



KIERTOTALOUDEN INNOVAATIOITA MAATILOILLE

KieMaRa-hankkeen tuloksia maaseudun sivu- ja jätevirtojen hyödyntämisestä

15.12.2023

Katri Juva, Maarit Kari, Jonna Nygård, Sara Syvälahti

Esipuhe

KieMaRa-hanke toteutettiin vuosien 2022–2023 aikana Kanta- ja Päijät-Hämeen alueilla Euroopan maaseudun kehittämisrahaston rahoituksella, jonka myönsi Hämeen ELY-keskus. Tavoitteena oli maatalouden kiertotalousosaamisen lisääminen laajasti sekä maatiloilla että maatilojen sidosryhmissä ja myös potentiaalisten hyödyntäjätahojen keskuudessa. Toisena tavoitteena oli uusien hyödyntämisratkaisujen yhteistoiminnallinen kehittäminen maatilojen jäte- ja sivuvirroille yhdessä maatilojen sekä potentiaalisten hyödyntäjien kesken. Tavoitteissa onnistuttiin pääosin hyvin. Erityisen hyvin hankkeessa onnistuttiin tiedonvälityksessä. Hankkeen tuotoksena syntyi monenlaista aineistoa maatilojen kiertotalouteen liittyen. Aineistoa tuotettiin monikanavaisesti, jotta kohderyhmien olisi mahdollisimman helppo saada tietoa heille sopivimmalla tavalla.

KieMaRa-hankkeen aikana järjestimme useita tilaisuuksia ja kaksi työpajaa, joissa on päästy kuulemaan ja keskustelemaan varsin monipuolisesti maatilojen kiertotalousratkaisusta ja tuottamaan tilatason ratkaisuja, jotka ovat valtakunnallisestikin hyödynnettävissä. Osallistuminen tilaisuuksiin on ollut aktiivista ja siitä haluamme kiittää tasapuolisesti kaikkia osallistujia. Erityiskiitoksen haluamme kuitenkin esittää hankkeemme pilottitiloille, jotka avasivat avoimesti niin maatilojensa sivuvirtatietoja kuin myös omia näkemyksiään kiertotalouden mahdollisuuksista maatilojen arjessa. Keskustelut pilottitilojen kanssa loivat erinomaisen pohjan hankkeen kehittämistyölle ja sitä kautta koko toimialan kiertotalouden kehittämiselle.

Hankkeen päättyessä voimme todeta, että hanke toteutettiin sopivaan aikaan – keskustelua kiertotaloudesta ja sen tehostamisesta käydään tällä hetkellä hyvin aktiivisesti lähes kaikilla toimialoilla ja kaikilla tekemisen tasoilla aina ruohonjuuritasosta valtakunnalliseen ja kansainväliseen päätöksentekoon saakka. Välttämätön siirtyminen lineaarisesta talousjärjestelmästä, joka perustuu materiaalien kuluttamiseen ja hylkäämiseen käytön jälkeen kiertotalouteen vaatii ponnisteluja ja yhteistyötä yli sektorirajojen sekä uudenlaisia toimintamalleja, jotta materiaalit saadaan kiertoon mahdollisimman tehokkaasti. KieMaRa-hanke on osaltaan pyrkinyt vastaamaan tähän haasteeseen, mutta kehittämistyötä on vielä runsain mitoin tehtävänä. Kehittämistyön keskeneräisyyden voi nähdä haasteena, mutta samaan aikaan uusilla innovaatioilla on mahdollisuuksia tuottaa tulevaisuuden teknologioita sekä liiketoimintamalleja, joissa piilee merkittävä liiketoiminta- ja jopa vientipotentiaali.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Alueellinen tarkastelu Kanta- ja Päijät-Häme	2
2.1	Teollisuus Kanta- ja Päijät-Hämeessä	2
2.2	Maataloustuotanto Kanta- ja Päijät-Hämeessä	3
2.2.1	Maataloustuotanto ja sen sivu- ja jätevirrat Kanta- ja Päijät-Hämeessä	4
3	Pilottitilojen kiertotalouskartoitus	6
3.1	Merkittävimmät sivu- ja jätevirrat pilottitiloilla	8
4	Hygienisoidusta lannasta kasvualustamateriaalia ja kuiviketta	10
4.1	Lannasta kasvualustamateriaalia	11
4.2	Lannasta kuiviketta	12
4.3	Teknis-taloudellinen tarkastelu	13
4.3.1	Investointikustannukset	14
4.3.2	Muuttuvat kustannukset	15
4.3.3	Tuotot	16
4.3.4	Laskenta ja tulokset	16
5	Maatilamittakaavan biohiilituotanto	19
5.1	Biohiilen käyttökohteita	20
5.2	Teknis-taloudellinen tarkastelu	22
5.2.1	Käytettävissä oleva teknologia	23
5.2.2	Investointikustannukset	25
5.2.3	Muuttuvat kustannukset	26
5.2.4	Tuotot	26
5.2.5	Laskenta ja tulokset: Esimerkkitila 1	27
5.2.6	Laskenta ja tulokset: Esimerkkitila 2	31
6	Maatalousmuovit materiaali kierrätykseen	35
6.1	Muovien kierrätyksen teknologiaa	37
6.2	Maatalousmuovien materiaali kierrätyksen nykytilanne	39
6.3	Maatalousmuovin materiaali kierrätysmahdollisuuksien tarkastelu	39
6.4	Teknis-taloudellinen tarkastelu	42

6.4.1	Kustannusvertailu.....	42
7	Porkkanasivuvirtaa rehuksi	45
7.1	Porkkanasivuvirran rehukäytön mahdollisuudet ja markkinat.....	45
7.2	Tuotantoeläinten rehu	47
7.3	Lemmikkieläinten rehu	47
7.4	Rehuteollisuuden vaatimukset rehuraaka-aineelle.....	48
7.4.1	Kuivarehut	48
7.4.2	Märkärehut	48
7.5	Saatavilla oleva teknologia.....	48
7.6	Hankkeessa tehty tarkastelu.....	50
8	Nurmen biojalostamo.....	50
8.1	Monivuotiset nurmet ja niiden hyödyntäminen.....	51
8.2	Nurmibiojalostamokonseptin tarkastelu	54
8.2.1	Arvoketjutarkastelu.....	58
9	KieMaRan malli maaseudun sivuvirtojen hyödyntämiselle	59
10	Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet	63
	Lähteet.....	68

Liitteet

- Liite 1. Pilottitiloilla läpikäydyt haastattelukysymykset
- Liite 2. Haastattelukysymykset kiertotalous

1 Johdanto

Kanta- ja Päijät-Hämeen alueella toteutettu KieMaRa-hanke on pyrkinyt jalkauttamaan kiertotalouden innovaatioita hämäläiselle maaseudulle. Kiertotalouden ratkaisut voivat tarjota maaseudulle uusia toiminta- ja elinkeinomahdollisuuksia, mutta näiden mahdollisuuksien hahmottaminen ja käytäntöön saaminen vaatii eri toimijoiden yhteistyötä, osallistamista ja sitouttamista. Maatalouden sivu- ja jätevirtojen tehokas hyödyntäminen on keskeinen osa kestävästä maataloudesta. Sivu- tai jätevirtoja hyödyntämällä voidaan kierrättää ravinnerikkaiden biopohjaisten sivuvirtojen ravinteet ja orgaaninen aine viljelykasvien käyttöön, tuottaa ympäristöystävällistä bioenergiaa tai valmistaa kokonaan uusia tuotteita. Jätteiden tehokas hyödyntäminen pienentää ruoantuotannon hiilidioksidipäästöjä, vähentää riippuvuutta ulkoisista tuotantopanoksista, parantaa maaperän kasvukuntoa sekä tarjoaa samalla uusia liiketoimintamahdollisuuksia maaseudulle.

KieMaRa-hanke on edistänyt innovatiivisten kiertotalousratkaisujen syntymistä hämäläiselle maaseudulle tekemällä yhteistyötä alueen maa- ja puutarhatilojen ja mahdollisten kumppaniyritysten kanssa, järjestämällä teeman mukaisia koulutuspäiviä kohderyhmille sekä kokoamalla maatalouden kiertotalouden murrosta tukevaa materiaalia hankkeen verkkosivujen kautta saatavilla olevaan koulutuspakettiin.

Maa- ja puutarhatilojen sekä yritysten kanssa tehdyn yhteistyön tuloksena on mm. kartoitettu maataloustuotannon sivu- ja jätevirtoja sekä ideoitu näille jakeille uusia hyödyntämisratkaisuja. Uuden liiketoiminnan syntyminen hyödyntämisratkaisun ympärille edellyttää kannattavaa liiketoimintakonseptia. KieMaRa-hankkeessa on arvioitu useamman kiertotalousratkaisun kannattavuutta, ja pyrittiin hahmottamaan koko hyödyntämisketjua sivu- tai jätevirran tuottajasta eli maatilasta sivu- tai jätevirran mahdolliseen jalostajaan ja hyödyntäjään saakka.

Tässä raportissa kuvaillaan hankealueen elinkeinorakennetta, maataloustuotantoa sekä alueen maataloustuotannossa muodostuvia sivuvirtoja. Alueellista sivuvirtatietoa on haettu Luonnonvarakeskuksen ylläpitämästä Biomassa-atlas-verkkopalvelusta. Keskeinen osa hanketoimintaa oli hankkeeseen mukaan lähteneillä pilottitiloilla tehtyt

kiertotalouskartoitukset, joiden tulokset raportissa esitetään. Tuloksena saatiin tietoa tiloilla muodostuvista sivu- ja jätevirroista, niiden nykyisestä käsittelystä sekä lähtökohdista jakeiden uudenlaiseen hyödyntämiseen. Raportissa tarkastellaan tarkemmin viittä sivu- ja jätevirroille soveltuvaa hyödyntämiskäytäntöä, joiden ympärille ideoitiin kokonaisvaltaisia kiertotalouskonsepteja: 1) Hygienisoidusta lannasta kasvualustamateriaalia ja kuiviketta, 2) Maatilamittakaavan biohiilituotanto, 3) Maatalousmuovit materiaali- ja kierrätykseen, 4) Porkkanasivuvirrat rehukseksi ja 5) Nurmen biojalostamo. Kiertotalouskonseptit sekä niille tehdyt tarkemmat tarkastelut esitellään jokainen omassa luvussaan (luvut 4–8). Selvitettyjen uusien hyödyntämiskäytäntöjen mahdollisuudet olemassa olevissa tai mahdollisissa uusissa arvoketjuissa tai -verkostoissa kartoitettiin tekemällä yritys- ja yhteistyötä ja järjestämällä yhteiskehittämisen työpajoja.

Lisäksi raportissa esitetään KieMaRa-hankkeen tuloksena rakentunut malli maaseudun sivu- ja jätevirtojen hyödyntämiseksi. Kyseinen malli on vaiheistus toimenpiteistä, joilla voidaan edistää maaseudun sivu- ja jätevirtojen hyödyntämistä. Mukaan on otettu KieMaRa-hankeessa hyväksi todetut käytännöt ja mallia on täydennetty käytännöillä, joita hankkeen puitteissa ei toteutettu, mutta joiden arvioidaan hankkeen aikana kertyneen kokemuksen ja palautteen perusteella edistävän kiertotalousratkaisujen käytäntöön viemistä.

2 Alueellinen tarkastelu Kanta- ja Päijät-Häme

Hankealueen muodostavat maaseutuvaltaiset Kanta- ja Päijät-Hämeen maakunnat. Maatalous, elintarviketeollisuus, elintarvikkeiden kauppa sekä ravitsemistoiminta ovat merkittäviä työllistäviä toimialoja molemmissa maakunnissa. Kanta-Hämeessä ruokaketju työllistää 16 % kaikista työllisistä ja Päijät-Hämeessä vastaavasti 13 %. (Kasvua Hämeessä - tiedonvälityshanke 2018, 2018)

2.1 Teollisuus Kanta- ja Päijät-Hämeessä

Molemmissa maakunnissa elintarviketeollisuus on merkittävä arvonlisän tuoja. Suomen maakunnista ainoastaan Etelä-Pohjanmaalla elintarviketeollisuuden merkitys arvonlisäykseen on Kanta- ja Päijät-Hämettä suurempi. Maakuntien suurimmista kaupungeista löytyy

merkittäviä viljan, lihan ja maidon jalostajia sekä juomateollisuutta. Riihimäellä ja Hämeenlinnassa on suuret meijerit, ja Forssassa merkittävää lihanjalostusta. Päijät-Hämeen puolella Lahdessa on merkittävää juomateollisuutta sekä leipomo- ja myllytuotteiden valmistavaa teollisuutta. Päijät-Hämeen viljaa jalostavien yritysten toiminnan ympärille onkin rakentunut Suomen suurin viljaketjun toimijoiden yhteistyöverkosto, Päijät-Hämeen viljaklusteri. (Kasvua Hämeessä -tiedonvälityshanke 2018, 2018)

Elintarviketeollisuuden lisäksi Päijät-Hämeen erikoistumisaloiksi voidaan katsoa puuteollisuus, huonekaluteollisuus, muoviteollisuus, logistiikka-alan liiketoiminta, matkailu, ympäristöliiketoiminta sekä kone- ja metalliteollisuus (FCG Finnish Consulting Group, 2019). Kanta-Hämeestä löytyy suurten elintarvikealan yritysten lisäksi merkittävää metalliteollisuutta, suuria paperi- ja pakkausteollisuuden toimijoita, merkittäviä jätealan toimijoita sekä puolustusteollisuutta (Juutilainen, 2017; Mustonen, 2020).

2.2 Maataloustuotanto Kanta- ja Päijät-Hämeessä

Alkutuotanto maakuntien alueella painottuu viljan ja muiden peltokasvien viljelyyn. Ohran peltopinta-ala on merkittävä: lähes kolmannes koko maan mallasohra-alasta löytyy Hämeestä. Myös kolmannes Suomen porkkanoista viljellään Hämeessä. (Taste of Häme - Makuja Hämeestä, 2022) Kanta- ja Päijät-Hämeen maakuntiin on muutoinkin sijoittunut merkittävä osa Suomen avomaanvihannesten ja marjojen viljelystä (Kymäläinen & Suojala-Ahlfors, 2020, s. 9). Päijät-Hämeessä sijaitsevalla Asikkalan kunnalla on ollut merkittävä rooli perunanviljelyn ja perunaruokien kehittämisessä menneinä vuosisatoina (Ruokatieto Yhdistys ry, 2022b). Alkutuotannon merkittävimmät tulovirrat tulevat kotieläintaloudesta. Maitotalous on tässä suurimmassa roolissa. Lounais-Häme on huomattava sikatalousalue, ja myös sianlihan myyntitulo on alueella merkittävä (Taste of Häme - Makuja Hämeestä, 2022).

Tavanomaisten tuotantoeläinten lisäksi hämäläisestä maaseutumaisemasta löytyy pienimuotoisesti myös kyyttöjä, ahvenanmaanlampaita, maatiaiskanoja ja villisikoja. Kanta-Hämeessä valmistettuja ruokaerikoisuuksia ovat esimerkiksi erikoismakkarat, erikoishunajat, tyrnituotteet, suklaat, pienpanimoiden oluet ja tilaviinit. Päijät-Hämeen tyypillisiä ruokaerikoisuuksia ovat sahti, lammasruoat, piimäjuusto ja näkkileipä. Noin puolet Suomen

rapusaaliista tulee Kanta-Hämeen järvistä ja joista. Päijät-Hämeen itäosat ovat pääasiassa metsä- ja järviolueita. Ammattikalastusta harjoitetaan jonkin verran sekä Kanta-Hämeen että Päijät-Hämeen järviolueilla. Myös kalaa käsitteleviä yrityksiä löytyy. (Ruokatieto Yhdistys ry, 2022a; Ruokatieto Yhdistys ry, 2022b)

2.2.1 Maataloustuotanto ja sen sivu- ja jätevirrat Kanta- ja Päijät-Hämeessä

Biomassa-atlas on Luonnonvarakeskuksen ylläpitämä avoin verkkopalvelu, joka kerää biomassan sijaintitietoja yhden käyttöliittymän alle. Palvelu löytyy osoitteesta <https://biomassa-atlas.luke.fi/>. Palvelun avulla käyttäjät voivat kartoittaa biomassan määrän kullakin maantieteellisellä alueella. Käyttöliittymän avulla käyttäjä voi hakea tietoa esimerkiksi maa- ja metsätalouden sekä kuntien ja teollisuuden biopohjaisten sivu- ja jätevirtojen laadusta ja määrästä tai alueen peltobiomassan tuotannosta. Käyttäjä voi tuottaa näistä tiedoista erilaisia analyyseja ja raportteja.

Taulukossa 1 on esitetty Biomassa-atlas-palvelusta haettu Kanta- ja Päijät-Hämeen peltobiomassan tuotanto 15 eniten tuotetun peltokasvin osalta. Viljelykasvien osalta tiedot ovat vuodelta 2021 ja marja- sekä puutarhakasvien osalta vuodelta 2018. Ohra erottuu tästä datasta merkittävimpana viljelykasvina.

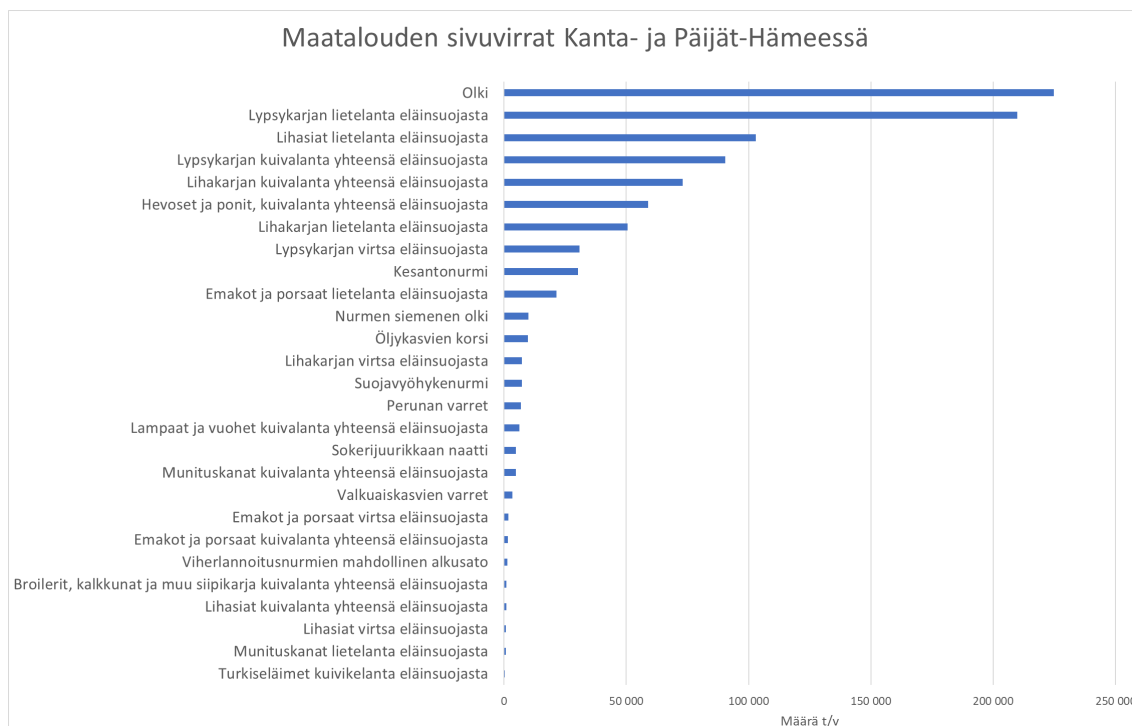
Taulukko 1. Peltobiomassan tuotantomäärät Kanta- ja Päijät-Hämeessä tonneina vuodessa (15 eniten tuotettua peltokasvia). Viljelykasvien osalta tiedot ovat vuodelta 2021, ja marja- ja puutarhakasvien osalta vuodelta 2018. (Luonnonvarakeskus, n.d.)

Peltobiomassan tuotanto	Yhteensä t/v
Säilörehunurmet	416 898
Kaura	83 338
Muu ohra	62 823
Mallasohra	46 023
Sokerijuurikas	45 816
Kevätvehnä	41 448
Kuivaheinänurmet	35 629
Peruna	28 303
Syysvehnä	23 567
Laidunsato	16 077
Porkkana	11 839
Ruis	6 272
Vihantavilja	5 854
Herne	4 185
Rypsi	4 034
Kaikki yhteensä	832 106

Kuvassa 1 on esitetty Kanta- ja Päijät-Hämeen alueella muodostuvien maataloussektorin biopohjaisten sivuvirtojen määrätiedot. Myös nämä tiedot on haettu Biomassa-atlas-verkkopalvelusta. Määrätiedot löytyvät viljelykasvien maksimaalisen sivuvirtapotentiaalin sekä kotieläinten lannan ja virtsan osalta. Biomassa-atlaksen lanta-aineisto on koottu yhdistämällä eläinkohtaiset lantamäärät eläinten lukumäärään alueella vuonna 2020.

Biomassa-atlaksen aineistojen mukaan maatalouden määrällisesti suurimmat sivuvirrat alueella ovat olki sekä kotieläinten lanta ja virtsa. Myös erilaisilla kesantonurmilla muodostuu merkittävä määrä hyödyntämätöntä sivuvirtaa. Suurin osa alueella muodostuvasta kotieläinten lannasta ja virtsasta on lypsykarjan lietelantaa. Myös sian lietelantaa muodostuu merkittävästi. Huomionarvoista on, että myös alueen hevostaloudesta muodostuu merkittävä määrä lantaa.

Kuva 1. Alkutuotannon biopohjaisten sivuvirtojen määrätiedot Kanta- ja Päijät-Hämeen alueelta. Peltokasvien sivuvirtatiedot koskevat vuotta 2018, ja lanta- ja virtsamäärät vuotta 2020. (Luonnonvarakeskus, n.d.)



3 Pilottitilojen kiertotalouskartoitus

Sivu- ja jätevirtojen muodostumista ja niiden hyödyntämismahdollisuuksia haluttiin tarkastella tilakohtaisesti hankealueella. Kerätyn tilakohtaisen tiedon avulla pyrittiin:

- kartoittamaan merkittävät maatalousyrittäjien toiminnassa muodostuvat sivu- ja jätevirrat
- selvittämään, miten maatalousyrittäjissä nykyisin käsitellään muodostuvia sivu- ja jätevirtoja
- ymmärtämään, millaisia haasteita tai kehittämistarpeita muodostuvien sivu- ja jätevirtojen käsittelyyn liittyy sekä maatalousyrittäjän näkökulmasta että yleisemmin
- hahmottamaan, millaisista sivu- ja jätevirtojen hyödyntämismenetelmistä tai muusta kiertotalousperiaatteiden mukaisesta liiketoiminnasta maatalousyrittäjät

lähtökohtaisesti ovat kiinnostuneita huomioiden myös mahdollisuudet erilaisiin energiantuotannon symbiooseihin.

Tilakohtaisen tiedon keräämiseksi etsittiin hankealueelta pilottitiloiksi noin kymmenen maatilaa, jotka olivat kiinnostuneita kiertotalouden kehittämisestä ja halukkaita osallistumaan hankkeeseen. Pilottitiloiksi pyrittiin löytämään mahdollisimman kattavasti eri tuotantosuuntia edustavia maatiloja, jotta tarkastelussa saataisiin mahdollisimman edustava kuva siitä, minkälaisia sivuvirtoja erilaisilla maatiloilla syntyy.

ProAgria Keskusten Liitto toteutti pilottitilojen rekrytoimisen omaa asiakasrekisteriään hyödyntäen. Tiloja tavoiteltiin puhelimitse. Tiloilta tiedusteltiin kiinnostusta oman tuotannon sivu- ja jätevirtatietojen jakamiseen hankkeen kehittämistoiminnan käyttöön sekä kiinnostusta jäte- ja sivuvirtojen hyödyntämisratkaisujen yhteistoiminnalliseen kehittämiseen.

Pilottitiloja saatiin hankkeeseen mukaan yhteensä 13 kappaletta. Tiloista 11 on kotieläintiloja ja kahden tilan päätuotantosuunta on puutarhatalous (avomaan vihannesten viljely). Tilat jakaantuvat maantieteellisesti melko tasaisesti koko hankealueelle. Päijät-Hämeen pohjoisosassa on kolmen tilan keskittymä, ja Hämeenlinnan lähiympäristössä on useampi tila.

Kaikille tiloille tehtiin tilavierailu kesän ja syksyn 2022 aikana. Tilavierailulla käytiin haastatellen läpi tuotannosta muodostuvat jäte- ja sivuvirrat yksityiskohtaisesti. Sivu- ja jätevirtajakeista selvitettiin vuosittain muodostuvat määrät, kunkin sivu- tai jätevirran nykyinen käsittely- ja varastointitapa sekä loppusijoitus. Lisäksi käytiin läpi sivu- ja jätevirtojen käsittelystä aiheutuneita kustannuksia. Myös tilojen energiankäyttömuodot ja -kustannukset sisältyivät haastatteluihin. Lopuksi tiloilta tiedusteltiin, minkälaisia haasteita tiloilla koetaan sivu- ja jätevirtoihin liittyen, sekä sitä, mihin haasteeseen tilalla erityisesti kaivattaisiin ratkaisua.

Syksyn 2022 ja kevään 2023 aikana pilottitiloille tehtiin vielä toinen haastattelukierros etäyhteyttä hyödyntäen. Toisessa haastattelussa käytiin tarkemmin läpi kiertotaloutta tilatasolla: mitä kiertotaloudesta tiloilla tiedetään, minkälaisia ratkaisuja tiloilla jo on käytössä ja minkälaista kiertotaloustoimintaa tilatasolla tulisi jatkossa olla.

Haastattelut tehtiin kaikki samoilla ennalta pohdituilla kysymyksillä. Haastattelukysymykset löytyvät tämän raportin liitteistä 1 ja 2.

3.1 Merkittävimmät sivu- ja jätevirrat pilottitiloilla

Kerätyn tiedon perusteella määrällisesti suurimpia jäte- ja sivuvirtoja tiloilla ovat lanta ja virtsa, nurmi, vihannessivuvirrat, maatalousmuovit sekä viljan lajittelujäte. Olkea ei tiloilla mielletty sivuvirraksi, vaan osaksi tuotantoa: se joko kerättiin kotieläinten kuivikkeeksi tai jätettiin peltoon maatumaan ja muodostamaan orgaanista ainesta tuleville kasvukausille.

Pilottitilojen joukossa oli useita suurehkoja kotieläintiloja. Kotieläinten lanta hyödynnettiin pääosin tilojen omilla pelloilla, mikäli omaa peltopinta-alaa oli riittävästi. Tavallista oli myös lannan luovuttaminen lähialueella sijaitseville kasvinviljelytiloille, mikäli lantaa muodostui yli oman tarpeen.

