tai haitallisten aineiden poiston. Nämä käsittelyt nostavat helposti tuotantokustannuksia. Lisäksi rakennusmateriaaleilta vaadittavien vaativien kestävyysvaatimusten osoittaminen biohiilipohjaisen rakennussovelluksen osalta, voi nostaa tuotteen kustannuksia. Rakennusjätepuun käyttö biohiilen raaka-aineena edistäisi kuitenkin jätteiden kierrätystä ja yhteisiin ilmastotavoitteisiin pääsyä. Biohiiltä, joka on valmistettu jättepuuksi luokitellusta puumateriaalista, ei voida sen mahdollisesti sisältämien PAH-yhdisteiden ja raskasmetallien takia käyttää maa- ja puutarhataloudessa, vaan sen suurin käyttöpotentiaali on muissa sovelluksissa.

Biohiilen valmistukselle on jo olemassa muutamia vapaaehtoisia laatustandardeja (EBC ja IBI). Näistä huolimatta valmistuskäytännöt eivät kuitenkaan ole kaikkialla vielä kovin yhtenäisiä ja biohiilten laatua on haastava vertailla toisiinsa. Biohiilen käytöstä rakennussovelluksissa on tehty tutkimuksia, mutta niitä on tehty mm. huomattavasti enemmän sisätiloissa kuin ulkoilmassa. Tämä onkin huomioitava tutkimustuloksia ja sovellusten käyttöpotentiaalia tarkastellessa, jotta ei jätetä huomioimatta rakennussovelluksen käytön kannalta oleellisia tekijöitä. Tämänhetkiset tutkimukset kuitenkin osoittavat, että biohiilipohjainen rakennusmateriaali olisi lupaava eristäjä, ilman puhdistaja sekä hajujen ja kosteuden säätäjä huoneistoissa. Lisäksi sen on todettu parantavan materiaalien, kuten betonin ja asfaltin kestävyyttä. Perinteisillä käytössä olevilla rakennusmateriaaleilla on myös korkeammat hiilidioksidipäästöt, mikä tekee lisääntyvästä kaupungistumisestamme väistämättä kestäväntöntä ja haasteellista. Esimerkiksi sementin valmistusprosessi kuluttaa runsaasti energiaa, ja jopa 5–10 % kaikista maailman hiilidioksidipäästöistä on peräisin sementin valmistuksesta. Ekologisille rakennusmateriaaleille olisi siis markkinoilla kasvava

tarve, ja biohiili voisi olla yksi osa ratkaisua. Hyvän eristyskykynsä vuoksi biohiilipohjaisen rakennusmateriaalin käyttö voisi vähentää myös lämmitys- ja jäähdytyskuluja, jotka etenkin Suomessa ovat korkeat. Biohiilitiilet ovat myös hyvä vaihtoehto perinteisille betonitiilille. Tiileen voidaan biohiilen lisäksi sekoittaa myös esimerkiksi kierrätysmuovia, joka vähentäisi samalla globaalia muovijätettä.

Asfaltin sitomat suuret hiilidioksidimäärät huomioon ottaen, biohiilipohjaisella asfaltilla voi olla rakennusalan sovelluksista potentiaalisimmat biohiilimarkkinat. Tulevaisuudessa se voi olla jopa maaperää suositumpi biohiilen käyttökohde. CarboCorin mukaan biohiiltä voitaisiin lisätä jopa 30 tonnia (= 105 t CO₂-ekv) yhdelle kilometrille. Vastaavan hiilivaraston saaminen vaatisi 3–4 puisen omakotitalon rakentamista. Suomen tieverkosta 50 750 kilometriä on päällystettyä maantietä, jonka kunnossapitoon biohiilipohjaisen päällystemassan käyttöpotentiaalia kannattaisi selvittää. Suomessa teiden rakentamisen ja kunnossapidon suhteen on kuitenkin otettava huomioon vaihtuvan ilmaston tuomat rasitukset. Tutkimuksia kannattaisikin Suomessa kohdentaa biohiilipohjaisten rakennussovellusten sekä biohiilipohjaisen asfaltin reaktioihin talviolosuhteissa.

