

**PIRKANMAAN ALUEEN TEOLLISUUDEN SIVUVIRTOJEN
SOVELTUVUUS BIOHIILEN TUOTANNON RAAKA-AINEEKSI**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Tieto- ja viestintäteknikka, biotalouden koulutus

Kevät, 2023

Emma Tuusa

Tieto- ja viestintätieteiden, biotalouden koulutus

Tekijä Emma Tuusa

Työn nimi Pirkanmaan alueen teollisuuden sivuvirtojen soveltuvuus biohiilen tuotannon raaka-aineeksi

Ohjaaja Kaisa Kontu

Tiivistelmä

Vuosi 2023

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää mistä raaka-aineista biohiiltä voidaan valmistaa. Tarkoituksena oli myös tuottaa selvitys siitä, millaista tuotantoa Pirkanmaan alueelta löytyy ja mitä eri tuotantoalojen sivuvirroista voitaisiin käyttää raaka-aineena biohiilen tuotannossa. Työn toimeksiantaja oli Hämeen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikkö HAMK Tech ja se liittyi tutkimusyksiköiden Fiksuhiili-hankkeeseen. Kyseisen hankkeen tavoitteena on toteuttaa pienen mittaluokan hybridi-biohiili-lämmityskattila, testata sitä erilaisilla raaka-aineilla ja tarkastella biohiilen tuotannon mahdollisia liiketoimintamalleja.

Työn alkuun koottiin taustatietoa biohiilen tuotannosta ja käytöstä. Mahdollisista biohiilen raaka-aineista etsittiin tietoa kirjallisuutta ja erilaisten tutkimusten ja hankkeiden raportteja hyödyntäen. Pirkanmaan alkutuotantoa ja teollisuutta tarkasteltiin ensin yleisellä tasolla, jonka jälkeen perehdyttiin alueen yrityksiin ja niissä mahdollisesti syntyviin sivuvirtoihin aloittain. Tarkastelussa pyrittiin ottamaan huomioon Fiksuhiili-hankkeen tavoitteiden mukaisesti yritysten kokoluokka ja biohiilen tuotannossa syntyvän lämmön hyötykäyttömahdollisuudet. Osoittautui, että biohiiltä voidaan valmistaa lähes mistä vaan biomassasta, mutta raaka-aineen koostumus vaikuttaa biohiilen ominaisuuksiin.

Lopputuloksena syntyi selvitys Pirkanmaan sivuvirtojen soveltuvuudesta biohiilen tuotannon raaka-aineeksi ja listaukset mahdollisista raaka-aineista ja alueen yrityksistä. Lisäksi lähempään tarkasteluun valittiin kasvihuonetuotanto, koska se vaikutti potentiaaliselta vaihtoehdolta ympärivuotiseen biohiilen tuotantoon ja myös prosessissa syntyvän lämmön hyötykäyttöön. Työn tuloksia voidaan hyödyntää valittaessa raaka-aineita Fiksuhiili-hankkeen pyrolyysitesteihin ja etsittäessä yrityksiä, joilta raaka-aineita voisi saada. Lisäksi selvitystä voidaan käyttää pohjana uusien biohiilen liiketoimintamallien kehittämisessä.

Avainsanat Biohiili, hiilen sidonta, sivuvirta

Sivut 35 sivua ja liitteitä 5 sivua

The aim of the thesis was to find out which raw materials can be used to produce biochar. Another aim was to write a report about what kind of production can be found in the Pirkanmaa region and which of the side streams from different production sectors could be used as raw material in biochar production. The commissioner of the thesis was the research unit HAMK Tech of the Häme University of Applied Sciences, connected to the unit's Fiksuhiili project. The goal of the project was to implement a small-scale hybrid biochar heating boiler, test it with different raw materials and examine possible business models for biochar production.

The starting point for the thesis was to compile background information on the production and use of biochar. Information on possible biochar raw materials was sought using literature and reports from various studies and projects. Primary production and industry in Pirkanmaa were first examined on a general level, after which the companies in the area and the side streams that may be generated in them were examined by sector. In accordance with the goals of the Fiksuhiili project, the size of the companies and the utilization possibilities of the heat generated in the production of biochar were considered in this review. It turned out that biochar can be made from almost any biomass, but the composition of the raw material affects the properties of the biochar.

The result was a report on the suitability of the side streams in Pirkanmaa as a raw material for biochar production and listings of possible raw materials and companies in the area. In addition, greenhouse production was chosen for a closer examination, as it seemed to be a potential alternative for year-round biochar production and also for the utilization of the heat generated in the process. The results of the work can be used to select raw materials for the pyrolysis tests of the Fiksuhiili project and to find companies from which raw materials could be obtained. In addition, the report can be used as a basis for developing new biochar business models.

Keywords Biochar, carbon sequestration, side stream

Pages 35 pages and appendices 5 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn tarkoitus ja tavoitteet	1
1.2	Käytetyt menetelmät	2
2	Hiilenkierto ja biohiili.....	2
2.1	Hiilenkierto.....	2
2.2	Biohiilen valmistus ja käyttö	3
2.3	Biohiili Suomessa	5
3	Biohiilen raaka-aineet.....	6
3.1	Metsäteollisuus	7
3.2	Maatalous	8
3.3	Elintarviketeollisuus	8
3.4	Mädätetty liete	9
3.5	Purku- ja jätepuu.....	10
3.6	Puutarhajäte	11
3.7	Muut raaka-aineet	11
4	Pirkanmaan alueen alkutuotanto ja teollisuus.....	12
4.1	Metsäteollisuus.....	12
4.2	Maatalous	14
4.3	Puutarhatuotanto	18
4.4	Elintarviketeollisuus	19
4.5	Jätteet	20
5	Pirkanmaan sivuvirtojen mahdollisuudet.....	21
6	Kasvihuonetuotannon sivuvirrat biohiilen tuotannossa	25
7	Pohdinta ja johtopäätökset	29
	Lähteet.....	31

Liitteet

- Liite 1 Tutkittuja biohiilen raaka-aineita ja valmistusprosesseja
- Liite 2 Biohiilen mahdollisia raaka-aineita Pirkanmaalla
- Liite 3 Pirkanmaan alueen yrityksiä

1 Johdanto

Ilmastonmuutosta pyritään hillitsemään erilaisilla toimilla, kuten päästövähennyksillä ja hiilensidonnan lisäämisellä. Hiiltä voidaan sitoa esimerkiksi hiilidioksidin talteenotolla bioenergian tuotantoprosesseista, biohiilen tuotannolla tai ottamalla hiilidioksidia talteen suoraan ilmasta. Näistä keinoista edullisimpien joukossa on biohiili. (Bioenergia, n.d.)

1.1 Työn tarkoitus ja tavoitteet

Työn tarkoituksena oli perehtyä biohiilen mahdollisiin raaka-aineisiin, sekä tutkia Pirkanmaan alueen teollisuutta ja eri tuotantoaloilla syntyviä sivuvirtoja. Tavoitteena oli tuottaa selvitys siitä, mitä sellaisia yrityksiä Pirkanmaalta löytyy, jotka käsittelevät tuotannossaan biomassoja ja mitä näiden yritysten sivuvirroista voitaisiin käyttää biohiilen tuotannon raaka-aineena.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Hämeen ammattikorkeakoulun tutkimusyksikkö HAMK Tech ja työ liittyi HAMK Techin ja HAMK Bion yhteistyössä toteuttamaan Fiksuhiili-hankkeeseen. HAMK Tech tutkii esimerkiksi teollisuuden materiaaleja, suunnittelu- ja valmistusteknologioita, rakentamista ja energiatehokkuutta (HAMK, n.d.-c). HAMK Bio puolestaan tutkii veden, maaperän ja erilaisten biomassojen hyödyntämistä kestäväällä tavalla (HAMK, n.d.-b). Fiksuhiili-hankkeen tavoitteena on suunnitella ja toteuttaa pienen mittaluokan hybridi-biohiili-lämmityskattila. Tarkoituksena on tutkia kattilan käyttöä erilaisia raaka-aineita hyödyntäen. Lisäksi hankkeen tavoitteena on tarkastella liiketoimintamalleja mahdollista paikallista biohiilituotantoa varten. (HAMK, n.d.-a)

Työn tutkimuskysymykset olivat:

1. Mitä raaka-aineita voidaan käyttää biohiilen tuotannossa?
2. Mitä sellaista teollisuutta Pirkanmaan alueella on, joiden sivuvirtoina on jonkinlaista biomassaa?
3. Mitä löydettyistä sivuvirroista voitaisiin käyttää biohiilen tuotannon raaka-aineena?

1.2 Käytetyt menetelmät

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin aluksi biohiilen tuotannon mahdollisia raaka-aineita kirjallisuuden, tutkimusten ja hankkeiden pohjalta. Luvussa 2 on kerrottu yleisesti hiilenkierrosta ja biohiilestä ja luvussa 3 puolestaan tarkemmin biohiilen raaka-aineista. Tämän jälkeen luvussa 4 on tarkasteltu Pirkanmaan alueen alkutuotantoa ja teollisuutta. Tähän haettiin tietoa muun muassa Pirkanmaan talouskatsauksista, Parasta Pirkanmaalta -sivustolta ja Luken tilastoista. Näiden selvitysten avulla pyrittiin löytämään nimenomaan Pirkanmaalta biohiilen tuotantoon soveltuvia sivuvirtoja.

Pirkanmaan alueen yrityksiä kartoitettiin esimerkiksi Google Maps -karttaohjelman avulla käyttämällä hakusanoina tuotantoalojen nimiä. Löydettyjä yrityksiä ja niissä mahdollisesti syntyviä sivuvirtoja on esitetty luvussa 5. Tietoja yritysten tuotannosta haettiin pääasiassa yritysten omilta nettisivuilta ja jossain määrin myös Suomen Yritysrekisteristä. Lopuksi lukuun 6 valittiin tarkasteluun kasvihuonetuotanto, jonka potentiaalia biohiilen tuotannossa pohdittiin tarkemmin.

2 Hiilenkierto ja biohiili

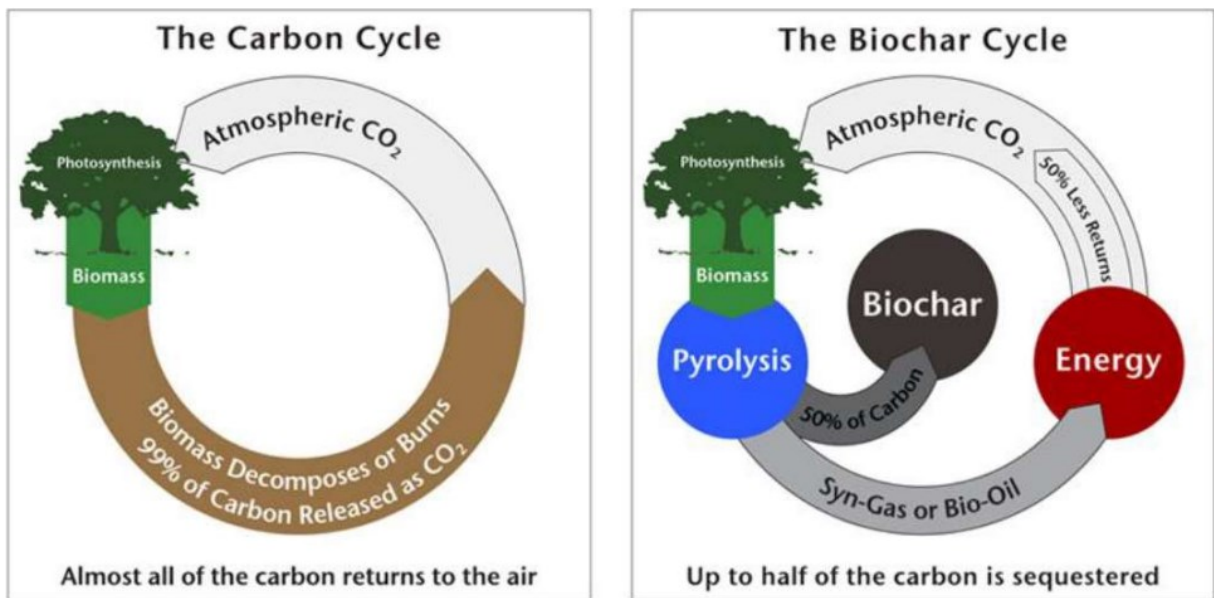
Hiili on hyvin yleinen alkuaine. Sitä on niin vedessä, maassa, kuin ilmassakin. Lisäksi myös esimerkiksi DNA runko muodostuu hiiliatomeista ja kaikki elolliset organismit sisältävätkin hiiltä. Valtaosa hiilen yhdisteistä on orgaanisia yhdisteitä ja ne ovat peräisin luonnosta. Ihminen on kuitenkin kehittänyt myös joitain hiilituotteita, joita ei tavata luonnossa, kuten muovit. (Pernaa & Roininen, 2014, Hiili alkuaineena ja yhdisteissä -luku)

2.1 Hiilenkierto

Hiili kiertää luonnossa jatkuvasti. Kasvit sitovat hiiltä ilmasta itseensä yhteyttäessään ja sitä vapautuu takaisin ilmaan kuolleiden eliöiden maatuessa. Hiilidioksidia myös liukenee meriin, joista sitä myös vapautuu takaisin ilmaan. Kuitenkin jotkin ihmisen toimet, esimerkiksi metsien hakkuu ja fossiilisten polttoaineiden käyttö, lisäävät ilmaan vapautuvan hiilidioksidin määrää. (Ilmasto-opas, n.d.)

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta pyritään laskemaan muun muassa hiilensidonnan avulla. Hiiltä on paljon varastoituneena esimerkiksi kasvustoihin ja maaperään, mutta näiden varastojen pysyvyys vaihtelee. Esimerkiksi metsä, joka kasvaa enemmän kuin sitä kaadetaan, toimii hiilinieluna, kun taas peltomaasta voi vapautua enemmän hiilidioksidia kuin mitä siihen sitoutuu, jolloin maa toimii päästölähteenä. (MTK, n.d.) Yksi mahdollisuus hiilensidonnan parantamiseen on biohiilen käyttö, sillä se toimii pitkäaikaisena hiilinieluna. Tavallisesti suurin osa hiilestä vapautuu takaisin ilmakehään, kun biomassa palaa tai maatuu. Biohiilen tuotannossa jopa puolet tästä hiilestä voidaan kuitenkin sitoa biohiileen (kuva 1). (Elo & Nummela, 2020)

Kuva 1. Hiilen kierto (Elo & Nummela, 2020).