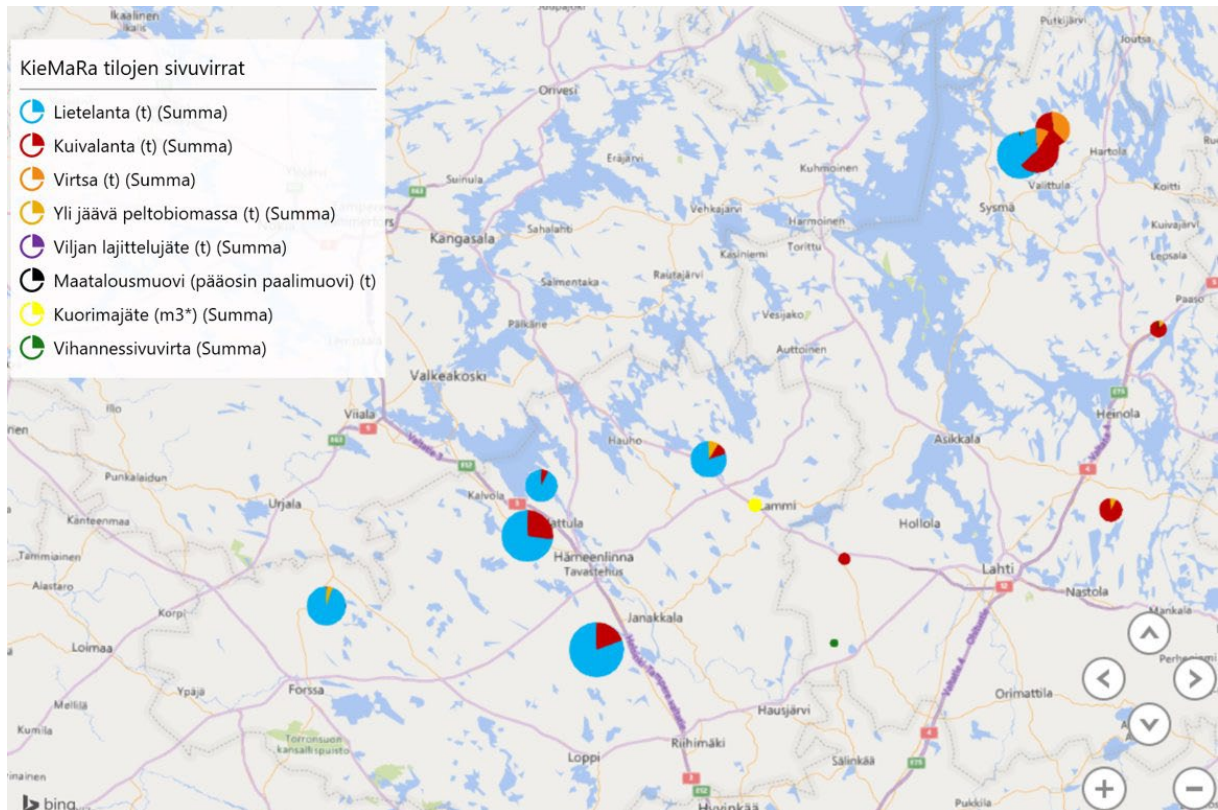
Vihannestiloilla muodostui sekä perunan ja porkkanan kuorimajätettä, että kokonaisia 2- ja 3-luokan juureksia, kuten porkkanaa ja punajuurta. Kuorimajätettä kompostoitii tilakohtaisesti, ja kompostia käytettiin omien peltujen maanparannukseen. 2-luokan porkkanoita toimitettiin esimerkiksi hevostalleille.

Kotieläintiloilla syntyi paljon muovijätettä, joka toimitettiin tavallisimmin energia- tai polttokelpoisena jätteenä jätteenkäsittelyyn. Muoveja noudettiin tiloilta melko usein, koska suuren muovimäärän varastoimiselle ei ollut tilaa. Esiin nostettiin myös se, että rehujäämiä sisältävät paalimuovit alkavat nopeasti kerätä rottia ja muita jyrsijöitä, joten niitä ei haluta varastoida pitkiä aikoja piha-alueella. Useampi tila nosti esiin, että heillä ei ollut tietoa, miten maatalousyritys voisi paremmin kierrättää muovijätettä hyödynnettäväksi esimerkiksi uusiomuovin valmistukseen.

Tilahaastatteluissa kartoitettiin myös pilottitilojen energiankulutusta sekä käytössä olevaa energiantuotantomuotoa. Valtaosa tiloista tuotti tarvitsemansa lämpöenergian itse kiinteistä biopolttoaineista. Käytetyin biopolttoaine oli hake, myös pelletit ja kokopuu mainittiin

lämpöenergian lähteinä. Myös sähkön suhteen oltiin osittain omavaraisia: valtaosa tiloista oli joko suunnitellut investoivansa tai jo investoinut aurinkopaneeleihin.

Kuva 2. Pilottitilojen maantieteellinen sijoittuminen hankealueelle sekä piirakkakuvaajat tiloilla muodostuvista tuotannon sivuvirroista.



Taulukko 22. Pilottitiloilla muodostuvat merkittävät sivuvirrat ja arvio jakeiden vuosittaisesta muodostumismäärästä pilottitiloilla. Määräarvio on tehty laskemalla yhteen tilojen omat arviot jakeiden määristä.

Lietelanta (t)	21 919
Kuivalanta (t)	8 770
Virtsa (t)	1 322
Yli jäävä peltobiomassa (t)	608
Kuorimajäte (m3*)	400
Vihannessivuvirta	150
Maatalousmuovi (pääosin paalimuovi) (t)	29
Viljan lajittelujäte (t)	13

Tilahaastatteluiden perusteella tiloilla toivottiin parempia mahdollisuuksia maatalousmuovien kierrätykselle sekä suurempaa arvonalisää vihannessivuvirroille. Tilan lähialueelle perustettava biokaasulaitos oli useamman maatalousyrittäjän ykköstoive. Esiin nostettiin myös mahdollisuus hyötyä lannan sisältämistä ravinteista nykyistä enemmän, ja kuivalannan tuotteistaminen viherrakentamiseen sopivaksi tuotteeksi. Kiertotalouteen keskeisesti liittyvästä jakamistaloudesta nostettiin esille erilaisia korjaus- ja ylläpitopalveluita välittävä alusta, jonka palveluille ainakin isommilla kotieläintiloilla saattaisi olla käyttöä.

Haastatteluissa esiin nousseiden teemojen myötä lähdettiin tarkemmin tarkastelemaan uusia hyödyntämiskäytännöksi maatalousmuoveille, vihannessivuvirroille sekä lannalle. Lisäksi ylijäämänurmet nousivat esiin määrällisesti merkittävänä sivuvirtana, joten myös tämä sivuvirta otettiin tarkempaan tarkasteluun mukaan. Tilallisia kiinnostanut biokaasuratkaisua ei tässä hankkeessa lähdetty edistämään, sillä molemmissa maakunnissa oli meneillään alueelliset biokaasun edistämiseen tähtäävät hankkeet, joiden pariin biokaasusta kiinnostuneita maatiloja ohjattiin.

4 Hygienisoidusta lannasta kasvualustamateriaalia ja kuiviketta

KieMaRa-hankkeen pilottitilojen ilmoittamista sivuvirroista tuotantoeläinten lanta edustaa volyymiltään suurinta sivuvirtaa. Osalla tiloista lantaa on säännöllisesti luovutettu lähitilojen pelloille, koska lantaa syntyy tiloilla enemmän kuin ympäristötukiehtojen mukaisesti sitä voi omille pelloille levittää. Lanta sisältää tärkeiden kasviravinteiden lisäksi maan kasvukunnolle arvokasta orgaanista ainesta, ja lannalla voidaankin ominaisuuksiensa vuoksi nähdä olevan taloudellista arvoa. Luovutetusta lannasta on tästä huolimatta vaikeaa saada korvausta, koska ravinneväkevyys on alhainen ja logistiset kustannukset suuria erityisesti, jos lantaa on kuljetettava kauas syntypaikastaan. Kotieläintuottajan on myös saatava lantaloiden ja lietesäiliöiden kapasiteettia omaan käyttöön. Tässä tilanteessa toimivin vaihtoehto on usein se, että lantaa luovutetaan ilmaiseksi sille lähiseudun viljelijälle, joka sitä suostuu ottamaan vastaan. Lannan prosessointi siten, että sen kuljettaminen kauemmas olisi mahdollista, saattaisi lisätä sen kysyntää, jolloin lannan ravinnearvosta oltaisiin valmiita maksamaan.

Viime vuosikymmeninä tapahtunut alueellinen eriytyminen ja kotieläintuotannon keskittyminen on myös valtakunnallisesti korostanut lannan muodostumisen ja ravinteiden tarpeen välistä alueellista epätasapainoa. Kotieläinten tuotantoon keskittyneillä alueilla lantaa on liikaa, ja muualla liian vähän peltojen ravinnetarpeeseen nähden. Luonnonvarakeskuksen vuonna 2017 julkaiseman Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa -raportin mukaan epätasapainon tasoittamiseksi lantaa tulisi lisääntyvissä määrin prosessoida, jotta ravinteiden kuljettaminen helpottuisi ja tarve epäorgaanisille lannoitteille vähenisi. Prosessoinnilla tulisi tavoitella pienempää vesipitoisuutta sekä sellaista lopputuotetta, jonka ominaisuudet tunnetaan ja ravinnepitoisuudet ja –suhteet vastaisivat kasvien tarvetta. (Jyske ym., 2023)

4.1 Lannasta kasvualustamateriaalia

Lannan tuotteistaminen kaupalliseksi lannoitevalmisteenksi vaatii kansallisen lannoitelain (Lannoitelaki 711/2022) ja EU:n sivutuoteasetuksen (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009) mukaan sen hygienisointia. Tällä hetkellä lannan hygienisointivaatimukset perustuvat taudinaiheuttajien vähenemiseen, ja hevosenlannan osalta hukkakauran hävittämiseen. Tämä edellyttää esimerkiksi lannan kompostointia siten, että sen lämpötila nousee vähintään 55°C lämpötilaan 14 vrk ajaksi. Myös biokaasutuksen termofiilinen mädätysprosessi tai kuumennuskäsittely kuivarakeeksi tai -jauheeksi täyttävät hygienisointivaatimukset. Kansallisen lainsäädännön vaatimukset täyttäviä lannoitevalmisteita voidaan markkinoida Suomessa.

Hygienisointivaatimusten lisäksi lannan tuotteistamista myytäväksi materiaaliksi tai lannoitteeksi rajoittaa lannan alhainen kuiva-ainepitoisuus. Erityisesti lietelannan kohdalla tämä muodostaa logistisen haasteen. Lietelannan separointi kuiva- ja nestejakeeseen voi osittain ratkaista tätä haastetta.

Mikäli lannoitevalmistetta markkinoidaan Suomen ulkopuolelle, on lannan käsittelyssä noudatettava Euroopan Unionin sivutuoteasetuksen vaatimuksia. Sivutuoteasetuksen (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009) ja tätä asetusta koskevan täytäntöönpanoasetuksen EU N:o 142/2011 (Komission asetus (EU) N:o 142/2011) mukaan

lantaa on lämpökäsiteltävä vähintään 70°C:ssa vähintään 60 minuutin ajan. Näiden asetusten mukaan toimivaltainen viranomainen voi sallia myös muiden kuin edellisessä kappaleessa esitettyjen käsittelyparametrien käyttämisen, jos biologisten riskien minimointi pystytään todentamaan. Sekä kansallinen, että Euroopan Unionin lainsäädäntö kuitenkin edellyttää, että lanta ei saa käsittelyn jälkeen sisältää salmonellaa ja E. coli bakteerien määrä saa olla maksimissaan 1000 pmy/g.

EU:n lainsäädännön mukaisesti hyväksytyllä tavalla prosessoitua lantaa voitaisiin käyttää lannoitetuotteen lisäksi myös maanparannusaineena, tai tässä tapauksessa kasvualustana, jolloin sillä voitaisiin korvata esimerkiksi turvetta. Turpeen käyttöä on viime vuosina sen negatiivisten ilmastovaikutusten vuoksi ohjattu vähentämään, jonka vuoksi voi olla aiheellista varautua siihen, että turpeen tarjonta kasvualustakäyttöön saattaa vähentyä merkittävästi. EU:n lannoiteasetus mahdollistaa hygienisoidun lannan kasvualustakäytön. Myös lannasta tuotettu maanparannusaine ja kasvualusta tulkitaan lainsäädännössä lannoitevalmisteeksi.

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa 11/12 lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta (Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 965/2023) säädetään mm. toiminnanharjoittajan ilmoitusvelvollisuudesta, tiedostonpitämisvelvollisuudesta, omaoikeusvelvollisuudesta, ennakkoilmoitusvelvollisuudesta, laboratoriohyväksynnästä, orgaanisia lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita valmistavan tai teknisesti käsittelevän laitoksen hyväksynnästä sekä lannoitevalmisteita koskevan valvonnan järjestämisestä. Asetuksen mukaan lannoitevalmisteita tuottavan laitoksen tulee saada laitoshyväksyntä ja laitoksen toiminta on valvonnan alaisena.

4.2 Lannasta kuiviketta

Separoidun lannan kuivajakeen kuivikekäyttö on viime vuosina saanut uutta nostetta turpeen ja kutterinpurun hinnannousun vuoksi, ja kuivajakeita käytetäänkin kuivikkeena nykyisin jo monilla karjatilloilla.

Kuivajae on materiaalina pehmeää ja hyvin käsiteltävää. Eläimet pysyvät kuivajaeuivituksella hyvin puhtaina ja esimerkiksi ihovaurioiden suhteen kuivajae on vähintään yhtä hyvin toimivaa kuin muut kuiviketyypit. Esimerkiksi kutterinpuruun verrattuna kuivajakeen on todettu tuottavan vähemmän ihovaurioita. Käsittelemätön kuivajae sisältää suolistoperäisiä bakteereja kuten E.coli. Käytettäessä oman tilan lannasta separoitua kuivajaetta kuivikkeena, on bakteerikanta tilan sisäistä, olemassa olevaa kantaa, jonka vuoksi riskit ovat useimmiten hallittavissa. Huolehtimalla kuivajakeen oikeasta käsittelystä voidaan kuivajaetta käyttää kuivikkeena yleensä ongelmitta. Kuiva-ainepitoisuuden tulee olla riittävän korkea (kapitoisuus 30–35 %) ja kuivajae tulee käyttää välittömästi separoinnin jälkeen. Kuivajae ei saa lämmentä uudelleen. Kuivajakeen kuivikekäyttö siis vaatii tarkkuutta kuivikekäytännöiltä.

Separoidun lannan kuivajakeen kuivikekäyttö sisältää kuitenkin aina riskin esimerkiksi E.coli-tartunnoista. Kuivajakeen hygienisointi vähentää taudinaiheuttajia kuivajakeessa ja näin pienentää tautiriskejä. Hygienisoitua kuivajaetta voidaan myös varastoida pidemmän aikaa kuin hygienisoimatonta kuivajaetta, mikä voi tasoittaa työhuippuja.

4.3 Teknis-taloudellinen tarkastelu

KieMaRa-hankkeessa tehtiin tarkastelu hygienisoidun lannan kuivikekäytöstä omalla tilalla sekä myymisestä kasvualustaksi kuluttajille. Hankkeen ensimmäisessä työpajassa tunnistettiin kiinnostus lannan kuivajakeen hygienisointiin joillakin tiloilla, vaikka kuivikekäyttö on mahdollista myös ilman hygienisointia. Hygienisointi mahdollistaa kuivajakeen myymisen myös tilan ulkopuolelle, mikä lisäsi hygienisoinnin kiinnostavuutta tilalla. Tämän vuoksi tarkasteltiin myös kasvualustamateriaalin myymiseen liittyviä reunaehtoja.

Lannan hygienisointi toteutetaan tiloilla nykyisin useimmiten joko kompostoimalla lantaa aumassa tai erilaisin kompostorein, esimerkiksi rumpukompostorilla. Kompostorien haasteena on kuitenkin usein melko korkea hankintakustannus. Kompostointi aumassa sen sijaan on melko edullista, mutta vaatii puolestaan paljon aikaa (useita kuukausia).

IP Innovaatiot Oy on kehittänyt ManPas-laitteiston, jolla on mahdollista hygienisoida itsekuumentuvaa materiaalia kuten lantaa nopeasti ja turvallisesti. Laitteisto on toiminta-

ajatukseltaan yksinkertainen, minkä vuoksi laitteiston hankintahinta on maltillinen verrattuna muihin markkinoilla tällä hetkellä oleviin kompostoreihin.

Hankkeessa tehtiin tarkastelu, jossa ManPas-laitteisto sijoitettaisiin toiminnassa olevalle tilalle. Tarkastelun lähtötietoina on käytetty kahden robotin lypsykarjatilaa, jolla on jo separaattori käytössä toiminnassaan ja kuivitukseen käytetään tällä hetkellä turvetta. Lähtötiedot on kerätty vertailemalla avoimista lähteistä saatavilla olevia hinta- ja kulutustietoja.

Esimerkkitalalla kuluu kuiviketta vuositason 450 m³. Laitteiston kapasiteetti on laskennallisesti 3–4 m³/päivä, millä pystytään kattamaan tilan kuivitustarve. Laskennallinen maksimivuosituotto laitteistolla on 1460 m³/vuosi, mikäli syötettä on tarjolla. On kuitenkin huomioitava, että syötettä ei välttämättä ole tarjolla aina maksimituottoa vastaavasti, ja laite voi olla esimerkiksi huollossa tai muista syistä toisinaan pois käytöstä. Kuitenkin laitteen tuottamasta hygienisoidusta kuivajakeesta selkeästi yli puolet jää hyödynnettäväksi kasvualustana. Laskennan perusteena käytettiin arviota, että kahden robotin tilalla lietelannan kuivajaeetta syntyy 900 m³ vuodessa.

4.3.1 Investointikustannukset

ManPas-laitteisto on toistaiseksi vielä pilottivaiheessa, eikä laitteistoja tuoteta teollisena sarjatuotantona. Laitteiston koko määritellään käsittelykapasiteetin perusteella. Tällä hetkellä toiminnassa on laitteistoja, joiden kapasiteetti on 1–2 m³ päivässä, ja laitteistoja, joiden kapasiteetti on 3–4 m³ päivässä. Tässä tarkastelussa tarkastellaan jälkimmäistä laitteistoa sen soveltuessa noin kahden robotin tilan tarpeisiin.

Laitteistoa kehittävä IP Innovaatiot Oy on 24.5.2023 toimittanut henkilökohtaisella tiedonannolla arvion laitteiston hinnasta. Hintatiedot ovat esitetty taulukossa 3. Investoinnin oletuksena on, että tilalla on jo toiminnassa oleva separaattori, jonka purku onnistuu suoraan ManPas-laitteistoon, jolloin lannan syöttölaitteistoon ei ole tarpeen investoida.

Taulukko 33. Tarkasteltavien investointien kustannuksia.

Investointikustannukset	€ (veroton)
ManPas-laitteisto	25 000
Hihnakuuljetin, purku	5 000
Laakasiilo tai muu rakenne	15 000

Kannattavuuslaskennassa huomioitiin maatilayritysten mahdollisuus saada investointitukea. Koska kyseessä on uudenlainen laitteisto, ei ennakkotapauksia investointituen myöntämisestä ole siitä, minkä tuki-instrumentin kautta tukea voidaan myöntää. Laskelmassa on lähdetty oletuksesta, että laitteistolle voisi saada eläinten hyvinvointia ja bioturvallisuutta edistävän investoinnin tukea, jossa tukitaso on 40 % hyväksyttävistä kustannuksista. Muita mahdollisia tuki-instrumentteja voi olla myyntikunnostuksen tai työympäristöä ja tuotantohygieniaa edistävän investoinnin tuki. Tukiprosentti näissä on 25 %.

Koska laitteistoa ei ole toistaiseksi käytetty maataloilla lietelantapohjaisilla syötteillä, voisi kysymykseen tulla myös laitteiston hankkiminen kehittämishankkeen kautta EIP-rahoituksella. Hankkeessa toteutettaisiin käytännössä kokeilu maatilaympäristössä, raportoitaisiin laitteen toiminta uudessa ympäristössä ja tarvittaessa tehtäisiin kehittämistoimenpiteitä. Hankkeen alkaessa tila hankkii laitteiston itselleen ja hanke maksaa tilalle siitä vuokraa. Investointitukeen voi hankkeen yhteydessä saada investointituen korotettuna. Hankkeessa toimimalla investointikustannus kokonaisuudessaan on siis merkittävästi pienempi, kun tila saa hankeajan laitteesta vuokratuloa ja investointituki myönnetään korotettuna.

4.3.2 Muuttuvat kustannukset

Muuttuvina kustannuksina laskelmassa käytettiin laitteiston kuluttaman energian kustannusta, arvioitua työkustannusta sekä huollon kustannuksia. Koska hygienisoitua lantaa myydään tilan ulkopuolelle, tulee laitokselle hakea viranomaishyväksyntä, ja tähän liittyy vuosittainen 200 euron valvontamaksu, joka huomioidaan muuttuvana kustannuksena.

Yrittäjän oman työn arvon määrittämisessä käytettiin apuna Valtioneuvoston asetusta maatalouden rakennetuesta 240/2015. Kyseisessä asetuksessa säädetään mm. maatalon investointituen myöntämisen ja maksamisen edellytyksistä. Asetuksen kuudennen luvun 20 § on arvioitu maatalousyrittäjän oman työn arvoksi 15 €/h, ja koneella tehdyn työn arvoksi 30 €/t. (Valtioneuvoston asetus maatalouden rakennetuesta 240/2015) Osa työstä on mahdollisesti koneellista työtä, joten laskennassa käytettiin työn arvona 25 €/h.

Kannattavuuslaskennassa käytettiin sähkön hintana 0,15 €/kWh. Laitoksen sähköenergian käyttö on esitetty tarkemmin taulukossa 4 alla.

Taulukko 44. Energian kulutuslaskelma sekä käytön kustannukset.

Energian tarve ja kustannus						
Energian hinta €/kWh	-0,15					
	Käsiteltävä määrä m ³	Tehontarve kW	Käyttöaika h/vrk	Käyttöaika h/v	Kustannus €/vrk	Kustannus €/v
Lämpötilan nosto	4	20	1	365	-3	-1095
Ruuvikuljetin	4	3	0,24	87,6	-0,108	-39,42
Hihnakuuljetin	4	0,5	0,24	87,6	-0,018	-6,57
Yhteensä	4	23,5	1,48	540,2	-3,126	-1140,99

4.3.3 Tuotot

ManPas-laitteistolla saadaan samanaikaisesti tuotettua tilalle kuiviketta sekä myyntikelpoista kasvualustaa. Tuotoksi lasketaan kuivituksessa säästetty kustannus, kun ostokuivikkeelle ei ole tarvetta. Vertailtavaksi kuivikkeeksi laskelmassa on otettu turve, ja ostoturpeen hinnaksi arvioitiin 15 €/m³ toimitettuna ilman arvonlisäveroa. Laskelmalla arvioitiin, että korvattava määrä kuiviketta olisi 450 m³ vuositasona. Tällöin laskennallisesta hygienisoidun kuivajakeen vuosituotosta (jossa huomioitu huolto- ym. katkokset) puolet eli 450 m³ jäisi myytäväksi kasvualustana.

4.3.4 Laskenta ja tulokset

Kannattavuustarkastelun vaihtoehdossa 1 on tarkasteltu pienempää myyntimäärää (180 m³) kuivitukselta ylijäävälle kuivajakeelle, sillä ajatuksella, että kovin isojen määrien myyminen

suoraan tilalta kuluttajille ilman merkittäviä panostuksia markkinointiin ja jakeluun on epätodennäköistä. Vaihtoehdossa 2 taas lähdettiin siitä ajatuksesta, että kaikki ylijäävä kuivajae (450 m³) saadaan myytyä. Kasvualustan hinnaksi arvioitiin 25 €/t, mikä on irtotavarana itse noutaen myytävälle kasvualustalle melko tavanomainen hintataso. Sisäisenä korkokantana molemmissa laskelmissa 10 %.

Vaihtoehto 1: 180 m³ kasvualustaksi

Edellä esitetyillä arvoilla vuotuiseksi vaihtoehdon 1 nettotuotoksi saatiin 5146,51 €. Tällä nettotuotolla investointi on maksettu takaisin kahdeksassa vuodessa, mikäli investoinnille saadaan 40 % investointituki. Mikäli tukitaso jää 25 %:iin, investoinnin takaisinmaksuaika on 11,5 vuotta. Laskelma vaihtoehdosta 1 on esitetty kokonaisuudessaan taulukossa 5.

Vaihtoehto 2: 450 m³ kasvualustaksi

Vaihtoehdossa 2 nettotuotoksi muodostui 11 896,51 €, ja takaisinmaksuajaksi enää 2,75 vuotta, mikäli investoinnille saadaan 40 % investointituki. Mikäli tukiprosentti jää 25 %:iin, investoinnin takaisinmaksuaika on noin 3,5 vuotta. Laskelma vaihtoehdosta 2 on esitetty kokonaisuudessaan taulukossa 6.

Taulukko 55. Laskennan tulokset: Vaihtoehto 1, 180 m³ kasvualustaksi.

ManPas-hygienisointilaitteisto						
Kustannukset ja tuotot	€/h	€/kWh	€/m ³	€/kpl	Määrä	
					(yks./vuosi)	€/vuosi
Muuttuvat kustannukset						
Sähkö		-0,15			540,2	1 140,99 €
Raaka-aine (tuotantokustannus)						- €
Henkilötyö	-25				182,5	4 562,50 €
Viranomaisvalvonta				-200	1	200,00 €
Huolto				-200	1	200,00 €
Muuttuvat kustannukset yhteensä						6 103,49 €
Tuotto						
Kuivikesäätö			15,0		450	6 750,00 €
Myynti kasvialustana			25		180	4 500,00 €
Tuotto yhteensä						11 250,00 €
Investointikustannukset						
ManPas-laitteisto				30000		
Laitoshyväksyntä				600		
Laakasiilo tai muu rakenne				15000		
Investointi yhteensä				45600		
Investointi - 40 % investointituki				27360		
Vuotuinen nettotuotto						5 146,51 €
Korkokanta	0,1					
Takaisinmaksuaika (vuotta):	7,96					

Taulukko 66. Laskennan tulokset: Vaihtoehto 2, 450 m³ kasvialustaksi.

ManPas-hygienisointilaitteisto						
Kustannukset ja tuotot	€/h	€/kWh	€/m ³	€/kpl	Määrä	
					(yks./vuosi)	€/vuosi
Muuttuvat kustannukset						
Sähkö		-0,15			540,2	1 140,99 €
Raaka-aine (tuotantokustannus)						- €
Henkilötyö	-25				182,5	4 562,50 €
Viranomaisvalvonta				-200	1	200,00 €
Huolto				-200	1	200,00 €
Muuttuvat kustannukset yhteensä						6 103,49 €
Tuotto						
Kuivikesäätö			15,0		450	6 750,00 €
Myynti kasvialustana			25		450	11 250,00 €
Tuotto yhteensä						18 000,00 €
Investointikustannukset						
ManPas-laitteisto				30000		
Laitoshyväksyntä				600		
Laakasiilo tai muu rakenne				15000		
Investointi yhteensä				45600		
Investointi - 40 % investointituki				27360		
Vuotuinen nettotuotto						11 896,51 €
Korkokanta	0,1					
Takaisinmaksuaika (vuotta):	2,74					

5 Maatilanmittakaavan biohiilituotanto

Biohiili on monikäyttöinen, hiilipitoinen ja huokoinen materiaali, jota voidaan valmistaa monenlaisista biomassoista pyrolyysiksi kutsutulla menetelmällä. Kiinnostus biohiilen tuotantoon ja käyttöön on kasvanut voimakkaasti 2010- ja 2020-luvuilla, koska biomassan sisältämä hiili varastoituu pitkäaikaisesti biohiileen, jolloin sivuvirtojen pyrolysointi biohiileksi tuottaa ilmastohyötyä (Thomsen, 2022, ss. 6–7). Tätä biohiilen ilmastohyötyä on kaupallistettu vapaaehtoisen päästökompensaation markkinoilla myytäviksi hiilikrediiteiksi.

Pyrolyysin sivutuotteena muodostuu myös synteetikaasua, joka voidaan polttaa energiaksi. Markkinoilla on biohiililaitteistoja, jotka tuottavat sekä biohiiltä että lämpöenergiaa. Osa näistä laitteistoista voidaan integroida esimerkiksi maatilan lämmöntuotantojärjestelmään, jolloin biohiililaitteisto toimii tilan lämmöntuotantoratkaisuna.