Biohiilen tuotannossa syntyvien sivuvirtojen hyödyntäminen on huomion arvoinen seikka. Biohiilen tuotanto nousee merkittävästi kannattavamaksi, mikäli syntyvät sivutuotteet, kuten nesteet, hyödynnettäisiin korkeamman lisäarvon tuotteissa. Pyrolyysinesteitä voidaan käyttää raaka-aineena erilaisissa kemianteollisuuden prosesseissa tai pyrolyysiöljyä esimerkiksi energiantuotannossa. Prosessissa syntyvällä tisleellä olisi myös lupaavat markkinat kasvinsuojeluaineena, sillä se on biohajoavaa eikä myöskään sisällä pah-yhdisteitä, jotka prosessin aikana rikastuvat nesteen tervaosaan ja kaasuihin tisleen sijaan. Pitkällä aikavälillä nestemäiset tuotteet voivatkin olla kaupankäynnin kannalta tulevaisuudessa hiiltä olennaisempia tuotteita. Tuotannon ollessa eksoterminen laitoksen ylijäämälämpöenergia kannattaa myös aina ohjata lähellä sijaitseville yrityksille, maatalouksille tai kaupungeille hyötykäyttöön.

Suomessa ei toistaiseksi ole valmista konseptia toiminnalle, jossa rakennusjätepuu pyrolysoitaisiin biohiileksi ja tuotteistettaisiin rakennusalan käyttösovellukseksi. Toiminnan aloittaminen vaatii lisäselvityksiä syntyvän raaka-aineen eli tässä tapauksessa rakennusjätepuun määrästä ja laadusta. Rakennustyömailla syntyvän puujätteen laadun parantamista voitaisiin tehostaa yhdenmukaistamalla tällä hetkellä suuresti vaihtelevia lajittelukäytäntöjä. Lisäksi aktiivisen lajittelun tehostaminen ja säilytysolosuhteiden huomioiminen parantaisi puumateriaalin laatua biohiilen raaka-aineena. Epäpuhtauksien, kuten naulojen ja maalien, poistaminen siihen keskittyvän palvelun avulla ennen raaka-aineen toimittamista biohiilivalmistajalle yksinkertaistaisi biohiiliprosessia. Ennen kaikkea laatuun kohdistuvien standardimenetelmien kehittäminen valtakunnallisesti olisi rakennusjätepuun laadun parantamisen kannalta tärkeää.

Biohiilipohjaisia rakennussovelluksia tuottavan toimijan olisi myös hyvä tehdä selvitys sovellusten käyttökohteiden vaatimuksista. Rakennusalalla saattaa olla erityiskohteita/erityismateriaaleja, joiden valmistukseen tarvitaan homogeenista raaka-ainetta. Näissä tapauksissa raaka-aineeksi ei soveltuisi jätteeksi luokiteltu puumateriaali vaan kasvatuspuu.

Rakennusjätepuun hyödyntäminen biohiilen raaka-aineena ja tuotteistaminen rakennussovellukseksi vaatii liiketoiminnan ajureita. Niitä ovat mm. lainsäädäntö ja ilmastotavoitteet, lisääntyvä kaupungistuminen, ekologisuus ja arvojen muuttuminen. Uudet ilmastoystävälliset materiaalit tulisi ottaa mahdollisimman pian huomioon rakennussäädöksissä, -määräyksissä ja -suosituksissa. Lainsäädännön muutokset ovat hitaita, mutta silti tehokkaita keinoja muuttaa vanhoja käytäntöjä. Yksi varteenotettava vaihtoehto voisi olla esimerkiksi rakennuslupa- ja sisällytettävä velvoite hiilensidonnasta per asuinneliö. Vaikka biohiilipohjaiset materiaalit nostaisivatkin hetkellisesti hankkeiden materiaalikulutuksia, maksaisivat ne itsensä nopeasti takaisin yksinkertaisena ja helppona CO₂-päästöjen kompensoijana. Samalla kyettäisiin vähentämään materiaalikulutusta ja pienentämään rakennusten hiilijalanjälkeä. Teoriassa on siis täysin mahdollista, että tulevaisuudessa osa rakennusalan kierrätykseen päätyvästä puujätteestä hyödynnettäisiin biohiilen raaka-aineena suoran energiahyödyntämisen sijaan. Biohiilipohjaisten rakennussovellusten käyttöönotto Suomessa vaatii kuitenkin lisätutkimuksia vaativien ilmasto-olosuhteiden takia. Potentiaalisin toimintamalli voisi olla, että biohiilentuotanto yhdistettäisiin jätehuoltoon tai biohiilituottaja olisi vähintäänkin tiiviissä yhteistyössä jätehuoltoyrityksen kanssa. Biohiilen valmistus rakennusjätepuun käsittelyratkaisuna voisi olla täysin perusteltua ja potentiaalinen toimintamalli. Huomioon on kuitenkin otettava elinkaarianalyysin lisäksi se, että raaka-aineena käytetystä, lievästi saastuneesta jättepuusta, ei saa siirtyä haitta-aineita liian suurissa määrin biohiileen tai prosessin sivutuotteisiin.