2.2 Biohiilen valmistus ja käyttö

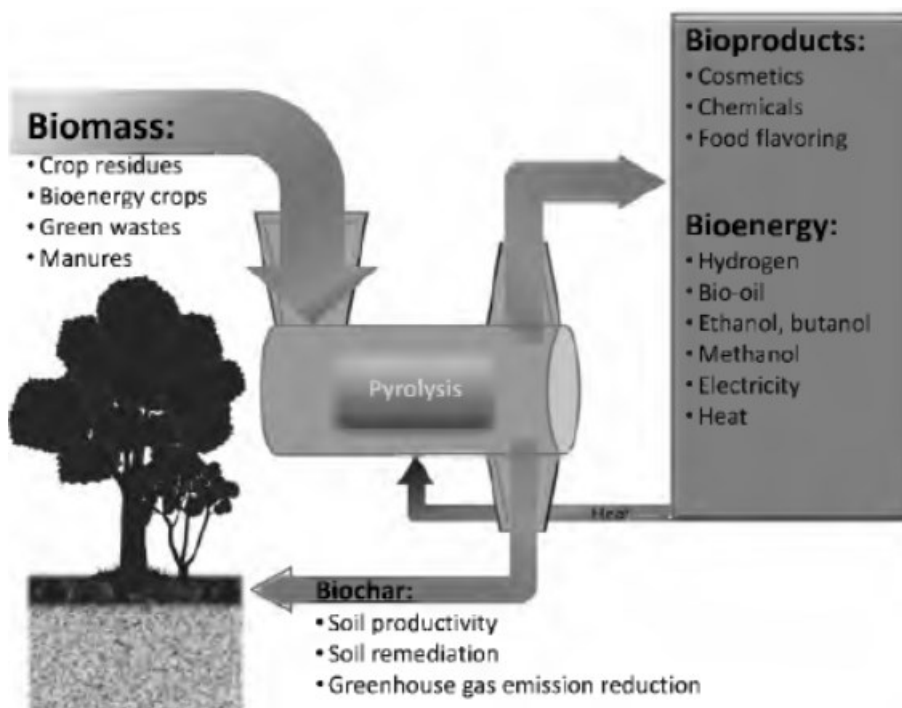
Biohiiltä on hyödynnetty maanparannuksessa, kuivikkeena, lääkkeenä ja ravintolisänä jo vuosisatoja. Sitä on kuitenkin alettu tutkia paremmin vasta viimeisten reilun kymmenen vuoden aikana. Suomessa biohiiltä on tuotettu yli kymmenen vuoden ajan, mutta sen markkinat ovat alkaneet kehittyä vasta vuoden 2017 aikoihin. (Salo, 2019)

Biohiili on erilaisista biomassoista valmistettua hiilipitoista ainetta. Sen tärkeimpiä ominaisuuksia on korkea hiilensidontapotentiaali, sillä biohiili voi säilyä maaperässä jopa

tuhansia vuosia. Lisäksi se on rakenteeltaan hyvin huokoista ja pidättää hyvin vettä ja ravinteita. Biohiiltä voidaankin käyttää esimerkiksi maanparannuksessa ja kasvualustoissa parantamaan maaperän rakennetta ja kosteustasapainoa. Muita biohiilen käyttökohteita ovat esimerkiksi ilman ja veden suodatus, akut, tekstiilit, kosmetiikka, lääketeollisuus, maalit ja elintarvikevärit. (Bioenergia, 2022) Sen lisäksi, että biohiiltä voidaan käyttää hiilivarastona, voidaan sen käyttöä ajatella myös kivihiilen korvaajana esimerkiksi lämmöntuotannossa tai metallinjalostuksessa. (Koukkari ym., 2022)

Biohiilen valmistus tapahtuu pyrolyysin avulla (kuva 2). Se on kemiallinen reaktio, jossa biomassaa kuumennetaan vähähappisissa olosuhteissa, jolloin massan orgaaniset aineet hajoavat. Pyrolyysissä valmistuu biohiilen lisäksi sivutuotteina öljyä, kaasuja ja lämpöä, jotka voidaan ottaa talteen. Valmiin biohiilen koostumus vaihtelee ainakin käytetyn raaka-aineen, pyrolyysilämpötilan ja jälkikäsittelyn mukaan. (Bioenergia, 2022) Biohiilen tuotantoon voidaan liittää aktivointivaihe, jolla voidaan parantaa biohiilen huokoisuutta ja pinta-alaa. Aktivointi voidaan tehdä fysikaalisesti tai kemiallisesti. Fysikaalinen aktivointi voidaan aloittaa raakabiomassasta tai tehdä hiiltämisen aikana. Kemiallinen aktivointi puolestaan tehdään hiiltämisen jälkeen happo-emäskäsittelyllä. (Siipola ym., 2019)

Kuva 2. Yksinkertainen kaavio biohiilen valmistusprosessista (Lehmann & Joseph, 2015).

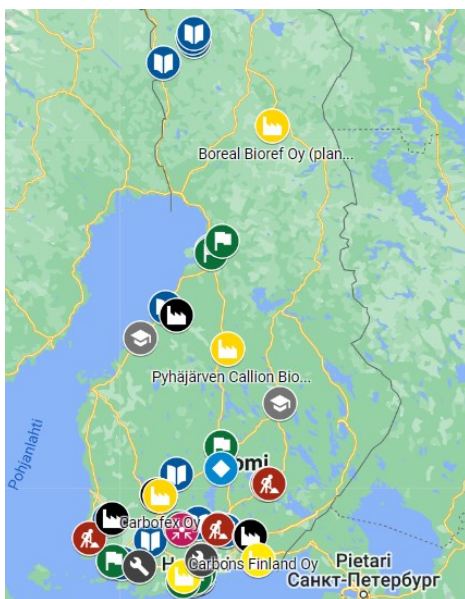


Biohiilen tuotannon voisi integroida osaksi muita tuotantoprosesseja. Sen voisi yhdistää osaksi esimerkiksi lämpölaitoksen tai sahan toimintaa. Lämmöntuotannossa biohiilen tuotantoprosessissa syntyvät kaasut ja öljyt voitaisiin hyödyntää kaukolämmöntuotantoon. Samalla hiilen sidonta biohiileen voisi saada aikaan sen, että lämpölaitoksen päästökerroin olisi negatiivinen. Sahan tapauksessa kuorta ja sahanpurua voitaisiin käyttää biohiilen tuotannon raaka-aineina, ja samalla syntyvää ylijäämälämpöä voitaisiin hyödyntää sahan omassa toiminnassa. (Koukkari ym., 2022)

2.3 Biohiili Suomessa

Suomen biohiiliyhdistys on toteuttanut biohiilikartan, jonka avulla voi tarkastella Suomessa tapahtuvaa biohiilen tuotantoa, tutkimusta ja käyttöä (kuva 3). Esimerkiksi Biolan käyttää joissain tuotteissaan biohiiltä, joskin yrityksen käyttämä biohiili tuotetaan Virossa. Carbofex sen sijaan omistaa Euroopan suurimman biohiilen tuotantolaitoksen, joka sijaitsee Tampereella. Lisäksi kartalta löytyy yrityksiä, jotka keskittyvät biohiilen tuotantoon liittyvään teknologiaan. Sivulle on listattu monia biohiileen liittyviä hankkeita, projekteja ja käyttökohteita. (Salo ym., 2018)

Kuva 3. Biohiileen liittyviä aktiviteetteja ympäri Suomea (Salo ym., 2018).



3 Biohiilen raaka-aineet

Biohiiltä voidaan tuottaa monista orgaanisista raaka-aineista, kuten erilaisista maatalousjätteistä ja lietteestä (Liite 1) (Wang & Wang, 2019). Biohiilen tuotannon raaka-aineita kiertotalouden näkökulmasta on tutkittu muun muassa Kanta-Hämeessä, Biohiilestä bisnestä Hämeeseen -hankkeen puitteissa. Mahdollisina raaka-aineita biohiilen tuotantoon on mainittu esimerkiksi puu (myös purku- ja jätepuu), puutarhajäte, viljan ja pähkinän kuoret, olki ynnä muut maatalouden sivuvirrat, lietteet ja lannat, biokaasumädätteet ja paperi- ja selluteollisuuden sivuvirrat. (Elo & Nummela, 2020) Kyseisessä hankkeessa pyrittiin etsimään nimenomaan kestäviä kiertotalouden kannalta järkeviä ratkaisuja. Tästä syystä jotkin raaka-aineet, kuten esimerkiksi energiapuu ja hevosenlanta rajattiin testauksen ulkopuolelle, sillä niille on jo muita käyttökohteita. Biohiilen tuotannossa olisikin oleellista korostaa kestävyyttä ja suosia raaka-aineina sivu- ja jätevirtoja. (Elo ym., 2021) Sivuvirroiksi kutsutaan sivutuotteita, joita syntyy päätuotteen valmistusprosessin ohessa (Sitra, n.d.).

Raaka-aineen valinnassa tulisi ottaa huomioon tuotetun biohiilen mahdolliset käyttökohteet, sillä käytetty raaka-aine vaikuttaa biohiilen valmistusprosessiin ja lopputuotteen ominaisuuksiin. Käytetyn biomassan kosteus vaikuttaa pyrolyysissä käytettävään lämpötilaan ja käsittelyaikaan, niin että kosteampi raaka-aine vaatii enemmän energiaa ja aikaa. Käsittelyaika puolestaan näyttää vaikuttavan lopputuotteen fysikaalis-kemiallisiin ominaisuuksiin. Eläinten kuivikkeista ja kiinteistä jätteistä valmistetulla biohiilellä esimerkiksi on pienempi pinta-ala ja hiilipitoisuus kuin viljelytähteistä ja puusta valmistetulla tuotteella. Toisaalta taas lannasta, lietteestä ja viljelytähteistä tuotettu biohiili sopii paremmin käytettäväksi ravinteiden lisäämisessä maaperään. (Tomczyk ym., 2020)

Monet biomassat koostuvat suurimmilta osin ligniinistä, selluloosasta ja hemiselluloosasta. Näiden kolmen suhde toisiinsa nähden vaikuttaa suuresti biohiilen tuotannon massasaantoon. Raaka-aineesta, jonka ligniini pitoisuus on suurempi, saadaan enemmän biohiiltä. Raaka-aineista, jotka sisältävät enemmän selluloosaa ja hemiselluloosaa puolestaan saadaan lopputuotteena enemmän kaasuja, mutta vähemmän biohiiltä. Tämä johtuu siitä, että selluloosa ja hemiselluloosa hajoavat jo alhaisemmissa lämpötiloissa. (Weber & Quicker, 2018)

3.1 Metsäteollisuus

Metsäteollisuudessa syntyy monia sivuvirtoja, kuten kuorta, sahaketta ja sahanpurua. Näistä sivuvirroista noin puolet käytetään uudelleen massatuotannossa ja puolet energian tuotantoon. Iso osa energiaksi käytettävistä sivuvirroista käytetään suoraan tehtaiden omiin tarpeisiin. VTT:n tutkimuksen mukaan metsätalouden eri sivuvirroilla on kuitenkin potentiaalia biohiilentuotannon raaka-aineena (taulukko 1), mikäli tehtaiden omasta tuotannosta ylijäävät sivuvirrat ohjattaisiin biohiilen tuotantoon. (Korpijärvi ym., 2021, ss. 7–9)

Taulukko 1. Metsäteollisuuden sivuvirtojen potentiaali biohiilen tuotannon raaka-aineena (Korpijärvi ym., 2021)

Sivuvirtajae	Runko- puun käyttö Mm ³ /v	Kuoren, hakkeen tai purun osuus raakapuusta %	Syntyvä kuori, hake, puru Mm ³ /v	Käyttö omaa energiaa tuotantoon %	Sivuvirta- potentiaali biohiilen käyttöön Mm ³ /v	Biohiili- potentiaali 1000 t/v
Havupuun kuori	53,5	11,50 %	6,2	50 %	3,1	406
Sahahake	25,4	30 %	7,6	90 %	0,8	128
Sahanpuru	25,4	14 %	3,6	40 %	2,1	386
Yhteensä			17,2		6	920
Metsähake			7,5	70 %	2,3	422
Yhteensä			24,7		8,2	1342

Yleisin raaka-aine biohiilen valmistuksessa Suomessa on energiapuu (Elo ym., 2021, s. 8). Energiapuuhun lasketaan esimerkiksi päätehakkuiden latvusmassat ja metsien harvennuksista saatava pienpuu. Biomassa atlasen mukaan tämän energiapuun kokonaispotentiaali olisi 19,5 Mm³ vuosille 2025–2034. Kuitenkin myös energiapuusta valtaosa, noin 70 % menee nykyisellään muuhun käyttöön, joten vapaata potentiaalia energiapuun osalta olisi 5,86 Mm³. (Korpijärvi ym., 2021, s. 10–11) Esimerkiksi Carbofexin laitos Tampereella tuottaa puuhakkeesta 700 tonnia biohiiltä ja 600 tonnia öljyä vuodessa, jonka lisäksi prosessissa syntyvää lämpöenergiaa syötetään kaukolämpöverkkoon (Carbofex, n.d.).

Maailmalla esimerkiksi amerikkalainen Pacific Biochar -yritys tuottaa biohiiltä Kalifornian metsäpalovaara-alueilta kerätystä raaka-aineista. Näihin kuuluvat esimerkiksi metsien harvennuksista ja voimalinjojen raivauksista saatavan hakkuutähteet ja sahoilta tulevat puupohjaiset jätteet. (Pacific Biochar, n.d.) Myös saksalainen Carbon Cycle kertoo valmistavansa biohiiltä käsittelemättömästä puuhakkeesta (Carbon Cycle, n.d.).

3.2 Maatalous

Maataloudessa syntyy paljon viljelytähteitä, joiden hävittäminen voi joskus muodostua ongelmaksi. Esimerkiksi Intiassa hävitetään vuosittain miljoonia tonneja riisin ja vehnän viljelystä syntyneitä olkea polttamalla, mikä aiheuttaa muun muassa suuria hiilidioksidipäästöjä. Tutkittaessa maissin, helmihirssin, riisin ja vehnän varsia biohiilen tuotannon raaka-aineina, niiden massasaannot olivat: maissi 50 %, helmihirssi 50 %, vehnä 46 % ja riisi 45 %. Lisäksi näiden biohiilten välillä havaittiin eroja muun muassa rakenteissa ja ravintoainepitoisuuksissa. Esimerkiksi maissin varsista valmistetussa biohiilessä oli paljon tyyppiä ja fosforia, kun taas riisin oljesta valmistetussa biohiilessä oli runsaasti kaliumia.