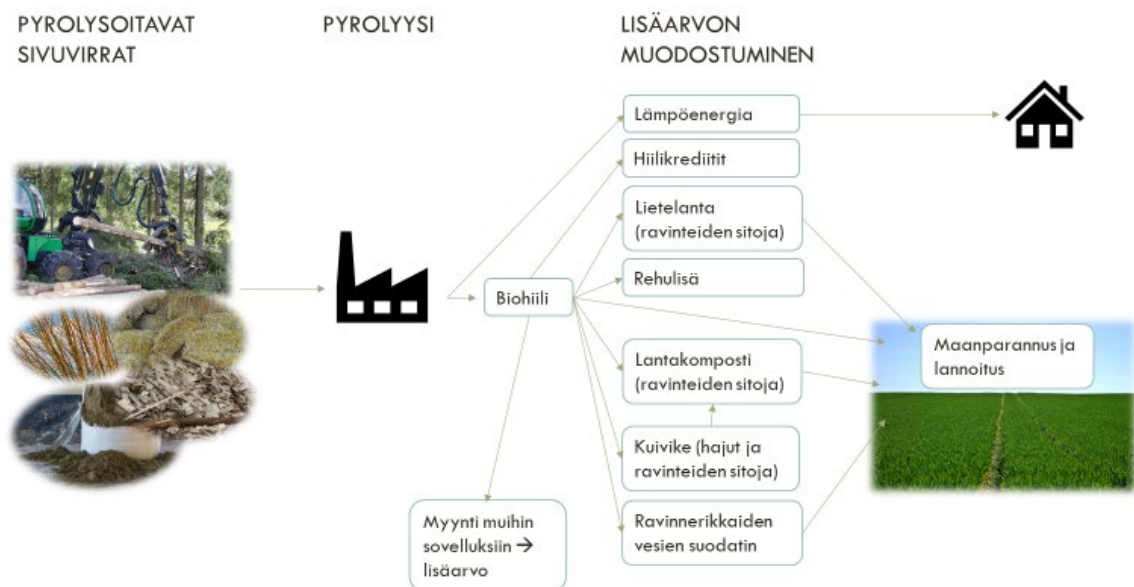
Luonnonvarakeskuksen laatimassa koosteessa biopohjaisten sivuvirtojen hidaspyrolyysi on arvioitu yhdeksi potentiaalseksi sivuvirtojen hyödyntämismenetelmäksi korkeamman lisäarvon tuotteiden tuottamisessa (Brännström ym., 2021, ss. 2–3). KieMaRa-hankkeessa tarkasteltiin sekä maatiloilla muodostuvien sivu- ja jätevirtojen potentiaalia suurempien, keskitettyjen biohiilen tuotantolaitosten syötemateriaalina, että maatilojen mahdollisuuksia yhdistetyn biohiilen ja lämpöenergian tuotantoon.

Suomeen on suunnitelmien mukaan rakentumassa tulevana vuosina biohiilen tuotantolaitoksia, joiden teknologia mahdollistaa myös lietteen ja hevosen lannan käyttämisen biohiilen raaka-aineena (GRK Infra Oyj, 2022). Lantaa ja jätevesilietettä pyrolysoimalla olisi mahdollista tuottaa lannoitevalmisteen soveltuvaa biohiiltä (Rasa, 2021, s. 6). Hankkeessa tehtiin yhteistyötä keskitettyä biohiilituotantoa rakentavan yrityksen kanssa. Käytyjen keskustelujen perusteella maatalouden sivu- ja jätevirrat saattavat tulevaisuudessa olla potentiaalinen syötemateriaali keskitetyille biohiililaitoksille. Nyt alkuvaiheessa laitokset tuottavat biohiiltä kuitenkin puupohjaisista sivuvirroista, joten maatilojen sivuvirtojen hyödyntämistratkaisuna potentiaalia ei toistaiseksi ollut. Lantapohjaisen biohiilen valmistamista on tutkittu laboratoriomittakaavassa, mutta tuotannosta ei löydy esimerkkejä. Yhteistyöyrityksen kanssa keskusteltiin alustavasti lehmän lietelannan kuivajakeen pyrolyysin

pilotoinnista heidän teknologiallaan, mutta pilotointia ei saatu hankkeen toteutusaikana järjestymään.

KieMaRa-hankkeessa tehtiin teknis-taloudellista tarkastelua biohiilikonseptille, jossa maatala investoi tilan lämmöntuotantoratkaisuksi soveltuvaan pyrolyysilaitteistoon. Biohiilen ja lämpöenergian lisäksi tila tuotteistaisi biohiilen hiilensidonnan vapaaehtoisen päästökompensaation markkinoilla myytäviksi hiilikrediiteiksi (kuva 5).

Kuva 3. Maatilamittakaavan biohiilituotannon konsepti ja biohiilen maatalouskäytön, lämpöenergian hyödyntämisen ja hiilikrediittien myynnin kautta pyrolysoitaville sivuvirroille muodostuva lisäarvo.



5.1 Biohiilen käyttökohteita

Biohiilelle on innovoitu kymmeniä käyttökohteita (Schmidt & Wilson, 2014). Biohiili on huokoista ja sen huokoset pidättävät itseensä vettä sekä veteen liuenneita ravinteita. Biohiiltä voidaan käyttää niin maataloudessa, ympäristönsuojelussa, rakentamisessa kuin metallurgiassakin. Mahdollisia käyttökohteita maataloudessa ovat maanparannus, lannan ravinneominaisuuksien parantaminen, kompostoinnin tehostaminen, rehukäyttö ja

kuivikekäyttö. Ympäristönsuojeluun liittyviä käyttökohteita ovat esimerkiksi ravinteiden huuhtoutumisen vähentäminen tai käyttö hulevesien hallinnassa ja suodatinmateriaalina. Suodatinmateriaaliksi käytettävä biohiili on tiettyyn raekokoon seulottua hiiltä. Biohiilen on todettu toimivan myös eristemateriaalina rakentamisessa, ja metalliteollisuudessa sillä voidaan korvata metallien pelkistämiseen käytettävää kivihiiltä (Schmidt & Wilson, 2014).

Maanparannuskäytössä biohiilen avulla voidaan vaikuttaa maaperän vedenpidätyskykyyn ja maaperän rakenteeseen. Biohiilen huokoisen rakenteen ja hyvän kationinvaihtokapasiteetin johdosta biohiili sitoo huokosiinsa vettä ja veteen liuenneita ravinteita, sekä absorboi huokospinnoilleen ravinteita. Alkalinen biohiili nostaa maaperän pH-arvoa, jolloin monien ravinteiden liukoisuus kasvaa (Fidel ym., 2017, ss. 367–368; Schmidt & Wilson, 2014). Biohiilen on havaittu myös lisäävän maan mikrobitoimintaa. Mikrobitoiminta tuottaa orgaanista ainesta maaperään. Nämä ominaisuudet tekevät biohiilestä hyvän maanparannusaineen. Biohiili voidaan levittää peltoon sellaisenaan tai kotieläinten lantaan sekoitettuna. Lantaan sekoitettuna biohiili pidättää lannan ravinteita, jolloin biohiililisäyksellä voidaan parantaa lannan lannoiteominaisuuksia ja vähentää lannan ravinteiden huuhtoutumista pois pellolta.

Karkearakeisessa maaperässä biohiili pidättää vettä paremmin kuin ympäröivä maalaji, ja kuivina kausina kasvit hyötyvät tästä maaperään pidemmäksi aikaa jäävästä kosteudesta (Riikonen, 2019, s. 26). Hienojakoisilla savimailla biohiililisäyksellä voidaan pyrkiä lisäämään maaperään sellaista huokoskokoa, josta kasvien juuret pystyvät ottamaan vettä, ja parantaa kuivuuden kestoa tätä kautta. (Schmidt & Wilson, 2014; Rasa ym., 2018, ss. 351–352)

Korkean huokoisuuden, ominaispinta-alan sekä huokospintojen funktionaalisten ryhmien avulla biohiili sitoo huokosiinsa ja huokospinnoilleen maaperästä veteen liukenevia ravinteita ja toisaalta myös saattaa lisätä joidenkin ravinteiden liukoisuutta (Laird & Rogovska, 2015, ss. 535–536). Biohiilellä on useissa tutkimuksissa todettu olevan ravinnevalumia vähentävä vaikutus (Elo ym., 2021, s. 31; Rubin ym., 2020, s. 1981; Borchard ym., 2019, s. 2354). Koska biohiili sitoo ravinteita, saattaa maaperään lisätty biohiili lyhyellä aikavälillä vaikuttaa negatiivisesti kasvien ravinteiden saantiin ja heikentää kasvua (Schmidt & Wilson, 2014).

Biohiilen monipuoliset käyttökohteet yhdistettynä biohiilen mahdollisuuksiin vauhdittaa yritysten hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista ovat tehneet biohiilimarkkinasta kasvavan (GRK Infra Oyj, 2022). Salon (2019) mukaan biohiilimarkkinan kehittyminen Suomessa on alkanut vuonna 2017, ja edelläkävijöitä biohiilen käytössä ovat olleet kunnat ja kaupungit. Vuonna 2019 Suomen kymmenen suurinta kaupunkia olivat kaikki käyttäneet biohiiltä (Salo, 2019). Esimerkiksi Helsingissä ja Mikkelissä biohiiltä on käytetty hulevesien käsittelyssä ja Turussa kaupunkien katualueiden viherrakentamisessa (Salo, 2019; ks. myös Miksei Oy, n.d.).

Vuonna 2018 valmistuneessa pro gradu -työssään biohiilisovellusten nykytilanteesta ja tulevaisuuden näkymistä Salo (2018, s. 44) arvioi biohiilen saavuttavan vahvan aseman kompostoinnissa, viherkatoissa, kasvualustoissa sekä hule- ja valumavesien käsittelyssä ja suodatuksessa. Suomalainen Carbons Finland Oy myy biohiiltä näihin Salon (2018, s. 44) potentiaalisina näkemiin käyttökohteisiin. Carbons Finland Oy on tuotteistanut puupohjaista biohiiltä esimerkiksi kasvualustabiohiileksi, hule- ja valumavesien käsittelyyn sekä kompostin lisäaineeksi. (Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra, 2019)

Biohiilen käyttö peltojen maanparannusaineena on todettu haastavaksi, koska biohiilen hinta on melko korkea eikä taloudellisia kannustimia biohiilen peltokäyttöön ole riittävästi (Rasa K. , 2021, ss. 6–7; Sohlo, 2022). Muina haasteina biohiilimarkkinoiden kehittymisessä Suomessa on nähty ainakin kaupunkialueilla tapahtuvaan biohiilen käyttöön liittyvän tutkimuksen puute, tuotetun biohiilen ominaisuuksien vaihtelun vaikutus käyttömahdollisuuksiin ja suomalaisten olosuhteiden vaikutus biohiilen tunnettuihin hyötyihin. Tunnistetuista haasteista huolimatta biohiilen markkinoiden on ennustettu kasvavan sekä Suomessa että Euroopassa. (Salo, 2018, s. 4 ja s. 43; GRK Infra Oyj, 2022)

5.2 Teknis-taloudellinen tarkastelu

KieMaRa-hankkeessa tehtiin kaksi esimerkinomaista teknis-taloudellista laskelmaa maatilalla tapahtuvan yhdistetyn biohiilen ja lämmön tuotannon kannattavuudesta. Osa teknis-taloudellista tarkastelua oli kartoittaa tähän tarkoitukseen soveltuvia laitteistoja ja niiden soveltuvuutta maataloille (luku 5.2.1). Kannattavuuslaskelmissa huomiottiin myös

mahdollisuudet ansaintaan vapaaehtoisen päästökompensaation markkinoilla myytävien hiilikrediittien kautta.

Toinen laskelma laadittiin KieMaRa-hankkeessa mukana olleelle lihanautatilalle, joka voisi hyödyntää biohiiltä lietelannassa ja tätä kautta omien peltojen lannoituksessa sekä maanparannuksessa. Ylimääräinen pyrolyysilämpö on mahdollista hyödyntää tilan omassa lämpöenergiantuotannossa. Lisäksi hiilikrediittien myynnin kautta tuleva ansainta kiinnosti.

Toinen esimerkkilaskelma laadittiin maatilalle, jonka lämpöenergian tarve on huomattavasti suurempi esimerkiksi pienimuotoisen energiayrittäjyyden kautta. Tässä laskelmassa oletettiin, että biohiiltä tuotetaan sekä myyntiin että omien peltojen maanparannukseen. Tuottoa olisi näin ollen mahdollista saada biohiilen, lämpöenergian sekä hiilikrediittien myynnistä.

5.2.1 Käytettävissä oleva teknologia

Biohiiltä valmistetaan yleensä ns. hidaspyrolyysimenetelmällä, jossa biomassaa kuumennetaan vähähappisissa olosuhteissa hitaasti vain muutamia asteita minuutissa kohti pyrolyysilämpötilaa (300–700°C). Pyrolysoitavan biomassan tulee olla melko kuivaa, vesipitoisuus olisi saatava laitteistosta riippuen alle 30–35 %.

Yksinkertaisimpia hidaspyrolyysiin perustuvia laitteistoja ovat ns. panostoimiset laitteistot eli retortit, joihin pyrolysoitava biomassapanos ladataan kerralla, ja odotetaan, kunnes ladattu panos on pyrolysoitunut (Maaseudun sivistysliitto, 2021; Red Gardens, 2019). Tarjolla on myös automaattisempia jatkuvatoimisia laitteistoja. Jatkuvatoimisuus tarkoittaa sitä, että biomassa kulkee pyrolyysilaitteiston läpi jatkuvana virtana. Syöte siirretään pyrolyysilaitteistoon esimerkiksi ruuvikuljettimilla. Reaktorissa panos siirtyy eteenpäin esimerkiksi siirtoruuvien tai erilaisten melojen avulla tai painovoimaisesti. Yleisimmin pienemmän mittakaavan jatkuvatoimiset hidaspyrolyysilaitteistot ovat tyypiltään ruuvipohjaisia. Tällaiset laitteistot voivat toimia kiinteistön lämmöntuotantoratkaisuna. (Pöyry Finland Oy, 2019, s. 47; Suopajarvi, 2013, ss. 28–35)

Ylijäämälämmön hyödyntämismahdollisuudet panostoisilla laitteistoilla ovat jatkuvatoimisia laitteistoja rajallisempia. Panostoisissa laitteistossa koko ladattu biomassa pyrolysoituu kerralla, ja kaikki pyrolyysilämpö tulee hyödyntää heti tai varastoida. Lisäksi biomassapanoksen lataus ja valmiin biohiilen purku vievät aikaa verrattuna kaupallisten jatkuvatoimisten laitteistojen automaattisiin syöttö- ja purkuruuveihin sekä säkityslaitteistoihin. Näistä syistä KieMaRa-hankkeen teknis-taloudellisessa tarkastelussa keskityttiin jatkuvatoimisiin BioMaconin Farm Edition -malliston pyrolyysilaitteistoihin, jotka ovat lämmitysteholtaan maatilojen lämmöntarpeita vastaavia.

BioMaconin Farm Edition -pyrolyysilaitteistoihin soveltuvat parhaiten puupohjaiset syötteen. KieMaRa-hankkeen sivu- ja jätevirtakartoituksen ja yhteiskehittämisen työpajassa esille tuotujen näkemysten perusteella yksittäisellä maatilalla ei maataloustuotannossa muodostu jatkuvasti pyrolyysiprosessin syötteenä sellaisenaan soveltuvia jäte- tai sivuvirtoja. Toisaalta taas moni maatila tuottaa lämpöenergiansa itse energiapuusta valmistetulla polttohakkeella, ja metsätaloutta harjoittavilla maataloilla energiapuuta saadaan metsähoidon sivuvirtana. Pyrolyysisyötteenä käytettävään polttohakkeeseen voidaan sekoittaa muita maatalouden sivuvirtoja. Puupohjaiseen syötteen sekoitettavia tuotannon sivuvirtoja voisivat olla esimerkiksi olki, viljan esipuhdistusjäte tai pilaantunut rehu.

Biohiilen tuotantomääristä ja omasta tarpeesta riippuen osa tilalla tuotetusta biohiilestä tulisi todennäköisesti myydä eteenpäin. Maatilalla valmistetun biohiilen mahdollisista myyntikanavista käytiin hankkeessa keskustelua alueella toimivan puutarha-alan yrityksen kanssa. Biohiiltä pidettiin hieman kalliina lisäaineena kasvualustoihin. Maatilan tulisi tämä huomioiden itse löytää ylimääräiselle biohiilelle myyntikanavia. Mahdollisia asiakkaita voisivat olla alueen kunnat (viherrakentaminen), lähiseudun viljelijät, tai puutarha-alan yritykset. Toki myös kuluttajamyynä puutarhatuotteena on mahdollista, mutta vaatii enemmän tuotteistamista ja markkinointia. Maanparannus- ja kasvualustakäyttöön tarkoitetun biohiilen raekoko on yleensä pieni, joten hiilen seulominen ei tällaisessa käyttötarkoituksessa olisi kuitenkaan tarpeen.

Biohiiltä tuottava maatila voi hyödyntää biohiiltä myös omien peltojensa maanparannukseen. Maanparannushyötyjen lisäksi biohiilen maanparannuskäytöllä sidotaan hiiltä peltomaahan

pysyvässä muodossa. Biohiilen peltokäytöllä olisi siis potentiaalia vähentää maataloudenkin hiilipäästöjä, mikäli biohiilen sitomia hiilidioksiditonnejakaan ei myytäisi vapaaehtoisen päästökompensaation markkinoilla muun toimijan hyödyksi. Taloudellisia mekanismeja tämänkaltaisille peltoviljelyssä tehtäville hiilensidontatoimenpiteille on kehittymässä, mutta tällä hetkellä viljelijälle hiilensidontatoimenpiteistä koituvaa taloudellista hyötyä on vaikea arvioida.

5.2.2 Investointikustannukset

Kannattavuuslaskelmat tehtiin takaisinmaksuajan menetelmällä. Tarkasteltavaksi investoinniksi valittiin BioMaconin Farm Edition -mallistosta esimerkkitulojen lämpöenergian tarpeita vastaavat jatkuvatoimiset pyrolyysilaitteistot. Valitut laitteistot olivat lämmitysteholtaan 40 kW ja 63 kW. Pyrolyysilaitteistojen investointikustannuksia tiedusteltiin BioMacon GmbH:lta syksyllä 2022. BioMaconin 29.11.2022 toimittamat hinnat on esitetty taulukossa 7. Pyrolyysilaitteiston lisäksi BioMacon myy kuljettimen biohiilen purkua varten sekä biohiilen säkityslaitteen, jotka on hinnoiteltu erikseen (Taulukko 7). BioMaconin pyrolyysilaitteisto tulee asentaa sisätiloihin. Mikäli tilalla ei ole valmiina riittävän suurta paloturvallisuusvaatimukset täyttävää tilaa, kuten vanhaa lämpökeskusta, on investoitava uuteen rakennukseen. Käytännössä tarvitaan uusi lämpökeskus syöttölaitteineen ja syötevarastoineen. Rakentamiskustannuksista käytettiin molemmissa esimerkkilaskelmissa työlukuna 120 000 €.

Taulukko 77. Tarkasteltavien investointien kustannuksia.

Investointikustannukset	€ (veroton)
BioMacon 40 kW	93 500
BioMacon 63 kW	108 900
Biohiilen poistojärjestelmä	15 000
Biohiilen säkitysjärjestelmä	15 000
Muut rakennuskustannukset (arvio)	120 000

Kannattavuuslaskennassa huomioitiin maatilayritysten mahdollisuus saada tukea energiaan liittyviin investointeihin, kuten lämpöenergian tuotantolaitoksiin. Tukikaudella 2014–2022 lämpöenergian tuotantolaitoksiin on ollut mahdollista saada 40 % avustus. (ProAgria Keskusten Liitto, 2016; Ruokavirasto, 2023)

5.2.3 Muuttuvat kustannukset

Muuttuvina kustannuksina laskelmassa käytettiin pyrolyysisyötteenä käytettävän hakkeen arvoa, arvioitua työkustannusta sekä pyrolyysiyksikön sähkönkulutusta. Pyrolyysisyötteenä laskelmaan otettiin energiapuusta valmistettava hake, joka tulisi ainakin osittain esimerkkitulojen omista metsistä. Hakkeeseen on mahdollista sekoittaa esimerkiksi viljan esipuhdistuksesta sivuvirtana muodostuvaa kasvijätettä. Hakkeen arvo laskettiin summaamalla yhteen energiapuun kustannus sekä haketuksen kustannus. Hakkeen kustannukseksi saatiin noin 75–81 €/t riippuen siitä, onko polttihakkeen raaka-aineena käytettävä energiapuu peräisin tilan omista metsistä vai ostettu muualta.

Yrittäjän oman työn arvon määrittämisessä käytettiin apuna Valtioneuvoston asetusta maatalouden rakennetuesta. Kyseisessä asetuksessa säädetään mm. maatalan investointituen myöntämisen ja maksamisen edellytyksistä. Asetuksen kuudennen luvun 20 § on arvioitu maatalousyrittäjän oman työn arvoksi 15 €/h, ja koneella tehdyn työn arvoksi 30 €/t. (Valtioneuvoston asetus maatalouden rakennetuesta 240/2015). Osa pyrolyysilaitteiston käyttämiseen liittyvästä työstä on koneellista työtä, joten laskennassa käytettiin työn arvona 25 €/h.

Kannattavuuslaskennassa käytettiin sähkön hintana 0,1 €/kWh. Kannattavuuslaskennan kohteena olevien BioMaconin pyrolyysilaitteistojen sähkönkulutus, 3 500 W/h, on ilmoitettu laitekohtaisissa esitteissä. (BioMacon GmbH, n.d.)

5.2.4 Tuotot

BioMaconin pyrolyysiyksikkö tuottaa biohiilen lisäksi lämpöä. Tuottoa on mahdollista saada myös hiilikrediittien myynnistä, mikäli biohiilituotanto täyttää jonkin vapaaehtoisen

päästökompensaation markkinoilla käytettävän standardin vaatimukset (Valonia, 2020). Kannattavuuslaskelman tuottopuolelle arvioitiin biohiilestä, lämmöntuotannosta sekä hiilikrediittien myynnistä saatavaa tuloa.

Puro.earth-markkinapaikan myymille CORC-hiilikrediiteille on luotu Nasdaqin referenssihintaindeksejä. Biohiilellä sidottujen hiilidioksiditonni hintaa kuvaavan CORCCHAR-indeksin mukaan yhden krediitin hinta on vuoden 2022 jälkimmäisellä puoliskolla vaihdellut välillä 100–120 €. (Nasdaq Inc., 2023) VTT:n tutkija Esko Salo arvioi, että tällä hetkellä laskennassa voi käyttää yhden hiilikrediitin arvona 100–150 € (henkilökohtainen tiedonanto, 6.2.2023). Hiilikrediittien myynnistä saatavaa tuottoa arvioitiin käyttämällä yhden hiilikrediitin arvona 100 €. Yhden biohiilitonnin tuotannolla voidaan tuottaa noin kolme hiilikrediittiä.

Maanparannusaineena käytettävän biohiilen nykyhinnat ovat luokkaa 1 200–1 300 €/t (Esko Salo, henkilökohtainen tiedonanto, 6.2.2023). Laskelmissa käytettiin biohiilen myyntihintana 1200 €/t. Biohiilen hinnalla tehtiin herkkyysanalyysia, jotta voitiin arvioida, millaisella biohiilen myyntihinnalla tuotanto olisi kannattavaa.

Tilastokeskus tilastoi tuotetun lämmitysenergian hintoja. Tilaston mukaan kaukolämmöllä tuotetun lämmitysenergian hinta on aikavälillä 09/2021–10/2022 ollut lähellä 0,09 €/kWh. (Tilastokeskus, n.d.)

5.2.5 Laskenta ja tulokset: Esimerkkitala 1

Lihanautatilalle (esimerkkitala 1) soveltuvan 40 kW:n pyrolyysilaitteiston vuosittaiset käyntitunnit laskettiin tilan lämpöenergian tarpeen perusteella. Laitteiston käyntituntien perusteella saatiin laskettua biohiilen sekä hiilikrediittien tuotantomäärät. Lihanautatilalle soveltuva 40 kW laitteisto kävisi laskelmien mukaan 2 272,5 tuntia vuodessa. Näillä käyttötunneilla lasketut tuotetun lämpöenergian, biohiilen sekä hiilikrediittien määrät on esitetty taulukoiden 8 ja 9 Määrä -sarakkeessa ja niistä saatava euromääräinen tuotto saman taulukon €/vuosi -sarakkeessa. Kaikki laitteistolla tuotettu biohiili ajateltiin tilan omaan

käyttöön, jolloin biohiilestä ei laskettu saatavan lainkaan tuottoa, vaan tuotto tulisi ainoastaan lämpöenergian ja hiilen sidonnan kautta.

Näillä oletuksilla biohiilituotannon vuotuiseksi nettotuotoksi saatiin 6 900 €. Tällä nettotuotolla laitteiston takaisinmaksuaika on ääretön, kuten taulukon 8 alimmalta riviltä nähdään. Nettotuotto ei siis riitä investoinnin takaisin maksamiseen valitulla 5 % korkokannalla. Taulukossa 9 on esitetty sama laskelma olettaen, että investointiin saadaan 40 % suora investointituki. Edes 40 % suora investointituki ei tee investoinnista kannattavaa.

Taulukko 88. Taulukossa on esitetty kannattavuuslaskennan tulokset esimerkkitalalle 1 olettaen, että laitteistoinvestointiin ei saada investointitukea. Taulukossa alhaalla näkyvä takaisinmaksuaika on oletetuilla tuotoilla, kustannuksilla ja korkokannalla ääretön.

Käyttötunnit	4000 h					
Määrä (yks./vuos						
Kustannukset ja tuotot	▼ €/h	▼ €/kWh	▼ €/t	▼ €/kpl	▼ i)	▼ €/vuosi
Muuttuvat kustannukset						
Sähkö		-0,1			14000	- 1 400,00 €
Raaka-aine (tuotantokustannus)			-75		96	- 7 200,00 €
Henkilötyö	-25				260	- 6 500,00 €
Muuttuvat kustannukset yhteensä						- 15 100,00 €
Tuotto						
Biohiilen myynti			0		20	- €
Lämpöenergian arvo		0,1			160000	16 000,00 €
Hiilikompensaation myynti			100		60	6 000,00 €
Tuotto yhteensä						22 000,00 €
Investointikustannukset						
BioMacon 40 kW				93500		
Biohiilen poistojärjestelmä				15000		
Biohiilen säkitysjärjestelmä				15000		
Muut rakennuskustannukset (arvio)				120000		
Investointi yhteensä				243500		
Vuotuinen nettotuotto						6 900,00 €
Korkokanta	0,05					
Takaisinmaksuaika (vuotta):						
#NUM!						

Taulukko 99. Taulukossa on esitetty kannattavuuslaskennan tulokset esimerkkitalalle 1 olettaen, että laitteistoinvestointiin saadaan 40 % suora investointituki. Taulukossa alhaalla

näkyvä takaisinmaksuaika on edelleen oletetuilla tuotoilla, kustannuksilla ja korkokannalla ääretön.