Tutkimuskyselyssä ilmeni, että lähes kaikki kyselyyn vastanneet, Kanta-Hämeen alueella toimivat rakennusalan yritykset, olisivat kiinnostuneita sekä toimittamaan toiminnassaan syntynyttä puujätettä biohiilen valmistukseen että käyttämään erilaisia biohiilipohjaisia rakennussovelluksia. Yrityksillä on kuitenkin selkeä näkökanta siihen, että puumateriaalin toimittaminen tai biohiilipohjaisten materiaalien käyttö ei saisi tuottaa heille juuri ollenkaan lisäkustannuksia tai -työtä. Kustannuskysymys voi nousta tätä kautta haasteeksi myös biohiilipohjaisen materiaalin valmistajalle. Markkinoille voi olla haasteellista murtautua, mikäli kuluttajille on tarjolla perinteisiä materiaaleja vastaavilla ominaisuuksilla 10–15 % halvempaan hintaan. Toisaalta voidaan kuitenkin olettaa, että kuluttajien tietoisuus ekologisuudesta kasvaa tulevaisuudessa entisestään, jolloin työn tilaajatkin ovat mahdollisesti valmiita maksamaan ympäristöystävällisyydestä enemmän.

Kysely ja haastattelu toivat esiin myös tärkeän asian rakennusalan hierarkiasta. Osa rakennusalan pienyrittäjistä ja aliorakoitsijoista kokee voivansa vaikuttaa hyvin vähän rakennusprojektien materiaalivalintoihin ja sitä

kautta myös rakennusten hiilijalanjälkeen. Rakennushankkeiden materiaa-
livalinnat tehdään jo suunnitteluvaiheessa, jolloin biohiilipohjaisten mate-
riaalien markkinointia olisikin syytä suunnata arkkitehtien ja rakennesuun-
nittelijoiden suuntaan. Tätä kautta biohiilipohjaisten materiaalien etuja
voitaisiin tuoda kuluttajien tietoisuuteen myös ammattilaisten toimesta.
Vuonna 2025 voimaan tulevat uudet rakennusmääräykset herättävät yri-
tyksissä varsin vaihtelevia ajatuksia. Osa yrityksistä kokee tämän vielä var-
sin kaukaiseksi asiaksi, osa taas ei ole varma koskevatko määräykset vält-
tämättä heitä lainkaan, sillä aliurakoitsijan rooli vaikuttaa rakennusprojek-
tin hiilijalanjälkeen on varsin pieni. Yrityksillä on kuitenkin mahdollisuus
vaikuttaa toiminnassaan syntyneen puumateriaalin kierrättämiseen ja
kierrättämisen tehokkuuteen. Kyselyyn vastanneista yrityksistä vain yh-
dessä kierrätysastetta seurattiin aktiivisesti ja tavoitteellisesti. Rakennus-
alan yrityksiä olisikin tuettava materiaalien tehokkaampaan kierrättämi-
seen.

Uskon, että biohiilipohjaisia materiaaleja aletaan sisällyttämään kaupun-
kien ja rakentamisen kehittämiseen kasvavassa määrin lähitulevaisuu-
dessa. Tulevaisuudessa rakennusten purkutilanteessa biohiilipohjainen so-
vellus voitaisiin kierrättää edelleen esimerkiksi kompostoinnin tukiaineena
tai maaperän parantajana sen sijaan, että se päätyisi polttoon tai kaatopai-
kalle. Samalla biohiileen sitoutunut hiili pysyisi pois kierrosta ja kasvatta-
masta ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Ehkä siis tulevaisuudessa saisim-
mekin ihastella perunoidemme ja tomaattiemme kasvavan maassa, jota
ravitsevat edellisten sukupolvien purettujen talojen jäännökset.