Kuten jo aiemmin mainittu, biohiilen raaka-aineen valinta siis vaikuttaa oleellisesti siihen, mihin käyttökohteeseen kyseistä biohiiltä kannattaa käyttää. (Purakayastha ym., 2015) Ainakin ruotsalainen innovaatioyritys Ecoera on kehittänyt biohiilen tuotantoon järjestelmän, joka käyttää raaka-aineena muun muassa maatalousjätteistä puristettuja pellettejä. (Ecoera, 2022)

3.3 Elintarviketeollisuus

Ruokajätettä syntyy elintarvikkeiden koko elinkaaren aikana: alkutuotannossa, elintarvikkeiden jalostuksessa, kaupassa ja kotitalouksissa. On arvioitu, että maailmanlaajuisesti jopa kolmannes syötäväksi kelpaavasta ruuasta menee hukkaan. Ruokajätteen mahdollisuuksia lisäarvoa tuottavien tuotteiden, kuten biohiilen raaka-aineena on tutkittu useissa tutkimuksissa. Kuten muidenkin raaka-aineiden kohdalla, myös ruokajätteessä raaka-aineen tyyppi ja koostumus vaikuttavat tuotettavan biohiilen saantoon ja ominaisuuksiin. Tutkimuksissa biohiilen raaka-aineena on käytetty esimerkiksi

soijaproteiinia, viljoja, maapähkinän, mantelin ja saksanpähkinän kuoria, perunan ja appelsiinin kuoria, kookospähkinän kuoren osia, eläinten rasvaa ja oliivin kiviä. (Elkhalifa ym., 2019)

Elintarvikesivuvirtojen käsittelyssä pyrolyysin etuna esimerkiksi kompostointiin verrattuna on prosessin lyhyempi kesto. Pyrolyysiin sopivat monet raaka-aineet, joiden maatumisen kompostoinnissa kestäisi huomattavan kauan. Monien ruokajätteiden ongelmana on niiden korkea kosteuspitoisuus, mutta tämä voidaan poistaa ennen pyrolyysiä tehtävällä esikäsitteilyllä, jossa biomassa kuivataan. Joidenkin elintarvikejätteiden suolapitoisuus voi haitata niistä valmistetun biohiilen käyttöä maanparannuksessa. (Elkhalifa ym., 2019)

Esimerkiksi sokeriteollisuudessa käytettävistä sokeriruo'osta ja sokerijuurikkaasta jää prosessoinnin jälkeen jäljelle massaa. Näistä sokeriruokomassaa käytetään ainakin energian tuotannossa ja juurikasmassaa eläinten rehuna, mutta molempia voisi käyttää myös raaka-aineena biohiilen tuotannossa niiden korkea hiilipitoisuuden vuoksi. (Eggleston & Lima, 2015)

3.4 Mädätetty liete

Biokaasulaitosten ja jätevedenpuhdistamojen prosesseissa syntyy mädätettä, jota on yleisesti käytetty peltoviljelyssä sen sisältämien ravinteiden vuoksi. Kuitenkin huolenaiheeksi ovat muodostuneet mädätteen sisältämät haitalliset aineet, kuten lääkejäämät ja mikromuovit. Biohiilen tuotannossa käytettävä pyrolyysiprosessi voisi poistaa näitä haitta-aineita, jolloin lietepohjaista biohiiltä voitaisiin käyttää pelkkää mädätettyä lietettä turvallisempuna vaihtoehtona viljelyssä. Lietteen ja mädätteen käyttämisessä biohiilen tuotannon raaka-aineena ongelma voi muodostua sen koostumus, koska niiden hiilipitoisuudet ja energiasisällöt ovat melko alhaiset. Lisäksi, koska kyseessä on melko kostea materiaali, prosessi vaatii enemmän energiaa. Joissain tutkimuksissa onkin sekoitettu mädätteen sekaan esimerkiksi puuhaketta, jotta raaka-aineen kuiva-ainepitoisuus on saatu korkeammaksi. (Elo ym., 2021, ss. 13–15)

Biohiilestä bisnestä Hämeeseen -hankkeen testeissä pyrolysoitiin mädätettyä puhdistamolietettä. Lopputuotteena saadun lietehiilen hiilipitoisuus oli 20–22 % ja jopa 82 % siitä oli tuhkaa. Lietehiilelle tehtyjen analyysien mukaan sekä sen raskasmetallipitoisuudet, että PAH-yhdisteiden pitoisuus pysyivät lannoitevalmisteille säädetyissä rajoissa. (Elo ym., 2021, s. 23, 27)

3.5 Purku- ja jätepuu

Åhlström (2020) on tutkinut opinnäytetyössään rakennusjätepuun käyttömahdollisuuksia biohiilen raaka-aineena. Puujäte jaetaan eri laatuluokkiin. Näistä ainakin A- ja B-luokan, mahdollisesti myös C-luokan puujätettä voitaisiin käyttää biohiilen valmistuksessa. Puun laatuluokka vaikuttaa biohiilen laatuun, joten eri luokista voitaisiin valmistaa biohiiltä eri käyttötarkoituksiin. Tämän raaka-aineen käyttöä hankaloittaa se, että biohiilen valmistus rakennusjätepuusta vaatii ympäristöluvan. Toisaalta positiivisena asiana voidaan nähdä se, että jätepuuta käyttämällä pystyttäisiin korvaamaan neitseellisen raaka-aineen käyttöä biohiilen valmistamisessa.

Biohiilestä bisnestä Hämeeseen -hankkeessa purku- ja jätepuuta pidettiin hyvin potentiaalisena biohiilen raaka-aineena, sillä sitä syntyy suuria määriä ja purkupuun hyödyntämistä on huono. Hankaluuksia aiheuttaa kuitenkin materiaalin heterogeenisyys. Vaikka osa purkupuusta on niin sanotusti puhdasta, on joukossa myös laadultaan vaihtelevaa materiaalia syntypaikasta ja koostumuksesta riippuen. Hankkeen yhteydessä tehdyistä testeissä käytettiin A- ja B-luokan purku- ja jätepuuta. Puusta valmistetun biohiilen hiilipitoisuus oli noin 87 % ja 7 % valmiista tuotteesta oli tuhkaa. Raskasmetallianalyseissä jätepuun arseenipitoisuus ylitti lannoitevalmisteille säädetyt raja-arvon. Lisäksi terveydelle haitallisten PAH-yhdisteiden pitoisuus purkupuussa ylitti biohiilen premium-laadulle säädetyt arvot, mutta pysyi kuitenkin peruslaadulle säädetyissä rajoissa. (Elo ym., 2021, ss. 9–10, 24–27)

3.6 Puutarhajäte

Puutarhajätteen seassa olevat risut ja puu voisivat olla potentiaalisia raaka-aineita biohiilen tuotantoon, sillä ne voidaan lukea puhtaaksi kierrätyspuuksi (A-luokka). Biohiilestä bisnestä Hämeeseen -hankkeen kokeissa hienonnettiin ja kuivattiin risujätettä. Pyrolyysistä saadun biohiilen hiilipitoisuus oli 83 % ja siitä noin 11 % oli tuhkaa. Koostumus oli siis melko lähellä saman hankkeen purku- ja jätepuun tuloksia, mutta risupohjaisen biohiilen hiilipitoisuus oli hieman alhaisempi ja tuhkaa syntyi hieman enemmän. Analyysissä risubiohiilen PAH-yhdisteiden määrä ylitti biohiilelle asetetun ohjearvon, mutta tuloksen luotettavuus kyseenalainen, sillä kyseessä oli yksittäinen näyte. (Elo ym., 2021, ss. 24–27)

Puutarhajätteen kohdalla ongelmana on materiaalin koostumuksen epätasaisuus, sillä se voi sisältää kaikkea lehdistä paksuihin puunrunkoihin. Esimerkiksi Karanojan jätteenkäsittelyalueella lehtijäte meneekin kompostiin ja suuremmat oksat ja rungot käsitellään purkupuun ohessa. Toinen ongelma on se, että lisäksi puutarhajätteen saatavuus on vaihtelevaa ja hyvin kausiluontoista. Vaikka puutarhajätteen käytössä biohiilen raaka-aineena on omat ongelmansa, voisi se kuitenkin olla hyvä keino lisätä alueen toimijoiden PR-arvoa ja sitouttaa asukkaita ilmastotyöhön. (Elo ym., 2021, ss. 16–17)

3.7 Muut raaka-aineet

Pajun kasvattamista biohiilen raaka-aineeksi on tutkittu jonkin verran. Se vaikuttaa lupaavalta, sillä paju kasvaa nopeasti ja on rakenteeltaan huokoista. Tämän rakenteen ansoista myös pajusta tuotetussa biohiilissä on suuret huokokset ja se on laadultaan tasaista. Hyväksi puoleksi mainitaan myös se, että Suomen peltojen puhtaus takaa sen, että raaka-aineen raskasmetallipitoisuudet ovat alhaiset. (Hollmén, 2020)

Yksi mahdollinen biohiilen raaka-aine voisi olla järviruoko. Ruovikoita on Suomessa arviolta 100 000 hehtaaria ja niitä niittämällä saataisiin kerättyä ravinteita pois vesistöistä.

Ongelmaksi tässä voivat muodostua lupa-asiat, sillä niittoon tarvitaan lupa kaikilta vesien ja rantojen omistajilta. (Lähteenmäki, n.d.) Toinen järvissä kasvava laji, jonka hyötykäyttöä muun muassa biohiilen raaka-aineena on tutkittu, on isosorsimo. Isosorsimo – rantojen

riesasta resurssiksi -hankkeen toteuttivat Hämeen ammattikorkeakoulu ja Vanajavesikeskus. Hankkeen testeissä pyrolysoitiin neljä erää isosorsimoa. Kolmen 520 °C lämpötilassa prosessoidun erän massasaannot olivat 33 %, 29 % ja 29 %, ja yhden 700°C prosessoidun erän massasaanto oli 34 %. Alemmassa lämpötilassa pyrolysoitujen erien hiilipitoisuus oli 68,8 % ja korkeammassa lämpötilassa 78,0 %. Isosorsimon todettiin soveltuvan biohiiletykseen hyvät saannon ja koostumuksen perusteella. (Vanajavesikeskus, 2022)

4 Pirkanmaan alueen alkutuotanto ja teollisuus

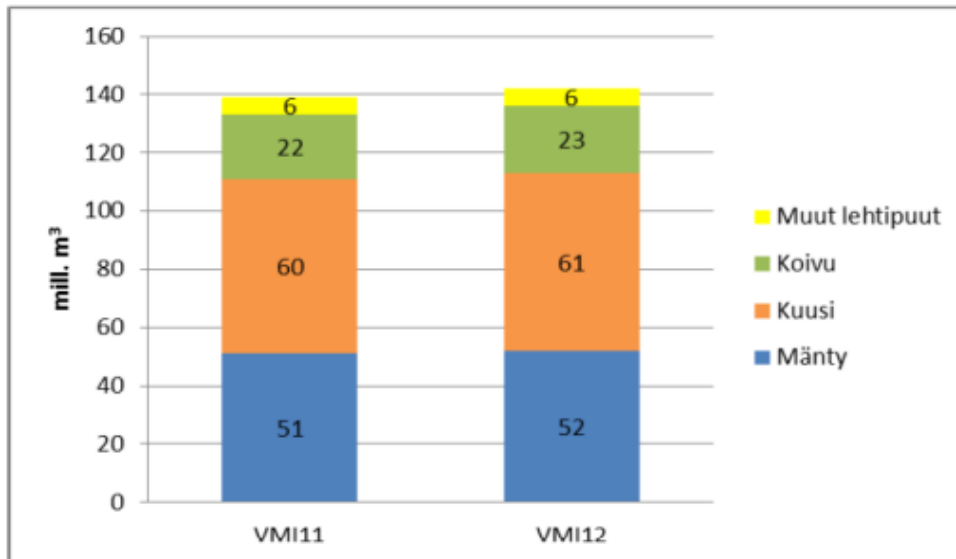
Pirkanmaan teollisuuden liikevaihto vuonna 2021 oli 13 731 M€. Tästä kokonaisuudesta teknologiateollisuus kattoi 54 %, metsäteollisuus 23 %, kemikaali-, kumi- ja muoviteollisuus 16 %, elintarviketeollisuus 5 % ja tekstiili-, vaate- ja jalkineiteollisuus 2 %. (Business Tampere ym., 2022) Voidaan siis sanoa, että vaikka teknologia on selkeästi suurin teollisuuden ala Pirkanmaalla, löytyy maakunnasta myös biomassoja käsittelevää teollisuutta. Varsinkin metsäteollisuuden osuus Pirkanmaan liikevaihdosta oli huomattava. Maakunnasta löytyy myös monipuolista maataloustuotantoa. Vuonna 2013 maatalouden osuus oli 2,7 prosenttiyksikköä Pirkanmaan BKT:sta. (Luomala, 2021) Pirkanmaan maakuntaan kuuluu 23 kuntaa: Akaa, Hämeenkyrö, Ikaalinen, Juupajoki, Kangasala, Kihniö, Kuhmoinen, Lempäälä, Mänttä-Vilppula, Nokia, Orivesi, Parkano, Pirkkala, Punkalaidun, Pälkäne, Ruovesi, Sastamala, Tampere, Urjala, Valkeakoski, Vesilahti, Virrat ja Ylöjärvi. (Pirkanmaan liitto, n.d.) Tässä työssä on keskitytty aiheen mukaisesti sellaisiin tuotantoaloihin, jotka käsittelevät erilaisia biomassoja. Tällaisia osa-alueita ovat maatalous, puutarhatalous, metsäteollisuus, elintarviketeollisuus ja jätteiden käsittely.

4.1 Metsäteollisuus

Vuosien 2014–2018 inventointitulosten mukaan Pirkanmaalla on metsätalousmaata 947 000 hehtaaria ja puuston määrä on 143 miljoonaa kuutiometriä (kuva 4). Hakkuiden ja luontaisen poistuman kautta puuston poistuma on ollut noin 90 % kasvusta, eli käytännössä puuston määrä on lisääntynyt. Vuosina 2014–2018 runkopuuta hakattiin maakunnan alueella noin 5 miljoonaa kuutiota vuodessa. Metsähakkeeseen käytettävien raaka-aineiden, kuten

pienpuun, hakkuutähteiden ja kantojen määrän arvioidaan olevan noin 1,3 miljoonaa kuutiota vuodessa. (Metsäkeskus, 2020)

Kuva 4. Pirkanmaan puuston määrä (WMI11: 2009–2013, WMI12: 2014–2018).



Tukkipuuta käytettiin Pirkanmaan alueella noin 2,2 miljoonaa kuutiota vuonna 2018, eli suurin osa hakatusta puusta viedään maakunnan ulkopuolelle. Kuitenkin osa kuitupuusta tuodaan takaisin Pirkanmaalle sellun, paperin ja kartongin muodossa jatkojalostukseen. Ainakin Hämeenkyrössä, Mäntässä, Nokialla, Tampereella ja Valkeakoskella on näitä raaka-aineita käyttävää paperi- ja kartonkiteollisuutta. (Metsäkeskus, 2020)

Pirkanmaalla on useita metsäteollisuuden toimipaikkoja (kuva 5). Vilppulan saha sahaa kuusitukkia ja UPM mäntytukkia. Esimerkkejä keskisuurista sahoista ovat JPJ Wood ja Kinnaskoski. Sastamalassa sijaitseva Riga Wood tuottaa koivuvaneria. Energiakäyttöön puuta meni vuonna 2018 Pirkanmaalla lähes 800 000 kuutiota. Tämän määrän ennustetaan kasvavan, kun turpeen energiakäyttöä vähennetään. Energiapuuta raaka-aineena käyttäviä laitoksia onkin useita Pirkanmaan alueella. Biovoimaloita on esimerkiksi Hämeenkyrössä, Tampereella ja Nokialla. (Metsäkeskus, 2020)

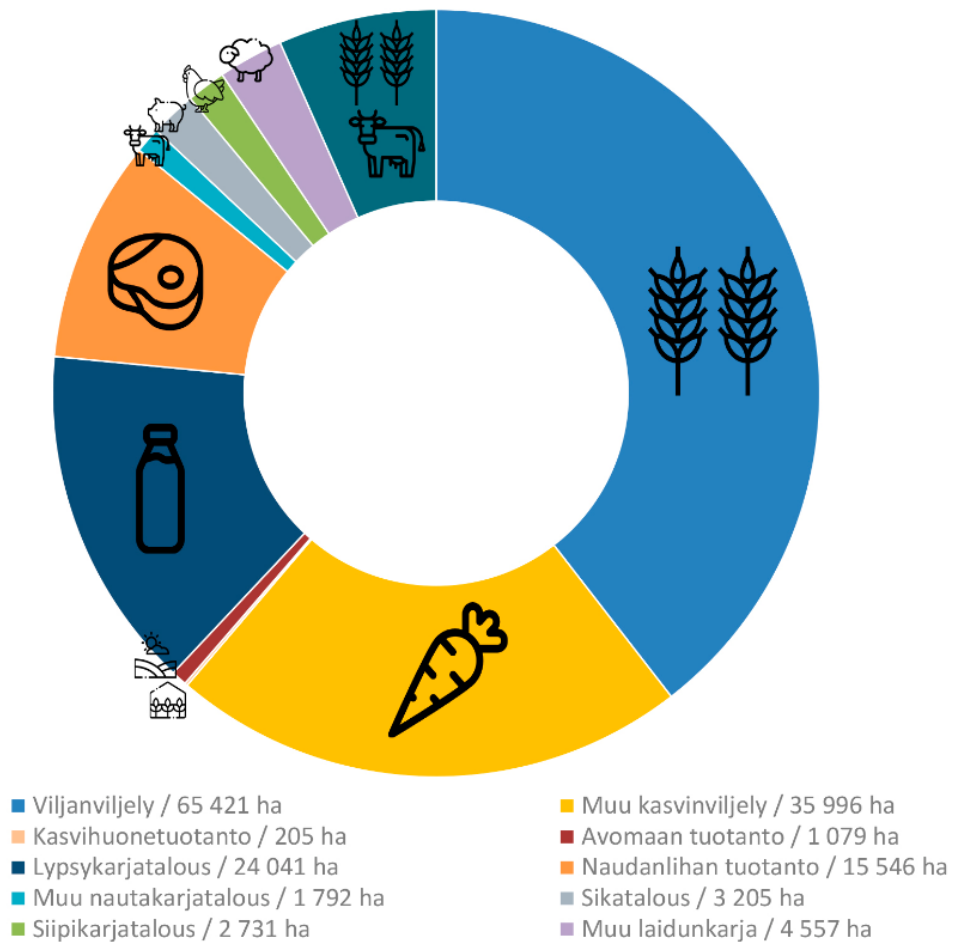
Kuva 5. Pirkanmaan metsäteollisuuden toimipaikkoja.