Käyttötunnit	4000 h					
Määrä (yks./vuos						
Kustannukset ja tuotot	€ /h	€ /kWh	€ /t	€ /kpl	i)	€ /vuosi
Muuttuvat kustannukset						
Sähkö		-0,1			14000	1 400,00 €
Raaka-aine (tuotantokustannus)			-75		96	7 200,00 €
Henkilötyö	-25				260	6 500,00 €
Muuttuvat kustannukset yhteensä						15 100,00 €
Tuotto						
Biohiilen myynti			0		20	- €
Lämpöenergian arvo		0,1			160000	16 000,00 €
Hiilikompensaation myynti			100		60	6 000,00 €
Tuotto yhteensä						22 000,00 €
Investointikustannukset						
BioMacon 40 kW				93500		
Biohiilen poistojärjestelmä				15000		
Biohiilen säkitysjärjestelmä				15000		
Muut rakennuskustannukset (arvio)				120000		
Investointi yhteensä 40 % tuella				146100		
Vuotuinen nettotuotto						6 900,00 €
Korkokanta	0,05					
Takaisinmaksuaika (vuotta):						
#NUM!						

Hiilikrediitin hinnalla tehdyn herkkyyssanalyysin avulla selvitettiin, millaisella hiilikrediitin hinnalla biohiilen tuotanto tilan omaan käyttöön olisi kannattavaa. Herkkyystarkastelun tulokset ovat esitetty kuvassa 4. Vaaka-akselilla esitetään hiilikrediitin hinta ja pystyakselilla hiilikrediitin hinnan perusteella laskettu takaisinmaksuaika. Tuloksesta nähdään, että ilman investointitukea hiilikrediitin hinnan tulisi olla lähes 400 €, jotta investointi olisi kannattava. Mikäli investointiin saataisiin tukea, joka kattaisi 40 % kokonaiskustannuksista, investointi olisi kannattava, jos hiilikrediitin hinta ylittäisi 200 € (kuva 5).

Kuva 4. Hiilikrediitin myyntihinnan vaikutus biohiilituotantoinvestoinnin takaisinmaksuaikaan ilman investointitukea.



Kuva 5. Hiilikrediitin myyntihinnan vaikutus tuetun (40 %) biohiilituotantoinvestoinnin takaisinmaksuaikaan.

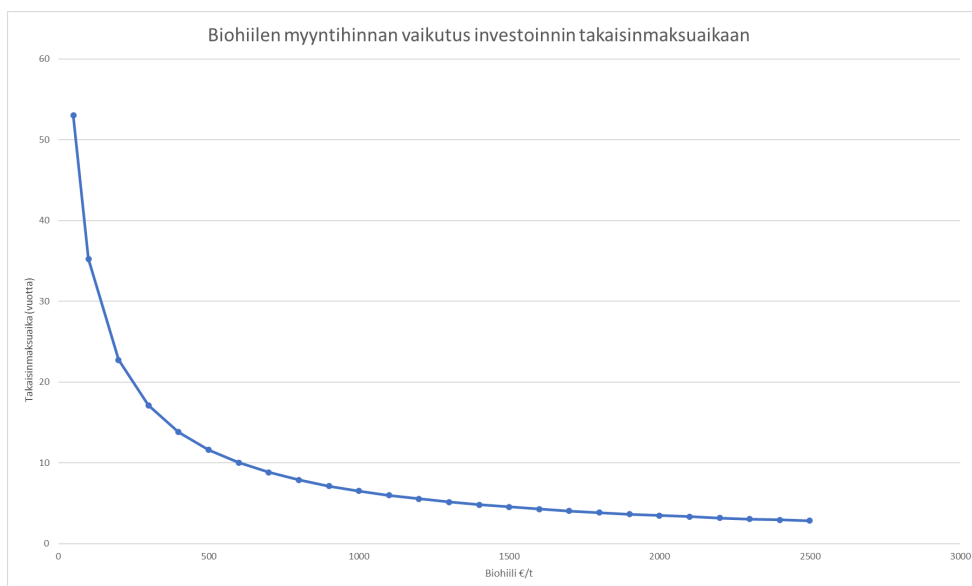


Myös biohiilen hinnalla tehtiin vastaavaa herkkyyssanalyysia. Tässä tarkastelussa hiilikrediitin hintana pidettiin 100 €/kpl. Kuvassa 6 esitetyistä tuloksista nähdään, että ilman investointitukea investointi olisi kannattava, mikäli biohiilestä saadaan tuottoa noin 800 €/t. Mikäli suoraa investointitukea saataisiin 40 %, biohiilen tuoton tulisi olla noin 350 €/t (kuva 7).

Kuva 6. Biohiilestä saatavan tuoton vaikutus biohiilen tuotantoinvestoinnin takaisinmaksuaikaan (ei investointitukea).



Kuva 7. Biohiilestä saatavan tuoton vaikutus tuetun (40 %) biohiilen tuotantoinvestoinnin takaisinmaksuaikaan.



5.2.6 Laskenta ja tulokset: Esimerkkitala 2

Energiayrittäjyyttä harjoittavalle kasvinviljelytilalle (esimerkkitala 2) soveltuvan 63 kW:n pyrolyysilaitteiston vuosittaiset käyntitunnit laskettiin lämpöenergian tarpeen perusteella.

Laitteiston käyntituntien perusteella saatiin laskettua biohiilen sekä hiilikrediittien tuotantomäärät. Esimerkkitalalle 2 soveltuvalle 63 kW pyrolyysilaitteistolle kertyisi käyntitunteja vuodessa noin 6240 tuntia. Näillä käyttötunneilla lasketut tuotetun lämpöenergian, biohiilen sekä hiilikrediittien määrät on esitetty taulukoiden 10 ja 11 Määrä -sarakeessa ja niistä saatava euromääräinen tuotto saman taulukon €/vuosi -sarakeessa.

Biohiilituotannon vuotuiseksi nettotuotoksi saatiin yli 70 000 €. Tällä nettotuotolla investointi on maksettu takaisin neljässä vuodessa (taulukko 10). Investointi näyttää siis laskelman perusteella kannattavalta. Mikäli investointiin saadaan 40 % suora tuki, takaisinmaksuaika lyhenee 2,3 vuoteen (taulukko 11).

Taulukko 1010. Taulukossa on esitetty kannattavuuslaskennan tulokset esimerkkitalalle 2 olettaen, että laitteistoinvestointiin ei saada investointitukea. Taulukossa alhaalla näkyvä takaisinmaksuaika on oletetuilla tuotoilla, kustannuksilla ja korkokannalla neljä vuotta.

Käyttötunnit	6240 h					
Määrä (yks./vuos						
Kustannukset ja tuotot	€/h	€/kWh	€/t	€/kpl	i)	€/vuosi
Muuttuvat kustannukset						
Sähkö		-0,1			21840	- 2 184,00 €
Raaka-aine (tuotantokustannus)			-81		237,12	- 19 206,72 €
Henkilötyö	-25				260	- 6 500,00 €
Muuttuvat kustannukset yhteensä						- 27 890,72 €
Tuotto						
Biohiilen myynti			1200		43,68	52 416,00 €
Lämpöenergian arvo		0,09			393120	35 380,80 €
Hiilikompensaation myynti			100		131,04	13 104,00 €
Tuotto yhteensä						100 900,80 €
Investointikustannukset						
BioMacon 63 kW				108900		
Biohiilen poistojärjestelmä				15000		
Biohiilen säkitysjärjestelmä				15000		
Muut rakennuskustannukset (arvio)				120000		
Investointi yhteensä				258900		
Vuotuinen nettotuotto						73 010,08 €
Korkokanta	0,05					
Takaisinmaksuaika (vuotta):	4,00					

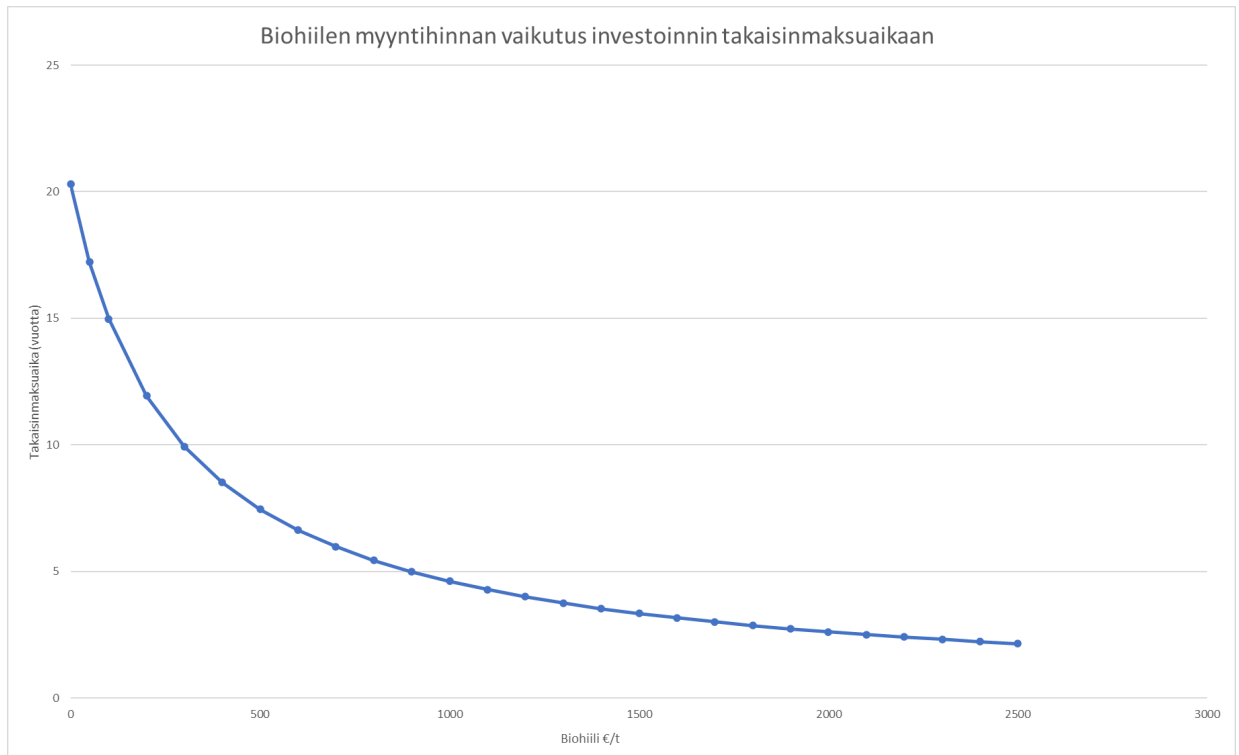
Taulukko 1111. Taulukossa on esitetty kannattavuuslaskennan tulokset esimerkkitalalle 2 olettaen, että laitteistoinvestointiin saadaan 40 % suora investointituki. Taulukossa alhaalla näkyvä takaisinmaksuaika on oletetuilla tuotoilla, kustannuksilla ja korkokannalla hieman yli kaksi vuotta.

Käyttötunnit	6240 h					
Määrä (yks./vuos						
Kustannukset ja tuotot	€ /h	€ /kWh	€ /t	€ /kpl	i)	€ /vuosi
Muuttuvat kustannukset						
Sähkö		-0,1			21840	2 184,00 €
Raaka-aine (tuotantokustannus)			-81		237,12	19 206,72 €
Henkilötyö	-25				260	6 500,00 €
Muuttuvat kustannukset yhteensä						27 890,72 €
Tuotto						
Biohiilen myynti			1200		43,68	52 416,00 €
Lämpöenergian arvo		0,09			393120	35 380,80 €
Hiilikompensaation myynti			100		131,04	13 104,00 €
Tuotto yhteensä						100 900,80 €
Investointikustannukset						
BioMacon 63 kW				108900		
Biohiilen poistojärjestelmä				15000		
Biohiilen säkitysjärjestelmä				15000		
Muut rakennuskustannukset (arvio)				120000		
Investointi yhteensä 40 % tuella				155340		
Vuotuinen nettotuotto						73 010,08 €
Korkokanta	0,05					
Takaisinmaksuaika (vuotta):	2,31					

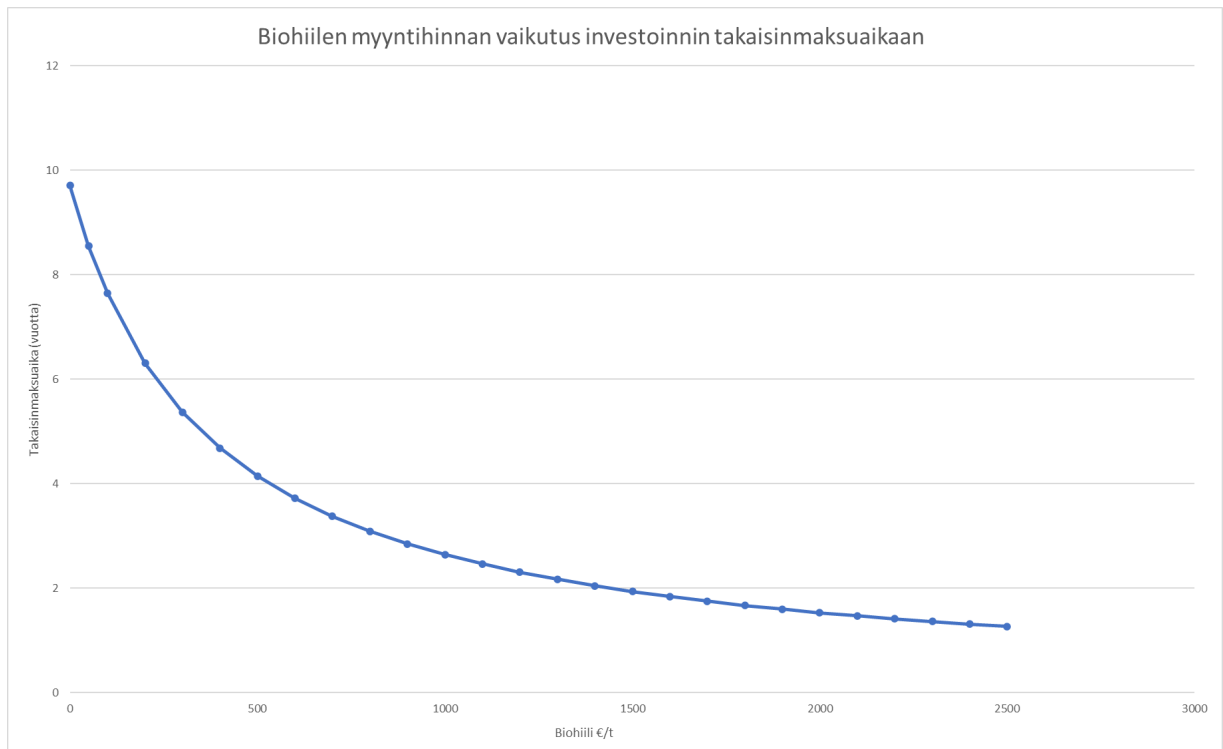
Biohiilen hinnalla tehtiin herkkyystarkastelua, jonka avulla selvitettiin, paljonko biohiilestä tulisi vuosittain saada myyntituottoa, jotta investointi olisi kannattava. Herkkyystarkastelu on esitetty kuvaajalla kuvassa 8. Vaaka-akselilla on biohiilen myyntituotto (€/t), ja pystyakselilla biohiilestä saatavan tuoton perusteella laskettu takaisinmaksuaika. Kuvasta 8 nähdään, että biohiilestä tulisi saada tuottoa noin 100 €/t, jotta takaisinmaksuaika pysyisi alle 15 vuodessa ja investointi olisi kannattava. Biohiilen vuosittainen tuotantomäärä esimerkkilaskelmassa on noin 44 tonnia (taulukot 10 ja 11), jolloin 100 euron tonnihinnalla biohiilestä saadaan tuottoa 4 400 € vuodessa. Mikäli biohiilen myyntihintana olisi kannattavuuslaskelmassa arvioitu 1200 €/t, biohiiltä pitäisi tämän 4400 € vuositulon saavuttamiseksi myydä kaksi tonnia vuodessa.

Kuvassa 9 on esitetty vastaava tarkastelu olettaen, että investointiin saadaan suoraa tukea 40 % kokonaiskustannuksista. Tuloksista nähdään, että takaisinmaksuaika pysyy alle 15 vuodessa, vaikka biohiiltä ei myytäisi ollenkaan.

Kuva 8. Biohiilen myyntihinnan vaikutus biohiililaitteiston takaisinmaksu-aikaan (ei investointitukea).



Kuva 9. Biohiilen myyntihinnan vaikutus tuetun (40 %) biohiililaitteiston takaisinmaksuaikaan.



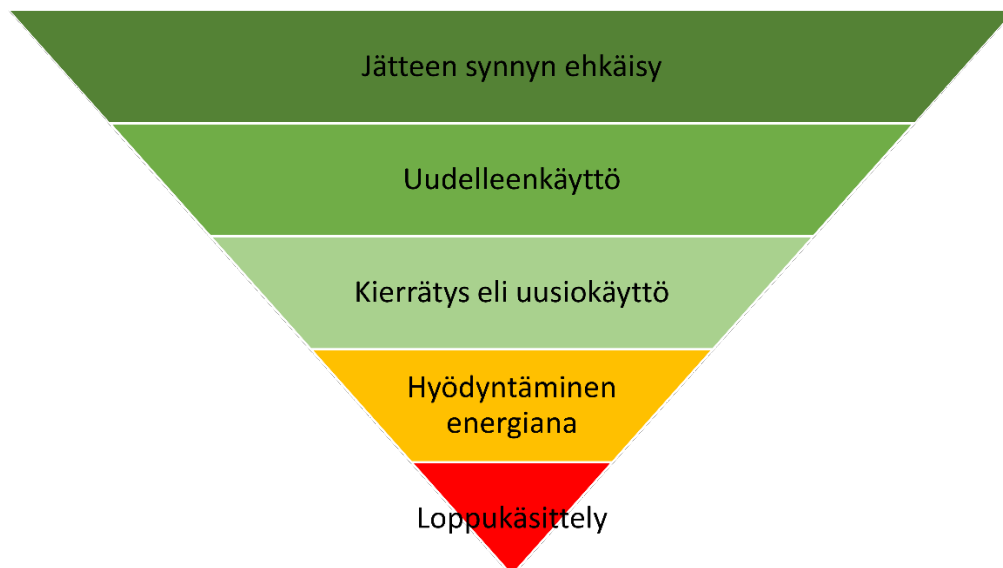
6 Maatalousmuovit materiaalikierrätykseen

Maatalousmuovien materiaalikierrätyksen mahdollisuudet on tiedostettu jo pitkään, mutta tuottajavastuun ulkopuolelle jääville maatalousmuoveille ei ole vielä täysin toimivaa reittiä materiaalikierrätykseen. Maatalousmuovien kierrätettävyys on valtakunnallisesti tunnistettu haaste, joten uusien toimintamallien innovointi on perusteltua. Haasteet liittyvät laaja-alaisesti säilytykseen, kuljetukseen, investointeihin ja riittävän suuriin massoihin (Erälinna & Järvenpää, 2019).

Materiaalikierrätys tarkoittaa, että käytöstä poistetusta materiaalista valmistetaan uutta materiaalia. Muovien kohdalla materiaalin muokkaaminen uuden materiaalin raaka-aineeksi voidaan toteuttaa esimerkiksi mekaanisesti, kemiallisesti tai ns. liuotuskierrätyksenä. Jätehierarkian mukaan jätteet tulisi ohjata ensisijaisesti materiaalikierrätykseen, ja jos tämä ei

ole mahdollista, jätteet ohjataan energiakäyttöön. Jätelainsäädännön mukaan jätehierarkiaa on noudatettava mahdollisuuksien mukaan kaikessa toiminnassa. (Tieteen termipankki, 2018)

Kuva 10. Jätehierarkia. Mukaillen (Bröckl ym., 2021).



KieMaRa-hankkeen pilottitilojen haastatteluissa yhdeksi merkittäväksi sivuvirraksi nauta- ja lammastiloilla nousi maatalousmuovi. Pääosa tästä jätevirrasta on säilörehupaalien kiristekalvomuvia eli ns. paalimuovia. Maatalousmuovia muodostui KieMaRa-hankkeen pilottitiloilla tilojen omien arvioiden mukaan 400–6000 kg vuodessa. Paalimuovijätteen määrä riippuu eläinten lukumäärästä ja karkearehun säilöntätavasta. Karkearehua voidaan varastoida joko muoviin käärityissä säilörehupaaleissa tai laakasiiloissa muovipeitteillä peitettynä.

Usealla pilottitilalla paalimuovit noudettiin tilalta joko energiajätteenä tai polttoon menevänä sekajätteenä. Energia- ja sekajätteen noutaa tiloilta usein kunnallinen jätehuoltopalvelu. Maatilayrityksen on mahdollista saada jätehuoltopalvelu kunnan kautta, mikäli tarvittavan palvelun arvo alittaa 2 000 € vuodessa. Jos yrityksen tarvitseman jätehuoltopalvelun arvo ylittää 2 000 € vuodessa, velvoittaa jätelaki kunnan toissijaista jätehuoltopalvelua tarvitsevat jätteenhaltijat, eli jätettä tuottavan yrityksen, kilpailuttamaan em. palvelun Materiaalitori-palvelussa (Materiaalitori, n.d.-a; Materiaalitori, n.d.-b). Materiaalitori on digitaalinen tietopalusta, joka on tarkoitettu yritysten ja organisaatioiden jätteiden ja tuotannon

sivuvirtojen ammattimaiseen vaihdantaan. Kunnan jätehuoltopalveluiden käyttöön ovat oikeutettuja ne toimijat, jotka eivät saa tarvitsemaansa jätehuoltopalvelua Materiaalitorin kautta yksityisiltä palveluntuottajilta.

KieMaRa-hankkeen pilottitiloista osa oli käyttänyt erillistä lajitellun maatalousmuovin maksullista nouto- ja keräyspalvelua. Lisäksi useampi tila oli tietoinen kyseisestä palvelusta, mutta ei ollut toistaiseksi käyttänyt sitä. Noutopalvelua tarjoava toimija ohjeistaa pakkausmuoveihin kuulumattoman maatalousmuovin lajittelussa ja varastoinnissa ja noutaa muovit suoraan maataloilta. Ravistelupuhtaille ja ohjeistuksen mukaan lajitelluille maatalousmuoveille noutomaksu on pienempi kuin likaisille tai ohjeiden vastaisesti lajitelluille muoveille. Noutopalvelun kautta maatalousmuovit päätyvät mekaaniseen kierrätykseen.

Keräyspalvelu koettiin osalla palvelua käyttäneistä tiloista epävarmaksi ja epäsäännölliseksi. Noutoväli venyi helposti liian pitkäksi. Osa haastatelluista tiloista piti palvelua kalliina esimerkiksi kunnallisen jätehuoltopalvelun noutohintoihin verrattuna ja mainitsi suurten muovimäärien varastoinnin kasalla epämiellyttäväksi, koska pihalla olevat ja hieman rehujäämiä sisältävät paalimuovit näyttävät epäsiisteiltä ja houkuttelevat jysijöitä. Tiloilla oli myös epäselvyyttä siitä, millä perusteilla noudettavat muovit luokitellaan puhtaaksi tai likaiseksi muoviksi. Tämä oli tilallisille oleellinen tieto, sillä puhtaan muovin noutohinta on edullisempi. Toisaalta myös polttokelpoisen jätteen varastointiin tarkoitetut säännöllisesti tyhjennettävät jäteastiat täyttyvät nopeasti paalimuoveista säilörehupaaleja käyttävillä tiloilla, jolloin astioita on joko oltava useampia tai tyhjennysväli pidettävä lyhyenä. Pilottitilojen näkemysten mukaan maatalousmuovien noutopalvelun palvelukonseptissa nähtiin edellä mainituista syistä olevan parantamisen varaa.

6.1 Muovien kierrätyksen teknologiaa

Muoveja voidaan saattaa materiaalikierrätyksen piiriin joko kierrättämällä niitä mekaanisesti, kemiallisesti tai ns. liuotuskierrätyksenä. Mekaaninen kierrätys vaatii hyvin lajiteltuja jätemuoveja. Mekaanisessa kierrätyksessä muovilajit erotellaan puhtaaksi fraktioksi, puhdistetaan ja sulatetaan uudelleen muovigranulaatiksi. Muovigranulaatti on uusien muovituotteiden raaka-ainetta. Mekaanista kierrätystä rajoittaa se, että

kierrätysmuovigranulaateista valmistettu muovi ei kelpaa kaikkiin sovelluksiin, kuten esimerkiksi elintarvikepakkauksiin tai korkeiden teknisten vaatimusten muovituotteisiin. Kierrätysmuovigranulaateista valmistetuilla muovituotteilla on kuitenkin muovien materiaalkierrätyksen teknologioista alhaisin hiilijalanjälki. (Härkönen, 2023)

Paalien kiristekalvot ovat polymeeriteknisesti mekaanisen kierrätyksen kannalta huipputuote (Tuomisaari, 2021). Paalimuovi on valmistettu helposti kierrätettävästä matalatiheyksisestä polyeteenistä (PE-LLD), ja mekaanisen kierrätyksen kautta näistä muoveista voidaan valmistaa uusia kalvotuotteita, kuten paalimuoveja. Mekaaniseen kierrätykseen tulevan paalimuovin mukana on kuitenkin kiviä sekä maata melko paljon, jopa 20 painoprosenttia. Mekaanisen kierrätysprosessin esikäsittelyvaiheessa prosessiin tuleva muovi menee murskattavaksi, pestäväksi, sulatettavaksi ja suodatettavaksi. Murskauksen ja pesun jälkeen jäljelle jäävä massa sulatetaan, ja siitä suodatetaan $>0,1$ mm partikkelit pois ennen massan siirtämistä kalvonvalmistajalle. Muovin mukana oleva maa- ja kiviaines saadaan siis esikäsittelyprosesseissa tällä tavoin poistettua, mutta kivet kuluttavat murskauslaitteita ja hiekka tukkii suodattimia, joten suuri määrä kiviä ja hiekkaa aiheuttaa tätä kautta ylimääräisiä kustannuksia. (Tuomisaari, 2021; Muovien kierrätys, n.d.)

Kemiallisessa kierrätyksessä muovi nesteytetään uudeksi petrokemian raaka-aineeksi. Nesteytyksessä muodostuvista monomeereistä voidaan tehdä mihin tahansa käyttöön soveltuvaa, neitseellistä muovia vastaavaa muovilaatua. Kemiallisen kierrätyksen hiilijalanjälki on suurempi kuin mekaanisen kierrätyksen, ja menetelmän saanto jää yleensä 50 %:n paikkeille. Pyrolyysi eli hapeton kuumentaminen on kemiallisen kierrätyksen menetelmistä tällä hetkellä eniten kiinnostusta herättävä. Vaikka pyrolyysiprosessiin voidaan syöttää hyvin sekalaista muovia, aivan kaikkia muovilaatuja tälläkään menetelmällä ei voi kierrättää. (Härkönen, 2023)

Liuotuskierrätys on mekaanisen ja kemiallisen kierrätyksen välimuoto. Menetelmässä kierrätettävästä muovista liuotetaan selektiivisellä liuottimella tietyt muovilaadut, jotka saadaan irrotettua materiaalista puhtaana. Käytetty liuotin voidaan käyttää uudelleen. Menetelmän hiilijalanjäljen koko sijoittuu mekaanisen ja kemiallisen kierrätyksen väliin. Liuotuskierrätyksen tuloksena saatava muovilaatu on myös melko hyvä. (Härkönen, 2023)

6.2 Maatalousmuovien materiaalikierrätyksen nykytilanne

Suomeen on alkuvuonna 2023 perustettu Suomen Uusimuovi Oy:n koordinoima maatalousmuovien kierrätysyhteisö Maatalousmuovien Kierrätys Oy, joka on ottamassa vastuun valtakunnallisen järjestelmän kehittämisestä maatalousmuovien laajamittaista keräämistä ja kierrättämistä varten. Suomen Maatalousmuovien Kierrätys Oy:n tarkoituksena on saada maatalousmuovien valmistajat, maahantuojat ja myyjät ottamaan tuottajavastuun maatalousmuoveista, vaikkei lakisääteistä velvoitetta tähän olekaan. Yhtiö tulee kehittämään toimintamallin, jolla vapaaehtoisen tuottajavastuun piiriin tulevat maatalousmuovit kerätään ja kierrätetään kustannustehokkaasti. Suomen Uusimuovi Oy:n tiedotteessa Mika Surakka arvioi, että keräys tullaan järjestämään joko pop up-keräyspisteillä, tai ennakkotilausten perusteella tehtävin tilanoudoin. Yhtiö tulee tiedotteen mukaan hyödyntämään myös olemassa olevia maatalousmuovien keräyksen toimintamalleja. Keräyksen piiriin tulevat paali- ja aumamuovit, paalinarut ja -langat, verkot, siilopeitteet ja kauppapuutarhojen muovit. (Sumi Oy, 2023b)

Tällä hetkellä Suomessa on muutamia toimijoita, jotka noutavat maatalousmuovia tiloilta mekaaniseen kierrätykseen. Valtaosa mekaaniseen kierrätykseen noudettavasta maatalousmuovista toimitetaan muoveja kierrättävälle ja jatkojalostavalle yritykselle Merikarvialle. Maatalousmuovien likaisuus sekä vastaanottokapasiteetti rajoittavat maatalousmuovien vastaanottoa mekaaniseen kierrätykseen, jolloin palvelussa on toisinaan katkoja.