LÄHTEET

- Alakangas, E. & Wiik, C. (2008). Käytöstä poistetun puun luokittelu ja hyvien käytäntöjen kuvaus. VTT. Haettu 2.7.2020 osoitteesta: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2008/VTT-R-04989-08.pdf>
- Arauzon, P., Garcia-Perez, M. & Pechan B. (2015). Impact of comined acid washing and acid impregnation on the purolysis of douglas fir wood. *Understanding and controlling lignocellulosic pyrolysis for the production of renewable fuel and chemical precursors* 5/2017, ss. 66–101. Haettu 28.5.2020 osoitteesta: https://research.wsulibs.wsu.edu/xmlui/bitstream/handle/2376/12926/Pecha_wsu_0251E_11933.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=87
- Asikainen, S., Gestranus, M., Kataja, K., Kouko, J., Liukkonen, J., Liukkonen S., Määttänen, M. & Rautkoski, H. (2015). Jätepuusta kuitumateriaalia uusille tuotteille (Puukuitu). VTT. Haettu 18.5.2020 osoitteesta: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2014/VTT-R-06095-14.pdf>
- Ayiania, M. & Garcia-Pèrez, M. (2018). Quantification of Heavy Metals and Soluble Organic Pollutants in Biochar from Pyrolysis of Urban Wood Residuals and Compost Over. *Advancing Organics Management in Washington State: The Waste to fuels Technology Partnership 2015–2017 Biennium*, ss. 95–112. Haettu 24.5.2020 osoitteesta: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/documents/1807010.pdf>
- Bartoli, M., Giorcelli, M., Jagdale, P., Rovere, M. & Tagliaferro, A. (2020). A review of Non-Soil Biochar Applications. Haettu 27.6.2020 osoitteesta: <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/2/261/htm>
- Barton, M., Kim, J., Patel, B. & Twizerimana, A. (2020.) Biochar Bricks for Building Material. University of Rochester. Haettu 14.7.2020 osoitteesta: <https://www.hajim.rochester.edu/senior-design-day/wp-content/uploads/2020/05/Team-Jackalope-Closed-Project-File.pdf>
- Basu, P. (2010). Biomass Gasification and pyrolysis: Practical Design and Theory. Haettu 24.6.2020 osoitteesta: https://www.academia.edu/36068327/Biomass_Gasification_and_Pyrolysis_Practical_Design_and_Theory
- Betoni, (n.d.). Betonin lujuus. Haettu 29.4.2020 osoitteesta: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-lujuus/>

Branca, C., Di Blasi, C. & Giudicianni, P. (2003). GC/MS characterization of liquids generated from low-temperature pyrolysis of wood. *Ind. Eng. Chem.*

Bridgewater, A. & Czernik, S. (2004). Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis oil. *Energy & fuels*, ss. 590–598. Haettu 20.6.2020 osoitteesta: <http://dns2.asia.edu.tw/~ysho/YSHO-English/1000%20CE/PDF/Ene%20Sou18,%20590.pdf>

Carbofex (n.d.). Biohiili. Haettu 29.8.2020 osoitteesta: <https://www.carbofex.fi/biohiili>

Chaalal, A., Chebil, S. & Roy, C. (2000). Use of softwood bark charcoal as a modifier of road bitumen. Haettu 26.4.2020 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236199001969>

Chandraratne, M. & Daful, A. (2018). Biochar Production From Biomass Waste-Derived Material. Higher College of Technology, Abu Dhabi, United Arab Emirates. Haettu 1.9.2020 osoitteesta: https://hameenamk-my.sharepoint.com/personal/annakaisa1_hamk_fi/Documents/Biochar/Pyrolyysi/BiocharProductionFromBiomassWaste-Derived-Material-11249-BiocharBoockChap-ter.pdf?CT=1598960746744&OR=ItemsView

Choi, W., Yun, H. & Lee, J. (2012). *Mechanical properties of mortar containing biochar from pyrolysis*. *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection* 30.5.2012. Haettu osoitteesta: <http://korea-science.or.kr/article/JAKO201212049745124.page>

Czajczynska, D., Anguilano, L., Ghazal, H., Krzyzynska, R., Reynolds, A.J., Spencer, N. & Jouhara, H. (2017). Potential of pyrolysis processes in the waste management sector. Haettu 2.6.2020 osoitteesta: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2451904917300690?to-ken=2B3FD9573273E679D9519C8B4A5DE0413E859045BF63020316AE817AECE7AFB2860B08D608180E6749D28B494885E8EA>

Dahlbo, H., Laaksonen, J., Merilehto, K., Sahimaa, O., Salmenperä, H. & Sten, S. (2018). Kierrätyksestä kiertotalouteen – Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2023. *Suomen Ympäristö* 1/2018. Haettu osoitteesta: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160441/SY_01_18_FI_Kierratyksesta_kiertotalouteen.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Dai, Q., Mills-Beale, J., Yang, X. & You, Z. (2013). Mechanical performance of asphalt mixture modified by bio-oils derived from waste wood resources. Haettu 2.6.2020 osoitteesta: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39436408/Mechanical_performance_of_asphalt_mixture_20151026-9060-xxqr12.pdf?1445889241=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMechanical_performance_of_asphalt_mixture.pdf&Expires=1591099124&Signature=leV5dNA71no6dLA0YeJFPDgQ-vvC~PcvJWcNJZaHOTFV-