4.2 Maatalous

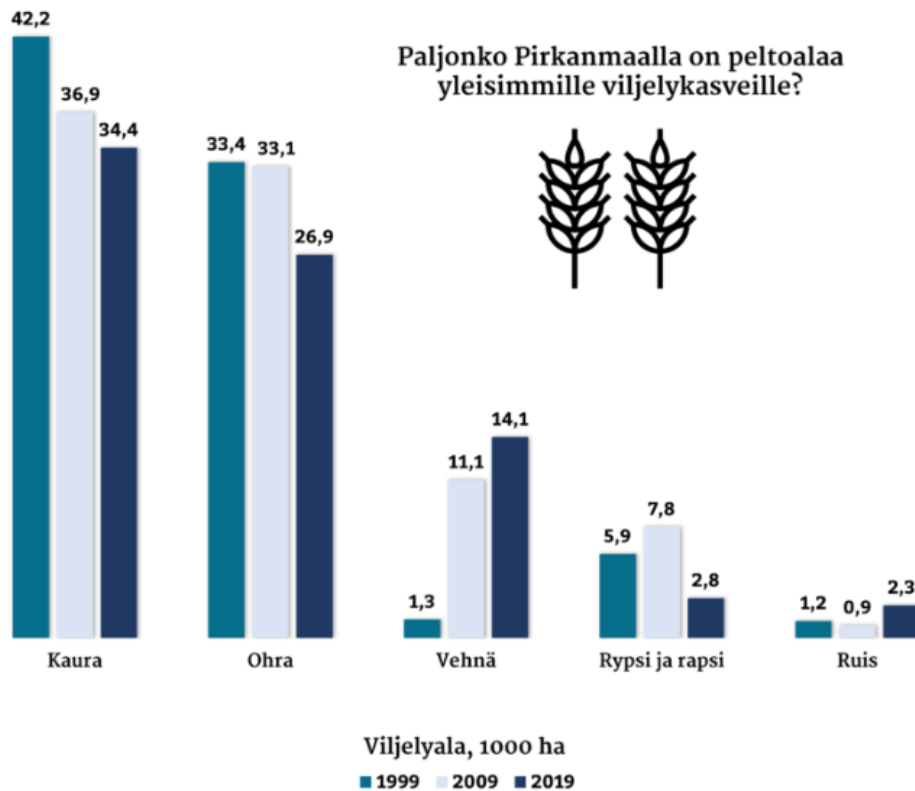
Maatalouden osalta valtaosa Pirkanmaan yrityksistä sijaitsee Tampereen kaupunkialueen ulkopuolella olevalla ydinmaaseudulla. Suurimmat viljelypinta-alat ovat Akaassa ja myös Lounais-Pirkanmaalla, Sastamalassa ja Punkalaitumella on olennainen maatalouden ydinalue. Muita maatalouden kannalta merkittäviä Pirkanmaan kuntia ovat myös Pälkäne, Urjala, Virrat, Kangasala, Orivesi ja Hämeenkyrö. Kokonaisuudessaan maakunnasta löytyy keskimääräistä enemmän nautakarja-, lammas-, vuohi- ja hevostaloutta ja viljanviljelyä. Eri maatalouden toimialojen osuudet maankäytöstä Pirkanmaan alueella on kuvattu kuvassa 6. (Luomala, 2021)

Kuva 6. Pirkanmaan maatalouden maankäyttö toimialoittain vuonna 2019 (Parasta Pirkanmaalta, n.d.-d).

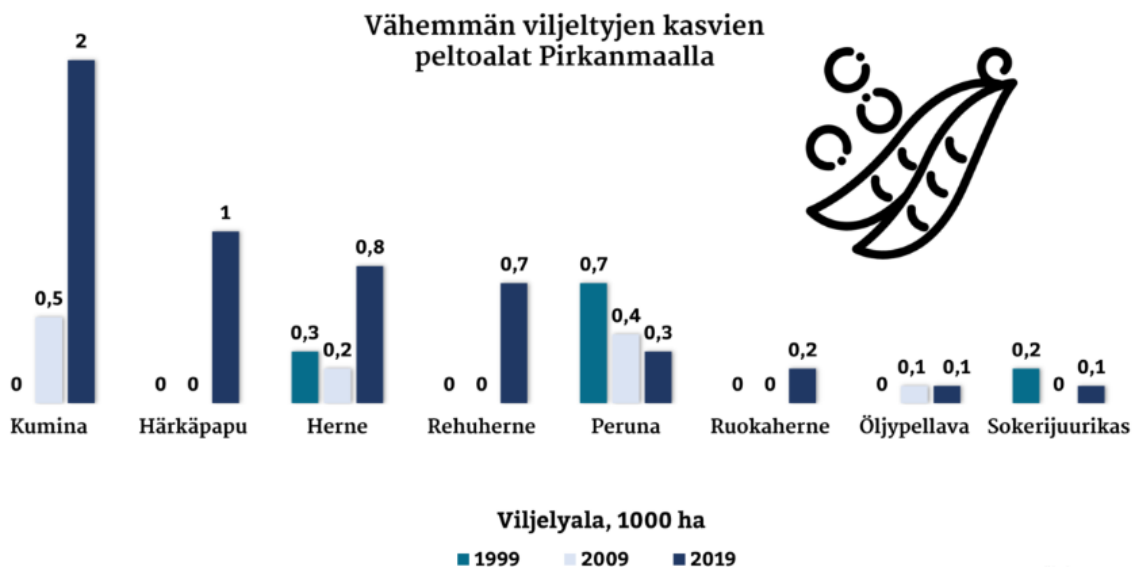


Viljanviljely on keskittynyt enemmän Pirkanmaan eteläosiin. Yleisimpien viljelykasvien peltoalat vuosina 1999, 2009 ja 2019 on esitetty kuvassa 7. Avomaan vihannesten viljely ja muiden vaativampien kasvien viljely on keskittynyt Kaakkois-Pirkanmaalle, jossa on tähän tarkoitukseen sopivin ilmasto ja maaperä. Erikoiskasvinviljelyä on maakunnassa kuitenkin keskimäärin vähemmän verrattuna koko maahan. Joidenkin vähemmän viljeltyjen kasvien peltoaloja on esitetty kuvassa 8. (Luomala, 2021)

Kuva 7. Pirkanmaan yleisimpien viljelykasvien peltoalat 1999–2019 (Parasta Pirkanmaalta, n.d.-b).

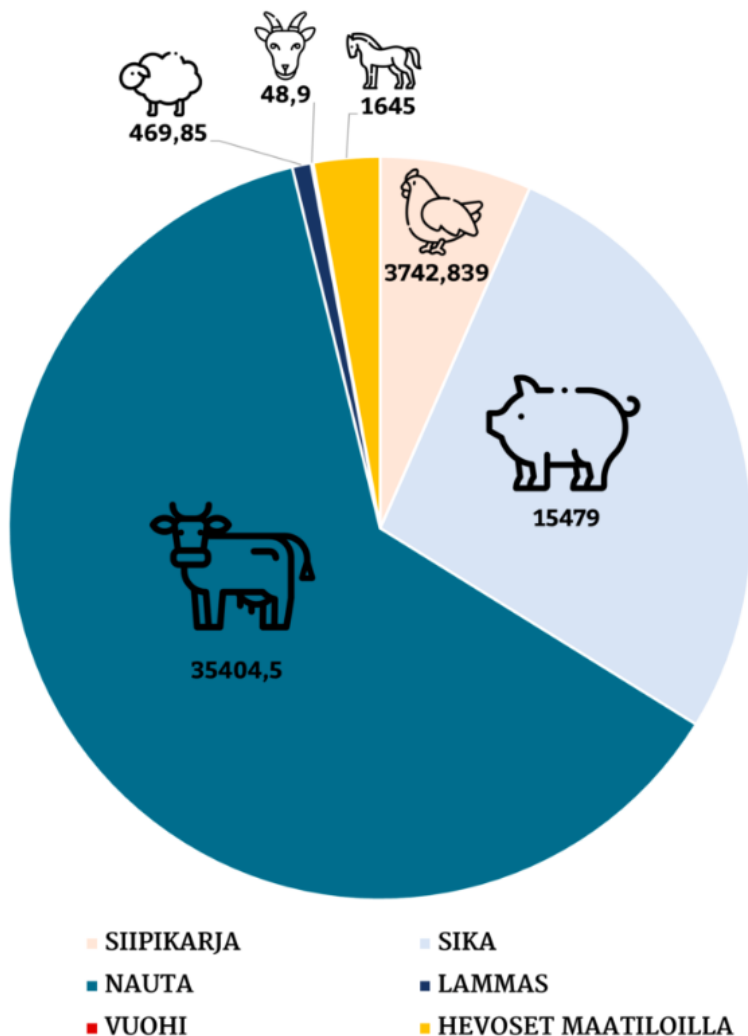


Kuva 8. Vähemmän viljeltyjen kasvien peltoalat Pirkanmaalla 1999–2019 (Parasta Pirkanmaalta, n.d.-b).



Kotieläintuotantoa puolestaan on eri puolilla maakuntaa, erityisesti Hämeenkyrössä, Punkalaitumella, Sastamalassa, Urjalassa ja Virroilla. Tuotantoeläinten osuuksia on esitetty kuvassa 9. Pohjoisosissa kotieläintuotanto on painottunut nautakarjaan, Sastamalassa ja Punkalaitumella sikatalouteen ja Sahalahdessa ja Vilppulassa broilerituotantoon. Kuten muuallakin maassa, myös Pirkanmaalla viljelijöiden määrä on vähentynyt ja keski-ikä noussut. Tiloja lopetetaan vuosittain ja keskimääräinen tilakoko on kasvanut, pienempien tilojen hävitessä lähes kokonaan. (Luomala, 2021)

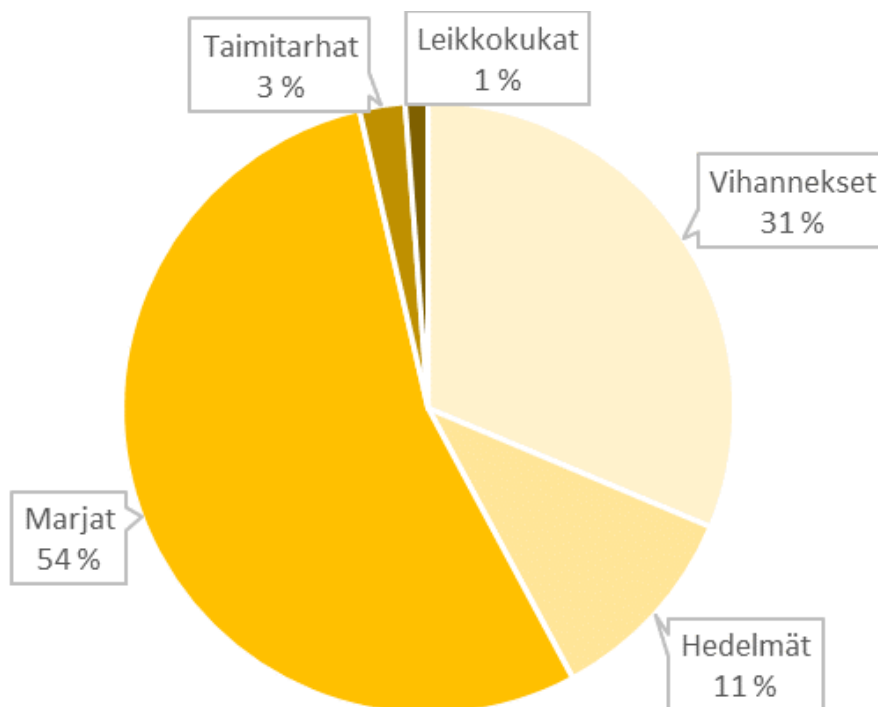
Kuva 9. Tuotantoeläinten osuudet Pirkanmaalla vuonna 2019 massan mukaan (1000 kg) (Parasta Pirkanmaalta, n.d.-c).