Maatalousmuoveja ei ole tällä hetkellä mahdollista kierrättää kemiallisesti Suomessa, mutta muovien kemiallista kierrätystä on yleisesti viety Suomessa eteenpäin, ja tänä vuonna muovipakkausten kemiallinen kierrätys alkaa ensimmäistä kertaa teollisessa mittakaavassa. (Sumi Oy, 2023a)

6.3 Maatalousmuovien materiaalikierrätysmahdollisuuksien tarkastelu

Hankkeessa ryhdyttiin selvittämään, millaisia vaihtoehtoja maatalousmuovien kierrätykseen on löydettävissä, ja mikä olisi tiloille tällä hetkellä paras ratkaisu. Lisäksi haluttiin selvittää,

voisiko maatalousmuovien kemiallinen kierrätys olla uusi, innovatiivinen ratkaisu ”likaisten” maatalousmuovien materiaalikierrätyksen haasteisiin. Kehitettävien ratkaisumallien ei nähty olevan ristiriidassa uuden maatalousmuovien vapaaehtoisen tuottajayhteisön tavoitteiden kanssa, vaan tukevan niitä. Mahdollisesti tulevaisuudessa Suomen Maatalousmuovien Kierrätys Oy -kierrätysyhteisön kautta tulevilla euroilla maatalousmuovien materiaalikierrätys saadaan tiloille kannattavammaksi toiminnaksi.

Suomesta löytyi yksi muoveja (pääasiassa renkaita) kemiallisesti pyrolyysin avulla kierrättävä yritys. Kyseinen yritys oli kiinnostunut mekaaniseen kierrätykseen kelpaamattomien maatalousmuovien pyrolysoinnista. Yritys pyrolysoi muovit öljytuotteiksi, jotka kuljetetaan jatkojalostettavaksi Nesteen Porvoon jalostamolle, jossa se nesteytetään ja jalostetaan edelleen uusiomuovin raaka-aineeksi. Hankkeessa haluttiin tarkastella, olisiko tämä hyödyntämisreitti kustannustehokkaampi ratkaisu tilojen näkökulmasta maatalousmuoveille, joiden likaisuus tai laatu aiheuttaa haasteita mekaaniselle kierrätykselle.

Maatalousmuovien uusia käsittelyratkaisuja selvitettäessä löytyi maatilakäyttöön tarkoitettuja maatalousmuovien lämpöpaalaimia kehittänyt yritys. Yritys on kehittänyt paalainta, joka puristaa muovia kuumen tunnelin läpi suunnikkaan muotoisiksi paaleiksi, jonka halkaisija on noin 30 senttiä ja paalin pituuden voi määrittää itse. Hankkeessa lähdettiin selvittämään yhteistyössä lämpöpaalaimia kehittäneen yrityksen sekä muoveja kemiallisesti kierrättävän nokialaisen yrityksen kanssa, miten lajittelematon tai likainen paalimuovi soveltuisi paalaimella esikäsiteltynä yrityksen pyrolyysiprosessiin, ja minkä laatuista öljytuotetta siitä saadaan. Laitteistolla paalattu muovi ei kuitenkaan soveltunut nokialaisen yrityksen pyrolyysiprosessiin, koska paali ei ole sisäosista riittävän sulanut, vaan hajoaa kalvomaisiksi liuskoiksi. Näin ollen maatalousmuoville ei yritysytteistyöstä huolimatta löydetty toimivaa reittiä kemialliseen kierrätykseen. Mahdollisesti tulevaisuudessa muovien mekaanisten kierrätyslaitosten rinnalle rakentuu kemiallisen kierrätyksen laitoksia, joihin ohjataan vaikeammat muovijätelaadut.

Koska maatalousmuovin reittiä kemialliseen kierrätykseen ei löydetty, tarkasteltiin tarkemmin tilojen nykyisiä mahdollisuuksia maatalousmuovien materiaalihyödyntämisen edistämässä, ja pyrittiin rakentamaan tiloille myös taloudellisesti houkuttelevaa vaihtoehtoa tähän. Tällä

hetkellä tiloilla olisi mahdollista säästää maatalousmuovijätteestä koituvissa kustannuksissa parantamalla tilakohtaisia muovin säilytysratkaisuja, jolloin muovit kelpaisivat paremmin mekaanisesti valmistettavan kierrätysmuovigranulaatin raaka-aineeksi. Tällaisella raaka-aineella on enemmän arvoa kuin energiapolttoaineella, josta yleensä peritään porttimaksu vastaanottopaikassa.

Päijät-Hämeen alueella toimiva yritys on noutanut väreittäin lajiteltua, ravistelupuhdasta paalimuovia veloitusetta ja toimittanut muovin mekaaniseen kierrätykseen. Verkkoja ei oteta vastaan, ja muovien pitää olla noudettavissa tasaiselta piha-alueelta, josta lastaus onnistuu helposti, eikä ylimääräistä maa-ainesta joudu kuormaan mukaan. Muovit voivat olla taivasalla eikä pieni kastuminen haittaa. Heidän toimintamallinsa vaikuttaisi olevan logistisesti tehokas, ja osoittaa, että oikein lajitellulla ja varastoidulla maatalousmuovilla on kuljetuskustannukset kattavaa taloudellista arvoa uusiomuovin raaka-aineena. Minimिनoutomäärä on noin viisi tonnia kerrallaan ja selvitystyön edetessä todettiin, että viisi tonnia paalimuovia on kuitenkin monelle tilalle haastava varastointimielessä: jos yhdessä rehupaalissa on 1,5 kg käärintämuovia, 5 000 kiloa tarkoittaa yli 3 000 rehupaalin muoveja (Erälinna & Järvenpää, 2019).

Suuren muovimäärän varastointia tilalla helpottaisi jätepaalaimen käyttö, joka puristaisi muovin pienemmiksi paaleiksi. Tilan olisi mahdollista saada tällainen jätepaalain käyttöön esimerkiksi leasing-sopimuksen kautta, ja näin oli yksi KieMaRa-hankkeen tiloista jo tehnyt. Kyseisellä tilalla valkoiset käärintämuovit paalattiin noin 200 kg painaviksi, eurolavalle (80 cm x 120 cm) mahtuvaksi paaliksi. Yhteen jätepaaliin saadaan paalattua noin 120 rehupaalin muovit. Mahdollisuuksia jätepaalainten liisaukseen tiedusteltiin kahdelta yritykseltä. Toisen yrityksen mukaan maatiloille soveltuvat yleensä keskikokoiset ja suuret paalaimet, koska tiloilla on konekalustoa painavampienkin paalien käsittelyyn. Tällaisille laitteille saatiin suuntaa antavat hinnat sekä leasing-maksut kuuden vuoden leasing-sopimuksella. Jätepaalaimen leasing-maksun perusteena on kuuden vuoden leasing-aika, jonka jälkeen paalain jää tilan omistukseen. Paalaimen arvioitu käyttöikä on 25 vuotta.

6.4 Teknis-taloudellinen tarkastelu

Tässä tarkastelussa keskitytään konseptiin, jossa paalien kiristekalvot noudetaan lajiteltuna ja oikein varastoituna suoraan tiloilta. Tarkoitus olisi kerralla noutaa niin suuri määrä, että noudosta ei tule tiloille kustannuksia. Isommille nauta- ja lammastiloille tämä on todennäköisesti käytännöllisin vaihtoehto, sillä muovijätettä syntyy tilalla paljon ja tilat ovat usein kaukana asutuskeskuksista sekä toisistaan, jolloin muovijätteen kuljettaminen alueelliselle keräyspisteelle saattaa viedä puolikkaan päivän verran työaikaa viikossa.

Mikäli paikallisesti innostusta ja edellytyksiä yhteiskeräyspisteen perustamiseksi on, sellaisen perustaminen olisi todennäköisesti järkevää. Jätepaalaimen hankkiva maatila voisi esimerkiksi tarjota maksullista kiristekalvojen paalaus- ja varastointipalvelua muille lähialueen tiloille. Tässä tapauksessa tulee huomioida, että Suomessa kaikki ammattimainen jätteenkäsittely vaatii ympäristöluvan. Pienempien käsittelymäärien kohdalla ympäristöluvan myöntää kunta.

6.4.1 Kustannusvertailu

Tässä esitetään teknis-taloudellinen tarkastelu, jossa verrataan säilörehupaaleja käyttäville nauta- ja lammastiloille paalimuovista tulevia kustannuksia kahdessa tilanteessa:

- A. Maatilalta noudetaan 660 litran jäteastioihin käsin sulletut paalimuovit polttokelpoisena jätteenä, kun astiat ovat täynnä.
- B. Maatilalta noudetaan veloituksetta tilalla paalatut paalimuovit isoissa, vähintään noin viiden tuhannen kilon erissä. Paalaus tehdään varastoinnin helpottamiseksi. Paalimuovit lajitellaan väreittäin ennen paalausta, ja niiden on oltava ravistelupuhdaita.

Tiloilla muodostuvan kiristekalvojätteen määrän arvioinnissa on käytetty seuraavia lähtötietoja:

- Energiajätteen tilavuuspaino: 24 kg/m³.
- Kiristekalvomuovin määrä: 1,5 kg/paali.

Tiloilla on yleisesti käytössä 660 litran tyhjennettävät jäteastiat. Yllä olevista luvuista voidaan laskea, että yhteen 660 litran jäteastiaan mahtuu vajaa 16 kg muovia, eli hieman yli 10 säilörehupaalin muovit.

Jäteastian tyhjennyshinnat vaihtelevat alueittain, joten jätehuollosta koitua kustannus riippuu yhden tyhjennyksen hinnasta. Vuosikustannuksia mallinnettiin erilaisia paalimääriä käyttäville tiloille käyttäen muuttujana jäteastian tyhjennyshintaa (1–39 €/tyhjennys).

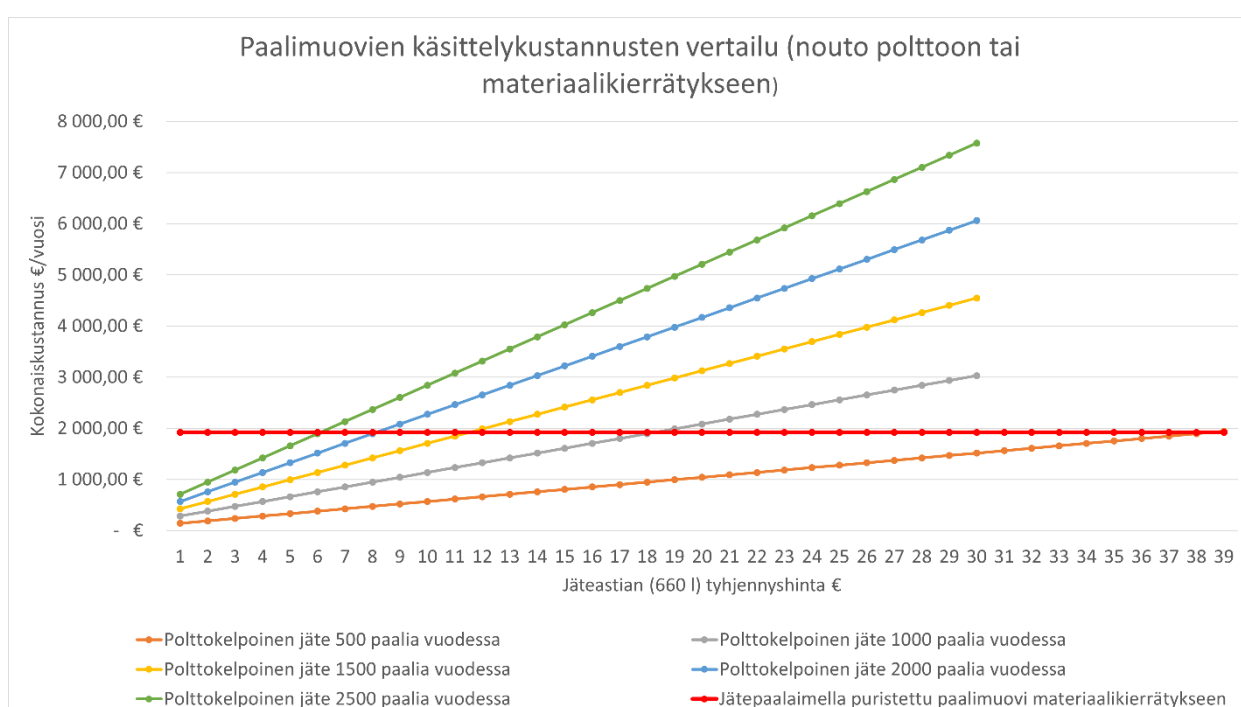
- Skenaario 1: tila, joka käyttää 500 säilörehupaalia vuodessa (47 tyhjennystä).
- Skenaario 2: tila, joka käyttää 1000 säilörehupaalia vuodessa (95 tyhjennystä).
- Skenaario 3: tila, joka käyttää 1500 säilörehupaalia vuodessa (142 tyhjennystä).
- Skenaario 4: tila, joka käyttää 2000 säilörehupaalia vuodessa (189 tyhjennystä).
- Skenaario 5: tila, joka käyttää 2500 säilörehupaalia vuodessa (237 tyhjennystä).
- Skenaario 6: tila, joka hankkii leasing-sopimuksella jätepaalaimen (ilmainen nouto).

Kaikkien skenaarioiden vuosikustannukset on esitetty kuvaajilla kuvassa 11. Polttokelpoisen jätteen noudon vuosikustannus määräytyy tarvittavien tyhjennyskertojen ja astian tyhjennyshinnan tulona. Jokaisen skenaarion vuosikustannus riippuu jäteastian tyhjennyskerran hinnasta. Vuosikustannus on esitetty 1–39 € tyhjennyshinnoilla. Jätealan toimijoilta saatujen suullisten tietojen mukaan todelliset jäteastian tyhjennysmaksut ovat luokkaa 5–20 €. Mikäli tila hankkii leasing-sopimuksella jätepaalaimen (skenaario 6) ja saa muovit veloituksetta materiaali kierrätykseen, vastaa paalimuoveista tuleva kustannus jätepaalaimen leasing-maksua, jolloin vuosikustannus on vakio (arvioitu leasing-maksu 160 €/kk eli 1920 €/vuosi).

Kuvasta 11 nähdään, että yli 2 000 paalin muovit aiheuttavat tiloille alle 10 euron tyhjennysmaksulla yli 2 000 euron kustannuksen, mikäli paalimuovit noudetaan tilalta polttokelpoisena tai energijätteenä. Tällä vuosikustannustasolla tulee maatilayrityksen huomioida nykyisen jätelainsäädännön vaatimukset. Jätelaki edellyttää, että mikäli kunnalta hankittavan jätehuoltopalvelun arvo ylittää 2 000 € vuodessa, voi kunta tarjota kunnallista jätehuoltopalvelua ainoastaan, mikäli muuta palveluntarjoajaa ei löydy. Muun palveluntarjonnan puutteen osoittaminen tulisi tehdä ilmoittamalla tarjolla olevasta jätteestä

Motivan ylläpitämässä Materiaalitori-palvelussa (Materiaalitori, n.d. -a). Toki on huomioitava, että usein myös yksityiset jätteenkäsittelijät noutavat jätteen tiloilta polttokelpoisen jätteen tyhjennysmaksua vastaan.

Kuva 11. Paalimuovijätteen käsittelyn vuosikustannuksia. Punaisella on esitetty jätepaalaimen leasing-sopimuksen vuosikustannus. Muilla kuvaajilla on esitetty polttokelpoisen jätteen noudon vuosikustannuksia erilaisilla säilörehupaalikulutuksilla (500, 1000, 1500, 2000 ja 2500 paalia vuodessa). Näissä kuvaajissa muuttujana (vaaka-akseli) on käytetty jäteastian tyhjennyshintaa 1–39 €.



Kuvaajalta nähdään, että kustannusvertailun mukaan yli 1000 säilörehupaalia vuodessa käyttävä tila säästäisi rahaa jätepaalaimen hankinnalla, mikäli jäteastian tyhjennysmaksu on yli 20 €. Tämä hinta on nykyisten tyhjennyshintojen yläpäässä. Esimerkiksi Kanta-Hämeen alueella toimivan kunnallista jätehuoltopalvelua tarjoavan Kiertokapulän tyhjennyshinta 660 litran jäteastialle on vuonna 2023 ollut 12,28 € (sis. Alv 24 %). Tilalla, joka käyttää noin 1500 säilörehupaalia vuodessa, jätepaalaimen hankinta on kannattavaa, jos jäteastian tyhjennysmaksu on 12 € luokkaa tai enemmän. Mahdollisen kustannussäästön lisäksi ratkaisu luonnollisesti edistää kiertotaloutta, kun paalatut muovit noudetaan materiaalikierrätykseen energiakäytön sijaan jätehierarkian periaatteita noudattaen. Pienempien tilojen kohdalla

tämän kokoluokan jätepaalaimen hankinta ei ole taloudellisesti kannattavaa. Vuonna 2023 perustettu kierrätysyhteisö Suomen Maatalousmuovien kierrätys Oy tulee kehittämään lakisääteisen tuottajavastuun ulkopuolelle jäävän maatalousmuovin kierrätyksen toimintamallia, ja tulevaisuudessa maatalousmuovien maksuton kierrätys voi tätäkin kautta tulla mahdolliseksi pienemmille tiloille.

7 Porkkanasivuvirtaa rehuksi

Elintarvikkeena myytävän porkkanantuotannon sivuvirtana syntyy myytävän tuotteen lisäksi niin sanottuja kakkos- ja kolmoslaadun porkkanoita. Kakkoslaatuinen porkkana on hyvälaatuinen, elintarvikekelpoinen porkkana, jota useimmiten markkinoista johtuen jää myymättä varastointiajan puitteissa. Kolmoslaadun porkkanat ovat säilyvyyden rajoilla häilyvää kakkoslaatuista, esimerkiksi liian pieniä, suuria tai katkenneita, mutta muutoin elintarvikekelpoisia porkkanoita. Kakkos- ja kolmoslaatuisia porkkanoita voi syntyä hyvinkin merkittäviä määriä suhteutettuna kokonaissatoon, minkä vuoksi erityisesti kakkoslaatuiselle porkkanalle olisi syytä olla olemassa vaihtoehtoinen markkina.

Kakkoslaatuinen porkkana myydään yleensä hieman kauppalaatua edullisemmin, mutta tuotannolle saadaan vielä katetta. Kolmoslaatuisesta porkkanasta ei välttämättä makseta mitään, vaan se joudutaan toimittamaan vastikkeetta esimerkiksi riistaeläinten ruokintaan. Tältä osin tulo siis jää saamatta vaikka potentiaalia olisi, jolloin luonnollisesti kolmoslaatuun päätymistä on syytä välttää kaikin keinoin. Tarkastelemme seuraavassa pääosin sitä, miten kakkoslaatuiselle tuotteelle saataisiin mahdollisimman paljon menekkiä, jotta tuotetusta sadosta saataisiin mahdollisimman paljon tuloa. Tarkastelu on tehty näkökulmalta, jossa pyritään välttämään merkittäviä investointeja ja merkittävää työn lisäystä. Investoinneilla sekä työn määrää lisäämällä voisi mahdollistua korkean lisäarvon tuotteeksi jalostaminen, esimerkiksi arvojakeiden erottaminen porkkanasta.

7.1 Porkkanasivuvirran rehukäytön mahdollisuudet ja markkinat

Rehulla tarkoitetaan tuotantoeläinten, lemmikkieläinten tai villieläinten ruokintaan tarkoitettua tuotetta kuten rehuainetta, rehuseosta, rehun lisäainetta tai esiseosta. Myös

elintarviketuotannon sivujakeina syntyvät eläinten ravinnoksi käytettävät tuotteet ovat rehuja.

Rehualan toimijoita ovat pääsääntöisesti kaikki rehuketjun osallistujat alkutuotannosta kaupan portaaseen asti. Suurin osa maataloista on rehualan toimijoita. Toimijoita ovat myös esimerkiksi rehun lisäaineiden ja esiseosten valmistajat, rehutehtaat, turkisrehu- ja lemmikkieläinruokalaitokset, rahtisekoittajat, sivujakeita rehuksi toimittavat elintarvikealan laitokset, kuljetusliikkeet ja varastointilaitokset, maahantuoja, jakelijat, välittäjät sekä tukku- ja vähittäiskauppiat lemmikkieläinruokien vähittäiskauppaa lukuun ottamatta.

Rehuja tuottavan ja markkinoivan yrityksen on rekisteröidyttävä rehualan toimijaksi ja kannettava vastuu tuotteiden turvallisuudesta. Rehualan toimijalla on ilmoitus-, tiedonanto-, laadunvarmistus- ja kirjanpitovelvollisuus. Rehualan toiminnan viranomaisvalvonnasta vastaa Ruokavirasto. Lisätietoja: www.ruokavirasto.fi/elaimet/rehut/rehut-ja-rehualan-toimijat/.

Rehukäytössä tulee huomioida rehuihin liittyvä lainsäädäntö eli rehulaki (Rehulaki 1263/2020). Lain mukaan rehun ainesosien tulee olla vaatimusten mukaisia, aitoja, hyvälaatuisia sekä eläinten ravitsemukseen sopivia. Rehu ei saa sisältää haitallisia aineita eikä eliöitä siten, että sen käytöstä voi aiheutua vaaraa ihmisten tai eläinten terveydelle. (Männistö, 2018) Rehu ei myöskään saa sisältää salmonellabakteeria.

Vastuu rehujen laadusta ja turvallisuudesta on kaikissa tuotannon, jalostuksen ja jakelun vaiheissa rehualan toimijoilla (EU N:o 178/2002). Rehun valmistajan on korvattava vahinko, joka ammattikäytössä aiheutuu ostajalle siitä, jos rehu ei täytä rehulainsäädännön vaatimuksia. Vahingonkorvausvelvollisuutta ei ole, jos valmistaja todistaa, että rehussa ei ollut vahingon aiheutunutta virhettä silloin, kun hän sen saattoi markkinoille. (Rehulaki 86/2008 48 §)

Vakuutusyhtiöillä on tarjolla tuotevastuuvakuutus, joka vakuutusyhtiön ehtojen mukaisesti korvaa tuotteen aiheuttaman esine- tai henkilövahingon. Tuotevastuuvakuutuksen voimassa ollessa henkilö- ja esinevahingon kärsineelle korvataan myös vahingosta välittömästi seuraava taloudellinen menetys tai kustannus. Rajoitusehtoja kuitenkin on. Tuotteen liikkeelle laskija voi olla korvausvastuussa varsinkin ankaran vastuun alaisessa toiminnassa sellaisissa

tilanteissa, joita vakuutus ei kata. Normaalin yrityksen (myös maatilan) vastuuvakuutuksesta on tuotteen aiheuttamat vahingot suljettu pois. Korvattavana vahinkona ei pidetä sitä, että tuotteella ei ole luvattua vaikutusta.

7.2 Tuotantoeläinten rehu

Kakkoslaadun porkkanalle yksi merkittävä markkina on myynti hevosporkkanana. Hevosporkkana myydään sellaisenaan, kuitenkin pestynä ja säkitettynä. Pääasiallinen markkinakanava on suoramyynti talleille tai myynti erilaisissa hevostapahtumissa. Tämänkaltaiselle myynnille on kuitenkin rajalliset markkinat.

Varsinaisille tuotantoeläimille porkkana ravintoarvoiltaan soveltuu käytettäväksi, mutta käytännössä porkkanan rehukäyttö tuotantoeläimille kaatuu useimmiten siihen, että porkkana vaatii melko paljon työtä siitä saatuun hyötyyn nähden. Porkkanan käsittely ja säilytys tiloilla voi olla haastavampaa kuin ns. perinteisten rehukomponenttien, sillä porkkana vaatii säilyäkseen joko kylmätiloja tai esimerkiksi fermentointia. Sikojen virikerehuksi porkkana soveltuu hyvin, mikäli tilalla on mahdollista varastoida porkkanaa viileässä.

Mikäli tuotantoeläinten rehukäyttöön haluaa paneutua tarkemmin, on Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus -julkaisuna julkaistu Hyvä tapa toimia -ohje otsikolla Kasvissivut tuotteiden hyödyntäminen rehuna ja maanparannusaineena. Ohje löytyy osoitteesta: <https://juku.luke.fi/handle/10024/541635>.

7.3 Lemmikkieläinten rehu

Teollisessa lemmikkieläinten rehu tuotannossa on useita erilaisia hyödyntämismahdollisuuksia porkkanoille. Porkkanaa on mahdollista lisätä kuivattuna ja jauhettuna erilaisiin kuivaruokiin, keitettynä ja paloitetuna märkäruihin, sekä kuivattuna ja paloitetuna erilaisiin pieneläinten rehuseoksiin tai herkkutuotteisiin. Kaikki hyödyntämismahdollisuudet vaativat porkkanan esikäsittelyä, mutta tuotteesta ja valmistajasta riippuen raaka-ainetta voidaan käyttää merkittäviä määriä, ja raaka-aineesta maksetaan kohtuullinen korvaus korkeamman jalostusarvon vuoksi.

7.4 Rehuteollisuuden vaatimukset rehuraaka-aineelle

Rehuteollisuudessa tuotetaan erityyppisiä rehuja. Rehun olomuoto ohjaa sitä, minkälaista käsittelyä materiaalille tarvitaan. Porkkanaa voidaan hyödyntää sekä kuivarehuissa, että märkärehuissa.

7.4.1 Kuivarehut

Mikäli porkkanaa halutaan käyttää lemmikkien, harraste- tai tuotantoeläinten kuivarehussa, tulee porkkana kypsentää, kuivata ja jauhaa nk. porkkanajauhoksi. Tämä on tarpeen sekä rehuntuotantoprosessin sujuvuuden vuoksi että sulavuuden parantamiseksi. Erityisesti lihansyöjät hyötyvät siitä, että raaka-aine on kuivattu ja jauhettu hienoksi, sillä se parantaa sulavuutta ja ravintoaineiden imeytymistä. Suomessa ei ole teollisen kokoluokan toimijaa, joka kuivaisi ja jauhaisi porkkanasivuvirtoja. Pohjolan Peruna ja Finnamyl prosessoivat Suomessa perunaa elintarviketeollisuuden tarpeisiin, mutta toistaiseksi muille kuin perunalle ei ole toimijaa, joka teollisesti prosessoisi raaka-aineita jatkojalostettavaksi.

