

# Kasvualustan ja mullantuotannon kehittäminen (KaMu)

Kiertokaari Oy

1.10.2024 – 31.10.2025

VN/16750/2024

Loppuraportti

## TIIVISTELMÄ

KiertoKaaren toteuttamassa kasvualustan ja mullantuotannon kehittämishankkeessa pilotoitiin oman, sekä muiden tahojen, aiemman koetoiminnan perusteella soveltuvaksi oletettuja tekniikoita biopohjaisten raaka-aineiden käsittelyn parantamiseksi ja tehostamiseksi. Näitä tekniikoita olivat teollisen kokoluokan fermentoiva kompostori sekä omista raaka-aineista tuotettu biohiili. Hanke sai rahoitusta Ympäristöministeriöltä osana Ahti-ohjelmaa. Ahti-ohjelman tavoitteena on saada ravinnekuormitus kuriin, maan rakenne kuntoon, haitta-aineet hallintaan sekä resurssit talteen ja käyttöön.

Hankkeen tuloksena fermentoivan kompostorin osalta todettiin sen nopeuttavan käsiteltävien raaka-aineiden kompostoitumista merkittävästi. Laboratorioon lähetettyjen näytteiden analyysitulosten perusteella valmista kompostia saatiin jopa vuorokaudessa, ajoaikojen ollessa yhden ja seitsemän vuorokauden välillä. Testattuja raaka-aineita olivat puutarhajäte, joka sisältää haravointijätteen sekä risut ja oksat, ja biokaasutuotannosta jäljelle jäävä kiinteä mädätysjäännös. Kaikki vaihtelevilla raaka-ainekäymillä testatut tuotokset saavuttivat lannoitelainsäädännön asettamat kypsyyskriteerit.

Biohiilen laboratorioskokeiden perusteella kaikki testatut raaka-aineet, risu- ja oksahake, puhtaan puun hake, käsitellyn puun hake sekä mädätysjäännös, jokin edellä mainituista puujakeista tukiaineenaan, sopisivat biohiilen raaka-aineiksi.

Biohiilen kompostiaumapilottia varten risu- ja oksahakkeesta tuotettu biohiili täytti lannoitelainsäädännön kriteerit kasvualustakäyttöön sopivana orgaanisena maanparannusaineena. Kompostiaumojen lämpötilaseurannan perusteella biohiiltä sisältävien aumojen lämpötiloissa ei huomattu merkittävää parannusta referenssiaumoihin nähden. Kuitenkin pilotti tarjosi arvokasta tietoa sopivista aumakompostoinnin raaka-ainekäymistä. Myöskin, lisäämällä biohiili jo kompostoitumisvaiheessa, sen on mahdollista latautua ravinteilla lopullista kasvualustatuotetta ajatellen. Lämpötilatarkkailu sekä kypsyystestaus ajoittuu osittain myös hankkeen jälkeiseen aikaan, joten lopulliset tulokset niiden osalta tullaan saamaan loppuvuoden 2025 aikana.

Raportin ovat laatineet Teemu Turpeinen ja Vilma Palatsi, yhteistyössä muiden KiertoKaaren asiantuntijoiden kanssa.

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLLYSLUETTELO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | HANKKEEN TAUSTA .....   | 4  |
| 1.1   | Tarve ja relevanssi .....   | 4  |
| 1.2   | Tavoitteet .....  | 5  |
| 2     | HANKKEEN TOTEUTUS .....   | 6  |
| 2.1   | Toteutetut toimenpiteet, toteuttajat ja toteutuksen aikataulu .....   | 6  |
| 2.2   | Muutokset alkuperäiseen suunnitelmaan nähden .....                    | 11 |
| 2.3   | Positiiviset huomiot ja eteen tulleet haasteet .....                  | 11 |
| 2.3.1 | Fermentoiva kompostori .....  | 11 |
| 2.3.2 | Biohiilikokeet ja aumakompostointi .....                              | 13 |
| 2.4   | Toteutetut viestintätoimet sekä niiden onnistumiset ja haasteet ..... | 14 |
| 3     | TULOKSET .....  | 15 |
| 3.1   | Biohiili .....  | 15 |
| 3.2   | Fermentoiva kompostori .....  | 22 |
| 4     | HANKKEEN VAIKUTUKSET .....  | 25 |
| 5     | TALOUSRAPORTTI .....  | 27 |
| 5.1   | Kustannusarvion ja rahoitussuunnitelman toteutuminen .....            | 27 |
| 6     | YHTEENVETO .....  | 28 |

# 1 HANKKEEN TAUSTA

## 1.1 Tarve ja relevanssi

Hanketta edelsi Oulun Veden ja Kiertokaaren Ekohiili-hanke, jossa testattiin biopohjaisten jätejakeiden pyrolysointia vuosina 2022–2023. Ekohiili-hankkeen tulokset osoittivat, että mädätysjäännöksestä tai jätevesilietteestä valmistettu biohiili soveltuu parhaiten teolliseen uusien tuotteiden valmistamiseen. HSY:n toteuttamat Lietehiili-hanke ja RAVITA-hanke ovat kuitenkin antaneet lupaavia tuloksia lietepohjaisen biohiilen käytölle maanparannusaineena. Kasvualustatuotantoa säädellään laissa mm. raaka-aineiden valinnan ja niiden esikäsittelyn osalta. Lainsäädäntö on kuitenkin jatkuvassa muutoksessa alan kehittyessä ja uuden tiedon karttuessa. Toteutetuissa piloteissa tähdättiin siihen, että tuotetut komposti ja biohiili täyttävät kaikki lakien ja säädösten asettamat vaatimukset. Lopputuotteen laatua optimoitiin muokkaamalla raaka-aineita ja niiden seossuhteita tarpeen mukaan.

Kasvualustatuotanto käynnistyi Ruskon jätekeskuksella koetoimintamaisella aumakompostoinnilla vuosien 2022 ja 2023 aikana, vastauksena tuhansien tonnien vuotuiselle puutarha- ja haravointijätteelle sekä biokaasulaitoksen mädätysjäännökselle. Vaikka aumakompostointi tuottaa laadultaan hyvää kasvualustaa, biohiilen lisäämisen pitäisi parantaa merkittävästi sen ominaisuuksia, kuten ilmavuutta ja ravinteidenpidätyiskykyä. Nykyinen kasvualustan tuotantoprosessi aumakompostoinnilla on hidas, mutta oletuksena on, että voimme nopeuttaa prosessia teollisella fermentoivalla kompostorilla sekä biohiilellä. Tavoitteenamme oli pilotoida sekä teollisen kokoluokan fermentointitekniikalla tuotettua kompostia sekä biohiilen tuottamista omista raaka-aineistamme.

Huomioimme kasvualustatuotannossa myös ympäristönäkökulman. Aumakompostoinnista syntyy hiilidioksidipäästöjä ja lämpöhäviöitä, kun taas fermentoinnissa ja pyrolysoinnissa syntyvän lämpöenergian pystyy ottamaan talteen sekä vähentämään päästöjä suodattimilla ja muilla teknisillä ratkaisuilla. Suljetuilla prosesseilla pystyy lisäksi hallitsemaan hajupäästöjä. Fermentointiin perustuvan kompostointilaitteiston sekä pyrolyysilaitoksen hankkiminen on kuitenkin kallista ja

markkinat ovat epävarmat, mikä vaatii perusteellista tutkimusta ennen mahdollisia investointipäätöksiä.

## **1.2 Tavoitteet**

Hankkeen tavoitteena oli tuottaa laadukkaampaa kasvualustatuotetta tehokkaammin ja suurempaa biopohjaisten jätejakeiden määrää hyödyntäen. Tarkoituksena oli myös hyödyntää aiemmin kerättyä tietoa ja kehittää sitä edelleen sekä viedä käytäntöön uusia menetelmiä ja innovaatioita. Hankkeessa tutkittiin optimaalisia materiaaleja sekä seossuhteita jätevesilietepohjaisen mädätysjäätännöksen sekä sen kanssa kompostoitavien ja pyrolysoitavien tukiaineiden välillä. Hankkeen tavoitteena oli myös arvioida suurten investointien kannattavuutta sekä vaihtoehtoisesti tutkia korvaavia yritysysteistyömalleja.

Aumakompostointi on hidasta ja tilaa vievää toimintaa, erityisesti kun käsiteltäviä raaka-aineita syntyy vuosittain kymmeniä tuhansia tonneja. Tämän vuoksi hankkeen tavoitteena oli pilotoida Suomessa ensimmäistä kertaa aumakompostoinnin sijasta teollista fermentoivaa kompostoria puutarhajätteille ja mädätysjäätännökselle. Hankkeen tavoitteena oli kompostoinnin ja pyrolysoinnin avulla hyödyntää yhä useampia biopohjaisia jätejakeita tehokkaammin ja ympäristöystävällisemmin, ja tuottaa näistä jakeista korkeamman jalostusasteen tuotetta, kasvualustaa.

## **2 HANKKEEN TOTEUTUS**

Tässä luvussa käydään läpi hankkeessa toteutetut toimet ja toteutuksen aikataulu. Lisäksi luetellaan toteutukseen osallistuneet tahot sekä mainitaan positiiviset huomiot ja eteen tulleet haasteet. Viestintätoimet käydään läpi omassa alaosiassaan.