[zWtXDPS4k1jZI6bNo00VIOBZswZ-QACPtF01efj9OrgR1D0EUFJR77LB99ghF7JmnhMaRiOBMK8ZgBeNvxVKNx2Z6O2TpK8r-JM11LJwDqAlx-WHaD07PI55fEqL40qim16VGoRUudnCtcHn~HnWil22nOfHIG-SAT9LxdPq384yoY46WimlH2Zq5Oo4AenWIU1V4BjZcfhxt7IBuAUreD-cPtvS6-2pRMBtbG-UA6VDCWq4DfM9BqilS66U3zqoj9gT4OYapjNJ9wl2Zy1KMk7TXnRrFZWU AyuKhB0CkRA &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://www.fortress.wa.gov/egy/publications/documents/1807010.pdf)

Dunsmoor, A. & Garcia-Perèz, M. (2018). Identification of Volatile Compounds from Pyrolysis of Urban Wood Residuals and Compost Overs. *Advancing Organics Management in Washington State: The Waste to Fuels Technology Partnership 2015–2017 Biennium*, ss. 113–125. Haettu 24.5.2020 osoitteesta: <https://fortress.wa.gov/egy/publications/documents/1807010.pdf>

Elo, A. (2020a). Mitä on biohiili. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 7.10.2020 osoitteesta: https://kaltura.hamk.fi/media/Biohiili+osa+1+Kiertotalous+AMK+cc+lisensseill%C3%A4/0_bw7mcda3

Elo, A. (2020b). Biohiilen valmistus. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 6.10.2020 osoitteesta: https://kaltura.hamk.fi/media/Biohiili+osa+2+Kiertotalous+AMK+cc+lisenssit/0_2qbarsji

Euroopan parlamentti. (2018). Yhteiskunta. Kiertotalouspaketti: EU:n uudet tavoitteet kierrätykselle. Haettu 18.5.2020 osoitteesta: <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20170120STO59356/kiertotalouspaketti-eu-n-uudet-tavoitteet-kierratykselle>

European Biochar Foundation. (2019). Guidelines for a sustainable production of biochar. Haettu 21.7.2020 osoitteesta: <https://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>

Garcia-Perèz, M., Mainali, K., Neuenschwander, L. & Terrell, E. (2018). Identification of Condensed Liquid Products and Biochar Yields during Pyrolysis of Urban Wood Residuals and Compost Overs. *Advancing Organics Management in Washington State: The Waste to Fuels Technology Partnership 2015–2017 Biennium*, ss. 126–137. Haettu 24.5.2020 osoitteesta: <https://fortress.wa.gov/egy/publications/documents/1807010.pdf>

Gustafsson, M. (2019). Climate positive energy. Stockholm Biochar Project. Kestävää liiketoimintaa biohiilestä – tapahtuma 15.3.2019. Haettu 1.4.2020 osoitteesta: <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/04/Mattias-Gustafsson-pieni.pdf>

Gupta, S. & Kua, H. (2017). Factors dermining the potential of biochar as a carbon caputuring and sequestering construction material: critical review.

Journal of Materials in Civil Engineering. Haettu 11.4.2020 osoitteesta: https://www.researchgate.net/publication/316057406_Factors_Determining_the_Potential_of_Biochar_As_a_Carbon_Capturing_and_Sequestering_Construction_Material_Critical_Review

Hagermann, N., Schmidt, H-P., Kägi, R., Böhrer, M., Sigmund, G., Maccagnan, A., McArdell, C. & Bucheli, T. (2020). Wood-based activated biochar to eliminate organic micropollutants from biologically treated wastewater. Haettu 20.6.2020 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720319306>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2016). Tutki ja kirjoita. Porvoo: Bookwell Oy.