7.4.2 Märkärehut

Porkkanan käyttö lemmikkien märkärehuissa ei vaadi niin merkittävää esikäsittelyä kuin kuivarehukäyttö. Märkärehut kypsennetään tehtailla autoklaaveissa. Tämän vuoksi porkkanaa ei ole tarpeen kypsentää esikäsittelyvaiheessa. Märkärehuissa on erään rehuvalmistajan mukaan jopa toivottavaa, että porkkanan kaltaiset rehuraaka-aineet ovat rehusa selkeästi erottuvia, eli porkkanalle riittäisi esikäsittelyksi paloittelu tai kevyt hienonnus. Märkärehuissa kuitenkin porkkana-raaka-ainetta kuluu suhteellisesti vähemmän verrattuna kuivarehuihin.

7.5 Saatavilla oleva teknologia

Porkkanaa voidaan kuivata monenlaisessa muodossa, mutta tehokkaimmin kuivaus saadaan toteutettua, kun porkkana on prosessoitu pienempään kokoon. Hiutaleille sopivia kuivausmenetelmiä ovat rumpukuivuri, spraykuivaus, valssikuivaus, haihduttaminen, ohminen kuivaus ja ultraäänikuivaus. Ilmasuspensiokuivaus eli leijupetiteknikka soveltuu

hiutaleiden ja jauheiden kuivatukseen. Aurinkokuivaus on vanhin ja käytetyin menetelmä, mutta sitä ei ilmastollisten olosuhteiden vuoksi käytetä Suomessa teollisessa mittakaavassa. (Männistö, 2018)

Ylikuumennetulla höyryllä kuivaaminen vallitsevaa ilmanpainetta matalammassa ilmanpaineessa soveltuu porkkanoille ollessaan nopea, tehokas ja hellävarainen menetelmä. Kuivaustulos on tasainen ja rakenne palautuu nopeasti liottaessa. Koska hapettumista ei tapahdu, betakaroteeni ei hajoa. Lisäksi menetelmä on tehokas mikro-organismien kasvun hillitsemisessä. Kirjallisuustiedon perusteella menetelmää käytetään suurille tuotantomäärille. Laitteiston hintaa ei pystytty selvittämään, mutta voidaan olettaa, että hintataso on perinteisten menetelmien laitteistoja korkeampi. Mikäli kuivattavaa tuotetta olisi saatavilla riittävästi ympäri vuoden olisi tämä menetelmä mahdollisesti hyvin käyttökelpoinen porkkanan kuivauksessa. (Männistö, 2018)

Pienille, Suomen mittakaavan tuotantomäärille (500 kg/vrk) porkkanan kuivaamiseen soveltuvia menetelmiä ovat perinteiset ilmakeuivaustekniikalla toimivat kuivausmenetelmät kuten kaappikuivaus ja lavakuivaus. Tuotantokapasiteetin kasvaessa voidaan käyttää tunnelikuivausta ja kuljetinkuivuria. Pakkaskuivaus on edellä mainittuja menetelmiä korkeampi kustannuksiltaan, mutta kuivatut tuotteet ovat korkealaatuisia ja palautuvat nopeasti liottaessa. Katalyyttinen infrapunakuivaus on infrapunakuivausta tehokkaampi menetelmä ja soveltuu myös pienijakoiselle porkkanalle, mutta tutkimustietoa ei vielä ole saatavilla riittävästi, jotta menetelmää voitaisiin verrata muihin menetelmiin mm. kustannusvaikutuksiltaan. Mikroaaltojen ja vakuumin yhdistelmä on myös tehokas ja soveltuu porkkanan kuivaukseen, mutta investointikustannukset ovat hyvin korkeat, minkä vuoksi menetelmä soveltuu vain merkittävän suurille tuotantomäärille. (Männistö, 2018)

Suomessa on tehty jonkin verran kokeiluita ja tutkimusta porkkanan kuivauksesta tilakokoluokan laitteistoilla. ArvoBio-hankkeen demonstraatioissa on vuonna 2018 kuivattu porkkanaraastetta kondensoivalla lämminilmakeuivaimella ja alipaine kylmäkuivaimella ja laskettu kuivaamisen kustannuksia. Energian hintana laskelmissa on käytetty 12,3 senttiä/kWh. Kokeessa todettiin, että kondensoivalla lämminilmakeuivaimella kuivaamalla märkäpainon kilohinnaksi tuli 0,5 €/kg ja alipaine kylmäkuivaimella 3,5 €/kg. Demonstraation

tulokset ovat melko hyvin linjassa muissa lähteissä esitettyjen kustannustasojen kanssa. (Männistö, 2018)

7.6 Hankkeessa tehty tarkastelu

Hankkeen aikana käytiin keskustelua useiden eri rehualan toimijoiden kanssa. Aihe herätti yleisellä tasolla kiinnostusta, ja mm. yleisiin vaatimuksiin otettiin aktiivisesti kantaa. Monet rehuvalmistajat totesivat, että kotimaiselle vihannestuotannon sivuvirrälle olisi kysyntää, sillä kaikki vihannekset tulevat tällä hetkellä ulkomaisilta toimijoilta. Samalla kuitenkin todettiin, että kotimaassa tästä ketjusta puuttuu välistä se jalostaja, joka jalostaisi sivuvirran rehualan käyttöön soveltuvaksi. Jalostusta olisi mahdollista ainakin joissakin tapauksissa tehdä myös tiloilla. Tämä vaatisi kuitenkin tarkempaa keskustelua käytännön yksityiskohdista tilan ja rehutoimijan välillä, eikä tällaiseen ole toistaiseksi hankkeessa löydetty rehualan yhteistyökumppania.

8 Nurmen biojalostamo

Suomessa on kehitetty paljon jalostus- ja hyödyntämiskäytännöksi isoja volyymien sivuvirroille puunjalostusteollisuudessa, mutta peltosivuvirtojen kuten nurmen hyödyntäminen jalostamalla on vasta alussa. Nurmen biojalostamolla tarkoitetaan nurmibiomassaa käsittelevää laitosta, jonka tuotteena on raaka-ainettaan arvokkaampia jakeita. Biojalostamolla ei tarkoiteta biokaasulaitosta, mutta toimintaan voidaan integroida biokaasulaitos osana energiaratkaisua ja hyödyntää prosessissa syntyvät sivujakeet syötteinä.

Nurmibiomassan käyttömahdollisuuksien laajentamisen avain on saada biomassa käsiteltyä muotoon, joka soveltuu paremmin muihin käyttötarkoituksiin kuin nautakarjan rehuksi tai biokaasuksi. Nurmibiomassa kiinnostaa mm. sokeri-, proteiini- ja valkuaisjakeiden lähteenä. Nurmikasveissa on vain vähän ligniiniä ja suhteellisen korkea proteiinipitoisuus ja nurmikasvien arvojakeiden eristäminen on helpompaa kuin esimerkiksi oljesta tai puumateriaalista. Mahdollisia nurmibiomassasta saatavia tuotteita ovat proteiini- tai hiilihydraattipitoiset rehunesteet. Yksinkertaisimmillaan nurmibiomassasta voidaan käyttää puristemehuna syntyvä jae yksimahaisten liemiruokinnassa. Nestejakeesta voidaan eristää

myös aminohappoja. Nesteiden erotusprosessin sivujakeena syntyvä kuivajae voidaan edelleen käyttää biokaasun tuotantoon tai erilaisten kuitutuotteiden raaka-aineena. Nurmien muita käyttömahdollisuuksia kuin naudon rehuna säilörehuna, kuivaheinänä tai biokaasun raaka-aineena on selvitetty muun muassa Luonnonvarakeskuksessa. Nurmibiomassan säilöntä hapon tai biologisten säilöntäaineiden avulla mahdollistaa nurmimassan testikäytön ja prosessoinnin ympärivuotisesti. Esikäsittely ja erilaiset erottelutekniikat lisäävät tuotteen arvoa, mutta myös kustannuksia.

Suomessa ei ole tällä hetkellä referenssiä sellaisesta biojalostamosta, missä nurmibiomassaa eroteltaisiin neste- ja kuivajakeisiin ja edelleen erilaisiksi tuotteiksi. Lähellä oleva esimerkki on GF Agro Fi Oy, joka Suomessakin on käynnistämässä viherrehutuotantoa. GF Agro Fi Oy:n toimintakonseptina on viljelyttää korkealaatuista nurmibiomassaa, ja kuivata sitä räätälöidyiksi rehutuotteiksi lemmikkieläimille, hevosille ja tuotantoeläimille. Raaka-aineina käytetään myös viljakasvien kasvullisia osia. Koska Suomessa ei ole hankkeen tarkasteluihin tarkoitettuja nurmen biojalostamoja, yritysysteystyön sijaan tässä tarkastelussa rajoitutaan Luonnonvarakeskuksen selvityksiin ja tieteellisiin artikkeleihin. Referenssinä tarkastellaan kahta tanskalaista demolaitosta, jotka jalostavat nurmimassaa rehukäyttöön ja muiksi raaka-aineiksi.

Nestejakeen soveltuvuutta on tutkittu sekä lihasikojen ruokinnassa että nautojen valkuaislähteenä. Keto ym. (2021) ovat tutkineet nestejakeen soveltuvuutta lihasikojen valkuaisrehuna. Tutkimuksessa selvitettiin nurmibiomassasta erotetun nestejakeen vaikutusta kasvuun ja suolistomikrobiflooraan. Nestejae ruokinnassa ei tuottanut tilastollisia eroja kasvutuloksiin tai suolistomikrobeihin. Loppukasvatuksessa havaittiin vähäinen numeerinen ero kasvunopeudessa, mutta se ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kaikkien käsittelyryhmien päiväkasvu oli normaalia hyvää tasoa.

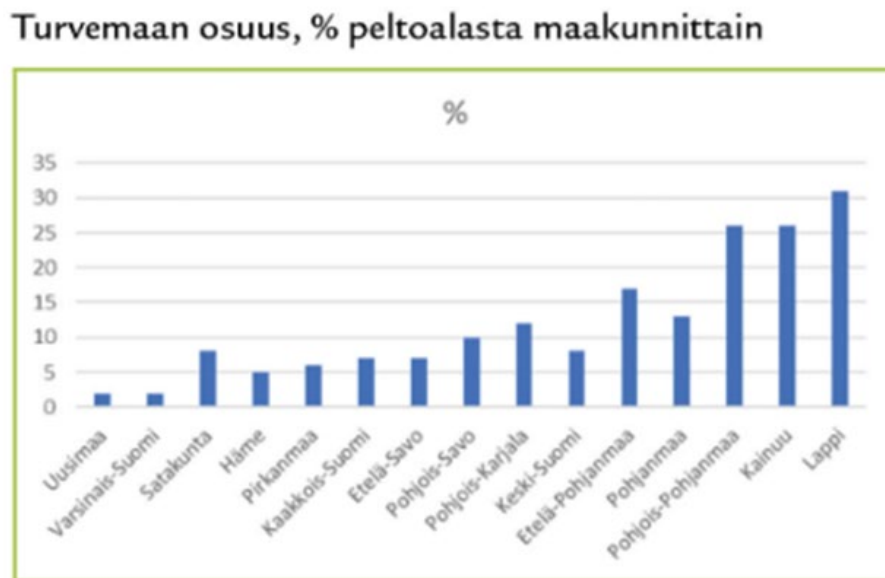
8.1 Monivuotiset nurmet ja niiden hyödyntäminen

Monivuotiset nurmet muodostavat perustan suomalaiselle maidon ja naudonlihan tuotannolle. Ympärivuotisen kasvipeitteisyyden ansiosta nurmet hyödyntävät maksimaalisesti erityisesti alkukesän suuren säteilymäärän. Märehtijät pystyvät hyödyntämään

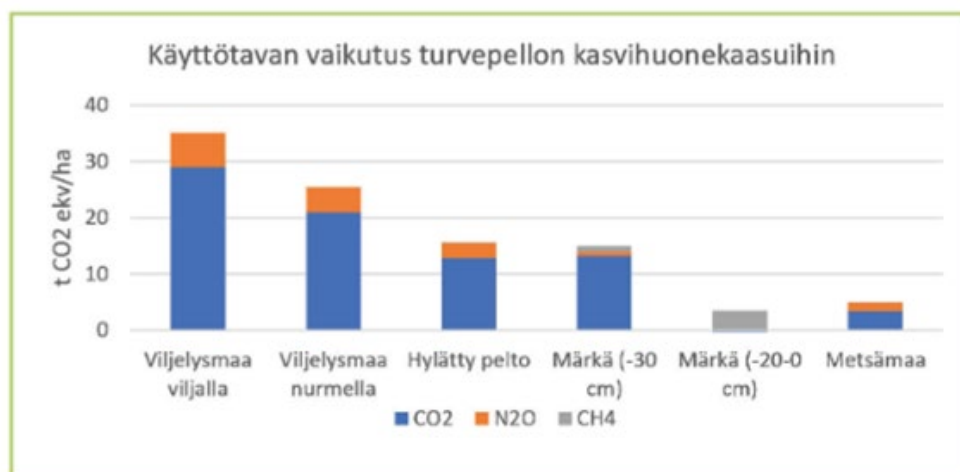
selluloosapitoisen nurmirehun ja ruokinnassa se edustaa lypsykarjalla 55 % rehun kuiva-aineesta (ProAgria Keskusten Liitto, 2023). Lihan tuotannossa nurmirehun osuus on tätäkin huomattavasti suurempi.

Nurmen viljely painottuu maidontuotantoalueille Suomessa. Turvepeltojen osuus viljelyalasta on Suomessa noin 10 % kaikesta viljelyalasta, mutta maatalouden kasvihuonekaasuista valtaosa muodostuu turvepelloilla. Nurmiviljelyn painottuminen turvemaarikkaammille alueille (kts. kuva 12) vähentää osaltaan maatalouden kasvihuonekaasuja verrattuna tilanteeseen, jossa kyseisillä alueilla viljeltäisiin yksivuotisia viljelykasveja. Monivuotisen nurmen kasvihuonekaasupäästö on noin 28 % pienempi kuin yksivuotisten viljelykasvien (kuva 13).

Kuva 12. Turvemaan osuus peltoalasta (%) maakunnittain. (Kari, 2022)



Kuva 13. Käyttötavan vaikutus turvepellon kasvihuonekaasuihin. (Kari, 2022)



Vaikka nurmien sato sellaisenaan ei ole ihmisravinnoksi soveltuvaa, se mahdollistaa elintarvikkeen raaka-ainetuotannon, erityisesti maidon ja lihan osalta sellaisillakin alueilla, missä varsinaiset leipäviljat tai muut elintarvikkeeksi tuotettavat viljelyskasvit eivät menesty merkittävässä määrin. Nurmet hyödyttävät elintarviketuotantoa myös rikastamalla viljelykiertoa eli parantamalla ruokakasvien viljelyedellytyksiä ja satopotentiaalia. Nurmikasvit ovat lisäksi monia muita viljelykasveja viljelyvarmempia. Kivennäismailla ja erityisesti alueilla, missä monivuotiselle nurmelle on rajoitetusti kysyntää, biojalostamonurmet lisäävät mahdollisuuksia monipuolistaa viljelykiertoa sekä lisäävät viljelyvarmuutta.

Kotieläintuotantokeskittymien ulkopuolella on kuitenkin melko vähän kysyntää nurmisadolle. Nurmibiomassa on tunnetusti tehokas raaka-aine biokaasun tuotannossa, mutta nurmea käyttäviä biokaasulaitoksia on vain vähän. Tämä johtuu osin siitä, että nurmi ei ole ilmaista raaka-ainetta eikä siitä saada kerättyä porttimaksua. Nurmen käyttöä biokaasun tuotannossa rajoittavat osaltaan myös kestävyysvaatimukset sikäli, kun kasvukauden aikaiset kasvihuonekaasut lasketaan mukaan biokaasun tuotannon päästöihin. Erityisesti turvemailla päästökertymä kasvukaudella on niin suuri, että kestävyysvaatimukset eivät voi täyttyä sellaisen nurmibiomassan osalta, jota ei tulkita jätteeksi tai sivuvirraksi.

Euroopan yhteinen maatalouspolitiikka on kannustanut tukien muodossa sisällyttämään viljelyyn monivuotisia nurmia kasvinviljelytiloilla. Nurmikasvien viljelyä voi integroida

kasvintuotantotilan peltoalalla muun muassa luonnonhoitonurmina, viherlannoitusnurmina, aluskasvina, kerääjäkasvina ja luonnon monimuotoistajana sekä riistanurmina. Yhtenä tavoitteena on ylläpitää monimuotoisuutta, vähentää kasvihuonekaasuja, eroosiota ja ravinnehuuhtoumia vesistöön. Monivuotisilla nurmilla katsotaan olevan potentiaalia lisätä hiiltä maaperään sekä parantaa kasvukuntoa. Monivuotiset nurmet viljelykierrossa parantavat myös viljelyominaisuuksia ja lisäävät esimerkiksi veden ja ravinteiden pidätyskykyä. Näitä sivuvirtanurmiksikin tulkittavissa olevien peltujen satoa voidaan myös käyttää biokaasun tuotantoon. Tällöin kasvukauden aikaisia biogeenisiä kasvihuonekaasuja ei lasketa mukaan kasvihuonekaasukertymään biokaasun tuotannossa. Nurmikasvusto voi kuitenkin soveltua muihinkin käyttömuotoihin kuin biokaasun tuotantoon tai sen perinteisempään käyttöön rehuna.

Metsätalouden tuotteisiin verrattuna peltobiomassa on nopeakasvuista ja biomassasaanto kohtalaisen ennustettavaa. Nurmien ja yleisemminkin peltujen satopotentiaalin hyödyntäminen laajentaisi myös maantieteellisesti biojalostamojen sijoittumisen potentiaalista alaa. Nurmibiomassan tuotanto voi integroitua vesistönsuojelu- ja päästövähennystoimiin esimerkiksi tilanteessa, jossa korotetulla vedenpinnalla tuotetaan turvemailla ruokohelpeä, josta jalostetaan erilaisia jakeita kuten kasvualustoja, puristemehua ja esimerkiksi biosuodatinmateriaalia.

8.2 Nurmibiojalostamokonseptin tarkastelu

Erilaisten biomassojen ja niiden sivuvirtojen hyödyntäminen taloudellisesti ja logistisesti sujuvasti edellyttää datan monipuolista hyödyntämistä ja teknisiä innovaatioita. Luonnonvarakeskus on suunnitellut liiketoimintamalleja sekä maatilakokoluokan että keskitetyn laitoksen nurmibiomassan biojalostamoille. Taloudellinen kannattavuus ei ole helposti saavutettavissa vain nurmibiojalostamon ulostulevien tuotteiden myynnistä. Lisäksi maanparannusvaikutukselle kivennäismailla tai muille ekosysteemipalveluille on vaikea laskea todennettua suoraa taloudellista arvoa. Sen sijaan lannoitusarvolle on helppo laskea taloudellinen hyöty viljelykierrossa, kun nurmessa on typensitojakasveja joko esikasvina tai aluskasvina.

Tärkeä nurmibiojalostamon taloudellinen potentiaali muodostuu mahdollisesti ilmastohyödyistä ja ilmastotoimille kohdennetuista taloudellisista kannustimista. Itse biomassan tuotanto eli monivuotinen nurmi toteuttaa useita ympäristö- ja ilmastotavoitteita ja parantaa elintarvikkeiden tuotantopotentiaalia. Monivuotinen nurmi ja Suomessa erityisesti ruokohelven monivuotinen maanalainen kasvusto mahdollistaa sadonkorjuun turvemaalla, vaikka veden pinta olisi nostettu noin 30 senttiin maan pinnasta. Näin turvemaan päästövähennystoimeen voidaan yhdistää biomassan tuotanto. Vaikka turvemaalla tuotettu nurmimassa tuotantonurmena ei kestävyysvaatimusten vuoksi sovellu biokaasun tuotantoon, separoidulla kuivajakeella on jätestatus eikä siksi kasvukauden aikaisia päästöjä lasketa biokaasun päästökertymään.

Nurmibiomassaa käyttävän biojalostamon toimintaperiaatteeksi on Luonnonvarakeskuksen kaskadivisiossa (Rinne, 2023) ehdotettu mallia, jossa säilörehusta ja muusta nurmibiomassasta jalostetaan tuotteita kuiva- ja nestejakeen erottamisen jälkeen. Kuivajae toimisi joko biokaasulaitoksen kautta kierrätettynä tai sellaisenaan. Tuotteina voisi tuotantoketjusta riippuen olla kuivike, maanparannusaine, kuitumateriaalit tai energia joko biokaasutuksen jälkeen tai hydrolysoituna etanoliksi tai muiksi tuotteiksi. Nestejake jalostettaisiin rehujen ainesosaksi, elintarvikkeiden raaka-aineeksi tai edelleen biologisissa prosesseissa hyödynnettäväksi. Tuotantoketju edellyttää raaka-aineen eli nurmibiomassan kestävää tuotantotapaa ja kuten edellä on mainittu, siihen voisi yhdistää myös päästövähennystoimia.

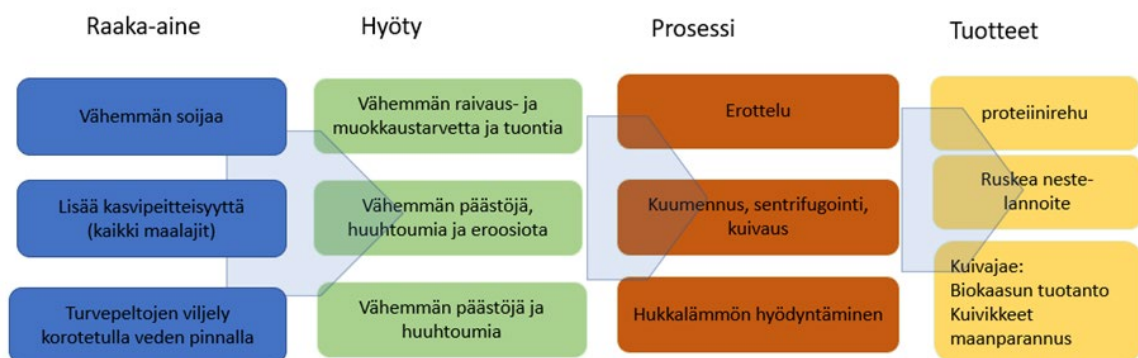
Go-Grass on EU-projekti, jolla on nurmibiojalostamodemolaitoksia neljässä maassa: Tanskassa, Saksassa, Hollannissa ja Ruotsissa. Ruotsin demolaitoksella keskitytään kuivikekonsepteihin, Saksassa biohiilen tuotantoon, Hollannissa pakkaus- ja paperituotteisiin ja Tanskassa rehujakeisiin korvaamaan tuontisoijaa. Luonnonvarakeskus on tehnyt yhteistyötä erityisesti Tanskan projektin kanssa.

Tanskalainen BioRefine Denmark A/S on DLG:n Danish Agron ja DLF:n yhteistyössä perustama yritys, jonka tavoitteena on luoda ilmasto- ja ympäristöystävällinen tuontisoijan korvaava valkuaisen lähde kotieläinrehuihin. Pitkällä aikavälillä yhtiö tavoittelee myös valkuaispuristeen käyttöä elintarvikkeissa vaihtoehtona eläinperäiselle proteiinille eli valkuaiselle. (BioRefine

Denmark A/S, n.d.) Ensimmäisessä Varden pohjoispuolella sijaitsevassa BioRefinen biojalostamossa valkuaista uutetaan paikallisesti tuotetusta nurmesta, jota viljellään noin 3000 hehtaarin alalla. Tämän laitoksen odotetaan tuottavan noin 7 000 tonnia valkuaista vuodessa, jonka raakavalkuaispitoisuus voi olla jopa yli 50 %. Laitoksen tuottama valkuainen on luomulaatuista. (BioRefine Denmark A/S, n.d.)

BioRefinen prosessissa raaka-aine eli nurmimassa leikataan ja viipaloidaan mahdollisimman tuoreena. Nurmet ovat pääasiassa apilaa, heiniä ja sinimailasta, ja ne hankitaan pääsääntöisesti 30 kilometrin säteeltä tehtaalta. Esikäsittelyn jälkeen nurmimassa puristetaan niin, että saadaan kaksi erillistä osaa: nestejake ja kuivajake. Nestejake sisältää valkuaista sellaisessa muodossa, jota yksimahaiset pystyvät hyödyntämään. Kuivajakea voidaan käyttää biokaasun tuotantoon ja pitkällä aikavälillä sitä odotetaan käytettävän pakkauksissa, tekstiileissä ja eristeissä sekä muissa kierrätysmuodoissa. Erottelun jälkeen nestejake kuumennetaan. Kuumennuksessa valkuainen pakkautuu yhteen. Kuumentamisen jälkeen valkuainen erotetaan muusta nestejakeesta sentrifugilla eli linkoamalla. Linkouksen jälkeen valkuainen on kahvijauheen kaltaisessa muodossa. Näin syntynyt valkuainen kuivataan ja pussitetaan jälleenmyyntiä varten. Sivujakeeksi jäävä nestejake hyödynnetään ensisijaisesti biojalostamon omissa prosesseissa, mutta ylijäävä jake voidaan hyödyntää peltolannoitteena tai biokaasutuotannossa syötteenä. (BioRefine Denmark A/S, n.d.)

Kuva 14. Prosessikuvaus nurmibiojalostamosta.



Kuvio: Maarit Kari

R&D Test Systems A/S on yhteistyössä SEGESin, Vestjyllands Andelin ja Ausumgaardin kanssa kehittänyt ja avannut TailorGrass-hankkeessa nurmibiojalostamon vuonna 2020. Kyseisen jalostamon toiminta ja tavoitteet ovat samantyyppisiä, kuin aiemmin esitellyn BioRefinen. Jalostamossa on tuotettu kasvivalkuaista nurmesta ja etsitty nurmibiojalostamolle kannattavuuden edellytyksiä. Hankkeen aikana jalostamotoimintaa ei ole saatu vielä niin kannattavaksi, että konseptilla olisi edellytykset menestyä täysin omillaan. Kannattavuuden kuitenkin uskotaan löytyvän, ja Vestjyllands Andel hakeekin nyt investointitukea yhteensä viidelle uudelle samanlaiselle hankkeelle. Vestjyllands Andel näkee, että kannattavuuden saavuttamiseksi biojalostamon tulee sijaita biokaasulaitoksen yhteydessä, jolloin saavutetaan molempia laitoksia hyödyttäviä synergiaetuja. Myös BioRefine on kiinnostunut hakemaan investointitukea uudelle biojalostamolle, jonka se toivoo olevan tuotannossa 2025. (Okholm Nielsen, 2023)

Tämänhetkisen tutkimuksen mukaan myös kuiva- ja nestejakeen erottelu eli separointi ja erottumisen tehokkuus voivat merkittävästi parantaa biojalostamon taloudellisuutta. Artikkelissa *The effect of grass biomass preservation methods, organic acid treatment and press type on the separation efficiency in the green biorefinery* (Ayanfe ym., 2023), tarkastellaan esikäsittely-, säilöntä- ja erottelutekniikoiden vaikutusta nesteiden erottumistehoon ja raakavalkuaissaantoon separaattorissa.