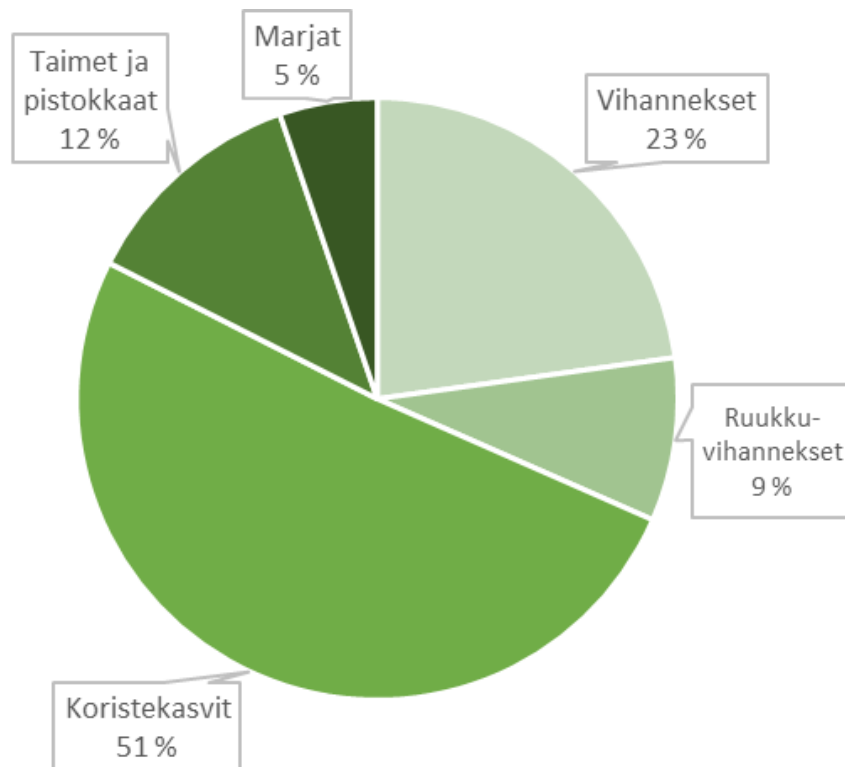
4.3 Puutarhatuotanto

Luken tilastojen mukaan Pirkanmaalla oli vuonna 2021 yhteensä 152 puutarha-alan yritystä. Näistä 123 oli keskittynyt avomaan tuotantoon (kuva 10) ja 42 kasvihuonetuotantoon (kuva 11). Avomaantuotannossa oli yhteensä 495 hehtaaria maa-alaa ja kasvihuonetuotannon käytössä oli 14 hehtaaria. Avomaantuotannon osalta suurin osa yrityksistä tuotti marjoja. Toisena oli vihannesten viljely ja kolmantena hedelmänviljely. Taimitarhayrityksiä oli neljä ja leikkokukkien viljelyyn suuntautuneita yrityksiä oli kaksi. Kasvihuonetuotantoon suuntaantuneista yrityksistä suurin osa tuotti koristekasveja. Toiseksi eniten oli vihannesten kasvatusta ja kolmanneksi taimien ja pistokkaiden tuotantoa. Lisäksi kolme yritystä tuotti marjoja. (Luke, 2022a ja 2022b)

Kuva 10. Pirkanmaan avomaantuotanto 2021 (Luke, 2022a).



Kuva 11. Pirkanmaan kasvihuonetuotanto vuonna 2021 (Luke, 2022b).



4.4 Elintarviketeollisuus

Elintarviketeollisuuden toimialoista Pirkanmaalla on eniten leipomo-, valmisruoka- ja lihanjalostusteollisuutta. Vuonna 2020 maakunnan alueella oli lähes 280 yritystä, jotka jalostavat elintarvikkeita (kuva 12). Tämä toiminta kattoi noin 5 % koko maan elintarviketuotannosta. Suurimmat leipomot löytyvät Tampereen alueelta, jossa on myös paljon lihanjalostusta. Erityisen suuri toimija on Saarioinen, jonka tuotantolaitokset sijaitsevat Sahalahdessa ja Valkeakoskella. Elintarvikeyritykset kertovat hankkivansa noin puolet raaka-aineistaan Pirkanmaan alueelta, mutta vain noin 18 % tuotannosta myydään omaan maakuntaan. (Luomala, 2021)

Kuva 12. Elintarvikeyritykset Pirkanmaalla 2020 (Parasta Pirkanmaalta, n.d.-a).

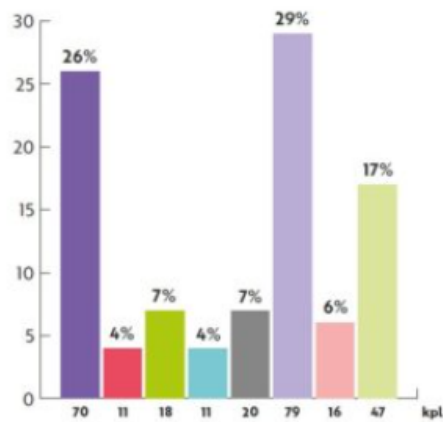
Pirkanmaa

YHTEENSÄ 272 KPL,
JOISTA LUOMUA 39 KPL

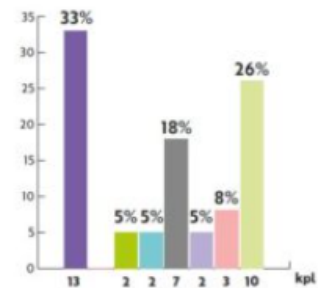
Toimiala

- Teurastus ja lihanjalostus
- Kalanjalostus
- Vihannesten, marjojen ja hedelmien jalostus
- Maidon jatkojalostus
- Viljatuotteiden jalostus
- Leipomotoiminta
- Juomien valmistus
- Muiden elintarvikkeiden jalostus

Yhteensä (%)



Luomu (%)



4.5 Jätteet

Pirkanmaan alueella toimii Pirkanmaan jätehuolto Oy, joka kerää jätteet 17 kunnan alueelta. Näihin kuntiin kuuluvat Hämeenkyrö, Ikaalinen, Juupajoki, Kangasala, Lempäälä, Mänttä-Vilppula, Nokia, Orivesi, Parkano, Pirkkala, Pälkäne, Ruovesi, Sastamala, Tampere, Vesilahti, Virrat ja Ylöjärvi. Yrityksen asiakkaita ovat kuntien asukkaat, taloyhtiöt ja itse kunnat. Yrityksen keräämästä sekajätteestä 168 717 tonnia hyödynnetään Tammervoiman laitoksella, jossa siitä tuotetaan 466 GWh energiaa sähkön ja kaukolämmön muodossa. Yhteensä 16 390 tonnia biojätettä käsiteltiin ennen Tarastenjärven kompostointilaitoksessa, mutta nykyään biojäte kuljetetaan 2021 valmistuneeseen biolaitos Biomylyyn. Toinen Pirkanmaan suurista jätekeskuksista sijaitsee Koukkujärvellä, jossa myös Biomyly nyt on. (Pirkanmaan jätehuolto, n.d.-c)

Biolaitos Biomylyssä on kaksi eri linjaa. Kuivämädätyslinjalla käsitellään 24 000 tonnia biojätettä vuodessa ja märkämädätyslinjalla 10 000 tonnia lietettä vuodessa. Tämä sisältää 17 kunnan biojätteet ja Nokian kaupungin jätevedenpuhdistamolta tulevat lietteet. Laitoksella jätteistä valmistetaan biokaasua, lannoitetta, multaa ja maanparannusainetta. (Pirkanmaan jätehuolto, n.d.-a) Myös jäteasemille tuotu puutarhajäte kompostoidaan. Lisäksi risut, oksat ja puujäte käytetään haketettuina kompostoinnin tukiaineena. Puujätettä käytetään myös energiantuotannossa. (Pirkanmaan jätehuolto, n.d.-b)

Lopuista Pirkanmaan kunnista Akaan, Punkalaitumen, Urjalan ja osittain Sastamalan jätehuollosta vastaa Loimi-Hämeen Jätehuolto (Loimi-Hämeen Jätehuolto, 2022).

Valkeakoskella puolestaan jätehuollon järjestää Kiertokapula (Kiertokapula, n.d.) ja Kihniössä Lakeuden Etappi (Lakeuden Etappi n.d.). Kuhmoisten kunta hoitaa itse kunnan jätehuollon (Kuhmoisten kunta, n.d.).

5 Pirkanmaan sivuvirtojen mahdollisuudet

Koska tämä opinnäytetyö liittyy olennaisesti Fiksuhiili-hankkeeseen, jossa kehitetään pienehkön mittakaavan laitteistoa biohiilen tuotantoon, otettiin myös tässä työssä huomioon mahdollisien sivuvirtojen ja niiden lähteiden kokoluokka. Tästä syystä alueen suuret toimijat, kuten esimerkiksi UPM ja Metsä Group metsäteollisuuden puolelta ja Saarioinen elintarviketuotannot puolelta oli loogista jättää tarkastelun ulkopuolelle. Useiden hankkeiden ja tutkimusten mukaan kiinnostus sivuvirtojen hyödyntämiseen näyttää lisääntyvän jatkuvasti. Kuten aiemmissa luvuissa on mainittu, monia sivuvirtoja käytetäänkin jo hyödyksi erilaisiin käyttötarkoituksiin. Tästä syystä on oleellista tarkastella raaka-aineiden soveltuvuuden lisäksi myös niiden määrää, saatavuutta ja nykyistä käyttöä. Lisäksi on pyritty ottamaan huomioon biohiilen valmistuksessa syntyvän lämmön hyötykäyttöön liittyvät mahdollisuudet. Liitteeseen 2 on koottu yhteenveto Pirkanmaan alueen sivuvirroista, jotka voisivat olla mahdollisia biohiilen raaka-aineita ja liitteessä 3 on luettelo esimerkkeinä mainituista Pirkanmaan yrityksistä. Yrityksiä haettiin pääasiassa Google Maps -karttapalvelulla, käyttämällä hakusanana eri tuotantoaloja. Tiedot yritysten tuotannosta on haettu pääasiassa yritysten omilta nettisivuilta ja joissain tapauksissa Suomen yritysrekisterin haulla.

Metsäteollisuuden osalta soveltuvia raaka-aineita olivat hakkuutähteistä valmistettu hake, sahanpuru ja kuori. Erityisen kiinnostavia kohteita biohiilen tuotannon kannalta ovat sahat, joilla on tarvetta myös lämmölle. Näiden raaka-aineiden kohdalla suurin ongelma näyttää olevan se, että suurimmalle osalle näistä on käyttökohteita jo nykyäänkin. Kuten aiemmin on mainittu, monia metsäteollisuuden sivuvirroista käytetään varsinkin energian ja lämmön tuotantoon. Joissain tapauksissa sahanpurua ja kutteripurua myydään myös eläinten kuivikkeeksi tai rakennusten lämmöneristeeksi. Kuitenkin jos esimerkiksi kuorta poltetaan

sahan omaan lämmöntuotantoon, voitaisiin biohiilen tuotanto mahdollisesti integroida osaksi prosessia. Tällöin prosessissa tuotettaisiin edelleen sahan tarvitsemaa lämpöä, mutta samalla voitaisiin tuottaa myös biohiiltä. Pirkanmaan alueen sahoista ainakin Kinnaskosken saha on mittaluokaltaan keskisuuri, mutta se saattaa silti olla Fiksuhiili-hankkeen näkökulmasta jo liian suuri. Google Maps -karttapalvelulla tehdyn haun perusteella Pirkanmaalta löytyy kuitenkin useita pienempiä sahoja ja/tai höyläämöjä, jotka voisivat olla potentiaalisia kohteita pienemmän mittakaavan biohiilen tuotannolle. Näitä ovat esimerkiksi Lehtisen Saha, Tamminiemen Saha ja Höylä, Jaakkolan Saha ja Höylä, Laineen Saha, Stormin Saha ja Viljalan Saha.

Maatalouden puolella osaa tutkimustuloksista ei voida hyödyntää sellaisinaan pohjoisissa olosuhteissa, sillä monia tutkittuja kasveja, kuten sokeriruokoa, kookosta ja riisiä, ei kasvateta Suomessa. Potentiaalisimmilta raaka-aineilta biohiilen tuotantoon vaikuttavat ainakin viljojen korret ja kuoret ja tuotantoeläinten lanta. Maatilat ovat myös usein kokoluokaltaan sellaisia, että ne voisivat olla kiinnostava kohde myös Fiksuhiili-hankkeen näkökulmasta. Varsinkin nautakarjatiloja tuntuu löytyvän Pirkanmaalta useita, esimerkiksi Mantereen tila, Maatila Tahlo, Rekolan biodynaaminen tila, Koivuniemen maatila, Järvensivu Highland, Metsäojan tila, Kyykän tila, Tomulan tila ja Einolan tila. Lampaista kasvattavat esimerkiksi Yrjölän maatila ja Einolan tila ja siipikarjaa esimerkiksi MäkiFarmi Oy. Osalla tuotantoeläintiloista on myös muuta tuotantoa, kuten viljan, kasvien, marjojen tai hunajan tuotantoa. Biohiilen tuotannon näkökulmasta varsinkin maanviljelyn kohdalla voi kuitenkin olla hankalaa löytää kohdetta, jossa biohiilen tuotannossa syntyvää lämpöä voitaisiin hyötykäyttää. Tähän vaikuttaa myös se, että lämmöntuotannolle on yleisesti enemmän tarvetta talviaikaan, jolloin maanviljelyssä ei ole tuotantoa, eikä näin ollen myöskään synny sivuvirtoja. Eläintuotannossa eläimiä pidetään ympärivuoden, mutta tässä puolestaan ongelmaksi muodostuu ainakin se, että eläinten lantaa käytetään jo usein hyödyksi muihin tarkoituksiin, kuten lannoitteena.

Puutarhatuotannon sivuvirtoja voidaan ajatella olevan ainakin pilaantuneet tai vialliset tuotteet, vanhat kasvustot ja kasvien kauppakunnostuksessa syntyvä jäte.

Avomaantuotannossa on monia kasveja, joista koko kasvia ei käytetä ravinnoksi. Esimerkiksi erilaisista kaaleista, herneistä ja pavuista jää jälkeen kasvustoja, joita ei hyödynnetä. Lisäksi

joistakin pelloilta korjatuista kasviksista syntyy jätettä, kun niitä kauppakunnostetaan myyntiä varten. Pirkanmaalla avomaankasvisten viljelyä harrastavat esimerkiksi Yrjölän maatila, Rekolan biodynaaminen tila, Mansikkatila Iso-Hervanta, Mäkkylän perunatila, Kyykän tila ja Mattilan tila. Hedelmän- ja marjanviljelystä puolestaan syntyy ainakin jonkin verran oksa- ja risujätettä kun pensaita ja puita leikataan, tai vanhoja kasveja poistetaan tuotannosta. Valtaosa hedelmä- ja marjakasveista on puuvartisia kasveja, jotka pudottavat lehtensä syksyllä, joten myös lehtijätettä syntyy jonkin verran. Hedelmiä ja marjoja tuottavat Pirkanmaalla esimerkiksi Yrjölän maatila, Rekolan biodynaaminen tila, Ylirautian tila, Mansikkatila Iso-Hervanta, Kesäpihan puutarha, Mattilan tila ja Kaitalan luomutila. Kuten maanviljelyssä, myös avomaan vihannesten, marjojen ja hedelmien tuotannossa voi olla hankalaa löytää sopivaa käyttökohdetta biohiilentuotannossa syntyvälle lämmölle. Lisäksi monet mainituista sivuvirroista syntyvät hyvin lyhyellä aikavälillä, esimerkiksi sadonkorjuun yhteydessä, joten ne eivät sovellu saatavuutensa puolesta raaka-aineeksi ainakaan jatkuvaan biohiilentuotantoon. Avomaan tuotantoon luokitellaan myös taimitarhat, joita ovat Pirkanmaalla ainakin Toijalan taimitarha, Haikalan puutarha ja taimisto, Pinsiön taimisto, ja Barkholtin taimisto. Taimitarhat kasvattavat puiden ja pensaiden taimia, sekä perennoja. Myös näissä paikoissa syntyy siis oletettavasti jonkin verran ainakin oksajätettä, joka soveltuisi biohiilen raaka-aineeksi, mutta tässäkin tapauksessa on epäselvää, pystyttäisiinkö pyrolyysin lämpö käyttämään hyödyksi.

Kasvihuonetuotanto on biohiilentuotannon kannalta kiinnostava ala. Se on ainakin joissain tapauksissa ympärivuotista ja lämmöntarve on suuri erityisesti talviaikaan.