Hankkeen toteutus on jaettavissa kahteen erilliseen pilottiin ja edelleen neljään päävaiheeseen. Pilotteja olivat fermentoivan kompostorin testaus sekä biohiilen raaka-aineet ja kompostiaumatestit. Päävaiheiksi voidaan luetella seuraavat:

- Fermentoivan kompostorin pilotti
- Laboratoriomittakaavan biohiilitestit eri raaka-aineilla
- Biohiilen kompostiaumapilotti
- Mädätysjäännöksen ainesosaluettelohakemus.

### **2.1 Toteutetut toimenpiteet, toteuttajat ja toteutuksen aikataulu**

Hankkeen ainoa päätoteuttaja oli Kiertokaari. Muita toteutukseen osallistuneita olivat yhteistyökumppanit sekä kilpailutetut yritykset, joiden tarjoamia palveluita hyödynnettiin laitteiston vuokrauksessa sekä eräiden työvaiheiden toteutuksessa. Toiminnan vaiheet aikatauluineen ja yhteistyöyrityksineen ovat listattuina taulukossa 1. Aikataulusarakkeessa suluissa ovat toteutuneet päivämäärät. Toteuttajasarakkeessa suluissa olevat ovat kilpailutuksen kautta valittuja toimittaja- ja yhteistyöyrityksiä.

Taulukko 1. Toiminnan vaiheet ja aikataulu sekä yhteistyöryitykset.

| Vaihe  | Kuvaus   | Aikataulu                          | Kommentit   | Toteuttajat                     |
|--|--|------------------------------------|---|---------------------------------|
| Fermentoivan kompostorin kilpailutus                                     | Kilpailutettiin toimittaja laitteen vuokraamiseksi hankkeen ajalle                             | 1.10.2024 - 31.10.2024             | Saatiin kolme tarjousta, joista valittiin Kapasity  | Kiertokaari, (Kapasity)         |
| Pyrolyysitestien tekijän kilpailutus ja valinta, materiaalien lähetykset | Kilpailutettiin taho tekemään pienten erien testiajot  | 1.10.2024 - 30.11.2024             | Materiaalit lähetettiin marraskuun lopulla  | Kiertokaari                     |
| Pyrolyysitestien reseptien valinta                                       | Valittiin eri raaka-aineseoksilla testattavat biohiilen reseptit                               | 1.10.2024 - 30.11.2024             | Yhteensä 6 reseptiä   | Kiertokaari, (XAMK Biosampo)    |
| Kompostorilla testattavien reseptien valinta                             | Valittiin reseptit niin, että niiden testiajot ehdittiin tehdä noin kolmessa kuukaudessa       | 1.11.2024 - 31.12.2024 (31.7.2025) | Reseptejä iteroitiin viimeisiin ajoihin saakka  | Kiertokaari                     |
| Fermentoivan kompostorin saapuminen ja käyttöönotto                      | Asennus, käyttöönotto ja perehtyminen laitteeseen  | 1.1.2025 (25.4.2025)               | Saapuminen myöhästyi yli 3 kuukautta odotetusta   | Kiertokaari, Kapasity, Kailatek |
| Pyrolyysikokeiden tuotosten testaus                                      | Koe-eristä lähetettiin näytteet testattavaksi akkreditoituun laboratorioon                     | 1.1.2025 - 31.1.2025               | Biosampo hoiti näytteiden lähetyksen  | XAMK Biosampo, Kymmlabs         |
| Isomman biohiilierän valmistajan kilpailutus                             | Suuremman biohiilierän valmistajan kilpailutus ja valinta, Kiertokaaren raaka-aineita käyttäen | 1.1.2025 - 1.3.2025                | Saatiin kaksi varteenotettavaa tarjousta, joista valittiin Soilcare                       | Kiertokaari, (Soilcare)         |
| Isomman biohiilierän reseptien valinta                                   | Valittiin tulosten perusteella resepti, jota tehtiin suurempi määrä                            | 1.2.2025 - 28.2.2025               | Reseptiä iteroitiin yhdessä valmistajan kanssa, valittiin raaka-aineeksi risu- & oksahake | Kiertokaari, Soilcare           |
| Isomman biohiilierän raaka-aineiden lähetykset                           | Lähetettiin raaka-aineet isompaa biohiilierää varten   | 1.3.2025 - 31.3.2025               | Raaka-aineet Soilcarelle Mikkeliin 26.3.2025  | Kiertokaari, Transport Savikko  |
| Isomman biohiilierän ominaisuuksien testaus                              | Lähetettiin isommasta erästä näyte testattavaksi akkreditoituun laboratorioon                  | 1.4.2025 - 30.4.2025               | Lannoittelain vaatimukset täyttyivät  | Eurofins                        |
| Fermentoivan kompostorin pilotin testiajot                               | Reseptien toteutus   | 25.4.2025 - 31.8.2025              | Alkupäässä laitteeseen tutustuminen   | Kiertokaari                     |
| Fermentoivan kompostorin tuotosten testaus                               | Lähetettiin näytteet akkreditoituun laboratorioon, iteroitiin reseptejä                        | 26.5.2025 - 31.8.2025              | Yhteensä 10 testattua näytettä  | Eurofins                        |
| Mädätysjäätöksen ainesosaluettelo hakemuksen jättäminen                  |  | 27.5.2025                          |   | Kiertokaari                     |
| Biohiilen sekoitus aumoihin  | Sekoitettiin biohiili ennalta laadituilla suhteilla testiaumoihin                              | 1.6.2025 - 31.8.2025               | Biohiilen saapuminen sekä aumojen perustaminen kahdessa erässä (6 + 6)                    | Kiertokaari, Kekkilä, Pohjaset  |
| Testiaumojen lämpötilaseuranta   | Lämpötilojen mittaaminen 2-3 kertaa viikossa   | 1.6.2025 - 31.10.2025              | 3-4 mittausta per auma  | Kiertokaari                     |
| Mädätysjäätöksen ainesosaluettelo hakemuksen lisäkysymykset              | Vastaaminen Ruokavirastolta tulleisiin lisäkysymyksiin   | 29.8.2025                          | Käsittely yhä kesken  | Kiertokaari                     |
| Raportointi  | Rahoittajalle menevän sekä sisäisen loppuraportin laadinta                                     | 1.10.2025 - 31.12.2025             |   | Kiertokaari                     |

Fermentoivan kompostorin osalta esiselvitykset mahdollisista vuokralle antajista aloitettiin jo ennen hankkeen käynnistymistä, joten valinta saatiin tehtyä pian aloituksen jälkeen. Kriteereinä toimittajan valinnalle olivat mahdollisuus vuokraukselle, laitteen tekniikka sekä hinta. Ennen laitteen saapumista selvitettiin ja valittiin testattavat raaka-aineet ja niiden mahdolliset kombinaatiot. Laitteen saavuttua sille suoritettiin asennus ja käyttöönotto, jonka jälkeen aloitettiin testiajot. Kuvassa 1 on nähtävillä laite asennettuna ja käyttövalmiina. Eri reseptejä testattiin ja iteroitiin hankkeen loppuun saakka. Osasta valmiita tuotoksia lähetettiin näytteet akkreditoituun laboratorioon testattavaksi, ennen kaikkea kypsyyden, mutta myös ravinteiden ja alkuainejakauman osalta.



Kuva 1. Fermentoiva kompostori asennettuna ja käyttövalmiina.

Biohiilitestit aloitettiin lähestymällä ennalta selvitettyjä tahoja, joilla voisi olla mahdollisuus tehdä testiajoja Kiertokaaren raaka-aineilla ja/ tai kapasiteettia tuottaa suurempi määrä biohiiltä testien perusteella valikoiduilla raaka-aineilla. Testien tekijäksi valittiin XAMK:n tutkimuslaboratorio Biosampo, ja testit teetettiin loppuvuoden 2024 aikana. Testien perusteella valikoitui yksi resepti, jonka mukaan tilattiin suuremman

biohiilierän valmistus. Aumakompostointipilottia varten valittiin soveltuvuuden perusteella biohiilen valmistajaksi Soilcare. Tärkeimpinä kriteereinä valinnalle olivat mahdollisuus käyttää Kiertokaaren omia raaka-aineita sekä hinta. Raaka-aine-erä lähetettiin hiillettäväksi keväällä 2025 ja valmiit hiilet saatiin kahdessa erässä kesän 2025 aikana. Valmiita hiiliä on nähtävillä kuvassa 2. Testiaumat, joihin biohiiltä lisättiin ennalta suunnitelluilla prosenttiosuuksilla, perustettiin kahdessa osassa hiilien saapumisen mukaan. Biohiiltä lisättiin aumoihin tilavuuden perusteella. Aumat perustettiin vaihtelevilla massajakaumilla haravointijätettä, risu- ja oksahaketta sekä mädätysjäännöstä (taulukko 2). Kesällä 2025 otettu ilmakuva aumoista on nähtävillä kuvassa 3. Kuvassa aumat on merkitty taulukon 2 mukaisesti resepteittäin. Aumojen lämpötiloja tarkkailtiin läpi hankkeen, ja tarkkailu jatkuu vielä hankkeen päätyttyä. Samoin aumojen kypsyystestaus ajoittuu hankkeen jälkeiseen aikaan, loppuvuodelle 2025.