Esikäsittelyinä tutkimuksessa olivat:

- Käsitlemätön, tuore nurmibiomassa
- Pakastaminen ja sulatus
- Kuivaaminen ja uudelleen kastelu

Nurmimassa muiden kuin kuivauskäsittelyn osalta säilöttiin muurahais- ja propionihapolla. Säilöntäainekäsittelyn vaikutusta tutkittiin sekä nestejakeen erottuvuuden että valkuaisen liukoisuuden kannalta. Lisäksi testattiin kolmea erilaista puristustekniikkaa esikäsittelyn ja puristustekniikoiden yhteisvaikutuksen selvittämiseksi: paineilmapuristin, kaksoisruuvipuristin ja monoruuvipuristin. Tutkimuksen perusteella kaksoisruuvipuristin oli tehokkain erottamaan kuiva- ja nestejakeen toisistaan. Esikäsittelyn aiheuttamat erot olivat

suurimmat heikoimmin erottavilla tekniikoilla. Säilöntäaine paransi nesteen erottumista, mutta heikensi erottuvan valkuaisen liukoisuutta. (Ayanfe ym., 2023)

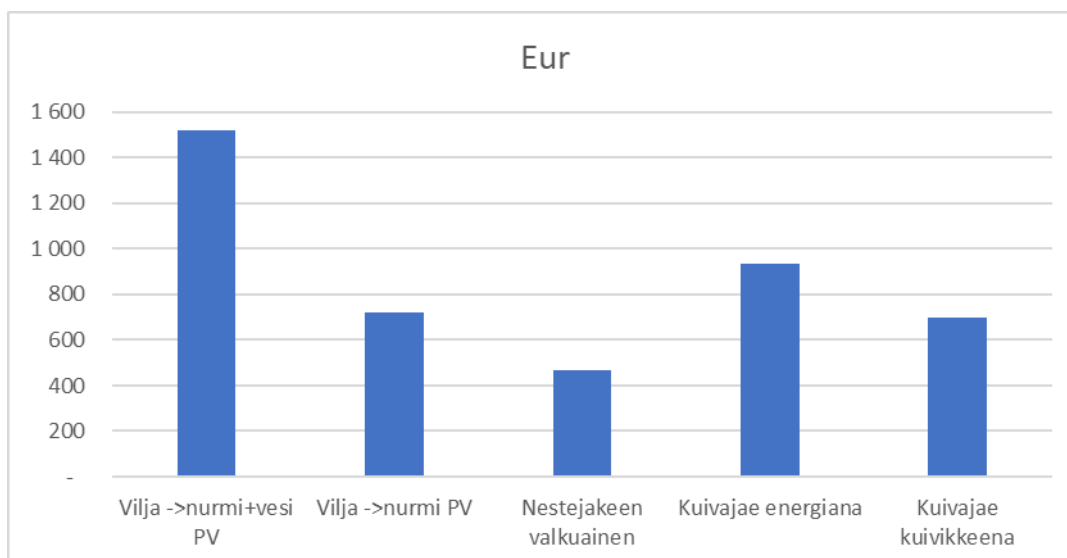
8.2.1 Arvoketjutarkastelu

Idea nurmimassan hyödyntämisestä biojalostamossa muutoin kuin sellaisenaan rehuna tai suorana syötteenä biokaasun tuotannossa edustaa arvoketjuna tyypillistä monivaiheketjua, jossa raaka-aineesta (biomassan pää- tai sivuvirta) erotetaan toisiinsa peräkkäin kytkeytyvillä teknologisilla yksikköprosesseilla erilaisia arvokomponentteja ja biotuotteita siten, että koko biomassa tulee täysimääräisesti hyödynnettyä mahdollisimman korkean lisäarvon tuotteiksi, ravinteiksi ja energiaksi, välttämällä samalla uusien hyödyntämättömien sivutuotteiden synnyn. Tätä kutsutaan kaskaditaloudeksi. (Jyske ym., 2023)

GoGrass- ja TailorGrass-hankkeissa nurmibiojalostamossa prosessoitavan nurmimassan arvoketju muodostuu maankäytön muutosten, tuonnin ja maaperälähtöisten päästöjen vähentämisestä, energiatehokkaista prosesseista ja hukkalämmön hyödyntämisestä ja ympäristöystävällisistä tuotteista, joilla korvataan tuontia ja fossiilisia tuotantopanoksia. Erityisesti TailorGrass-hankkeessa tavoitteena on integroida nurmiprojektit biokaasun tuotantoon, jolloin kuivajae muodostaa statukseltaan hyvän syötteen biokaasun tuotantoon ja biokaasun tuotannosta syntyvä ylijäämälämpö voidaan hyödyntää prosessissa.

Kuvan 15 pylväsdiagrammissa kuvataan kolmella oikealla olevalla pylväällä nurmibiojalostamo-konseptin tuottamien eri jakeiden mahdollista arvoa (€/ha) 20 t/ha satotasolla. Lisäksi kuvaajassa vasemmalla on arvioitu päästövähennyksen arvoa turvemailla, kun siirrytään yksivuotisen viljan viljelystä nurmiviljelyyn nostetulla vedenpinnalla (ensimmäinen pylväs vasemmalta) tai yksivuotisen viljan viljelystä nurmiviljelyyn ilman vedenpinnan nostoa (toinen pylväs vasemmalta).

Kuva 15. Nurmibiojalostamon jakeiden mahdollinen arvo €/ha. PV=päästövähennys.



Siirtymällä turvemaalla viljanviljelystä nurmiviljelyyn ja korottamalla vedenpintaa, voidaan saavuttaa 19 t CO₂-ekv. päästövähennys ja ilman vedenpinnan nostoa 9 t CO₂-ekv. päästövähennys. Kuvassa 15 esitettyssä karkeassa tarkastelussa päästövähennyksen yksikköhintana on käytetty 80 €/t CO₂-ekv (hiilidioksidi-ekvivalentti), jolloin päästövähennyksen tuotoksi voidaan arvioida karkeasti 1 500 €/ha nostetulla vedenpinnalla, ja 700 €/ha ilman vedenpinnan nostoa.

Nestejakeen valkuaisadoksi on laskelmassa arvioitu 360 kg valkuaista/ha. Kun valkuaisen hinnaksi arvioidaan 1304 €/t, päästään kuvaajassa esitettyyn reilun 400 euron hehtaarituohtoon. Mikäli kuivajae käytettäisiin energian tuotantoon, sen energiapotentiaali voisi olla 16 MWh. Kun energian hinnaksi arvioidaan 60 €/MWh, voidaan energiantuotannon arvoksi arvioida kuvaajassa esitetty reilu 900 €/ha. Kuiviketta nurmibiojalostamokonsepti voisi tuottaa 14 t/ha. Kuivikkeen hinnalla 50 €/t karkeasti laskettuna tästä saadaan tuottoa noin 700 €/ha.

9 KieMaRan malli maaseudun sivuvirtojen hyödyntämiselle

KieMaRa-hankkeessa toteutetun sivuvirtakartoituksen tuloksena havaittiin, että hämäläisillä maatiloilla muodostuu sivu- ja jätevirtoja, joiden nykyistä tehokkaampi hyödyntäminen olisi

perusteltua sekä tilan toiminnan kannalta että kestävyysnäkökulmasta katsottuna. Tehokkaammalla hyödyntämisellä tarkoitetaan tässä sitä, että sivu- tai jätevirran jalostaminen nostaa materiaalin arvoa enemmän kuin niiden nykyinen käyttö, sivu- ja jätevirran sisältämiä arvokkaita jakeita ei hukata ja sivu- ja jätevirtojen nykykäytöstä aiheutuvia päästöjä saadaan pienennettyä. Näihin kriteereihin vastaavia hyödyntämisratkaisuja hankkeessa löydettiin, ja tarkempaan tarkasteluun valittiin vähemmän tunnettuja ratkaisuja, joiden teknis-taloudellista toteutettavuutta ei ole toistaiseksi laajasti arvioitu.

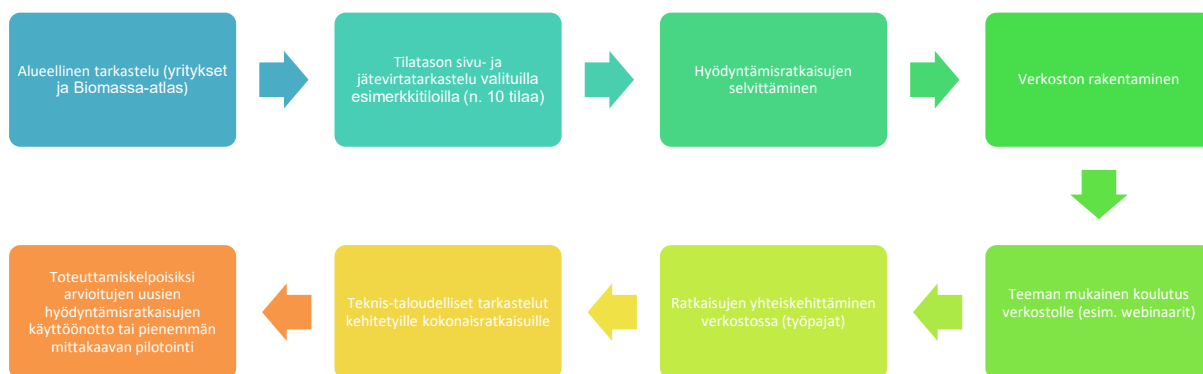
Näissä tarkemmissa tarkasteluissa todettiin, että tilakohtaisten sivu- ja jätevirtojen tehokas alueellinen hyödyntäminen on monella tavalla myös haastavaa. Maatilojen väliset välimatkat ovat usein melko pitkiä ja tilakohtaisesti sivu- ja jätevirtoja muodostuu rajallinen määrä ja monesti myös epäsäännöllisesti. Tämän seurauksena sivu- ja jätevirtojen kustannustehokkaan logistiikan järjestäminen mahdollisiin jalostaja- ja hyödyntäjäyrityksiin ei välttämättä onnistu ilman useamman yrityksen yhteistyötä. Sivu- ja jätevirtajakeita jalostavien ja hyödyntävien yritysten tulisikin olla aktiivisesti mukana logistiikan järjestämisessä, jotta logistiikan kustannus saadaan pidettyä sellaisella tasolla, että kiertotalousratkaisun toteuttaminen on houkuttelevaa tilalliselle, sivuvirran jalostajalle ja hyödyntäjälle.

Kiertotalousratkaisu voi toisaalta olla myös sellainen, jossa sivu- tai jätevirtaa jalostetaan uudeksi tuotteeksi maatilalla. Tällainen ratkaisu edellyttää usein maatilalta investointia uuteen teknologiaan, ja sen lisäksi maatilayrittäjältä aiempaa suurempaa työpanosta sivuvirran käsittelyssä tai vaihtoehtoisesti lisätyövoiman rekrytointia. Kannattavan kiertotalouskonseptin rakentaminen vaatii tässäkin tapauksessa usein yhteistyötä muiden yritysten kanssa, jotta sivuvirroista jalostetut tuotteet saadaan markkinoille.

Sivu- ja jätevirtoja hyödyntävät liiketoimintamallit perustuvat usein jonkinlaisiin teollisiin symbiooseihin tai kiertotalouden ekosysteemeihin, ja maatalouden sivuvirrat eivät KieMaRa-hankkeessa tehtyjen havaintojen mukaan ole poikkeus. Myös maatalouden sivu- ja jätevirtojen tehokas hyödyntäminen edellyttäneen yritysten ja maatilojen välistä yhteistyötä, jotta toimiva sivuvirran tuottaja-jalostaja-hyödyntäjäketju tai -verkosto saadaan rakennettua. Tällaisen verkoston rakentaminen onkin keskeinen osa KieMaRa-hankkeen maatalouden sivu- ja jätevirtojen hyödyntämismallia. Tämä kuvassa 16 esitetty, hankkeen kokemusten kautta

hahmottunut malli, on vaiheistus toimenpiteistä, joilla voidaan hankevetoisesti edistää maaseudun sivu- ja jätevirtojen hyödyntämistä. Toimintamallia koordinoivaksi tahoksi on tässä oletettu hanke, mutta mikäli hanketoiminnassa malli todetaan testaamisen kautta toimivaksi ja toiminnalle löytyy rahoitusta, voi mallia koordinoida muukin toimija (esim. kunta tai kehitysyhtiö). Malliin on otettu mukaan KieMaRa-hankkeessa hyväksi todetut käytännöt, ja täydennetty mallia toimenpiteillä, jotka KieMaRa-hankkeen kokemusten perusteella voisivat tuottaa maatalouden sivuvirroille korkeampaa arvonlisää sekä edistää niiden hyödyntämistä.

Kuva 16. Malli maaseudun sivu- ja jätevirtojen hyödyntämiseksi.



Malli lähtee liikkeelle alueellisesta sivu- ja jätevirtatarkastelusta. Aluksi kannattaa tarkastella, mitä sivu- ja jätevirtoja hyödyntäviä yrityksiä, muita toimijoita tai valmiita kiertotalouden ekosysteemejä kohdealueelta löytyy ja missä nämä sijaitsevat. Toimijoita kartoitettaessa huomioidaan esimerkiksi kierrätysjakeita jalostavat ja hyödyntävät yritykset, energian tuotanto alueella (symbioosimahdollisuudet), alueelliset ja paikalliset kiertotalouden kehityshankkeet ja niissä mukana olevat yritykset sekä muut biomassoja tuotannossaan tarvitsevat yritykset. Alkutuotannossa muodostuvia sivu- ja jätevirtoja kartoitetaan kohdealueelta esimerkiksi Biomassa-atlas-palvelun avulla tai selvittämällä alueellisesti merkittävät maatalouden tuotantosunnat. Alueellinen tarkastelu kannattaa kohdistaa olemassa olevien, potentiaalisten sivu- ja jätevirtojen jalostajien ja hyödyntäjien lähialueelle, koska sivuvirtojen kuljettaminen pitkiä matkoja tekee usein toiminnasta kannattamatonta.

Tämän jälkeen voidaan kartoittaa tarkastellulla alueella sijaitsevien tilojen sivu- ja jätevirtojen laatua ja määrää. Tilakohtaiseen kartoitukseen kannattaa pyytää mukaan suurehkoja tiloja, jotka ovat kiinnostuneita sivu- ja jätevirtojen tehokkaammasta hyödyntämisestä. Haastateltavien tilojen lukumäärää tärkeämpää on tilojen kiinnostus sivu- ja jätevirtojen hyödyntämiseen. Haastatteluissa on hyvä huomioida laajasti sivu- ja jätevirtajakeiden tilakohtaisen muodostumisen lisäksi mm. niiden nykyinen käyttö sekä kiertotalouden mahdollisuudet tilan energiantuotantoratkaisuissa sekä tilan ajatukset kiertotalouden mahdollisuuksista ja haasteista heidän omassa toiminnassaan. KieMaRa-hankkeen haastattelulomaketta voi hyödyntää kartoituksen pohjana (Liitteet 1 ja 2). Tilahaastatteluissa kerättävät tiedot sivu- ja jätevirroista sekä tilojen tarpeet sivuvirtojen tehokkaamman hyödyntämisen suhteen huomioidaan valittaessa tarkempaan tarkasteluun otettavia hyödyntämiseratkaisuja.

Alueellisen ja tilakohtaisen sivuvirtatarkastelun aikana rakentuu yhteiskehittämisen verkosto, jossa ideoidaan ja kehitetään uusia hyödyntämiseratkaisuja maatilojen sivuvirroille. Verkostoon pyydetään mukaan alueen maatiloja sekä potentiaalisia maatalouden sivuvirtojen hyödyntäjiä ja jalostajia. Verkostomaisen kehittämisen kautta haetaan hyödyntämiseratkaisuja, jotka hyödyttäisivät kaikkia ketjun osapuolia. Verkostossa mukana olevien maatilojen sijainti joko lähellä toisiaan tai lähellä potentiaalisia sivuvirtojen hyödyntäjiä tai jalostajia saattaa edistää uusien kiertotaloussymbioosien muodostumista ja toiminnan jalkauttamista. Verkostoon kannattaa pyytää mukaan hyödyntämisketjuun kuuluvien toimijoiden lisäksi hyödyntämiseratkaisuun keskeisesti liittyviä paikallisia kiertotalouden kehityshankkeita, jonka kautta verkostoon saadaan lisää asiantuntemusta. Tarvittavaa asiantuntemusta voidaan verkostoon tuoda myös esimerkiksi mallin toteuttamista koordinoivan hankkeen kautta.

Verkostolle järjestetään teeman mukaista koulutusta ja yhteiskehittämisen työpajoja. Koulutustilaisuuksia voidaan järjestää sekä webinaareina että läsnäolotilaisuuksina, ja niiden teemoina voivat olla esimerkiksi kiertotalous maataloudessa, kiertotalouden ekosysteemit ja symbioosit ja esimerkit maatalouden sivuvirtojen mahdollisista hyödyntämiseratkaisuista. Koulutustilaisuuksien suunnittelussa voidaan hyödyntää esimerkiksi KieMaRa-hankkeessa rakennettua koulutuspakettia, joka on saatavilla hankkeen verkkosivuilla.

Yhteiskehittämisen tavoitteena on ideoida tarkasteltujen hyödyntämiskäytännöiden ympärille koko ketjua kiinnostavia kiertotalouskonsepteja. Yhteiskehittämisen tueksi verkostolle pyritään järjestämään tilaisuuksia havainnoida hyödyntämiskäytännössä esimerkiksi yritysvierailun tai demonstraation kautta. Hyödyntämiskäytännöille tehdään alustavia teknis-taloudellisia tarkasteluja sekä potentiaalisimmille kiertotalouskonsepteille alustavaa kannattavuuslaskentaa. Tässä vaiheessa käsillä saattaa olla kiertotalouskonsepti, joka odottaa käytännön tason kokeilua, tai jopa käyttöönottoa. Käytännön tason kokeilun toteuttavat konseptista kiinnostuneet yritykset. Hanke voi kuitenkin suunnitella pilotin, jossa ratkaisusta kiinnostunut toimija tai toimijat testaavat kiertotalouskonseptia tai sen osaa. Tämänkaltaisia käytännön kokeiluja ei KieMaRa-hankkeessa varsinaisesti tavoiteltu, eikä niitä hankkeen puitteissa myöskään toteutettu. Käytännön kokeilut saattavat kuitenkin rohkaista yhteiskehittämiseen osallistuneita toimijoita tiiviimpään yhteistyöhön sekä uuden liiketoiminnan aloittamiseen ja johtaa tätä kautta toivottuun lopputulokseen.

10 Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

Kokonaisvaltaisten hyödyntämiskäytännöiden tuottaminen maataloilla muodostuville jäte- ja sivuvirroille oli yksi KieMaRa-hankkeen keskeisistä tavoitteista. Hankkeessa tehtyjen tarkasteluiden perusteella hämäläisten maatalojen sivu- ja jätevirtoja, joita voisi nykyistä tehokkaammin hyödyntää, ovat lanta, virtsa, muovit, hyödyntämättä jäävä nurmibiomassa, erilaiset avomaaviljelyn vihannessivuvirrat ja viljan lajittelujäte. Nämä jakeet nähtiin KieMaRa-hankkeessa potentiaalisina uusien tuotteiden raaka-aineina: lietelannasta separoidusta kuivajakeesta voidaan prosessoinnin kautta tuottaa kasvualustan raaka-ainetta tai kuiviketta, kauppakelvottomasta porkkanasta lemmikkirehun raaka-ainetta, paalien käärintäkalvoista uutta muovia ja nurmimassasta proteiinipitoista valkuaisrehua, kuiviketta ja bioenergiaa. Metsänhoidon sivuvirtoihin voitaisiin maatilalla sekoittaa muuta kuiva-ainepitoista sivuvirtaa kuten viljankuivauksen jätettä, olkea tai pilaantunutta rehua ja tuottaa biohiiltä, lämpöenergiaa ja hiilikrediittejä. Biohiilituotannon lisäksi myös nurmibiojalostamokonsepti olisi hiiltä sitova ratkaisu, sillä nurmiviljely vähentää turvepeltojen kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna yksivuotisten viljojen viljelyyn turvellidoilla.

Kaikkiin edellä lueteltuihin sivuvirtojen jalostusprosesseihin teknologinen valmius on olemassa. Hyödyntämiskäytösten ympärille oli näin ollen mahdollista ideoida kokonaisvaltaisia kiertotalouskonsepteja ja hahmotella konseptien ansaintalogiikkaa. Moni maatilayritys toimii yhden tai kahden yrittäjän voimin, jolloin tilan työpanos on pitkälti sidottu päätuotteiden tuottamiseen ja mahdollisesti niiden jalostamiseen. Tällaisten maatilayrittäjien kannalta katsottuna toteuttamiskelpoisimmat konseptit ovat joko sellaisia, että sivuvirran tilalla jalostaminen ja eteenpäin myynti ei vaadi kohtuuttomasti työaikaa ja luonnistuu tilan muiden töiden ohessa, tai sellaisia, että maatilayritys luovuttaa sivuvirran muulle toimijalle jalostettavaksi ja hyötyy tästä jollain tavalla myös taloudellisesti.

KieMaRa-hankkeessa ideoiduista kiertotalouskonsepteista lannan hygienisointi, maatilamittakaavan biohiilituotanto sekä porkkanasivuvirran rehukäyttö olivat sellaisia, joissa sivuvirtoja jalostetaan jo niiden syntypaikalla eli maatilalla. Lannan kuivajakeen hygienisointi nostaa sen taloudellista arvoa, koska prosessi mahdollistaa lannan myynnin kasvualustojen ja viherrakentämisen raaka-aineeksi. Sivuvirroista valmistetun biohiilen taloudellinen arvo on huomattavasti sivuvirran arvoa suurempi, ja biohiilituotannon ohessa voidaan tuottaa lämpöenergiaa ja myydä hiilikrediittejä. Kauppakelvottoman porkkanan toimittaminen alueen hevostalleille ei ole viljelijälle erityisen kannattavaa toimintaa, eikä tätä kautta saada kaikkea sivuvirtaa yleensä hyödynnettyä, koska porkkanasato valmistuu kerran vuodessa, eikä tuote säily sellaisenaan kovin pitkään. Porkkanasivuvirran murskaus rehuraaka-aineeksi olisi melko yksinkertainen koneellisesti toteutettava prosessi, joka nostaisi sivuvirran taloudellista arvoa.

Taloudelliset panostukset sivuvirran jalostamiseen tilalla tietysti edellyttävät vähintään, että uusille sivuvirtaa korkea-arvoisemmille tuotteille löytyy myyntikanavia, ja tuotteesta saadaan hinta, joka kattaa kaikki jalostamiseen liittyvät kustannukset työn kustannus mukaan lukien. Kustannusten kattamisen lisäksi teknologiaan sijoitetulle pääomalle pitäisi saada myös tuottoa.

Alustavien keskusteluiden perusteella lemmikkirehuteollisuudessa olisi kiinnostusta kotimaiselle sivuvirtapohjaiselle porkkanaraaka-aineelle. Murskatulle porkkanasivuvirralla ei hankkeessa käydyissä keskusteluissa saatu määritettyä taloudellista arvoa, mutta keskustelu

hyödyntämisratkaisun edistämisestä voi vielä jatkaa hankkeen päätyttyä. Nähtäväksi jää, johtaako yhteistyö kotimaisen porkkanasivuvirran hyödyntämiseen lemmikkirehuissa.

Myös lantapohjaiselle kasvualustaraaka-aineelle oli kiinnostusta. Hygienisoidun lehmänlannan kuivajakeen ominaisuuksia kasvualustakäytössä ei vielä tunneta riittävän hyvin, ja tähän liittyen vaaditaankin edelleen lisätutkimuksia, jotta toimivia kasvualustareseptejä saadaan kehitettyä ja liiketoimintaa rakennettua. Kasvualustaksi tuotteistettavan lannan arvo olisi todennäköisesti lähellä irtotavarana myytävän kasvualustan tavanomaista hintatasoa. Mikäli tila kokee hygienisoinnin tarpeelliseksi lannan kuivikekäyttöä varten, vastaa kuivikkeeksi hygienisoidun lannan arvo ostokuivikkeen arvoa. Myös hygienisoidun lannan kuivikekäytön käytännöistä ja hyödyistä tarvitaan lisätutkimusta konseptin toteuttamiskelpoisuuden ja taloudellisen vaikuttavuuden arviointia varten. Lannan hygienisointiratkaisun esittely ja kehittäminen veti kuitenkin sekä yrityksiä että viljelijöitä hankkeen työpajoihin, eli aiheen ympärillä selkeästi kaivataan uusia ratkaisuja. Lannan hygienisointiratkaisun teknologiaa sekä siihen perustuvia toimintamalleja ja kiertotalouskonsepteja kehittävän hankkeen valmistelu onkin jo aloitettu, ja hankevalmistelussa on ollut mukana myös yksi KieMaRa-hankkeen pilottitila.

Maatiloilla tuotettu biohiili ei toistaiseksi kiinnostanut kasvualustayritystä, jonka kanssa keskustelua käytiin. Biohiilelle on kuitenkin kehittynyt Suomessakin markkinoita, ja suuremman mittakaavan laitoksia on suunnitteilla. Päästövähennystavoitteet tulevat todennäköisesti lisäämään biohiilen käyttöä ja sitä kautta biohiilen tunnettuutta, joten erilaisia mahdollisuuksia myös maatilamittakaavan biohiilen tuotteistamiseen ja myyntiin saattaa tulevaisuudessa aueta. Ruotsista vastaavia esimerkkejä löytyy. Esimerkiksi maataloudessa biohiilen peltokäyttö voisi tulevaisuudessa olla yksi keino vähentää maatalouden hiilipäästöjä.

Hyödyntämiskäytännöksi, joissa sivuvirta toimitettaisiin sellaisenaan muille toimijoille jalostettavaksi ja hyödynnettäväksi, olivat muovien materiaalikierrätyksen edistäminen sekä nurmibiojalostamo. Nurmibiojalostamo on konseptina uusi, eikä konseptiin perustuvasta liiketoiminnasta ole vielä kotimaisia esimerkkejä. Demolaitoksia löytyy esimerkiksi Tanskasta, ja Luonnonvarakeskus on suunnitellut myös meidän toimintaympäristöömme toimivia

liiketoimintamalleja sekä maatilakokoluokan että keskitetyn laitoksen nurmibiojalostamolle. Liiketoimintamalleissa ideana on, että tuottoa muodostuu nurmesta puristettavasta yksimahaisille soveltuvasta nestemäisestä valkuaisrehusta, puristusjäännöksen eli kuivajakeen energia-, kuivike- tai kasvualustakäytöstä sekä turvemailla toteutettavan nurmiviljelyn hiilensidonnasta. KieMaRa-hankkeessa tehty karkea tarkastelu osoittaa, että nurmiviljely turvepellolla, jonka vedenpinta on nostettu, tuottaisi päästövähennyksen, jonka taloudellinen arvo saattaa ylittää pellolla viljellyn yksivuotisen viljan sadon arvon.

Nurmibiojalostamokonseptista muodostuvien tuottojen jakautumista hyödyntämisketjun eri toimijoiden välille ei kuitenkaan voitu tässä vaiheessa arvioida, sillä tahoja, jotka olisivat kiinnostuneita nurmen jalostamisesta ei hankeaikana löytynyt. Myöskään nurmibiojalostamolaitteistoja toimittavia yrityksiä ei vielä ole syntynyt, joten esimerkiksi maatilakokoluokan laitteistoon investointi ei tällä hetkellä ole realistinen mahdollisuus, eikä investoinnin suuruusluokkaa voitu arvioida. Mahdollisesti poliittiset paineet maatalouden KHK-päästöjen vähentämiselle vauhdittavat nurmibiojalostamoiden kehitystä, ja nurmen jalostamisen kannattavuuden mahdollistavaa ansaintalogiikkaa saadaan tulevaisuudessa yritys- tai hankevetoisesti hahmoteltua.