Häkämies, S. & Lehtonen, K. (2019). Puupohjaisen rakennus- ja purkujätteen määrä ja laatu, jakautuminen eri alajätejakeisiin sekä syntypaikat. Puu rakentamisen kiertotaloudessa- seminaari 19.9.2019. Haettu 19.5.2020 osoitteesta: <https://www.ym.fi/download/name/%7BBF7F07A2-BFA9-4DDF-974E-6194B6A29AF4%7D/150868>

International Biochar Initiative. (2018). How to Make Biochar. Haettu 26.8.2020 osoitteesta: <https://biochar-international.org/biochar-technology/>

International Biochar Initiative. (2020). IBI Webinar: Biochar Use in Asphalt. 13.5.2020. Webinaari. Haettu 2.7.2020 osoitteesta: <https://www.youtube.com/watch?v=32xSWt6WQ2U&feature=youtu.be>

Juutilainen, A. (2020). Karanaojalla tislataan biohiiltä – Purkupuun biohiilestä halutaan paikallinen bisnes. *Hämeen Sanomat* 20.5.2020. Haettu 16.6.2020 osoitteesta: <https://www.hameensanomat.fi/kanta-hame/karanaojalla-tislataan-biohiilta-purkupuun-biohiilesta-halutaan-paikallinen-bisnes-1234788/>

Kiertokapula. (n.d.) Vuosikatsaus 2018. Haettu 20.5.2020 osoitteesta: <https://www.vuosikatsaus2018.kiertokapula.fi/>

Kiinteistöliitto Kanta-Häme. (n.d.). Kiinteistöyhdistys. Haettu 14.9.2020 osoitteesta: <https://kanta-hame.kiinteistoliitto.fi/yhdistys/>

KvantiMOTV. (2010). Kyselylomakkeen laatiminen. Haettu 22.4.2020 osoitteesta: <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/kyselylomake/laatiminen.html>

Laird D., Brown, R., Amonette, J. & Lehmann, J. (2009). Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. Haettu 1.9.2020 osoitteesta: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.183.1445&rep=rep1&type=pdf>

Lampila, J. (2019). Biohiili uudelleen löydetty aarre. *Kestävä Energiatalous* 19.9.2019. Haettu 9.5.2020 osoitteesta: <https://www.energiatalous.fi/?p=2483>

Lehmann, J. & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management: Science, technology and implementation (Second edition.). London; New York: Routledge, Taylor & Francis Group.

Linna Kehitys Oy. (n.d.). Hämeenlinnan yritys- ja palveluhakemisto. Haettu 4.5.2020 osoitteesta: <https://hameenlinna.yrityshakemistot.fi/>

NEWS Powered by CISION. (2020.) Puusta voi tehdä akkuja sähköautoihin – ainutlaatuinen koelaitos rakenteilla Kotkan Sunilaan. Haettu 16.6.2020 osoitteesta: <https://news.cision.com/fi/stora-enso--oyj/r/puusta-voi-tehda-akkuja-sahkoautoihin---ainutlaatuinen-koelaitos-rakenteilla-kotkan-sunilaan,c3135092>

Opetushallitus. (n.d.). Puulajit ja käyttökohteet. Haettu 19.5.2020 osoitteesta: http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/raaka-aineet/puulajit_ja_kayttokohteet/index.html

Punkkinen, H. & Wahlström M. (2020). Uusia ratkaisuja rakennus- ja purkujätteen kierrätykseen. Haettu 23.5.2020 osoitteesta: <http://www.jateplus.fi/jateplus-22016/uusia-ratkaisuja-rakennus-ja-purkujatteen-kierratykseen/>

Rakennusteollisuus RT ry. (n.d.). Toimialat. Haettu 1.5.2020 osoitteesta: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Toimialat/>

Riikonen, A. (2017). Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa. Haettu 18.6.2020 osoitteesta: http://intra.kaupunkitila-ohje.hel.fi/?wpfb_dl=853

Salo, E. (2020). Puusta Biohiiltä. Avoin webinaari 2.4.2020, Metsäkeskus ja Pirkanmaan liitto.

Savimestari. (2019). Modernia Savirakentamista. Haettu 5.10.2020 osoitteesta: <https://www.savimestarit.fi/>

Schmidt, H-P. (2012). The 55 uses of biochar. *Ithikajournal, viticulture ecology climate-farming* 1/2012. Haettu 24.6.2020 osoitteesta: <https://www.terrapreta.bioenergylists.org/files/e082012-55-uses-of-bc.pdf>

Schmidt, H-P. (2013). Ithika. The use of biochar as building material -cities as carbon sinks. Haettu 7.7.2020 osoitteesta: <http://www.ithaka-journal.net/pflanzenkohle-zum-hauser-bauen-stadte-als-kohlenstoffsenken?lang=en>