Taulukko 2. Kompostiaumojen raaka-aine- ja biohiilimäärät.

| Auma       | Materiaali     |               |                |          | Yhteensä |
|------------|----------------|---------------|----------------|----------|----------|
|            | Mädätysjäännös | Risu/okساهake | Haravointijäte | Biohiili |          |
| <b>2.0</b> | 20 t           | 20 t          |                | 0 %      | 40 t     |
| <b>2.1</b> | 20 t           | 20 t          |                | 5 %      | 40 t     |
| <b>2.2</b> | 20 t           | 20 t          |                | 10 %     | 40 t     |
| <b>4.0</b> | 24 t           |               | 16 t           | 0 %      | 40 t     |
| <b>4.1</b> | 24 t           |               | 16 t           | 5 %      | 40 t     |
| <b>4.2</b> | 24 t           |               | 16 t           | 10 %     | 40 t     |
| <b>1.0</b> | 18 t           | 4 t           | 18 t           | 0 %      | 40 t     |
| <b>1.1</b> | 18 t           | 4 t           | 18 t           | 2,5 %    | 40 t     |
| <b>1.2</b> | 18 t           | 4 t           | 18 t           | 7 %      | 40 t     |
| <b>3.0</b> | 20 t           |               | 20 t           | 0 %      | 40 t     |
| <b>3.1</b> | 20 t           |               | 20 t           | 2,5 %    | 40 t     |
| <b>3.2</b> | 20 t           |               | 20 t           | 7 %      | 40 t     |



Kuva 2. Valmiita hiiliä suuremmasta biohiilierästä.



Kuva 3. Hankkeen numeroidut kompostoinnin testiaumat, joissa osassa biohiiltä lisättyä.

Biohiilitesteissä yksi testatuista raaka-aineista oli mädätysjäännös, jonka pyrolysointia testattiin eri jätetuuperäisten tukiaineiden kanssa. Koska testitulokset olivat lupaavia, päätettiin mädätysjäännöstä hakea lisättäväksi Ruokaviraston ylläpitämään kansalliseen ainesosaluetteloon pyrolyysihiilen ainesosaksi. Hankkeen päätyttyä hakemuksen käsittelyprosessi on yhä kesken.

## **2.2 Muutokset alkuperäiseen suunnitelmaan nähden**

Suurin yksittäinen muutos alkuperäiseen suunnitelmaan oli mädätysjäännöksen poisjäänti suuremman biohiilierän valmistuksesta, johtuen nykyisestä lannoitelainsäädännöstä. Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 964/2023 mukaan säädetään lannoitevalmisteiden sallittujen ainesosien ainesosaluettelosta, jota valvoo ja ylläpitää Ruokavirasto. Tällä hetkellä pyrolyysihiilen, johon biohiilikin lukeutuu, sallituiksi ainesosiksi on listattu kiinteät biopolttoaineet sekä jätevesiliete. Mädätysjäännös, lähtöaineista riippumatta, ei kuitenkaan kuulu luetteloon. Tästä johtuen aumatesteissä käytetty biohiilierä tuotettiin ilman mädätysjäännöstä, pelkästään kiinteitä biopolttoaineita käyttäen. Muutoksena päätettiin myös hankkeen puitteissa hakea mädätysjäännöstä lisättäväksi Ruokaviraston ylläpitämään kansalliseen ainesosaluetteloon. Käsittelyprosessi on hankkeen päättyessä vielä kesken. Haetun mädätysjäännöksen sallituiksi raaka-aineiksi ehdotettiin ainesosaluokkien 4, 5 ja 10 mukaisia ainesosia.

Huhtikuussa 2025 tehtiin henkilöstövaihdos, kun hankkeen alussa hankkeella osaaikaisena työntekijänä ollut henkilö siirtyi täysipäiväisesti toisiin tehtäviin. Hänen tilalleen palkattiin hankkeelle täysipäiväiseksi työntekijäksi henkilö, jolla oli jo aiempaa kokemusta Kiertokaaresta yrityksenä sekä hän oli valmiiksi tietoinen meneillään olevasta kasvualustan ja mullantuotannon kehityshankkeesta.

## **2.3 Positiiviset huomiot ja eteen tulleet haasteet**

### **2.3.1 Fermentoiva kompostori**

Laitetta markkinoitiin lupauksella, että se kykenee tuottamaan valmista kompostia jopa vuorokaudessa. Tähän suhtauduttiin aluksi skeptisesti, mutta testit eri raaka-aineseoksilla

sekä niistä teetätetyt laboratorioanalyysit osoittivat tuotoksien olevan kypsää jo vuorokaudenkin jälkeen. Heinäkuussa Kiertokaaren omasta jutusta poikunut valtakunnallisen median kiinnostus kompostoria kohtaan johti useaan yhteydenottoon erilaisilta kiinnostuneilta tahoilta.

Alkuoletus oli, että mädätysjäännöksen lisääminen laitteeseen aiheuttaisi likaantumista sekä hajuhaittoja. Positiivisena yllätyksenä huomattiin kuitenkin, ettei epämiellyttäviä hajupäästöjä ilmennyt ja että mädätettä oli yllättävänkin helppo syöttää laitteeseen. Muutoinkin kompostointilaitteesta tuleva haju pysyi testien aikana mietona, välillä hieman pistävänkin makeana, ja yleisesti ottaen hyvänä.

Aikataulullisen haasteen loi fermentoivan kompostorin saapuminen suunniteltua myöhemmin, ja tästä edelleen viivästynyt vuokra-ajan alkaminen. Alun perin kompostorin oli tarkoitus saapua tammi-helmikuun aikana 2025. Laite saapui lopulta huhtikuussa 2025, mutta myöhästymisestä huolimatta kompostorikokeiden suorittamiseen jäi hyvin aikaa. Vuokra-aika oli sopimuksessa valittu kuuden kuukauden mittaiseksi, jolloin koko vuokra-aika saatiin kumminkin sisällytettyä hankkeen aikatauluun.

Kompostointilaitteen kompostointikammion lämpötila oli säädettävissä lämpövastusten lämpötilaa muuttamalla. Laitteen käyttöönoton jälkeen huomattiin, että vastusten lämpötilaa ei kannattanut säätää liian korkeaksi, koska muutoin kompostointisäiliön suojalämpötila ylittyi. Vastuksien lämpötilan lisäksi kammion lämpötilaa nosti laitteeseen syötetty kompostointimassa ja lämpötilaa tuli seurata tasaisesti, jotta haluttu kompostoitumislämpötila pysyi yllä. Suurempi syötteen määrä vaikutti nostavan lämpötilaa nopeammin ja korkeammalle. Pidemmällä ajoilla, kolmesta vuorokaudesta viikkoon, valmis komposti alkoi muuttua kuivaksi ja pöliseväksi. Tämä täytyi ottaa huomioon laitetta tyhjennettäessä käyttämällä hengityssuojaimia. Pääsääntöisesti täyttö ja tyhjennys tai tuoreen raaka-aineen lisääminen tapahtuivat kumminkin 1–2 vuorokauden jälkeen, joten komposti harvoin ehti erittäin kuivaksi.

Lisäksi kompostorin käytössä huomattiin, että laite täytyi tyhjentää täysin jokaisen ajon välissä, jotta saatiin ylös muodostuneen kompostin määrä sekä haihtunut kosteus, sillä laitteessa itsessään ei ollut säiliön punnitusta.

### 2.3.2 Biohiilikokeet ja aumakompostointi

Biohiilen testausta ja valmistamista koskevat kyselyt herättivät suurta mielenkiintoa ja yhteistyö kiinnosti monia. Sekä biohiilitestien, että aumoihin menevän biohiilierän, teettämiseksi käydyt neuvottelut eri asiantuntijatahojen kanssa olivat erittäin valaisevia.

XAMK Biosammon tutkimuslaitoksella teetettyjen biohiilitestien perusteella myös mädätysjäätös sopisi hyvin biohiilen raaka-aineeksi, kun seassa käytetään puuperäisiä tukiaineita. Mädätysjäätöksessä olevat ravinteet säilyvät osittain liukoissa ja kasveille käyttökelpoisissa muodossa hiiltämisen jälkeenkin.

Biohiilen valmistamisessa haasteeksi nousi se, että mädätysjäätöksen käyttö pyrolyysihiilen valmistamiseksi ei ole kansallisen lannoitelainsäädännön puitteissa sallittua. Lisäksi millään kysytyllä yrityksellä ei olisi ollut laitteistoa eikä halukkuutta mädätysjäätöksen hiiltämiseen suuremmissa mittakaavassa. Mädätysjäätöksestä saa tehdä biohiiltä, mutta siitä valmistettua biohiiltä ei tällä hetkellä saa käyttää kuin rakentamiseen. Mädätysjäätöksestä erityisen haastavan tekee, jos se sisältää jätevesilietettä tai eläinperäisiä sivutuotteita, mikä asettaa sille huomattavia rajoituksia. Lisäksi mädätysjäätös vaatisi kunnollisen kuivatuslaitteiston, jotta päästäisiin hiiltämiseen optimaaliseen kuiva-ainepitoisuuteen.