Kasvihuonetuotannossakin sivuvirtojen määrä ja laatu vaihtelee viljeltävien kasvien mukaan. Esimerkiksi kesäkukista syntyy kohtalaisen vähän jätettä, koska koko kasvi myydään sellaisenaan. Sen sijaan monien kasvihuonevihannesten, kuten tomaatin, kurkun ja paprikan tuotannosta syntyy ajoittain paljonkin jätettä, kun vanhat kasvustot vaihdetaan uusiin. Pirkanmaan alueelta tuntuu löytyvän paljon puutarhoja, jotka tuottavat suoraan kuluttajille myytäviä kesäkukkia ja esimerkiksi vihannesten taimia. Tällaisia yrityksiä ovat ainakin Mäkelän kauppapuutarha, Honkasen puutarha, Marittan kasvitarha, Kukkapaikka, Kantolopen tila, Murajan tila, Ala-Orvolan puutarha, Vilppulan vankilan puutarha, Ojanperän puutarha, Jokilan puutarha ja Vesirannan puutarha. Osalla mainitusta puutarhoista on tämän lisäksi myös vihannesten, marjojen tai hedelmien tuotantoa. Lisäksi maakunnasta löytyy

esimerkiksi Ali-Marttilan puutarha, joka on erikoistunut leikkoruusun viljelyyn, sekä Wääksyn puutarha, joka tuottaa vihanneksia.

Elintarviketeollisuudessa syntyviä sivuvirtoja hyödynnetään jossain määrin esimerkiksi biokaasun ja lämmityspellettien tuotannossa. Kuitenkin varsinkin pienillä toimijoilla jätettä saattaa syntyä määrällisesti niin vähän, että sen hyödyntäminen on vaikeaa. Tampereen ammattikorkeakoulun PITS-hankkeessa on tehty kysely pienille ja keskisuurille elintarvikeyrityksille sivuvirtojen hyödyntämisestä. Kyselyn mukaan Pirkanmaalaisilla elintarviketuottajilla on mielenkiintoa sivuvirtojen hyödyntämiseen, mutta aikaa tai resursseja tähän ei välttämättä löydy. Esimerkkinä tästä on mainittu panimoilla syntyvä mäski, joka menee biojätteeseen. (Aarnio ym., 2022) Koska tutkimusten mukaan biohiiltä valmistetaan pääasiassa kasvipohjaisista raaka-aineista, on loogista jättää eläinperäisiä tuotteita valmistavat yritykset pois laskuista. Näin ollen kiinnostavia tuotantoaloja voisivat olla leipomot, panimot ja valmisruokaa tuottavat yritykset. Näillä tuotantoaloilla syntyy varmasti monenlaista biojätettä, kuten esimerkiksi kasvien, hedelmien ja pähkinöiden kuoria, muita syötäväksi kelpaamattomia osia, mäskiä, hukkapaloja ja viallisia tuotteita. Monet näistä sopisivat biohiilen raaka-aineiksi, mutta ongelmaksi saattaisi muodostua jätteen koostumuksen vaihtelu. Tällöin esimerkiksi pyrolyysin lämpötilaa ja prosessointiaikaa voitaisiin joutua muuttelemaan raaka-aineen mukaan ja myös lopputuotteena saatavan biohiilen ominaisuudet olisivat vaihtelevia. Toisaalta pyrolyysissä syntyvää lämpöä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää tuotantotilojen lämmityksessä. Fonectan yrityshaulla Pirkanmaalta löytyy muun muassa 23 panimoalan yritystä ja 110 leipomoa. Esimerkkeinä panimoista voidaan mainita vaikkapa Nordic Brewery, Koskipanimo ja Nokian panimo ja leipomoista Hakafood, Kauraston pakari ja Heikin leipä.

Kuten luvussa 4 on mainittu, suurimman osan Pirkanmaan kuntien biojätteistä hyödyntää Pirkanmaan jätehuolto Oy. Myös muissa kunnissa toimivat jäteyhtiöt hyödyntävät biojätettä muun muassa biokaasun ja maanparannusainesten tuotantoon. Vaikka biojätteen vaihteleva koostumus voisi aiheuttaa hankaluuksia biohiilen tuotannon ja lopputuotteen koostumuksen kannalta, on se kuitenkin yksi potentiaalinen raaka-aine. Myös yksityishenkilöiden ja kuntien puutarhajäte olisi kiinnostava raaka-aine biohiilen tuotantoon, mutta sen keräämisen organisointi voi osoittautua hankalaksi. Lietteen käytöstä biohiilen raaka-aineena on myös

tehty tutkimuksia, mutta sitä voi olla hankala käyttää sellaisenaan lietteen korkean kosteuden vuoksi. Pirkanmaalla on 51 jätevedenpuhdistamo (Pirkanmaan ELY-keskus, 2015) Vaikka Nokian kaupungin lietteet hyödynnetään jo Biomyllässä, muilta jätevedenpuhdistamoilta luultavasti riittäisi lietettä raaka-aineeksi. Tällöin tarvittaisiin kuitenkin lisäksi jotakin muuta raaka-ainetta, kuten sahanpurua lietteeseen lisättäväksi. Kuten Åhlströmin (2022) opinnäytetyössä on tutkittu, myös puujäte esimerkiksi rakennustyömailta voisi olla kiinnostava raaka-aine biohiilen tuotantoon.

Varsinaisten sivuvirtojen lisäksi potentiaalisia lähteitä biohiilen raaka-aineeksi voisivat olla esimerkiksi nopeasti kasvava paju ja vesistöissä alaa valtaavat järviruoko ja isosorsimo. Näiden tapauksessa kuitenkin jouduttaisiin sijoittamaan resursseja erikseen materiaalin keräämiseen ja kuljettamiseen. Sivuvirtoihin verrattuna tämä ei vaikuta kannattavalta, koska pienellä laitteistolla biohiiltä voidaan valmistaa suoraan sivuvirran syntypaikalla ilman esimerkiksi kuljetuksesta syntyviä lisäkustannuksia.

6 Kasvihuonetuotannon sivuvirrat biohiilen tuotannossa

Monilla eri aloilla on hyvät ja huonot puolensa biohiilen tuotannon kannalta. Toisaalta kuten aiemmin on mainittu, monia esimerkiksi metsäteollisuuden ja elintarviketeollisuuden sivuvirtoja käytetään jo hyödyksi erilaisiin tarkoituksiin. Tässä työssä tarkempaan tarkasteluun valittiin kasvihuonetuotanto ja sen sivuvirrat. Valintaan vaikutti erityisesti pyrolyysiprosessissa syntyvän lämmön hyötykäytön mahdollisuudet ja potentiaali ympärivuotiseen, jatkuvaan biohiilen tuotantoon.

Pirkanmaalla on monenlaista kasvihuonetuotantoa (taulukko 2). Monet yritykset kasvattavat kasveja kasvihuoneissa vain kasvukauden ajan, varhaisesta keväästä myöhään syksyyn saakka, mutta myös ympärivuotista tuotantoa löytyy. Varsinkin koristekasvien osalta tuotanto on hyvin kausiluontoista. Hyvä esimerkki tästä on kesäkukat, joiden sesonkihuippu on yleensä touko-kesäkuussa, kuitenkin lämpötiloista riippuen. Muita sesonkikasveja ovat esimerkiksi kevään tulppaanit ja narsissit, sekä loppuvuoden joulukukat. Vihannesviljelyn puolelta löytyy luultavasti enemmän ympärivuotisessa tuotannossa olevia kasveja, kuten tomaatti, kurkku ja paprika. Biohiilen jatkuvan tuotannon kannalta paras vaihtoehto olisikin

tuotanto, josta syntyisi tasaisesti raaka-ainetta. Esimerkiksi viljojen ja avomaankasvisten tuotanto sijoittuu kokonaan kasvukaudelle, joten näistä tuotantosuunnista ei juuri synny sivuvirtoja talviaikaan. Näin ollen ympärivuotinen kasvihuoneviljelmä vaikuttaisi potentiaaliselta kohteelta biohiilen tuotannolle.

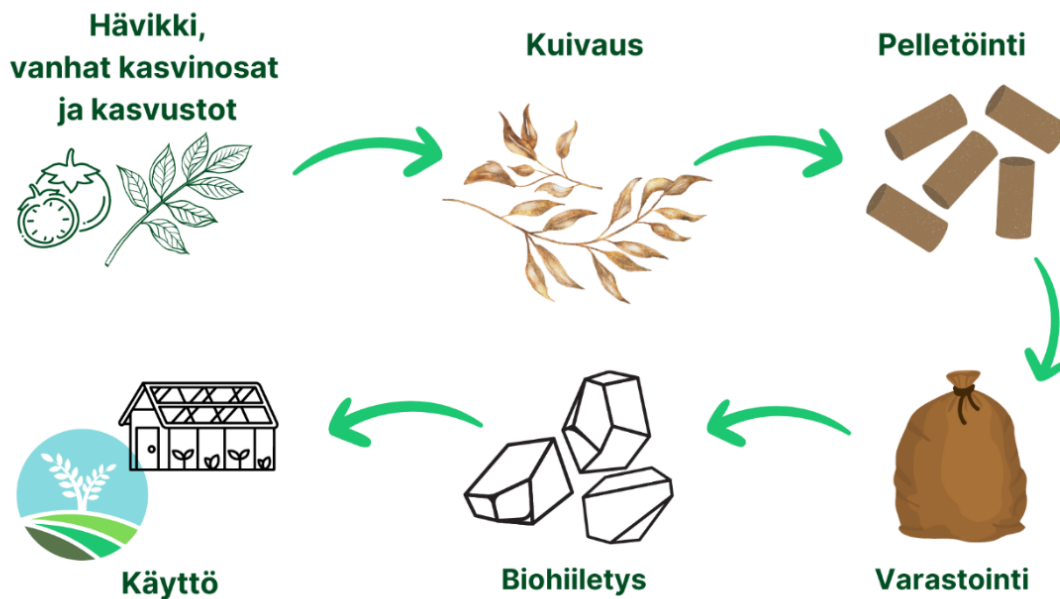
Taulukko 2. Pirkanmaan kasvihuoneviljely 2021 (Luke, 2021).

	Yrityksiä (kpl)	Pinta-ala (1 000 m ²)
VIHANNEKSET YHTEENSÄ	13	39
Tomaatti	12	21
Erikoistomaatit	7	9
Kasvihuonekurkku	5	1
Avomaankurkku	3	1
Pehmeäkeräsalaatti	1	..
Paprika	2	..
Muut vihannekset	2	..
RUUKKUVIHANNEKSET YHTEENSÄ	5	30
Salaatti (ruukku)	4	17
Tilli (ruukku)	4	4
Persilja (ruukku)	2	..
Basilika (ruukku)	3	1
Muut vihannekset ja yrtit (ruukku)	1	..
MARJAT YHTEENSÄ	3	10
Muut marjat	3	10
KORISTEKASVIT YHTEENSÄ	29	57
LEIKKOKUKAT JA LEIKKOVIHREÄ YHTEENSÄ	4	14
SIPULIKUKAT YHTEENSÄ	4	..
Tulppaani	2	..
Hyasintti	2	..
Narsissi	2	..
Ritarinkukka	4	..
Muut sipulikukat	3	..
KUKKIVAT RUUKKUKASVIT YHTEENSÄ	12	..
Ruukkunarsissi	3	..
Joulutähti	4	..
Pauliinabegonia	8	..
Krysanteemi	1	..
Ruukkuruusut	3	..
Atsalea	3	..
Syklaami	1	..
Muut kukkivat ruukkukasvit	4	..
VIHERKASVIT YHTEENSÄ	4	..
RYHMÄKASVIT YHTEENSÄ	23	..
AMPELIKASVIT YHTEENSÄ	22	..

Kasvihuonetuotannossa syntyvien sivuvirtojen määrä ja laatu vaihtelee sen mukaan, mitä kasveja tuotetaan. Lisäksi kasvustoista saatavan biomassan määrä vaihtelee kasvien kasvuvaiheen mukaan. Kuten aiemmin on esitetty, koristekasvien tuotanto on Pirkanmaalla kasvihuoneviljelyn suurin (51 %) tuotantosuunta (Luke, 2022b). Iso osa koristekasvien tuotannosta on kuitenkin ruukkukasvien tuotantoa, jolloin tavoitteena on myydä koko kasvi ja ideaalissa tapauksessa ylimääräistä biomassaa syntyisi hyvin vähän. Vihannesten viljelyssä syntyy helposti enemmän sellaista biomassaa, joka ei mene myyntiin. Koska tomaatti on Pirkanmaan kasvihuoneviljelyssä hyvin yleinen vihannes, on sitä käytetty tässä esimerkkinä. Kun kasvihuoneeseen istutetaan uusi kasvusto, uusista nuorista taimista tuskin syntyy juuri lainkaan sivuvirtoja. Tomaattikasvustosta kuitenkin poistetaan taimien kasvaessa sivuhaaroja ja vanhoja alimpia lehtiä. Tällöin biomassaa syntyy kohtalaisen tasaisesti, mutta melko pieniä määriä. Kun kasvusto alkaa olla liian suuri ja vanha, vanhat kasvit poistetaan tuotannosta, jolloin taas syntyy kerralla huomattavasti suurempi määrä biomassaa. Tässä vaiheessa tomaattikasvit ovat yleensä useiden metrien pituisia, joten iso osa biomassasta on vartta ja kohtuu paljon myös lehtiä. Lisäksi tuotannossa voi syntyä virheellisiä tuotteita tai muuta hävikkiä, joka voitaisiin myös hyödyntää biohiilen raaka-aineena.

Ennen pyrolyysiä biomassaa olisi hyvä kuivata (kuva 13). Vaikka kasvustosta poistettaisiin jatkuvasti pieniä määriä biomassaa, sen kuivaaminen vaatii kuitenkin jonkin verran tilaa. Jos myös hävikkitomaatit kuivataan raaka-aineeksi, niin näiden kuivaamiseen tarvittaisiin myös enemmän aikaa tai lämpöä, niiden suuremman kosteuden vuoksi. Isompi ongelma muodostuisi oletettavasti myös silloin, kun tuotannosta poistetaan kokonaisia kasvustoja, joiden kuivattamiseen tarvittaisiin huomattavasti enemmän tilaa. Periaatteessa suurista kasvustoista riittäisi raaka-ainetta biohiilen tuotantoon pidemmäksi aikaa, mutta tällöin tarvittaisiin jälleen enemmän tilaa kuivatun biomassan varastointiin. Sekä varastoinnin, että käytön helppouden kannalta voisi olla hyvä jos kuivattu raaka-aine pystyttäisiin pelletteimaan. Vaikka biomassaa ei erikseen pelletteitaisi, on se kuitenkin silputtava riittävän pieneksi, mikä lisää kustannuksia ainakin käsittelyyn kuluvan työajan osalta.