Sormo, E., Silvani, L., Thuneb, G., Gerber, H., Schmidt, P., Smebye, A. & Cornelissen, G. (2020). Waste timber pyrolysis in a medium-scale unit: Emission budgets and biochar quality. *Science of the Total Environment*. Haettu 31.8.2020 osoitteesta: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720308457>

Spears, S. (2018). What is biochar. *Regeneration international*. Haettu 1.4.2020 osoitteesta: <https://regenerationinternational.org/2018/05/16/what-is-biochar/>

Suomen biohiili. (2019). Biohiili hallitusohjelmassa. Haettu 1.4.2020 osoitteesta: <https://www.suomenbiohiili.fi/ajankohtaisia-uutisia/biohiili-mu-kaan-hallitusohjelmaan/>

Suomen Riskienhallintayhdistys. (n.d.). SWOT-analyysi. Haettu 22.7.2020 osoitteesta: <https://pk-rh.fi/tools/swot.html>

Suomen yritysrekisteri. (2020). Info. Haettu 4.5.2020 osoitteesta: <https://suomenyritysrekisteri.fi/info/>

Suopajarvi, H. (2013). Biomaterian prosessointitavat: Esikäsittelyt, termokemiallinen konversio ja käyttö masuunissa. Oulun yliopisto. Haettu 6.10.2020 osoitteesta: http://cc oulu.fi/~kamahei/z/research/2013_06_11/WP3-biomaterian%20prosessointitavat_netti.pdf

Taylor, B. (2020). Pyrolysis pilot for green waste gets green light in Hong Kong. *Waste Today* 4.5.2020. Haettu 16.6.2020 osoitteesta: <https://www.wastetodaymagazine.com/article/black-veatch-hong-kong-wood-energy-recycling/>

Tiilikkala, K. (2020). Kierrätyspuu biohiilen raaka-aineena. Sähköpostiviesti tekijälle 24.5.2020.

Vainio, V., Helle, R. & Hynönen, T. (2013). Tulevaisuus selvitys II Pohjois-Savon kilpailukyvästä ja vetovoimasta (tarkasteltavana alana bioöljy). Suomen metsäkeskus, Julkiset palvelut, Pohjois-Savo. Haettu 26.9.2020 osoitteesta: <https://www.pohjois-savo.fi/media/liitetiedostot/maakunnan-mestyksen-avaimet/innovaatiokarjet/tulevaisuus selvitys.pdf>

VTT Oy. (2014). Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön – VTT-M-01931–14. Haettu 23.3.2019 osoitteesta: <https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/5097.pdf>

Yle. (2019). Tampereella tehdään biohiiltä ja kaukolämpöä ensimmäisten joukossa maailmassa - uusi laitos kymmenkertaistaisi tuotannon. Haettu 24.6.2020 osoitteesta: <https://yle.fi/uutiset/3-10873372>

Zhao, S., Huang B., Shu, X. & Ye, P. (2014). Laboratory investigation of biochar-modified asphalt mixture. Haettu 16.4.2020 osoitteesta: https://mafiadoc.com/laboratory-investigation-of-biochar-modified-asphalt-mixture_5b9ff7d9097c47501c8b46d1.html

Åhlström, S. (2020). *Biohiilen valmistaminen rakennusjätepuun käsittelyratkaisuna*. Opinnäytetyö. Kestävä Kehitys. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 5.10.2020 osoitteesta: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/345766/Opinn%c3%a4ytety%c3%b6%20%85hlstr%c3%b6m.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

SAATEKIRJE

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 rakennusteollisuus alalla toimiville yrityksille, selvittääksemme toimijoiden kiinnostusta biohiilipohjaisiin tuotteisiin ja puujätteen tarkempaan lajitteluun.

Puujäte on rakennusjätteen toiseksi suurin yksittäinen jätejake, 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 käsittelyratkaisu, millaiset vaikutukset tällä olisi biohiilen valmistusprosessiin sekä rakennusjätepuun hiilijalanjälkeen.

Kysely sisältää 12 kysymystä, joihin toivoisimme teidän vastaavan 30.6.2020 mennessä.

Kyselyyn pääsette tästä linkistä:

<https://www.kyselynetti.com/s/biohiilestabisnestahameessa>

Vastauksia käsitellään luottamuksellisesti eikä siihen 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

HAASTATTELU KYSYMYKSET

Yrityskohtaiset taustatiedot

- 1) Yrityksen nimi ja mistä asti on toiminut?
- 2) Vastaajan rooli yrityksessä?
- 3) Henkilöstömäärä?
- 4) Mitä palveluita yritys tuottaa, millaisia kohteita ja millä alueella?
- 5) Minkälainen asiakaskunta yrityksellä on (esim. julkisia tahoja, yrityksiä, yksityishenkilöitä)?