Toisena haasteena isomman erän biohiilettämässä oli Kiertokaaren puumateriaalien kosteus, sillä ne tulivat suoraan asiakkailta eikä niitä ollut kuivatettu ennen pyrolysoitavaksi lähettämistä. Myös raaka-aineen palakoko tuotti vaikeuksia, sillä hiiltämiseen olisi sopinut paremmin murskattu puu, mutta Kiertokaarelta toimitettiin puu haketettuna.

Biohiilen saapuminen kahdessa erässä tarkoitti, että aumatkin jouduttiin perustamaan kahdessa erässä. Toisaalta tämä helpotti aumakentän järjestelyä ja vähensi tarvittavien raaka-aineiden esivarastoitotarvetta aumakentällä.

## 2.4 Toteutetut viestintätoimet sekä niiden onnistumiset ja haasteet

Hankkeelle luotiin heti alussa viestintäsuunnitelma (taulukko 3) jossa määriteltiin ennakoitusti kohdat, joissa viestitään ja mitkä ovat kohdeyleisö kullekin viestintätoimelle. Taulukossa mainittuja Kiertokaaren omia kanavia ovat: kotisivut (Kiertokaari.fi), Intranet, TKI-uutiskirje (lanseerattu syksyllä 2025), Hyötyposti (julkinen tiedote, levikki 160 000), LinkedIn, Facebook sekä Instagram. Jutut pyrittiin jakamaan tasaisesti hankkeen ajalle, mutta osa jutuista päätettiin kumminkin yhdistää aikataulujen eläessä. Toisaalta lisänä suunnitelmaan, hankkeesta heinäkuussa tehty oma julkaisu ja juttuvinkki poiki yhteydenoton Yle Oulun toimituksesta, joka teki oman uutisensa hankkeesta, erityisenä mielenkiinnon kohteenaan fermentoiva kompostori. Uutinen esitettiin radiossa, alueellisessa televisiolähetyksessä ja lyhyenä pätkänä valtakunnallisessa lähetyksessä, nettiuutisena sekä Yle-Areenassa. Nettijuttu on vielä saatavilla osoitteesta: [Oulussa testataan laitetta, joka tekee jätteestä selvää pikavauhtia – hoitaa vuoden työt päivässä | Kotimaa | Yle.](#)

Taulukossa harmaalla pohjalla olevista toimista ei viestitty erikseen, vaan ne sisällytettiin osaksi muita toteutuneita viestitoimia.

Taulukko 3. Hankkeen viestintäsuunnitelma.

|    | Mitä viestitään?                                      | Kenelle?          | Milloin?         | Miten?                                  | Toteutunut |
|----|---|-------------------|------------------|---|------------|
| 1. | Hanke alkaa   | Kaikille          | Lokakuussa 2024  | Kiertokaaren omat kanavat + hyötyposti  | x          |
| 2. | KaMu-tiimi verkostoitumassa KIVO:n kehittämispäivillä | Kaikille          | 23.1.2025        | LinkedIn                                | x          |
| 3. | KaMu, biohiilen mahdollisuudet, Vilman opinnäytetyö   | Kaikille          | 31.3.2025        | Kiertokaaren omat kanavat               | x          |
|    | Biohiilen testiajot                                   | Sidosryhmät       | Talvi 2024-2025  | LinkedIn                                |            |
|    | Fermentointilaitteen saapuminen                       | Medialle (vinkki) | Kevät 2025       | Toimituksiin juttuvinkki                |            |
| 4. | Biohiilen jatkotestit                                 | Kaikille          | 14.7.2025        | Kiertokaaren omat kanavat + juttuvinkki | x          |
|    | Fermentointipilotin alustavia tuloksia                |                   |                  |   |            |
| 5. | Viestitään lopullisista tuloksista                    | Kaikille          | Lokakuussa 2025  | Media + omat kanavat + hyötyposti       | x          |
| 6. | KaMu-hankkeen esittely Kiertovoimapäivillä            | Osallistujille    | Joulukuussa 2025 | Esityspuheenvuoro                       | x          |

## 3 TULOKSET

Hankkeessa pilotoitiin kahta erillistä tekniikkaa: omista raaka-aineista tuotetun biohiilen soveltuvuutta aumakompostoinnin parantamiseksi sekä teollista fermentoivaa kompostoria. Näiden kahden eri pilotin tulokset ovat esitettyinä omilla otsikoillaan. Biohiilen laboratoriotestien tulokset ovat sisällytettyinä biohiiliosioon.

### 3.1 Biohiili

Hankkeessa tehtyjen pyrolyysitestien perusteella Kiertokaaren materiaaleista puhdas puu, käsitelty puu, risut ja oksat sekä mädätysjäätös kaikki sopivat biohiilen valmistamiseen. Mädätysjäätöstä sisältävät testierät pyrolysoitiin 550 °C lämpötilassa ja mädätysjäätöstä sisältämättömät 400 °C:ssa. Pyrolysoinnin lämpötila haluttiin pitää matalana, sillä yleisesti matalassa lämmössä tuotettu biohiili sopii maanparannusaineeksi kovahiiltä paremmin. Testeissä saatujen hiilien laboratorioanalyysien tuloksia (taulukko 4) verrattiin kansallisen lannoitelainsäädännön arvoihin ja Euroopan biohiilisertifikaatin (EBC) Urban-luokan raja-arvoihin. Ruokaviraston ainesosaluettelon ainesosaluokan 9. pyrolyysihiili raja-arvot ylittyivät yhdellä näytteellä PAH<sub>16</sub>-arvojen osalta, eli sitä lukuun ottamatta kaikki testatut hiilet olisivat käytettävissä kansallisen lannoitelainsäädännön mukaan lannoitevalmisteissa. Vapaaehtoisen Euroopan biohiilisertifikaatin mukaan jotkut yksittäiset raja-arvot ylittyivät osalla näytteistä. Tuotteen laatu olisi kuitenkin korjattavissa syötteen ja prosessin skaalaamisella sekä säätämällä, mikäli toiminta vietäisiin laitosmittakaavaan. Laboratoriotulokset osoittivat, että materiaalien uusiokäyttöä olisi mahdollista edistää ja vähentää energiahyödyntämistä käyttämällä raaka-aineita energiahyödyntämisen sijaan biohiilen valmistuksessa.

Taulukko 4. Laboratoriomittakaavan biohiilitestien analyysitulokset.

|  | Mädäte 20%<br>Risuu & oksa 80% | Mädäte 20%<br>Puhdas puu 80% | Mädäte 20%<br>Käs. puu 80% | Mädäte 20%<br>Risuu & oksa 40%<br>Käs. Puu 40% | Risuu & oksa 50%<br>Käs.puu 50% | Käs. puu 100% |
|--|--------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|---------------------------------|---------------|
| <b>Raskasmetallit [mg/kg ka]</b>           |                                |                              |                            |  |                                 |               |
| Cd   | <0,2                           | 0,28                         | 0,38                       |  |                                 |               |
| Cr   | 92                             | 17                           | 91                         |  |                                 |               |
| Hg   | <0,1                           | <0,1                         | <0,1                       |  |                                 |               |
| Ni   | 36                             | 12                           | 14                         |  |                                 |               |
| Pb   | 7,8                            | 7,8                          | 60                         |  |                                 |               |
| As   | 6,6                            | 1,9                          | 13                         |  |                                 |               |
| Cu   | 170                            | 190                          | 310                        |  |                                 |               |
| Zn   | 360                            | 260                          | 920                        |  |                                 |               |
| <b>Fysikaalis-kemialliset ominaisuudet</b> |                                |                              |                            |  |                                 |               |
| H/C-suhde                                  | 0,036                          | 0,039                        | 0,038                      | 0,038  | 0,066                           | 0,064         |
| PAH16 [mg/kg ka]                           | 8,5                            | 4,4                          | 3,9                        |  |                                 |               |
| N (keskiarvo %)                            | 1,35                           | 1,07                         | 1,56                       | 1,34   | 1,24                            | 1,54          |
| C <sub>tot</sub> (keskiarvo %)             | 48,75                          | 62,24                        | 58,75                      | 73,93  | 69,92                           | 73,78         |
| H (keskiarvo %)                            | 1,74                           | 2,43                         | 2,21                       | 2,81   | 4,59                            | 4,73          |
| S (keskiarvo %)                            | 0,62                           | 0,79                         | 0,88                       | 0,32   | 0,13                            | 0,17          |

Aumakompostointikokeita varten risu- ja oksahakkeesta valmistettu biohiili testattiin laboratoriossa ja tuloksien (taulukko 5) perusteella se täytti kaikki kansallisen lannoitelainsäädännön kriteerit tuoteluokan 3A: orgaaninen maanparannusaine osalta. Analysoituja näytteitä verrattiin lisäksi Euroopan biohiilisertifikaatin (EBC) Urban-luokan raja-arvoihin ja myös ne täyttyivät. Valmistettu suurempi biohiilierä oli siis lainsäädännön puitteissa soveltuva käytettäväksi kasvualustassa sekä aumakompostoinnissa. Raaka-aineet hiillettiin 400–500 °C lämpötilassa. Laboratoriotulokset tukivat sitä, että KiertoKaaren vastaanottamista materiaaleista pystytään valmistamaan hyvälaatuista biohiiltä ja lisäämään siten materiaalien uusiokäyttöä.