KieMaRa-hankkeessa selvitettiin, millaisia vaihtoehtoja lakisääteisen tuottajavastuun ulkopuolelle jäävien maatalousmuovien materiaalikierrätykseen on löydettävissä. Yhteistyöyritysten kanssa päästiin keskustelemaan siitä, millä edellytyksillä maatalousmuovien kemiallinen kierrätys voisi olla uusi, innovatiivinen ratkaisu ”likaisten” maatalousmuovien materiaalikierrätyksen haasteisiin. Maatalousmuovin reittiä kemialliseen kierrätykseen ei kuitenkaan hankeaikana löydetty. Hankkeessa tehtiinkin teknis-taloudellinen tarkastelu konseptille, jossa tila tehostaa paalimuovien säilytystä jätepaalaimen avulla, ja saa tällä tavoin varastoitua mekaaniseen kierrätykseen kelpaavaa muovijaetta ilmaisen noudon edellyttämän määrän. Tarkastelun tuloksena todettiin, että karkeasti ottaen vähintään luokkaa 1 500 säilörehupaalia vuodessa käyttävät maatilat saavat kustannussäästöä tällaisella ratkaisulla. Tarkkaa paalimäärää, jolla säästöä syntyy, ei voida näin yleisellä tasolla laskea, koska jätemaksut, joihin jätepaalaimen kustannusta verrattiin, vaihtelevat alueittain merkittävästikin. KieMaRa-hankkeen tarkasteluissa huomioitiin myös, että vuonna 2023 perustettiin Suomen Maatalousmuovien kierrätys Oy, joka on lakisääteisen tuottajavastuun

ulkopuolelle jäävän maatalousmuovin kierrätyksen toimintamallia kehittävä kierrätysyhteisö. Kierrätysyhteisöön kuuluvat useat maatalousmuovin valmistajat, ja lähivuosina tätä kautta tulevan rahoituksen avulla maatalousmuovien maksutonta noutopalvelua tullaan tarjoamaan nykyistä laajemmin.

KieMaRa-hankkeessa ideoitiin malli maaseudun erilaisten sivu- ja jätevirtojen hyödyntämiseksi. Malli on hankkeessa kertyneiden kokemusten perusteella ideoitu vaiheistus toimenpiteistä, joiden avulla voidaan edistää maatalouden sivu- ja jätevirtojen alueellista hyödyntämistä verkottamalla ja kouluttamalla keskeisiä toimijoita, kartoittamalla alueen sivu- ja jätevirtoja sekä niiden hyödyntämiskäytäntöjä ja ideoimalla hyödyntämiskäytäntöjen ympärille mahdollisimman toteuttamiskelpoisia kiertotalouskonsepteja. Mallissa koordinoijan roolissa toimii hanke, ja toiminta pyörii hankerahoituksen turvin. Tämän tyyppistä verkostomaista biokiertotalouden kehittämistoimintaa voi koordinoida alueellisella tasolla esimerkiksi kehitysyhtiö, tai paikallisella tasolla kunta, joka haluaa lisätä elinvoimaansa kehittämällä uutta liiketoimintaa maaseudun sivuvirtojen ympärille. Tällainen kuntalähtöinen biokiertotalouden edistämisen toimintamalli on esitetty Kuntalähtöisen Living Lab -toiminnan käsikirja pienille kunnille -julkaisussa (Risumäki ym., 2023, ss. 65–82). Verkostomaisen toiminnan koordinointi useamman kunnan yhteistyönä voisi myös olla mahdollista, koska keskeistä on löytää sivuvirroille tuottaja-jalostaja-hyödyntäjäketjuja logistisesti mahdolliselta alueelta, eikä niinkään kartalle piirrettyjen hallinnollisten rajojen sisältä. KieMaRa-hankkeen tuotoksena laadittua mallia ehdotetaan testattavaksi erillisessä hankkeessa, jotta sen toimivuudesta saadaan kokemuksia. Mallia suositellaan kokeiltavaksi ja jatkokehittettäväksi KieMaRa-hankkeen kohdealuetta pienemmällä alueella, jotta toimijoiden verkottaminen lähitapaamisten avulla on mielekkäämpää ja etäisyydet mahdollisiin yhteistyöyhteyksiin tasavertaisempia.

Lähteet

- Ayanfe, N., Franco, M., Stefański, T., Pap, N., & Rinne, M. (2023). *The effects of grass biomass preservation methods, organic acid treatment and press type on the separation efficiency in the green biorefinery*. Bioresource Technology Reports, 21, 101356.
- BioMacon GmbH. (n.d.). *BioMacon Decarbo energy C40-F*.
https://www.biomacon.com/files/ugd/1fc82b_3d5f140f74e04bfe91fa52341bacd37f.pdf
- BioRefine Denmark A/S. (n.d.). *BioRefine – Den grønne løsning*. <https://biorefine.dk/>
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M. L., Kammann, C., Wrange-Mönnig, N., Estavillo, J., & Novak, J. (2019). Biochar, soil, and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: A meta-analysis. *The Science of the total environment*, 651(2), 2354–2364. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.060>
- Brännström, H., Finni, S., Katajajuuri, J.-M., Kilpeläinen, P., Korpinen, R., Kotilainen, T., Luostarinen, S., Rasa, K., Rasi, S., Saastamoinen & M., Saranpää, P. (koonnut). (2021). *Suomen biotalousstrategian päivitykseen liittyvä selvitys metsä- ja agrobiotalouden sivuvirroista ja niiden hyödyntämisestä*. Luonnonvarakeskus.
- Bröckl, M., Kiuru, H., Heads, S., Kämäräinen, K., Patronen, J., Luoma-aho, K., Armila, N., Sipilä, E. & Semkin, N. (2021). *Jätteenpolton kiertotalous- ja ilmastovaikutuksiin vaikuttaminen eri ohjauskeinoin*. Valtioneuvoston kanslia.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-383-093-6>
- Elo, A., Nummela, J. & Kymäläinen, M. (2021). *Biohiili kiertotalousratkaisuna Kanta-Hämeessä*. Hämeen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-784-835-0>
- Erälinna, L. & Järvenpää, A.-M. (2019). *Maatalousmuovijätteen keräys ja kierrätys: Haasteet ja mahdollisuudet*. Turku: Turun yliopisto. ISBN 978-951-29-7569-3
- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1069/2009 (sivutuoteasetus).
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009R1069-20191214&from=FI>

- FCG Finnish Consulting Group. (14. 1 2019). *Selvitys Päijät-Hämeen elinkeinoelämän alueiden merkittävyydestä*. <https://paijat-hame.fi/wp-content/uploads/2020/02/Selvitys-elinkeinoel%C3%A4m%C3%A4n-alueiden-merkitt%C3%A4vydest%C3%A4.pdf>
- Fidel, R. B., Laird, D. A., Thompson, M. L. & Lawrinenko, M. (2017). Characterization and quantification of biochar alkalinity. *Chemosphere*, 167(1), 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.151>
- GRK Infra Oyj. (10.11.2022). GRK rakentaa nopeassa tahdissa useita biohiililaitoksia kaikkiin toimintamaihinsa – Suomeen ensimmäiset keskikokoiset laitokset. *STT Viestintäpalvelut Oy*. Noudettu osoitteesta <https://www.sttinfo.fi/tiedote/grk-rakentaa-nopeassa-tahdissa-useita-biohiililaitoksia-kaikkiin-toimintamaihinsa-suomeen-ensimmaiset-keskikokoiset-laitokset?publisherId=69819211&releaseId=69956952&lang=fi>
- GRK Suomi Oy. (n.d.). *Biohiili – Ilmastopositiivinen valinta*. Haettu 9.11.2023 osoitteesta <https://www.grk.fi/palvelut/biohiili/>
- Hämeen liitto. (2022). *Kanta-Hämeen kiertotalouden tiekartta*. <https://www.hameenliitto.fi/wp-content/uploads/2022/01/Kanta-Hameen-kiertotalouden-tiekartta.pdf>
- Hämeen liitto. (2023). *Kanta-Hämeen elinvoimakatsaus*. <https://www.hameenliitto.fi/kanta-hameen-elinvoimakatsaus/>
- Hämeen liitto. (n.d.). *Kanta-Häme. Tilannekuva 2022*. Noudettu osoitteesta <https://www.hameenliitto.fi/wp-content/uploads/2023/05/Kanta-Hameen-tilannekuva-2022.pdf>
- Härkönen, M. (22.3.2023). Muovin kemiallinen kierrättäminen. Syventymistä kiertotalouden innovaatioihin - arvoketjuja biohiilelle ja maatalousmuoville [webinari].
- Juutilainen, A. (9.6.2017). Kanta-Hämeen suurimmat kasvoivat. *Hämeen Sanomat*. <https://www.hameensanomat.fi/paikalliset/5205095>
- Jyske, T., Rasa, K., Korkalo, P. & Kohl, J. (2023). *Kaskadivisio: Alueellisesti mukautuva biokierrotalous – kaskadiprosessoinnilla biomassoista lisäarvoa, hyvinvointia ja resurssiviisautta*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 28 s.
- Kari, M. (2022). Turvepelto-opas. Pro-Agria Keskusten Liitto. <https://www.proagria.fi/www/nettilehdet/turvepelto-opas/#/article/1/page/1>

- Kasvua Hämeessä -tiedonvälityshanke 2018. (2018). *Ruoka on tärkeä osa aluetaloutta Kanta- ja Päijät-Hämeessä. Aluetalousselvitys*. <https://tasteofhame.fi/wp-content/uploads/2018/01/Hameen-Aluetalousselvitys-2017.pdf>
- Keto, L., Tsitko, I., Perttilä, S., Särkijärvi, S., Immonen, N., Kytölä, K., Alakomi, H-L., Hyytiäinen-Pabst, T., Saarela, M., & Rinne, M. (2021). Effect of silage juice feeding on pig production performance, meat quality and gut microbiome. *Livestock Science*, 254, 104728.
- Komission asetus (EU) N:o 142/2011 (täytäntöönpanoasetus). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1600681759085&uri=CELEX:32011R0142>
- Kymäläinen, M. & Suojala-Ahlfors, T. (2020). Kiertotalous puutarhatuotannossa. Teoksessa M. Kymäläinen & T. Suojala-Ahlfors (toim.), *Puutarhatuotannon kasvisperäiset sivuvirrat hyödyksi* (ss. 8–12). Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Laird, D. & Rogovska, N. (2015). Biochar effects on nutrient leaching. Teoksessa J. Lehmann; & S. Joseph (toim.), *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (ss. 521–542). Taylor & Francis Group.
- Lannoitelaki 711/2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2022/20220711?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=711%2F2022#Pidm46434450527472>
- Luonnonvarakeskus. (n.d.). *Biomassa-atlas -karttapalvelu*. Haettu 15.03.2023 osoitteesta <https://biomassa-atlas.luke.fi/>
- Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteita koskevasta toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 965/2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230965>
- Maaseudun sivistysliitto. (2021). *Biohiiletys*. <https://msl.fi/ymparisto/kaytannon-ymparistotekoja/biohiiletys/>
- Materiaalitori. (n.d. -a). *Materiaalitori vauhdittaa kiertotaloutta*. <https://www.materiaalitori.fi/>
- Materiaalitori. (n.d. -b). *Tietoa palvelusta*. <https://www.materiaalitori.fi/tietoa-palvelusta#tsv>
- Muovien kierrätys. (n.d.). *Mekaaninen kierrätys*. <https://muovienkierratys.wordpress.com/mekaaninen-kierratys/>

Miksei Oy. (n.d.). *Huky – Hulevesien käisttelyn T&K-ympäristö*.

<https://mikseimikkeli.fi/hankkeet/huky-hulevesien-kasittelyn-tk-ymparisto/>

Mustonen, R. (11.5.2020). *Kanta-Hämeen kiertotalouden nykytila*.

<https://www.hameenliitto.fi/wp-content/uploads/2020/05/Kanta-Hameen-kiertotalouden-nykytilan-kuvaus.pdf>

Männistö, K. (2018). *Puutarhasivuvirtojen hyödyntäminen kuivaustekniikoilla* [opinnäytetyö, Hämeen ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201901151278>

Nasdaq Inc. (2023). *Leading the world in Carbon Removal – Puro.earth: The World's Leading Carbon Removal Platform*. <https://www.nasdaq.com/solutions/carbon-removal-marketplace>

Okholm Nielsen, J. (2.10.2023). Grovvarseselskab klar til næste skridt: Pønser på fem nye græsprotein-anlæg. *AgriWatch*.

<https://agriwatch.dk/Nyheder/Industrien/article16469946.ece>

ProAgria Keskusten Liitto. (2016). *Ravinteet ja energia käyttöön - Investointituet energiasta maataloille*. Haettu 16.2.2023 osoitteesta

<https://energiayrittajyys.fi/?q=content/investointituet-energiasta-maatiloille>

ProAgria Keskusten Liitto. (22.3.2023). Maidontuotannon tulosseminaari 2023.

<https://www.proagria.fi/ajankohtaista/maidontuotannon-tulosseminaari-2023>

Pöyry Finland Oy. (2019). *Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen*. Suomen Vesilaitosyhdistys ry.

Rasa, K. (2021). Hidas pyrolyysi osana kiertotalouden arvoketjua. Teoksessa P. Saranpää (toim.), *Suomen biotalousstrategian päivitykseen liittyvä selvitys metsä- ja agrobiotalouden sivuvirroista ja niiden hyödyntämisestä* (ss. 6–8). Luonnonvarakeskus.

Rasa, K., Heikkinen, J., Hannula, M., Arstila, K., Kulju, S. & Hyväluoma, J. (2018). How and why does willow biochar increase a clay soil water retention capacity? *Biomass and Bioenergy*, 119, 346–353. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.10.004>

Red Gardens. (2019). *Finally making biochar* [video]. Youtube.

<https://www.youtube.com/watch?v=IZIJSo8RNAY>

Rehulaki 1263/2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20201263>

Riikonen, A. (2019). *Biohiili ja sen käyttömahdollisuudet viherrakentamisessa*.

Kaupunkiympäristön julkaisuja 2019:19. Helsingin kaupunki.

- Rinne, M. (2023). Esimerkki 3. Nurmibiojalostamo tuottaa vuonna 2030 ruokaa, rehyjuja, lannoitteita, energiaa ja materiaaleja. Teoksessa T. Jyske, K. Rasa, P. Korkalo & J. Kohl (toim.), *Kaskadivisio: Alueellisesti mukautuva biokiertoalustus – kaskadiprosessoinnilla biomassasta lisäarvoa, hyvinvointia ja resurssiviisautta* (s. 28). Helsinki: Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/553082>
- Risu, E., Sitomaniemi, S., Arola, N., Aromaa, S., Huhtanen, V., Juva, K., Kymäläinen, M., Kytö, A., Laatikainen, E., Korvenranta, A., Pöyhönen, T., Salomaa, M., Syvälahti, S., Temisevä, S. & Turunen, M. (2023). *Kuntalähtöisen Living Lab -toiminnan käsikirja pienille kunnille – Tulevaisuuden elävää maaseutua rakentamassa*. Laurea-ammattikorkeakoulu. ISBN:978-951-799-683-9
- Rubin, R. L., Anderson, T. R. & Ballantine, K. A. (2020). Biochar Simultaneously Reduces Nutrient Leaching and Greenhouse Gas Emissions in Restored Wetland Soils. *Wetlands*, 40, 1981-1991. <https://doi-org.ezproxy.hamk.fi/10.1007/s13157-020-01380-8>
- Ruokatieto Yhdistys ry. (2022a). *Kanta-Häme*. Noudettu osoitteesta <https://ruokatieto.fi/ruokatietoa/ruokakulttuuri/alueelliset-erot-ja-erikoisuudet/kanta-hame/>
- Ruokatieto Yhdistys ry. (2022b). *Päijät-Häme*. Noudettu osoitteesta <https://ruokatieto.fi/ruokatietoa/ruokakulttuuri/alueelliset-erot-ja-erikoisuudet/paijat-hame/>
- Ruokavirasto. (2023). *Maatalouden investointituet*. Haettu 16.2.2023 osoitteesta <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/investoinnit/maatalouden-investointituet/>
- Salo, E. (2018). *Current state and future perspectives of biochar applications in Finland*. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201801261337>
- Salo, E. (2019). *Biohiili Suomessa*. Suomen Biohiiliyhdistys. <https://www.hamk.fi/wp-content/uploads/2019/04/Esko-Salo.pdf>
- Schmidt, H.-P. & Wilson, K. (2014). The 55 uses of biochar. *The Biochar Journal* www.biochar-journal.org/en/ct/2
- Sohlo, M. (25.11.2022). Biohiili peltojen maanparannuksen ja päästökaupan näkökulmasta. *Ympäristöviisas viljelijä*. <https://www.proagriaoulu.fi/fi/biohiili/>

- Sumi Oy. (4.10.2023). *Suomalaisten muovipakkausten kemiallinen kierrätys alkaa ensimmäistä kertaa teollisessa mittakaavassa – kyseessä uraauurtava kotimainen ratkaisu.* <https://sumi.fi/2023/10/04/suomalaisten-muovipakkausten-kemiallinen-kierratys-alkaa-ensimmaista-kertaa-teollisessa-mittakaavassa-kyseessa-uraauurtava-kotimainen-ratkaisu/>
- Sumi Oy. (13.3.2023). *Suomeen perustettu maatalousmuovien vapaaehtoinen tuottajayhteisö Suomen Maatalousmuovien Kierrätys Oy.* <https://sumi.fi/2023/03/13/suomeen-perustettu-maatalousmuovien-vapaaehtoinen-tuottajayhteiso-maatalousmuovien-kierratys-oy/>
- Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra. (2019). *Biohiili parantaa ravinteiden kiertoa ja hiilensidontaa.* <https://www.sitra.fi/caset/biohiili-parantaa-maaperan-ravinteiden-kiertoa-ja-hiilensidontaa-2/>
- Suopajarvi, H. (2013). *Biomaterian prosessointitavat: esikäsittelyt, termokemiallinen konversio ja käyttö masuunissa. Bioreducer: Biomateriapohjaisen pelkistysaineen mahdollisuudet.* Oulun yliopisto, Prosessimetallurgian laboratorio.
- Taste of Häme - Makuja Hämeestä. (07.10.2022). *Hämeen maatalous vuonna 2021.* MTK Häme Ry. <https://tasteofhame.fi/hameen-maatalous-vuonna-2021/>
- Thomsen, T. (2022). *Introduction to Production and Use of Biochar 2022: working towards a more circular and bio-based Danish economy.* Roskilde Universitet.
- Tieteen termipankki. (12.9.2018). *Jätehierarkia.* <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Oikeustiede:jätehierarkia>
- Tilastokeskus. (n.d.). *Ostetun lämmitysenergian hinta asumisessa. Valitut muuttujat: erillinen pientalo, kaukolämpö, sähkö, öljy, 2021M01-2022M10.* https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ehi/statfin_ehi_pxt_13nl.px/table/tableViewLayout1/
- Tuomisaari, M. (28.1.2021). *Maatalousmuovijätteen matka: Mitä muovijätteelle tehdään ja mitä merkitystä syntypaikkalajittelulla on? [webinaari].* Satafood Kehittämisyhdistys Ry.
- Uusiouutiset. (7.7.2021). *Fortum suunnittelee Riihimäelle uutta muovijalostamo.* <https://www.uusiouutiset.fi/fortum-suunnittelee-riihimaelle-uutta-muovijalostamo/>

Valonia. (2020). *Katsaus päästökompensaatiopalveluihin*. Haettu 7.2.2023 osoitteesta
<https://valonia.fi/materiaali/katsaus-paastokompensaatiopalveluihin/>

Valtioneuvoston asetus maatalouden rakennetuesta 240/2015.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150240>

Liite 1. Pilottitiloilla läpikäydyt haastattelukysymykset

Alkukartoitus

1. Taustatietoja tilasta

- a. Tilan nimi ja osoite, muut yhteystiedot
- b. Kauanko tila on ollut toiminnassa?
- c. Onko tilalla tapahtunut sukupolven vaihdosta tai omistajan muutosta?

2. Mitä tilalla tuotetaan?

- a. Tuotantosuunta? Eläinten määrä ja tarkoitus tilalla?
 - i. Sikatila
 - ii. Maitotila
 - iii. Emolehmätila
 - iv. Lihatila
 - v. Siipikarjatila
 - vi. Kasvinviljelytila
- b. Tilan kokonaispinta-ala
- c. Tilan peltopinta-ala?
 - i. Viljelty/nurmiala
 - ii. Mitä tilalla viljellään?
- d. Tilan rehunkäyttö?
 - i. Tuotetaanko tilalla käytettävä rehu itse?
 - ii. Kuinka paljon tilalla käytetään ostorehua?
- e. Tuotantotilojen pinta-ala?
- f. Onko tilalla muuta liiketoimintaa?

3. Onko tilalla tuotteiden jatkokäsittelyä tai -jalostusta? Jos kyllä, mitä ja kuinka paljon?

4. Onko tilalla tunnistettu potentiaalia johonkin muuhun tuotantoon? Jos kyllä, mihin?

5. Onko tilalla tuotantoon liittyviä muutossuunnitelmia? (Esim. tuotantosuunta, tuotantomäärät, jatkojalostus)

6. Kulutus ja ylläpitotiedot

- a. Paljonko tilalla kuluu energiaa keskimäärin?
 - Mikä energiamuoto tilalla on käytössä?
 - Tuotannon osuus energian käytöstä?
 - Lämmitys?
 - Sähkö?
 - Onko tilalla omaa energiantuotantoa?
 - Jos kyllä, mitä tuotetaan ja kuinka paljon?
 - Kuinka paljon tuotetusta energiasta hyödynnetään suoraan tilalla?
 - Kuinka paljon tilalla kulutetaan polttoainetta ja polttoöljyä?
 - Mitä polttoaineita ja polttoöljyjä käytetään?
- b. Paljonko tilalla kuluu vettä?
 - Tuotannon osuus vedenkulutuksesta?
 - Käytetäänkö vettä merkittäviä määriä muihin tarkoituksiin?
- c. Käytetäänkö tilalla puhdistus/pesuaineita liittyen tuotantoon?
 - Mitä ja kuinka paljon?

- d. Käytetäänkö tilalla lannoitteita?
 - Mitä ja kuinka paljon?
- e. Käytetäänkö tilalla torjunta-aineita? (Rikkakasvien tai tuhoeläinten torjunta, kasvitautien torjunta)
 - Mitä ja kuinka paljon?
- f. Käytetäänkö tilalla muita kemikaaleja liittyen tuotantoon? (Esim. desinfiointi)
 - Mitä ja kuinka paljon?
- g. Käytetäänkö tilalla rehua? (Rehunkäyttö, kotovarainen, ostorehu)
 - Mitä ja kuinka paljon?
- h. Tuotantoeläinten lääkkeiden käyttö
 - Keskimääräinen arvio kuinka paljon?

7. Kuljetukset, pakkaaminen ja varastointi

- a. Tuotteiden kuljettaja?
- b. Kuljetusten etäisyydet?
- c. Varastoidaanko tuotteita tilalla ennen kuljetusta?
 - Millaisissa olosuhteissa?
 - Vaatiiko varaston ylläpito energiaa ja/tai vettä?
 - Kuinka kauan tuotteita varastoidaan tilalla?
- d. Pakataanko tuotteita tilalla?
 - Pakkausten materiaalit?

Sivu- ja jätevirrat

1. Syntyykö tilalla seuraavia jakeita:

- jos kyllä, arvio jakeen määrästä vuosi/kuukausitasolla
- syy, miksi jaetta syntyy tilalla

- Lanta
 - Sian lietelanta
 - Sian kuivikelanta
 - Naudan kuivalanta
 - Naudan lietelanta
 - Hevosien lanta
 - Lampaan kuivalanta
- Peltobiomassat
 - Viljan lajittelujäte
 - Säilörehu
 - Nurmi
 - Olki (miten käsitellään)
 - Korsiintunut nurmimassa
 - Pilaantunut rehu
- Eläinjäte
 - Suuriskinen
 - Pieniriskinen
- Sekajäte
- Maatalousmuovi
- Metalliromu
- Paperijäte
- Vaarallinen jäte
- Jäteöljy

- Akut ja paristot
- Torjunta-aineet
- Maalit
- Liuottimet
- Loisteputket ja energiansäästölamput
- Pesu- ja puhdistusaineet
- Hapot ja emäkset
- Kasvinsuojeluaineet
- Desinfiointiaineet
 - Biojäte
 - Puujäte
 - Kartonkipakkaukset
 - Muovipakkaukset
 - Muu kartonki
 - Suuret sähkölaitteet
 - Rakennusjäte
 - Pienmetalli
 - Lasijäte
 - Kyllästetty puu
 - Paristot ja piensähkölaitteet
 - Lääkejäte
 - Vaatejäte
 - Pantilliset pullot
 - Muu, mikä?

2. Kuinka paljon tilalla syntyy prosessivettä?

- Jäteveden määrä, mistä jätevettä syntyy?
- Onko jätevedelle määriteltävissä laatua?
- Jäteveden käsittely ja sen kustannukset?

3. Miten yllä lueteltuja jakeita käsitellään tilalla?

- Varastointi, kuljetus, muu käsittely?
- Minkälaisia haasteita käsittelyssä on?
- Miten käsittelyä voitaisiin parantaa?
- Arvio käsittelyn aiheuttamista kustannuksista?

4. Ulkopuolinen jätehuoltopalvelu

- Mitä jätehuoltopalveluja käytetään edellä mainittujen jakeiden käsittelyyn?
- Minkälaisia haasteita käsittelyssä on?
- Miten käsittelyä voitaisiin parantaa?
- Jätehuollosta aiheutuvat kustannukset?

Liite 2. Haastattelukysymykset kiertotalous

Haastattelukysymykset kiertotalous

1. Kiertotalous – mitä se mielestäsi on?
2. Onko tilan toimintaa kehitetty bio- ja kiertotaloustoiminnan näkökulmasta? Jos, kyllä miten?
3. Koetko, että kiertotalouden avulla voisit lisätä liiketoiminnan kannattavuutta tilallasi? Esimerkiksi seuraavien ratkaisujen avulla:
 - Tuotantoon liittyvät symbioosit
 - Yhteiskäyttöresurssit (koneet, työvoima)
 - Uusiutuva energia
 - Keskitetty korjauspalvelu
 - Keskitetty kierrätys
 - Digitaalinen alusta (data, osto, myynti, neuvonta)
 - Rekorinki tai muu vastaava alkutuotannon tuotteiden suoramyyni
 - Muu, mikä?
4. Koetko, että kiertotalouden avulla voisit hyödyntää tilasi sivu- ja jätevirtoja?
5. Minkälaisia esteitä/haasteita oman liiketoimintasi kehittämisessä olet kohdannut? (Ei vain kiertotalouden näkökulmasta.)
6. Minkälaisia mahdollisuuksia näet oman liiketoimintasi kehittämisessä? (Ei vain kiertotalouden näkökulmasta.)
7. Oletko kiinnostunut laajentamaan liiketoimintaasi esimerkiksi osuuskuntatoiminnan tai jonkin muun mallin avulla? Jos kyllä, minkälaisen ratkaisun avulla?
8. Minkälaisia mahdollisuuksia tilalla on sivu- ja jätevirtojen hyödyntämisessä?
9. Minkälaisia haasteita tilalla on sivu- ja jätevirtojen hyödyntämisessä?
10. Minkälaista yhteistyötä sivu- ja jätevirtojen hyödyntäminen mielestäsi vaatisi?
11. Tilanteessa, jossa toiminnalla ei olisi minkäänlaisia rajoitteita, miten hyödyntäisit tilan sivuvirtoja, jätevirtoja ja vesivirtoja?
12. Onko lähialueellanne sellaisia toimijoita, jonka voisit kuvitella hyödyntävän tilanne sivuvirtoja?
13. Millaista osaamista tarvitsisit tilasi liiketoiminnan kehittämiseksi?
14. Millaisista ajankohtaisista aiheista tarvitsisit lisää tietoa tilan kiertotalousratkaisujen kehittämiseksi?
15. Mikä olisi hyvä ajankohta osallistua koulutuksiin/työpajoihin? Minkälainen toteutustapa olisi paras teille?