Kierrätys, hiilijalanjälki

- 1) Minkälaista kierrätysmateriaali yrityksen toiminnasta syntyy (pahvi, muovi...yms.)?
- 2) Minkälaisia kierrätystoimia yrityksellä on, seuraatteko kierrätysasetta?
- 3) Koetaanko lajittelu ja kierrättäminen hankalaksi?
- 4) Joutuuko työmailta helposti sellaista materiaalia jätteeksi, joka voitaisiin mahdollisesti kierrättää tai käyttää uudelleen? Jos niin miksi ja millaista materiaalia?
- 5) Uudet rakennusmääräykset tulevat voimaan vuonna 2025, oletteko miettineet, miten tämä otetaan huomioon toiminnassanne? Tulevissa rakennusmääräyksissä vaaditaan todennäköisesti rakennusten riittävän pientä hiilijalanjälkeä, millaisia ajatuksia se herättää?
- 6) Minkälaisia toivomuksia tai haasteita asiakkaat esittävät teille ympäristöystävällisyyden tai hiilijalanjäljen suhteen?
- 7) Toivovatko asiakkaat ekologista palveluita? Jos toivovat, millaisia ja miten olette pystyneet vastaamaan siihen?
- 8) Teettekö jo nyt jotain toimia hiilijalanjäljen pienentämiseksi? Jos, niin mitä toimia? Jos ette tee, niin mitkä ovat suurimmat esteet tai haasteet, jotka estävät toimien tekemisen?

Puujäte

- 1) Minkälaista puujätettä toiminnassanne syntyy (laatu, puulaji...jne.)? Osaatteko arvioida sen määrää (esim. kuukaudessa, vuodessa tai työ projektia kohtia)?
- 2) Miten sitä käsitellään työmaalla? mahdolliset lajitteluperusteet?
- 3) Mihin se toimitetaan, kuka toimittaa?
- 4) Millaisia kustannuksia ylijäävästä puumateriaalista syntyy?
- 5) Onko nykyinen tapa lajitella ylimääräinen puumateriaali koettu hyväksi vai tuottaako se jotain haasteita? (Perustele miksi hyvä tai huono)

Biohiili, biohiilisovellukset

- 1) Oliko biohiili teille ennestään tuttu? Jos oli, missä yhteydessä olette kuulleet siitä?
- 2) Mitä näistä tuotteista voisitte kokeilla toiminnassanne: biohiilipohjaista sementtiä, betonia, pinnoitteita, eristysmateriaaleja vai asfalttia?
- 3) Olisitteko valmiita maksamaan materiaalin ekologisuudesta enemmän verrattuna nykyiseen materiaaliinne? Paljonko (esim. 0–10%)?
- 4) Mitkä tekijät vaikuttavat materiaalivalintaanne (hinta, ekologisuus, saatavuus, paikallisuus...yms.)?
- 5) Jos biohiilisovellus olisi yksi mahdollisuus kompensoida hiilidioksidipäästöjä/päästä lainsäädännön vaatimiin tavoitteisiin, näkisittekö sen yhdeksi mahdollisuudeksi yrityksessänne? Vai olisiko joku muu tapa teistä helpompi/ miellyttävämpi kompensoida hiilidioksidipäästöjä, jos niin mikä (esim. verotus)?
- 6) Minkälaisia toimia toivoisitte julkisten tahojen, kunnan tai valtion tekvän, mitkä helpottaisivat ekologisten, tässä tapauksessa biohiilipohjaisten, materiaalien käyttöönottoa yrityksessänne (esim. biohiilikokeilujen tukeminen, julkisten biohiiliprojektit...jne.)?
- 7) Suomessa ei vielä toistaiseksi ole valmista konseptia siihen, että rakennustyömailla syntyvää puumateriaalia käytettäisiin biohiilen raaka-aineeksi, josta tuotettaisiin uusia rakennusmateriaaleja. Mikäli olisitte osa tällaista ketjua, kokisitteko sen uhkana vai mahdollisuutena, ja miksi?

Lupa-asiat

- 1) Saako kaikkia vastauksia käyttää sellaisenaan opinnäytetyössä?
- 2) Saako yrityksen nimen julkaista opinnäytetyössä?
- 3) Saako vastaajan nimen julkaista opinnäytetyössä?