Taulukko 5. Kompostiaumapilottia varten valmistetun biohiilen analyysitulokset.

| <b>Raskasmetallit</b>                             |       |                   |
|---|-------|-------------------|
| Kadmium (Cd)                                      | 0,29  | mg/kg ka          |
| Kromi VI* (Cr)                                    | 44    | mg/kg ka          |
| Elohopea (Hg)                                     | <0,08 | mg/kg ka          |
| Nikkelä (Ni)                                      | 24    | mg/kg ka          |
| Lyijy (Pb)  | 1,8   | mg/kg ka          |
| Arseeni epäorgaaninen (As)                        | <0,2  | mg/kg ka          |
| Kupari (Cu)                                       | 4,8   | mg/kg ka          |
| Sinkki (Zn)                                       | 39    | mg/kg ka          |
| Vanadiini   | 2,8   | mg/kg ka          |
| <b>Fysikaalis-kemialliset ominaisuudet</b>        |       |                   |
| Orgaaninen hiili (C <sub>org</sub> ), vedetön TOC | 74    | %                 |
| Kuiva-aine  | 96    | %                 |
| Tilavuuspaino                                     | 200   | kg/m <sup>3</sup> |
| C   | 83,7  | %                 |
| H   | 3,6   | %                 |
| N   | 0,4   | %                 |
| S   | 0,02  | %                 |
| PAH-16  | 5,4   | mg/kg ka          |
| PCB-7   | <0,07 | mg/kg ka          |
| Sähkönjohtavuus                                   | 6,4   | mS/m              |
| Hehikutushäviö                                    | 90,5  | %                 |
| H/C <sub>org</sub>                                | 0,049 |                   |

Aumakompostointikokeissa ei havaittu biohiilen lisäyksestä suoria vaikutuksia kompostiaumojen lämpötilakehitykseen. Aumojen (taulukko 2, kuva 3) lämpötilojen kehittymistä seurattiin hankkeen ajan, eikä biohiiltä sisältävien aumojen lämpötilakehityksessä huomattu tilastollisesti merkittävää parannusta referenssiaumoihin verrattuna. Aumakompostoinnin lämpötilamittaukset ovat luettavissa kuvaajista 1, 2 ja 3. Myöskään aistinvaraisesti tarkastellen ei huomattu laadullisia eroavaisuuksia biohiiltä sisältävien ja sisältämättömien aumojen välillä. Aumakompostoinnin tulokset eivät suoraan toteuttaneet hankkeen odotuksia, koska ei pystytty havaitsemaan positiivista vaikutusta kompostiaumojen lämpötilakehityksissä mullantuotannon nopeuttamiseksi. Toisaalta lopulliset vaikutukset voidaan todeta vasta loppuvuodesta 2025, kun aumojen kypsyystestaukseen lähetettävien näytteiden analyysit valmistuvat. Hankkeen aikana ei myöskään ehditty tutkimaan biohiilen pitkäaikaisia vaikutuksia valmiissa kasvualustatuotteessa, kompostoitumisen jälkeen. Kirjallisuudesta kumminkin tiedetään

biohiilen tuovan hyötyjä erityisesti vähähiilисille ja kuiville maaperille sekä tarjoavan suotuisat olosuhteet maaperän mikrobeille.

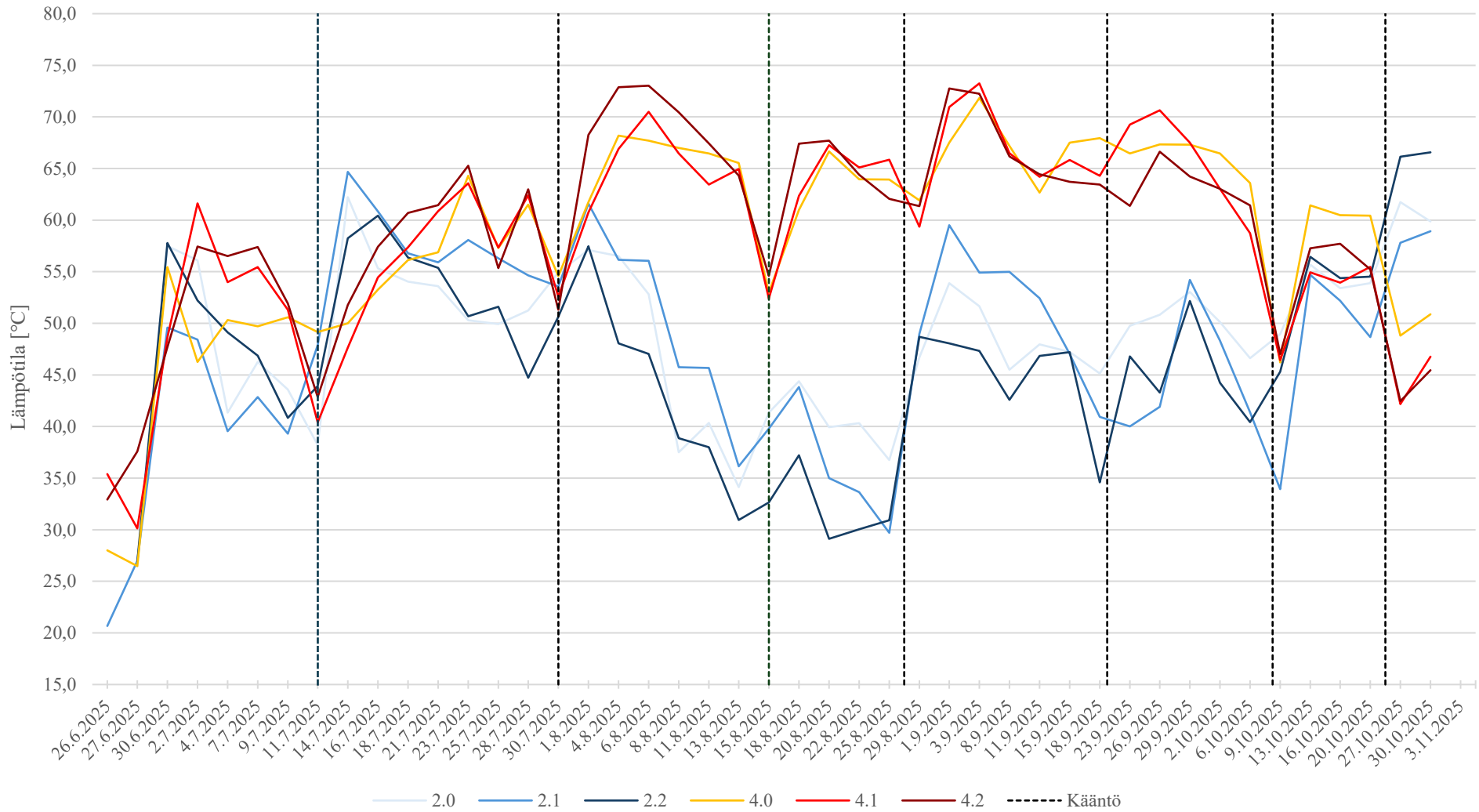
Aumapilotin lämpötilaseurannan ja tulosten perusteella saatiin, ja tullaan saamaan, lisäksi arvokasta tietoa mahdollisista toimivista kompostoitavista raaka-aineista sekä niiden optimaalisista sekoitussuhteista. Aumojen lämpötilaprofiilit vastasivat pitkälti tavallisen aumakompostoinnin lämpötiloja. Ainoastaan mädätysjäännöstä ja risu- ja oksahaketta sisältävien aumojen lämmöntuotto (2.0, 2.1, 2.2) erottuivat muista selvästi alemmilla mittaustuloksillaan. Lisäksi, toisin kuin muissa aumoissa, näiden aumojen sisältämän risu- ja oksahakkeen koostumus oli pysynyt lähes ennallaan.

Aumapilotista positiivisena tuloksena huomattiin myös mädätysjäännöksen kompostoituvan hyvin korkeillakin osuuksilla. Aumoissa 4.0, 4.1 ja 4.2 mädätysjäännöksen osuus oli 60 % ja ne niiden lämpötilakehitys pysyi silti hyvänä. Kaikkia kolmea materiaalia sisältävät aumat (1.0, 1.1, 1.2) toimivat myös erittäin hyvin, vaikka risu- ja oksahakkeella kestääkin pidempään kompostoitua. Näiden testien perusteella risu- ja oksahakkeen käyttöä voisi olla potentiaalista kasvattaa aumakompostoinnissa ja siten vähentää sen käyttöä energiahyödyntämisessä.