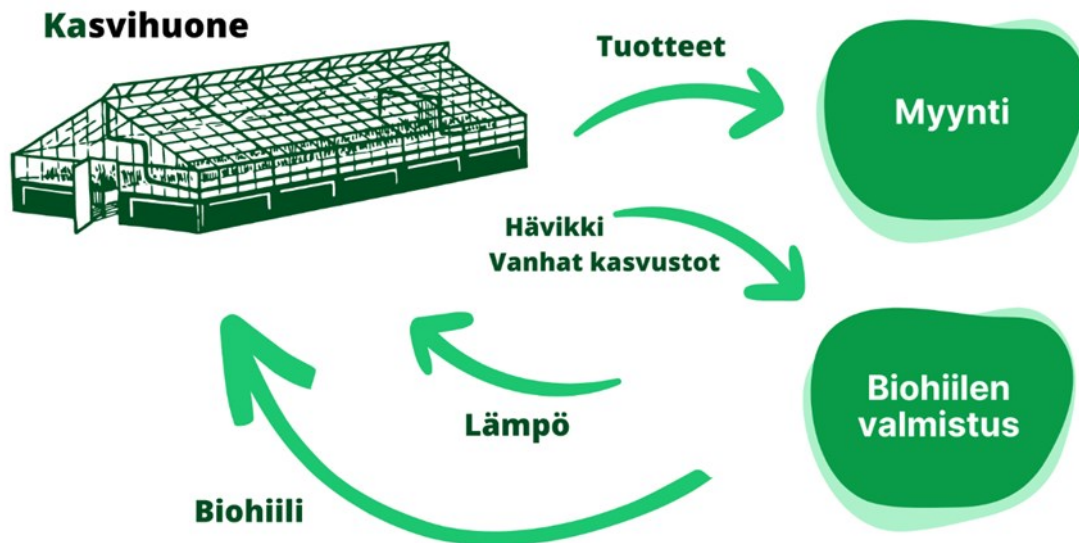
Kuva 13. Kasvihuoneen sivuvirtojen käyttö biohiilen tuotannossa



Hyviä puolia biohiilen tuotannon liittämiseksi kasvihuoneutuotantoon olisi muun muassa mahdollisuus käsitellä syntyvät sivuvirrat paikan päällä, jolloin biomassaa ei tarvitse erikseen kuljettaa mihinkään. Valmistu biohiiltä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää suoraan kasvihuoneella kasvualustoissa, mahdollisesti riippuen siitä mitä kasveja tuotannossa on (kuva 14). Monilla yrityksillä on kasvihuoneviljelyn lisäksi myös esimerkiksi avomaanvihannesten tai hedelmä- ja marjakasvien viljelyä, jolloin biohiiltä voitaisiin hyödyntää myös näiden tuotannossa. Raaka-aineen määrästä riippuen voisi olla mahdollista myös tehdä yhteistyötä muiden lähialueen tuottajien kanssa.

Kasvihuoneessa myös biohiilen valmistuksessa syntyvä lämpö voitaisiin hyödyntää tuotantotilojen lämmitykseen. Jos biohiilen tuotannosta halutaan jatkuvaa, tässä ongelmaksi voi kuitenkin muodostua vuodenaikojen ja sääolosuhteiden vaihtelut. Ympäri vuotisella kasvihuoneviljelmällä lämmöntarve on suurinta talviaikaan, kun taas kesällä kasvihuoneita voidaan joutua jopa viilentämään, joten jatkuvalla lämmöntuotannolle ei välttämättä ole tarvetta. Toisaalta biohiilen tuotantoprosessissa syntyvää lämpöä voitaisiin hyödyntää seuraavien raaka-aine erien kuivaamisessa.

Kuva 14. Biohiilen tuotanto osana kasvihuoneviljelyä



7 Pohdinta ja johtopäätökset

Tehtyjen tutkimusten ja hankkeiden valossa näyttää siltä, että biohiilen raaka-aineeksi soveltuu lähes mikä vain biomassaa. Biohiilen mahdollisia raaka-aineita tutkiessa tuleekin melko nopeasti selväksi, että mahdollisuuksia on hyvin paljon. Tämä ei ole yllättävää, sillä hyvin monella tuotantoalalla käsitellään ainakin jonkinlaista biomassaa. Kuitenkin eri lähteistä löytyvien tietojen mukaan raaka-aineen ominaisuudet vaikuttavat lopputuotteena saatavan biohiilen ominaisuuksiin, joten kaikesta biomassasta ei voida tuottaa ominaisuuksiltaan tasalaatuista biohiiltä. Kun siis mietitään mistä raaka-aineesta biohiiltä halutaan valmistaa, olisi tärkeää ottaa huomioon myös se, mihin valmistettu biohiiltä halutaan käyttää. Koska Fiksuhiili-hankkeen tavoitteena on lämmityskattilasta modifioitu jatkuvatoiminen hybridi-biohiili lämmityskattila, kiinnitettiin myös tässä työssä huomiota biohiilen jatkuvaan tuotantoon ja syntyvän lämmön hyötykäyttöön.

Yksi tärkeä näkökulma biohiilen raaka-aineisiin on niiden kestävyys ja nykyinen käyttö. Tästä esimerkkinä voidaan käyttää vaikkapa eläinten lantaa, jota käytetään muun muassa

lannoitteena ja biojätettä, josta valmistetaan jo ainakin biokaasua ja multaa. Vaikka näistäkin raaka-aineista pystytään valmistamaan biohiiltä, on mietittävä mikä käyttötarkoitus on olennaisempi tai ainakin voitaisiinko näitä yhdistämään. Esimerkiksi kun biojätteestä valmistetaan biokaasua mädättämällä, voitaisiin mädätysjätettä mahdollisesti käyttää biohiilen raaka-aineena. Näin saataisiin tuotettua sekä biokaasua, että biohiiltä, mutta ei multaa. Toisaalta biohiiltä itseään voi käyttää maanparannusaineena, joten sillä voitaisiin ehkä osittain korvata kyseistä multaa. Jatkossa voitaisiinkin selvittää tarkemmin biohiilentuotannon integroimista myös eri tuotantoalojen toimintaan. Vaikka pyrolyysiprosessi on aina samankaltainen, voivat raaka-aineeksi käytettävät sivuvirrat ja valmiin biohiilen ja prosessissa syntyvät lämmön hyödyntämismahdollisuudet vaihdella aloittain.

Fiksuhiili-hankkeen osalta tätä opinnäytetyötä voidaan hyödyntää kun harkitaan mitä raaka-aineita halutaan testata hankkeen pyrolyysiprosessissa ja mihin yrityksiin voitaisiin olla yhteydessä tässä asiassa. Lisäksi työssä esitettyjä selvityksiä eri toimialoista ja niiden raaka-aineista voidaan käyttää pohjana, kun muodostetaan uusia liiketoimintamalleja biohiilentuotannon ympärille. Kun ajatellaan ympärivuotista biohiilen tuotantoa, vaikeuksia voi tuottaa lämmön hyötykäyttö mahdollisesti kuumien kesäkuukausien aikana. Suuressa mittakaavassa lämpöä käytetään esimerkiksi kaukolämmön tuotantoon, mutta pienessä mittakaavassa tämä tuskin on mahdollista. Voisi kuitenkin olla mielenkiintoista selvittää mahdollisuutta esimerkiksi maatilan käyttöveden lämmittämiseen osana biohiilen tuotantoprosessia, sillä lämmintä vettä tarvitaan myös lämpiminä vuodenaikoina.

Aiheen laajuus ja löytyvän tiedon määrä yllätti. Kuten aiemmin on mainittu, mahdollisia biohiilen raaka-aineita tuntuu löytyvän lähes joka alalta, jonka lisäksi Pirkanmaa alueena on melko suuri. Tässä opinnäytetyössä on vastattu asetettuihin tutkimuskysymyksiin, mutta aiheen laajuuden vuoksi vain yhteen alaan on perehdytty hieman tarkemmin. Työn tulosten kannalta olisi voinut olla mielekkäämpää joko rajata alue esimerkiksi yksittäiseen kuntaan, tai vaihtoehtoisesti johonkin yksittäiseen tuotantoalaan. Toisaalta työ toimii hyvänä yleiskatsauksena biohiilen raaka-aineista ja Pirkanmaan alueen sivuvirroista, joten sen avulla voidaan valita tuotantoaloja tai raaka-aineita lähempään tarkasteluun.

Lähteet

Aarnio, A., Huuskonen, E., Jaakkola, N., Paavola, K & Ronkainen, O. (2022).

Elintarviketeollisuuden sivuvirrat Pirkanmaalla.

<https://projects.tuni.fi/pits/tulokset/elintarviketeollisuuden-sivuvirrat-pirkanmaalla/>

Bioenergia ry. (11.11.2022). *Biohiili*. <https://www.bioenergia.fi/biohiili/>

Bioenergia ry. (n.d.). *Hiilensidonta*. <https://www.bioenergia.fi/tietopankki/hiilensidonta/>

Business Tampere, Pirkanmaan liitto, Pirkanmaan yrittäjät & Tampereen kauppakamari.

(2022). Pirkanmaan talous 2022. <https://www.e->

[julkaisu.fi/tampere/pirkanmaan_talouskatsaus_2022/mobile.html#pid=3](https://www.e-julkaisu.fi/tampere/pirkanmaan_talouskatsaus_2022/mobile.html#pid=3)

Carbofex. (n.d.). *CARBOFEX HIEDANRANTA DEMO PLANT No.1 facility in Europe.*

https://www.carbofex.fi/Home#?_dlg=

Carbon Cycle. (n.d.). *Über uns*. <https://carbon-cycle.de/ueber-uns/#>

Ecoera. (2022). *Carbon Removal System*. <https://ecoera.se/pages/system-and-technology-solution>

Eggleston, G. & Lima, I. (2015). *Sustainability Issues and Opportunities in the Sugar and Sugar-Bioproduct Industries.*

https://www.researchgate.net/publication/282401865_Sustainability_Issues_and_Opportunities_in_the_Sugar_and_Sugar-Bioproduct_Industries

Elkhalifa, S., Al-Ansari, T., Mackey, H. R. & McKay, G. (2019). *Food waste to biochars through pyrolysis: A review.* [https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0921344919300266?via%3Dihub)

[com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0921344919300266?via%3Dihub](https://www-sciencedirect-com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0921344919300266?via%3Dihub)

Elo, A. & Nummela, J. (2020). *Biohiilen valmistus ja siinä syntyvä energia.*

<https://maaseudunhankinnat.fi/wp-content/uploads/2020/05/Elo-Nummela-HAMK-Biohiilen-valmistuksessa-syntyv%C3%A4-energia.pdf>

Elo, A., Nummela, J. & Kymäläinen, M. (2021). *Biohiili kiertotalousratkaisuna Kanta-Hämeessä*. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-835-0>

HAMK. (n.d.-a). *Fiksuhiili*. <https://www.hamk.fi/projektit/fiksuhiili/>

HAMK. (n.d.-b). *HAMK Bio – Kestävää biotaloutta*.
<https://www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-bio/>

HAMK. (n.d.-c). *HAMK Tech – Tulevaisuuden teknologia*.
<https://www.hamk.fi/tutkimusyksikot/hamk-tech/>

Hollmén, I. (2020). *Pajun viljely ja jatkojalostus biohiileksi tarjoaa mahdollisuuksia energiayrittäjille*. <https://energiayrittajyys.fi/?q=content/uutta-energiassa-pajusta-biohiilta>

Ilmasto-opas. (n.d.). *Hiilidioksidi ja hiilen kiertokulku*. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/hiilidioksidi-ja-hiilen-kiertokulku>

Kiertokapula. (n.d.). *Kiertokapula*. <https://www.kiertokapula.fi/kiertokapula/>

Korpijärvi, K., Björnström, M., Karlsson, M., Raitila, J., Virkkunen, M. & Hurskainen, M. (2021). *Biohiilen valmistus ja käyttö turvetta korvaavana tukipolttoaineena bioenergian tuotannossa*.
[https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/52613617/VTT Tutkimusraportti BioTur21 VTT R 7 17 21 Final.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/52613617/VTT_Tutkimusraportti_BioTur21_VTT_R_7_17_21_Final.pdf)

Koukkari, P., Siipola, V., Salo, E., Karlsson, M. & Björnström, M. (2022). *Kestävää kasvua: biohiilen uudet liiketoimintamallit*.
https://valtioneuvosto.fi/documents/1410837/12428301/Karlsson+MMM-biotalousp%C3%A4iv%C3%A4_esitys_20220329.pdf/ff20bea1-3327-5ffb-007f-f59c15ec5e70?t=1648643293030

Kuhmoisten Kunta. (n.d.). *Jätehuolto*.
<https://www.kuhmoinen.fi/content/fi/1/20029/J%C3%A4tehuolto.html>

Lakeuden etappi. (n.d.). *Lakeuden Etapin osakaskunnat*.
<https://www.etappi.com/yhtio/lakeuden-etappi-oy/>

Lehmann, J. & Joseph, S. (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.hamk.fi/lib/hamk-ebooks/reader.action?docID=1975245>

Loimi-Hämeen Jätehuolto. (2022). *Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n omistajat*. <https://lhj.fi/tietoa-meista/konserni/lhj-n-omistajat/>

Luke. (2022a). *Avomaantuotannon jakautuminen*. https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_04%20Tuotanto_2_0%20Puutarhatilastot/02_Avomaantuotannon_jakautuminen.px/table/tableViewLayout2/

Luke (2022b). *Kasvihuonetuotannon jakautuminen*. https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_04%20Tuotanto_2_0%20Puutarhatilastot/03_Kasvihuonetuotannon_jakautuminen.px/table/tableViewLayout2/

Luke (2021). *Tilastotietokanta*. https://statdb.luke.fi/PxWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_04%20Tuotanto_2_0%20Puutarhatilastot/

Luomala, A. (2021). *Minkälainen ruokasektori Pirkanmaalla on?* <https://parastapirkanmaalta.fi/Materiaalit/minkalainen-ruokasektori-pirkanmaalla/>

Lähteenmäki, L. (n.d.). *Järviruoko voi olla tulevaisuuden ase ilmastonmuutosta vastaan – biohiilenä se sitoo kasvihuonekaasua vuosisatoja*. <https://yle.fi/a/3-12624972>

Metsäkeskus. (2020). *Pirkanmaan metsäohjelma 2021–2025*. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/alueellinen-metsaohjelma-pirkanmaa-2021-2025.pdf>

MTK. (n.d.). *Vahvistamme maa- ja metsätilojen hiilensidontaa*. <https://www.mtk.fi/hiiliviljely>

Pacific Biochar. (n.d.). *How We Produce Biochar*. <https://pacificbiochar.com/how-we-produce-biochar/>

Parasta Pirkanmaalta. (n.d-a). *Elintarvikeyritykset Pirkanmaalla 2020*. <https://parastapirkanmaalta.fi/Materiaalit/elintarvikeyritykset-pirkanmaalla-2020/>

Parasta Pirkanmaalta. (n.d.-b). *Kasvinviljely Pirkanmaalla*.

<https://parastapirkanmaalta.fi/Materiaalit/kasvinviljely-pirkanmaalla/>

Parasta Pirkanmaalta. (n.d.-c). *Kotieläintuotanto Pirkanmaalla*.

<https://parastapirkanmaalta.fi/Materiaalit/kotielaintuotanto-pirkanmaalla/>

Parasta Pirkanmaalta. (n.d.-d). *Perustietoja Pirkanmaan alkutuotannosta*.

<https://parastapirkanmaalta.fi/Materiaalit/perustietoja-pirkanmaan-alkutuotannosta/>

Pernaa, J & Roininen, I. (2014). *eKemia 7–9: Vihreä kemia*. e-Oppi.