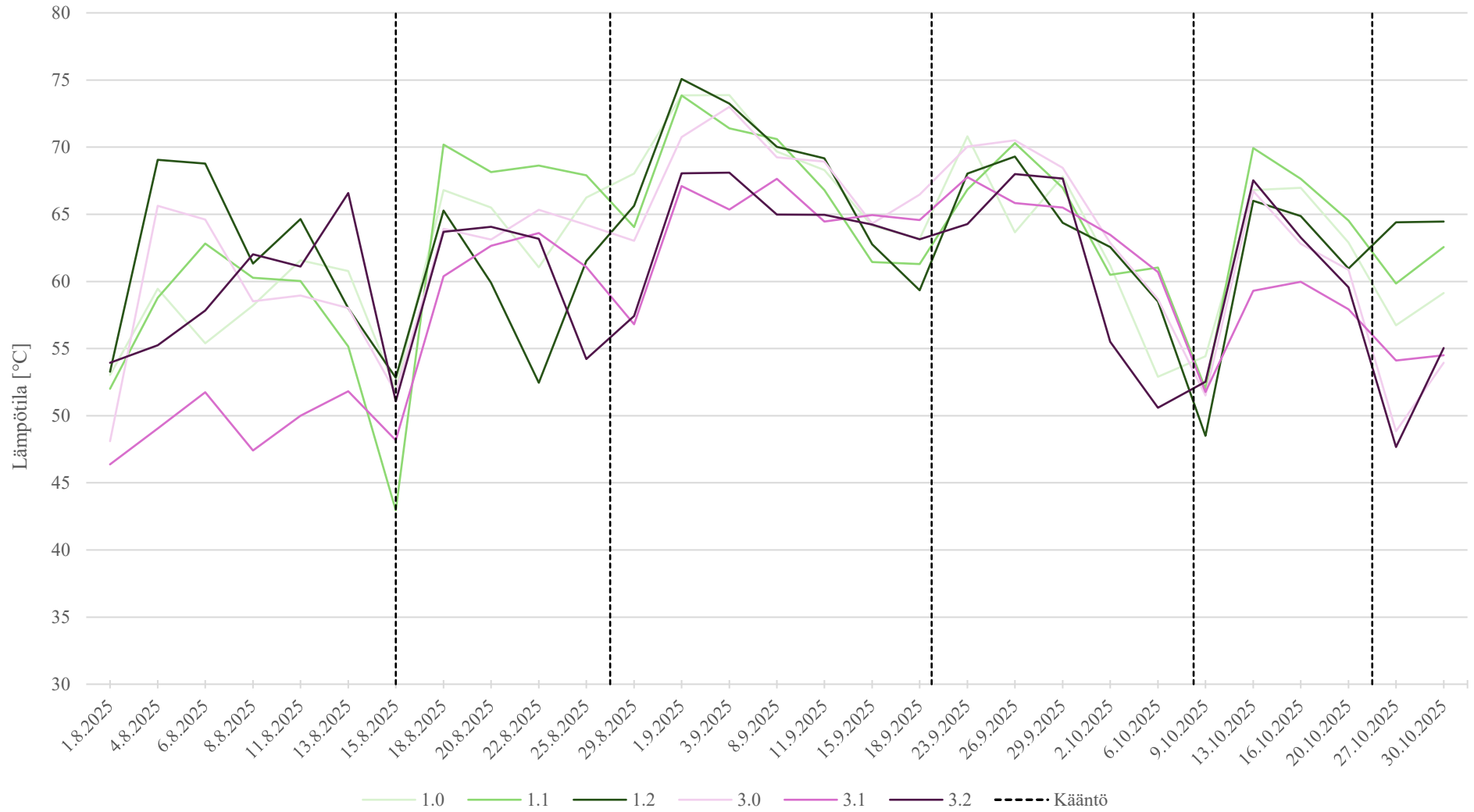
Taulukko 2. Kompostiaumojen raaka-aine- ja biohiilimäärät.

| Auma       | Materiaali     |              |                |          | Yhteensä |
|------------|----------------|--------------|----------------|----------|----------|
|            | Mädätysjäännös | Risu/okshake | Haravointijäte | Biohiili |          |
| <b>2.0</b> | 20 t           | 20 t         |                | 0 %      | 40 t     |
| <b>2.1</b> | 20 t           | 20 t         |                | 5 %      | 40 t     |
| <b>2.2</b> | 20 t           | 20 t         |                | 10 %     | 40 t     |
| <b>4.0</b> | 24 t           |              | 16 t           | 0 %      | 40 t     |
| <b>4.1</b> | 24 t           |              | 16 t           | 5 %      | 40 t     |
| <b>4.2</b> | 24 t           |              | 16 t           | 10 %     | 40 t     |
| <b>1.0</b> | 18 t           | 4 t          | 18 t           | 0 %      | 40 t     |
| <b>1.1</b> | 18 t           | 4 t          | 18 t           | 2,5 %    | 40 t     |
| <b>1.2</b> | 18 t           | 4 t          | 18 t           | 7 %      | 40 t     |
| <b>3.0</b> | 20 t           |              | 20 t           | 0 %      | 40 t     |
| <b>3.1</b> | 20 t           |              | 20 t           | 2,5 %    | 40 t     |
| <b>3.2</b> | 20 t           |              | 20 t           | 7 %      | 40 t     |

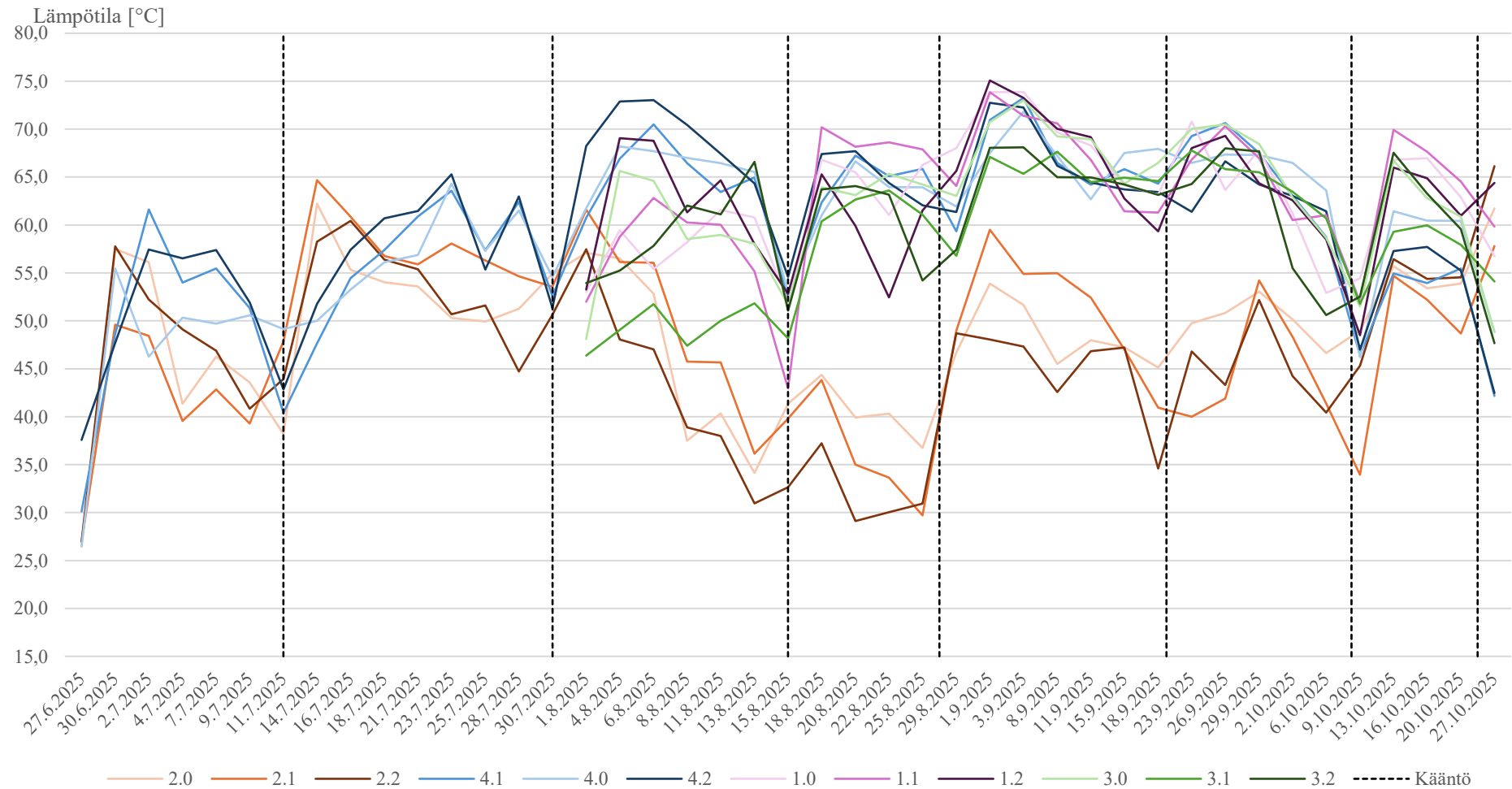
Kuvaaja 1. Ensimmäisessä vaiheessa perustettujen aumojen lämpötilat.



Kuvaaja 2. Toisessa vaiheessa perustettujen aumojen lämpötilat.



Kuvaaja 3. Kaikkien aumojen lämpötilamittaukset.



### 3.2 Fermentoiva kompostori

Fermentoivan kompostorin pilotissa erilaisia testattuja raaka-aineita olivat puutarhajäte sekä mädätysjäätös. Puutarhajäte erotellaan vastaanottoalueella haravointijätteen ja risuun ja oksaan. Esimerkkikuvia kompostorin syötteistä on nähtävillä kuvakollaasista 4. Kuvan vasemmassa alalaidassa on nähtävillä, osittain talvenkin aikana, vastaanotettua risua ja oksaa. Muut kuvan osat ovat haravointijätettä, joka vuodenajasta riippuen voi sisältää hyvinkin erilaisia aineksia, eri puulajien lehdistä leikattuun nurmikkoon.

Fermentoiva kompostori nopeutti kompostoitumisprosessia merkittävästi aumakompostointiin verrattuna. Valmiita tuotteita on nähtävillä kuvakollaasissa 5, jossa vasemmalla näkyy kompostorista jo poistettua valmista tuotosta ja oikealla laitteeseen syötettyä tuoretta haravointijätettä sekä laitteessa jo ennestään ollutta valmista kompostia. Laboratorioanalyysien (taulukko 6) perusteella kaikki testatut näytteet täyttivät lannoitelainsäädännön kypsyyskriteerit ainesosaluokka 3. kompostin osalta. Ainoastaan yhdessä näytteessä patogeenin E-coli raja-arvo ylittyi. Näyte otettiin erästä, jota oli prosessoitu yhden vuorokauden ajan ja on mahdollista, että riittävästä saavutetusta lämpötilasta huolimatta (70 °C, 60 minuutin ajan) koko erä ei ollut kauttaaltaan hygienisoitunut.

Hankkeessa tehtyjen kokeiden perusteella kompostoria olisi mahdollista käyttää lannoitelainsäädännön mukaisen kompostin valmistamiseen, joka mahdollistaisi materiaalikierron nopeuttamista ja tehostamista. Kompostoritestien tulokset täyttivät hankkeelle asetetut tavoitteet ja osoittavat, että laiteella olisi mahdollista nopeuttaa ja edistää kasvualustatuotantoa ja materiaalikiertoa sekä lisätä materiaalien uusiokäyttöä.



Kuva 4. Esimerkkikuvia testatuista haravointijätteistä sekä risuista ja oksista.



Kuva 5. Oikealla tuoretta ja vanhempaa tuotosta kompostorissa, vasemmalla valmista tuotetta poistettuna kompostorista.

Taulukko 6. Kompostorilla testattujen eri raaka-aineiden fysikaaliskemialliset sekä mikrobiologiset analyysitulokset.

| Pitoaika (vuorokautta)   | 1                      | 2                      | 7                      | 2   | 2                                   | 3                                   | 7                                   | 3   | 7   | 3                                | 7                                |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|---|----------------------------------|----------------------------------|
| Kompostin raaka-aineet   | Haravointijäte<br>100% | Haravointijäte<br>100% | Haravointijäte<br>100% | Haravointijäte<br>40%<br>mädäte 40%<br>risu & oksa<br>20% | Haravointijäte<br>50%<br>mädäte 50% | Haravointijäte<br>80%<br>mädäte 20% | Haravointijäte<br>80%<br>mädäte 20% | Haravointijäte<br>33%<br>mädäte 33%<br>risu & oksa<br>33% | Haravointijäte<br>33%<br>mädäte 33%<br>risu & oksa<br>33% | Mädäte 33%<br>risu & oksa<br>67% | Mädäte 33%<br>risu & oksa<br>67% |
| <b>Analysoitu parametri</b>  |                        |                        |                        |   |                                     |                                     |                                     |   |   |                                  |                                  |
| <b>Fysikaalis-kemialliset tutkimukset</b>                            |                        |                        |                        |   |                                     |                                     |                                     |   |   |                                  |                                  |
| Kosteus - (%)  | 47,4                   | 34,7                   | 19,0                   | 44,9  | 29,0                                | 34,8                                | 20,9                                | 41,2  | 27,4  | 27,1                             | 5,0                              |
| Kuiva-aine - (%)   | 52,6                   | 65,3                   | 81,0                   | 55,1  | 71,0                                | 65,2                                | 79,1                                | 58,8  | 72,6  | 72,9                             | 95,0                             |
| Tilavuuspaino - (kg/m <sup>3</sup> )                                 | 650                    | 340                    | 280                    | 440   | 360                                 | 320                                 | 340                                 | 440   | 440   | 370                              | 290                              |
| Hehkutushäviö - (% ka)   | 60,9                   | 82,8                   | 82,0                   | 68,0  | 66,1                                | 83,0                                | 84,1                                | 81,1  | 82,5  | 90,3                             | 91,1                             |
| Tuhka - (% ka)   | 39,1                   | 17,2                   | 18,0                   | 32,0  | 33,9                                | 17,0                                | 15,9                                | 18,9  | 17,5  | 9,7                              | 8,9                              |
| pH, happamuus (1:5)  | 5,3                    | 4,6                    | 4,8                    | 5,5   | 5,3                                 | 4,2                                 | 4,0                                 | 4,6   | 3,9   | 4,4                              | 4,1                              |
| Sähkönjohtavuus (1:5) -<br>(mS/m)                                    | 138,0                  | 265,4                  | 60,6                   | 159,0   | 141,0                               | 66,6                                | 90,0                                | 105,0   | 161,0   | 211,9                            | 127,1                            |
| Kompostin kypsyyss (CO <sub>2</sub> -<br>tuotto) - (mg C/g VS / day) | <0,2                   | 0,90                   | 0,23                   | <0,2  | 0,22                                | <0,2                                | <0,2                                | <0,2  | <0,2  | <0,2                             | <0,2                             |
| Itävyys - (%)  | 97                     | 80                     | 97                     | 100   | 93                                  | 90                                  | 100                                 | 100   | 97  | 100                              | 97                               |
| Kompostin kypsyyss<br>(juurenpitäisyys-indeksi) - (%)                | 108                    | 113                    | 110                    | 135   | 108                                 | 131                                 | 75                                  | 160   | 141   | 120                              | 122                              |
| ML-elinvoimaisuusindeksi -<br>(%)                                    | 108                    | 89                     | 110                    | 135   | 100                                 | 118                                 | 75                                  | 160   | 136   | 124                              | 126                              |
| <b>Mikrobiologiset tutkimukset</b>                                   |                        |                        |                        |   |                                     |                                     |                                     |   |   |                                  |                                  |
| Escherichia coli - (pmy/g)   | 2000                   | <100                   | <100                   | <100  | <100                                | <100                                | <100                                | <100  | <100  | <100                             | <100                             |
| Salmonella - (/25 g)   | Ei todettu             | Ei todettu             | Ei todettu             | Ei todettu  | Ei todettu                          | Ei todettu                          | Ei todettu                          | Ei todettu  | Ei todettu  | Ei todettu                       | Ei todettu                       |

## 4 HANKKEEN VAIKUTUKSET

Hanke toteutettiin TKI-hankkeena, joten konkreettiset vaikutukset jäävät olemattoman pieniksi. Toteutuneet vaikutukset esitetään vaikutusten arviointilomakkeella liitteellä 1. Vaikutusten osalta arvioidaan myös tulosten valossa mahdollisten tulevien investointien ympäristövaikutuksia karkeasti. Nämä hypoteettiset investointien vaikutukset esitetään alla olevissa kappaleissa.

Seuraavat laskelmat perustuvat oletukseen, että Kiertokaari investoisi pyrolysointilaitoksen, jolla olisi mahdollista käsitellä suurin osa vastaanotetusta risusta ja oksasta sekä viereisen biokaasulaitoksen tuottamasta kiinteästä mädätysjäännöksestä. Myös vastaanotetusta puhtaasta sekä käsitellystä puusta suurin osa käsiteltäisiin tällä pyrolysointilaitoksella. Toisen laskelman luvut perustuvat fermentointilaitokseen, jolla olisi mahdollista käsitellä kaikki puutarhajäte sekä suurin osa mädätysjäännöksestä.

Puutarhajätettä otetaan vastaan vuosittain noin 10 000–13 000 tonnia. Puutarhajätteestä pyrolysointiin sopivat parhaiten risut ja oksat, joiden osuus vuosittaisesta määrästä on noin 2 000–2 500 tonnia. Viereisen biokaasulaitoksen lupa sallii 33 000 tonnin vuotuisen mädätysjäännöksen tuottamisen. Risujen ja oksien lisäksi otetaan vastaan noin 700 tonnia käsiteltävää puuta ja noin 700 tonnia puhdasta puuta. Oletetaan, että puutarhajätteestä käsitellään vain risut ja oksat, joiden määrä on 2 000–2 500 tonnia. Lisäksi käsitellään kaikki käsitelty ja puhdas puu, joita yhteensä 1 400 tonnia. Mädätysjäännöksestä oletetaan käsiteltävän määrän olevan 20 000 tonnia (kuiva-ainetta 25 %). Hiilen saanto on alle kolmannes kuiva-aineesta, jolloin valmista biohiiltä voisi enimmillään tuottaa noin 4 000–5 000 tonnia. Matalassa lämpötilassa tuotettu biohiili sitoo hiilidioksidia noin kaksinkertaisesti määräänsä nähden, jolloin sidottu vuotuinen CO<sub>2</sub>-määrä olisi luokkaa 9 000–10 000 tonnia. Pyrolyysilaitoksen toiminnalla olisi myös mahdollista kattaa muun toiminnan lämmöntarvetta sen tuottaman ylijäämälämmön avulla. Pyrolyysilaitos vaatisi lisäksi kuivauslaitoksen etenkin mädätysjäännöksen kuiva-ainepitoisuuden nostamiseksi.