<https://peda.net/kannus/jvk/oppiaineet2/kemia/kemia32/oppikirja/III/10>

Pirkanmaan ELY-keskus. (2015). *Vesihuolto – Pirkanmaa*. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesien_kaytto/Vesihuolto/Vesihuolto_Pirkanmaa\(27010\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesien_kaytto/Vesihuolto/Vesihuolto_Pirkanmaa(27010))

Pirkanmaan jätehuolto. (n.d.-a). *Biomyly*. <https://pjhoy.fi/palvelut/bio/biolaitos/>

Pirkanmaan jätehuolto. (n.d.-b). *Jätelajit*. <https://pjhoy.fi/jatelajit/>

Pirkanmaan jätehuolto. (n.d.-c). *Yhtiön palvelut*. <https://pjhoy.fi/yhtio/pirkanmaan-jatehuolto/yhtion-palvelut/>

Pirkanmaan liitto. (n.d.). *Pirkanmaan liitto Tehtävänä täydellinen maakunta*.

<https://www.pirkanmaa.fi/>

Purakayastha, T.J., Kumari, S. & Pathak, H. (2015). *Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues*. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0016706114003991?via%3Dihub#bb0280>

Salo, E. (2019). *Biohiili Suomessa*. <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/04/Esko-Salo.pdf>

Salo, E., Riikonen, A., Tammeorg, P. & Elo, A. (2018). *Map of biochar activities in Finland*.

<https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1C5bT7xAh0rMP402wuHcJU8006gAfBqMo&ll=64.7069806892146%2C26.38059776599482&z=5>

Siipola, V., Källi, A., Wendling, L., Karlsson, M., Björnström, M. & Koukkari, P. (2019). *Biohiilen valmistus ja käyttö vedenpuhdistukseen - metsäteollisuuden sivuvirtojen jatkojalostus ja hyödyntäminen ei-energiakäyttöön.*

https://mmm.fi/documents/1410837/12500944/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf/d91543c8-1c96-c0b4-0b0c-9b8579800c1f/Siipola+VTT_R_05608_18_CoCarbon.pdf

Sitra. (n.d.). *Sivuvirta*. <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/sivuvirta/>

Tomczyk, A., Sokołowska, Z. & Boguta, P. (2020). *Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects.*

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-020-09523-3#Sec8>

Vanajavesikeskus. (21.4.2022). *Isosorsimo - rantojen riesasta resurssiksi -seminaarin tallenne 21.4.2022* [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=W9rtfcTYfRo>

Wang, J. & Wang, S. (2019). *Preparation, modification and environmental application of biochar: A review.* [https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0959652619313733?via%3Dihub)

[com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0959652619313733?via%3Dihub](https://www-sciencedirect-com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0959652619313733?via%3Dihub)

Weber, K. & Quicker, P. (2018). *Properties of biochar.* [https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0016236117316216?via%3Dihub)

[com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0016236117316216?via%3Dihub](https://www-sciencedirect-com.ezproxy.hamk.fi/science/article/pii/S0016236117316216?via%3Dihub)

Åhlström, S. (2020). *Biohiilen valmistaminen rakennusjätepuun käsittelyratkaisuna* [opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu]. [https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-](https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020092920789)

[2020092920789](https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2020092920789)

Liite 1: Tutkittuja biohiilen raaka-aineita ja valmistusprosesseja

Raaka-aine	Valmistus olosuhteet	Hiilipitoisuus	Viittaukset
Bambu	Pyrolyysi, 500 °C, -	83,6 %	Wang ym. (2017c)
Maissintähkä	Pyrolyysi, 500, 700 °C, 2 h	–	Xiao ym., 2017a, Xiao ym., 2017b
Maapähkinän olki	Pyrolyysi, 400 °C, 3 h	–	(Shi ym., 2018)
Loblollymänty	Pyrolyysi, 1000 °C, 15min	92,9 %	Yoo ym. (2018)
Männynkäpy	Pyrolyysi, 500 °C, 2,5 h	54,0 %	Dawood ym. (2017)
Lännehirssi	Pyrolyysi, 425 °C, 1min	67,75 %	Essandoh ym. (2017)
Vehnän kuori	Pyrolyysi, 500 °C, 20min	50,5 %	Kalderis ym. (2017)
Maissi	Pyrolyysi, 1200 °C, 40min	56,1 %	Lydia ym. (2017)
Olki	Kaasutus 700–750 °C	48,4 %	Hansen ym. (2016)
Männyn sahanpuru	Pyrolyysi, 650 °C,-	86,82 %	Reguyal ym. (2017)
Valkopyökin sahanpuru	Pyrolyysi, 400–600 °C, 0,5 h	–	Moralı ym. (2016)
Canna indica	Pyrolyysi, 300–600 °C, 2 h	44,38–52,61 %	(Cui ym., 2016)
Sokeriruokomassa	Pyrolyysi, 350, 450 and 550 °C, -	45,31–63,3 %	Cross and Sohi (2011)
Riisin olki	Pyrolyysi, 250–450 °C, 2, 4, 8 h	57,2–72 %	Peng ym. (2011)
Douglaskuusi	Pyrolyysi, 623–823 °C, 0,5 h	49,58–83,15 %	Suliman ym. (2016)
Riisin olki	Pyrolyysi, 100–700 °C,-	23,52–50,84 %	Qian ym. (2016)
Seesamin olki	Pyrolyysi, 700 °C, 4 h	72,6 %	Park ym. (2016a)
Kombu	Pyrolyysi, 700 °C, 1 h	26,7 %	(Jung ym., 2016b)
Wakame		28,3 %	
Porphyra tenera		26,6 %	
Rautatammi	Pyrolyysi, 650 °C, 15 h	67,3 %	López-Cano ym. (2016)
Jäännöslevä	Pyrolyysi, 450 °C, 2 h	59,88 %	Nautiyal ym. (2016)
Öljypalmun kuori	Pyrolyysi, 700 °C, 1–4 h	82,6–89,41 %	Hamza ym. (2016)
Sokeriruo'on varsi	Pyrolyysi, 700 °C, 1 h	73,0 %	Melo ym. (2016)
Merilevä	Pyrolyysi, 200–800 °C, 2 h	30,58–40,51 %	Jung ym. (2016c)
Bambu	Pyrolyysi, 700 °C, 3 h	86,0 %	Yang ym. (2016)
	Pyrolyysi, 500 °C, 0,5 h	50,8 %	
Saflorin siemen	Pyrolyysi, 400–600 °C,0,5 h	68,22–73,75 %	Angin (2013)
Sian lanta	Pyrolyysi, 400 °C, 1 h	44,13 %	Kołodęńska ym. (2012)
Lehmän lanta	Pyrolyysi, 400 °C, 1 h	60,2 %	
Jätevesiliete	Pyrolyysi, 300–700 °C, -	20,2–25,6 %	Hossain ym. (2011)
Pikimänty	Pyrolyysi, 300–500 °C, 2s	63,9–90,5 %	Kim ym. (2012)
Liete	Pyrolyysi, 550 °C, 2 h	–	Lu ym. (2012)
Maitokarjan lanta	Pyrolyysi, 350, 700 °C, 2 h	42,7–65,7 %	(Cantrell ym., 2012)
Ruokintapaikan jäte		37,5–60,5 %	
Siipikarjan lanta		40–65,9 %	
Kiinteä sian lanta		33,8–67,7 %	
Kalkkunan lanta		44,2–70,8 %	

Soijapavun jäännökset	Pyrolyysi, 300, 700 °C, 3 h	68,81, 81,98 %	(Ahmad ym., 2012)
Maapähkinän kuori		68,27, 83,76 %	
Olki	Pyrolyysi, 400, 460, 525 °C, 5 h	44,2, 65,7, 72,4 %	Kloss ym. (2012)
Kuusi	Pyrolyysi, 400, 460, 525 °C, 10 h	48,4, 63,5, 78,3 %	
Poppeli	Pyrolyysi, 400, 460, 525 °C, 10 h	67,3–77,9 %	
Sokeriruokomassa	Pyrolyysi, 300–600 °C, 0,5 h	69,5–76,5 %	(Yao ym., 2012)
Maapähkinän kuori		73,9–86,4 %	
Umbellularia californica		59,3–77,0 %	
Bambu		66,2–80,9 %	
Puulastu	Pyrolyysi, 620 °C, 20min	81,2 %	(Chen ym., 2011a)
Jätevesiliete	Pyrolyysi, 600 °C, 20min	18,7 %	
Appelsiinin kuori	Pyrolyysi, 250, 400, 700 °C, 6 h	56,5, 65,7, 67 %	
Maitokarjan lanta	Pyrolyysi, 450 °C, 4 h	48,1 %	Cao ym. (2011)
Sokerijuurikasmassa	Pyrolyysi, 450 °C, 6 h	50,78 %	Yao ym. (2011)
Lehmän lanta	Pyrolyysi, 500 °C, 5 h	33,61 g kg ⁻¹	Uzoma ym. (2011)
Hedelmäpuiden karsintajäte	Pyrolyysi, 500 °C, -	23,1 %	Fellet ym. (2011)
Rapsi	Pyrolyysi, 350 °C, 4 h	–	(Yuan ja Xu, 2015)
Eucalyptus grandis	Pyrolyysi, 450 °C,	–	Dias ym. (2010)
Sekoitus vaahteran, jalavan ja tammen lastuja ja kuorta	Pyrolyysi, 450 °C, 1 h	70,66 %–71,79 %	(Zheng ym., 2010)
Maitokarjan lanta	Pyrolyysi, 350 °C, 4 h	25,2 %	Cao ym. (2011)
Paperitehtaan jäte	Pyrolyysi, 550 °C, -	50–52 %	Zwieten ym. (2010)
Aprikoosin kivi	Pyrolyysi, 450 °C, 0,5 h	71,7 %	(Özçimen ja Ersoy-Meriçboyu, 2010)
Hasselpähkinän kuori		63,16 %	
Rypäleen siemen		50,96 %	
Kastanja		60,32 %	
Olki	Kaasutus, 800–1000 °C, >0,5 h	45,50 %	Hansen ym., 2015
Puulastu		52,04 %	
Vehnän olki	Kaasutus, 750 °C, ~	46,8 %	Hansen ym. (2016)
Mänty	Kaasutus, 1200 °C, ~	65,3 %	
Puu	Kaasutus, 750 °C, 0,25 h	48,4 %	Wu ym. (2009)
Lehti		59,3 %	
Puunkuori		50,4 %	
Puulastu	Kaasutus, 1200 °C, 0,5–0,75 h	80,6 %	Wiedner ym. (2013)
Maissin jäännös	Hydroterminen hiiletys, 230 °C, 0,25 h; 180 °C, 1,25 h;	51,9 %	
Jätevesiliete		29,8 %	
Kookoskuitu	Hydroterminen hiiletys, 375 °C, 0,5 h	78,2 %	Liu ym. (2013)
Eukalyptuksen lehti		72,19 %	

Maapähkinän kuori	Hydroterminen hiiletys, 300 °C, 5 h	56,3 %	Xue ym. (2012)
Lännenhirssi	Hydroterminen hiiletys, 300 °C, 0,5 h	70,5 %	Regmi ym. (2012)
Banaaninkuoret	Hydroterminen hiiletys, 230 °C, 2 h	71,38 %	Zhou ym. (2017)
Sian lanta	Hydroterminen hiiletys, 240 °C, 2 h	23,9 %	Gascó ym., 2018
Puulastu	Hydroterminen hiiletys, 200 °C, 48 h	68,47 %	

Liite 2: Biohiilen mahdollisia raaka-aineita Pirkanmaalla

	Lähde	Raaka-aine*
Maanviljely	Viljat	Olki, akanat
	Nurmet	*
	Muut viljelykasvit	Kasvustot sadonkorjuun jälkeen (palkokasvit, peruna, öljykasvit, sokerijuurikas)
Eläintuotanto	Naudat	Lanta
	Siat	Lanta
	Siipikarja	Lanta
	Lampaat	Lanta
	Vuohet	Lanta
	Hevoset	Lanta
Avomaantuotanto	Vihannekset	Kasvustot sadonkorjuun jälkeen (herne, kaalit, kurpitsat, kurkku), juuresten naatit, kauppakunnostus jäte
	Marjat	Poistetut pensaiden oksat
	Hedelmät	Poistetut puiden oksat
Kasvihuonetuotanto	Vihannekset	Vanhat kasvustot, vanhat lehdet yms. osat (tomaatti, kurkku, paprika)
	Ruukkuvihannekset	*
	Leikkokukat ja -vihreä	Vanhat kasvustot
	Sipulikukat	*
	Kukkivat ruukkukasvit	Vanhat lehdet, kukkineet kukat
	Viherkasvit	Vanhat lehdet
	Ryhmäkasvit	Vanhat lehdet, kukkineet kukat
	Ampelikasvit	Vanhat lehdet, kukkineet kukat
Metsäteollisuus	Hakkuut	Metsähake (risut, kannot, energiapuu)
	Sahat ja höyläämöt	Kuori, sahanpuru
Elintarviketeollisuus	Panimot	Mäski
	Viinitilat	Hedelmä- ja marjamassat
	Leipomot	*
	Valmisruoka	Kasvisten kuoret yms. biojäte
Jätteet	Jätevedenpuhdistamot	Liete
	Yksityistaloudet, kunnat	Biojäte, puutarhajäte
	Rakennustyömaat	Puujäte
Muut	Paju	Koko kasvi
	Järviruoko	Koko kasvi
	Isosorsimo	Koko kasvi

*Kaikissa kohdissa myös hävikki

Liite 3: Pirkanmaan alueen yrityksiä

Metsäteollisuus	Kinnaskosken saha	Elintarvikeyritykset	Nordic Brewery
	Lehtisen saha		Kaleva Brewing Company Oy
	Tamminiemen saha ja höylä		Koskipanimo
	Jaakkolan saha ja höylä		Nokian Panimo
	Laineen saha		Narvan kyläpanimo
	Stormin saha		Olutpaja
	Viljalan saha		Teiskon Viini
Maatalous	Mantereen tila		Rönnavikin viinitila
	Maatila Tahlo		Hakafood
	Rekolan biodynaaminen tila		Kauraston pakari
	Koivuniemen maatila		Penttilän tila
	Järvensivu highland		Heikin leipä
	Metsäojan tila		Viialan kotileipomo
	Kyykän tila	Jätteiden käsittely	Pirkanmaan jätehuolto
	Tomulan tila		Loimi-Hämeen jätehuolto
	Einolan tila		Kiertokapula
	Yrjölän maatila		Lakeuden Etappi
	MäkiFarmi Oy		Kuhmoisten kunta
Puutarhatalous	Mansikkatila Iso-Hervanta		
	Mäkkylän perunatila		
	Mattilan tila		
	Ylirautian tila		
	Kesäpihan puutarha		
	Kaitalan luomutila		
	Toijalan taimitarha		
	Haikalan puutarha ja taimisto		
	Pinsiön taimisto		
	Barkholtin taimisto		
	Mäkelän kauppapuutarha		
	Honkasen puutarha		
	Marittan kasvitärha		
	Kukkapaikka/Tuomitaimi Oy		
	Kantolopen tila		
	Murajan tila		
	Ala-Orvolan puutarha		
	Vilppulan vankilan puutarha		
	Ojanperän puutarha		
	Jokilan puutarha		
	Vesirannan puutarha		
Ali-Marttilan puutarha			
Wäöksyn puutarha			