Suurempi teollisen mittakaavan fermentointilaitos mahdollistaisi nopean puutarhajätteen käsittelyn eli edistäisi noin 10 000–13 000 tonnin materiaalin nopeutettua kierrättämistä. Lisäksi biokaasulaitoksen mädätysjäännöstä olisi mahdollista hyödyntää suurempi määrä, esimerkiksi 20 000 tonnia, tai jopa kaikki tällä hetkellä syntyvä mädätysjäännös. Suurin osa risuista ja oksista käytetään tällä hetkellä energiahyödyntämisessä.

Fermentointilaitos mahdollistaisi niiden hyödyntämisen kierrätysmateriaalina ja nopeuttaisi ravinteiden kiertoon saattamista. Samalla voitaisiin ehkäistä energiahyödyntämisestä syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Puutarhajätteen ja mädätysjäännöksen käsittelyminen fermentointilaitoksessa vähentäisi tarvetta aumakompostoinnille ja toisi siten lisää tilaa muulle potentiaaliselle toiminnalle sekä lisäisi mädätysjäännöksen hyödyntämisastetta. Laitos mahdollistaisi myös aumoista haihtuvan lämpöenergian hyötykäytön ja talteen ottamisen.

## 5 TALOUSRAPORTTI

Tässä luvussa esitetään lyhyt yhteenveto kustannusarvion ja rahoitussuunnitelman toteutumisesta sekä mainitaan eteen tulleet haasteet. Talousraportin liitteinä ovat:

- Kustannuserittely (TKI-hankkeen kustannuserittelypohjalla), liite 2
- Kirjanpidon otteet raportointijakson, 1.1.2025 – 31.10.2025, toteutuneista kustannuksista, liite 3
- Kirjanpidon ote käytetystä työajasta kuukausipalkkaisen työntekijän osalta, liite 4
- Tilintarkastajan lausunto, liite 5.

### 5.1 Kustannusarvion ja rahoitussuunnitelman toteutuminen

Hankkeen kokonaisbudjetti oli 204 146 €, josta Ympäristöministeriön myöntämän avustuksen osuus oli 65 %, avustusmäärältään 132 695 €. Omarahoitusosuus hankkeella oli 35 %, määrältään 71 451 €.

Hankkeessa toteutuneita henkilöstökuluja oli yhteensä 95 039,72 € sekä ostopalveluita 79 706,19 €. Näistä 20 %:lla laskettu yleiskustannuksen kertymä oli yhteensä 34 949,18 €. Toteutuneet kustannukset olivat koko hankkeen ajalta kaikkina 209 695,09 €. Näin ollen budjetti käytettiin täysimääräisesti ja myönnetystä avustusmäärästä toteutui yhteensä 132 695 €.

Hakemuksen mukainen kustannusarvio piti ja toteutui pääosin hyvin. Henkilöstökustannukset oli mitoitettu työmäärään nähden riittäviksi. Hankkeen puolivälin paikkeilla tehdyn henkilöstövaihdoksen kustannukset saatiin sovittua niin, että uusi henkilö työskentelee hankkeelle täysipäiväisesti ja budjetin ylimenevä osuus katetaan hankkeen toteuttajan kustannuksella. Fermentoivan kompostorin kustannukset nousivat arvioidusta, mutta toisaalta pyrolyysipilotin ja laboratoriopalveluiden kustannukset jäivät suunniteltua pienemmiksi, sekä koetoimintalupaa varten budjetoitu summa vapautui, jolloin puutteet saatiin paikattua uudelleenallokoimalla ostopalveluiden kustannuslajeja.

## 6 YHTEENVETO

Kasvualustan ja mullantuotannon kehityshankkeessa, KaMu:ssa, pilotoitiin kahta erillistä tekniikkaa; teollisen kokoluokan fermentoivaa kompostoria sekä omista raaka-aineista tuotetun biohiilen lisäystä kompostiaumoihin kypsymisen tehostamiseksi. Lisäksi hankkeen puitteissa päädyttiin laatimaan hakemus mädätysjäännöksen lisäämiseksi Ruokaviraston ylläpitämään lannoitevalmisteiden kansalliseen ainesosaluetteloon pyrolyysihiilen yhdeksi mahdolliseksi ainesosaksi.

Fermentoiva kompostori osoittautui erittäin tehokkaaksi laitteeksi kompostoituvien biojakeiden käsittelyssä. Vaikka tavanomainen aumakompostointi onkin hidasta ja vie kohtalaisen paljon tilaa, on se myös kustannustehokasta. Suuremman kompostorilaitosinvestoinnin kannattavuuden vertailemiseksi on säästetyn ajan arvon määrittäminen hankalaa, ellei nopeutettu prosessi mahdollista suuremman raaka-ainemäärän hyödyntämisen. Säästö tilassa taas näkyisi tällä hetkellä aumakompostoinnin viemän pinta-alan hyödyntäminen toisenlaisessa tarpeellisessa toiminnassa. Teollisella kompostorilla on myös mahdollista käsitellä muutoin haastavia raaka-aineita, joka osaltaan lisää ravinteiden kiertoa sekä mahdollistaisi haastavien materiaalien vastaanottomäärien kasvattamisen.

Fermentoiva kompostorin herättämän suuren mielenkiinnon ja testausmahdollisuuksien kyselyiden pohjalta harkitaan laitteen ostamista Kiertokaarelle hankkeen päätyttyä. Tulevaisuudessa voitaisiin rakentaa testauspalvelu, jossa asiakkailta vastaanotettujen raaka-aineiden kompostoitumista testattaisiin laitteella.

Biohiilen testit mädätysjäännöksellä, käsiteltyllä puulla sekä risu- ja oksahakkeella osoittivat niiden käyttökelpoisuuden soveltuvina raaka-aineina. Tällä hetkellä valtaosa käsitelystä puusta sekä risu- ja oksahakkeesta käytetään energiahyödyntämisessä. Biohiiltämisellä niiden jalostusarvoa voitaisiin kasvattaa sekä hiili saataisiin käyttökohteesta riippuen sidottua pitkäaikaisesti maaperään. Mädätysjäännöksestä olisi erityisesti hyötyä maanparannus- ja kasvualustakäyttöön tarkoitettussa biohiilessä, jossa sen sisältämät ravinteet tulisivat edelleen hyödynnetyksi. Samalla se toimisi niin ikään pitkäaikaisena hiilivarastona.

Aumakokeiden tämänhetkisten tulosten perusteella biohiilen lisäyksellä ei ole tilastollisesti merkittävää parantavaa vaikutusta testattujen aumojen lämmöntuottoon. Lämmöntuotto toimii yhtenä indikaattorina auman kypsymiselle. Toisaalta biohiilen tiedettiin tuovan enemmän etua valmiissa kasvualustatuotteessa, osin sovellutuksesta ja maaperäolosuhteista riippuen. Kun kuiva biohiili sekoitetaan kompostiin jo kompostoitumisvaiheessa, on sen mahdollista latautua kompostoituvasta materiaalista liukenevilla ravinteilla. Näin voidaan vähentää aumakompostoinnin ravinnehuuhtoumia, ja toisaalta saadaan muutoin hulevesien mukana poistuvat ravinteet hyötykäyttöön kasvualustatuotteessa biohiileen imeytyneenä.

Osittain tähänkin hankkeeseen pohjautuen, Kiertokaari on hakenut rahoitusta yhteistyössä Oulun yliopiston ja muiden tahojen kanssa uudelle hankkeelle, nimeltään GeoAgri, jossa tarkoituksena on mm. jatkaa biohiilen raaka-aineiksi soveltuvien materiaalien tutkimista sekä kartoittaa ja pilotoida biohiilen potentiaalisia käyttökohteita. Hankkeessa tullaan paneutumaan eritoten erilaisiin jätteisiin ja sivuvirtoihin biohiilen raaka-aineina sekä biohiilen muihin hyötykäyttökohteisiin, kuten hyödyntämiseen betonituotteissa, hiilensidonnassa ja suodattimena.

Lisäksi tulevaisuudessa on mahdollista hakea rahoitusta hankkeille, joissa jatketaan tässä hankkeessa testattujen tekniikoiden jatkojalostamista tai kokeillaan niihin pohjautuvia uusia innovaatioita materiaalikierron edistämiseksi. Myös hankkeen pohjalta tehtyjen kannattavuuslaskelmien perusteella tullaan arvioimaan mahdollisten investointihankkeiden kannattavuutta ja toteuttamiskelpoisuutta.

## LIITTEET 1 - 5

LIITE 1: Vaikutusten arviointi Resurssit talteen seurantalomakkeella

LIITE 2: Kustannuserittely TKI-hankkeen kustannuserittelypohjalla

LIITE 3: Kirjanpidon otteet raportointijakson, 1.1.2025 – 31.10.2025, toteutuneista kustannuksista

LIITE 4: Kirjanpidon ote käytetystä työajasta kuukausipalkkaisen työntekijän osalta

LIITE 5: Tilintarkastajan lausunto