

**Turvallista ja kestävää lähilannoitetta  
paikallisista sivuvirroista  
LähiTurvaLannoite**

**LOPPURAPORTTI**



Olli Dahl, Aalto-yliopisto, Biotuotteiden ja biotekniikan laitos  
Hanna Vanhanen, Aalto-yliopisto, Biotuotteiden ja biotekniikan laitos  
Jenni Ala-Hongisto, Aalto-yliopisto, Biotuotteiden ja biotekniikan laitos (talousasiat)

1.4.2021 – 31.12.2022

## Tiivistelmä

Hankkeen lyhyen aikavälin päätavoitteina olivat: 1) varmistaa Putretin® kasvuvaste ja turvallisuus (lääke- ja hormonijäämien selvittäminen Putretilla® lannoitettujen taimien kasvualustassa), 2) vähentää teknisin ratkaisuin näkyvän muovin määrää ja mikromuovikuormitusta Putretin® raaka-aineena olevassa kompostissa sekä 3) mahdollistaa kestävän kierrätyslannoiteliiketoiminnan aloittaminen Lahden alueella, osana Kujalan kiertotalousekosysteemiä. Pidemmän aikavälin tavoitteina ovat: 4) luoda markkinat kierrätyslannoitteille ja 5) kehittää kierrätyslannoitteen palvelukonseptia tuotantolaitokselta loppukäyttäjälle yhdessä muiden sidosryhmien kanssa, sekä 6) tukea Suomen lannoitelainsäädännön kehittymistä turvallisten orgaanisten kierrätyslannoitteiden käyttöä edistäväksi.

Putretti® on orgaaninen NPK(C) metsälannoite, joka koostuu kompostista ja puunpolton tuhkasta. Komposti sisältää typpeä (N) ja kaliumia (K), ja puuntuhka fosforia (P) ja kaliumia, mitkä ovat puiden kasvun pääravinteita. Lisäksi lannoite sisältää suuren määrän orgaanista hiiltä (C). Paras lannoite ravinteiden suhteen saavutetaan, kun Putretti® sekoitetaan siten, että 2/3-osaa on kompostia ja 1/3 on tuhkaa, jolloin saavutetaan NPK-lannoite, jossa N (2,5 %), P (0,9 %) ja K (2,3 %) sekä alkuainehiilen osuus lannoituksen alussa on noin 23 % eli 230 kg/tn (pelkälle kompostille noin 30 %). Tarvittaessa Putrettiin® tehdään boorilisäys puiden terveen kasvun ja normaalin kehityksen varmistamiseksi. Joissain erityistapauksissa on myös järkevää lisätä joko neitseellistä ureaa tai vastaavaa typpeä sisältävää kierrätysjätettä, jolloin voidaan lisätä nopealiukoisen typen osuutta lannoitteesta. Putretti® soveltuu myös muuhun lannoituskäyttöön, kuten orgaaniseksi maanparannusaineeksi, kasvualustakäyttöön sekä viherrakentamiseen.

Kasvuvasteen osalta taimikokeissa Putretin® tai Putretin® raaka-aineena olevan kompostin vaste ei poikennut jo markkinoilla olevien lannoitteiden antamasta kasvuvasteesta. Vaikka Putretti® ja komposti eivät antaneet suurinta kasvuvastetta (taimien pituuden lisäys), Putretilla® tai kompostilla lannoitetut taimet kasvoivat kuitenkin hyvin sekä lannoittamattomaan kontrolliin että jo markkinoilla oleviin tyypilannoitteisiin verrattuna. Puun muun biomassan osalta (neulaset, versot ja juuret) lannoitteiden aiheuttamista kasvuvasteista ja niiden välisistä eroista ei voida tehdä tarkempia johtopäätöksiä tässä hankkeessa tehdyn tutkimuksen pohjalta.

Männyn taimien kasvualustasta ei löytynyt lääkeaine- tai hormonijäämiä lukuun ottamatta kofeiinia, jota havaittiin alhaisina pitoisuuksina Putretilla® tai kompostilla lannoitetussa humuksessa kaikilla lannoitustasoilla (100, 200 ja 300 kg N/ha).

Mikromuovia löytyi vähäisiä määriä sekä kompostista että Putretista®. Näytteistä löytyi eniten polyetyleenitereftalaattia (PET), joka on yleisesti elintarvikepakkauksissa käytetty muovityyppi. Sen osuus kaikista löydetyistä partikkeleista oli 80–90 %. Tutkimuksessa löytyi hyvin pieniä määriä 8 eri muovilaatua. Merkittävin havainto oli se, että teknisillä ratkaisuilla, kuten kompostin seulentakonseptia kehittämällä, voidaan merkittävästi vähentää näkyvän muovin määrää kompostissa ja siten parantaa jatkojalostettavan kompostin laatua ja hyödynnettävyyttä. On selvää, että kaikista mikromuovista ei ole mahdollista päästä eroon, joten tämä on fakta, joka vain tulee hyväksyä osaksi kierrätyslannoitteen ominaisuuksia ja haasteita.

Tutkimuksen aikana tuli selväksi ja sen tulokset osoittivat, että kierrätyslannoitteille on kysyntää markkinoilla. Erityisesti toivottiin luomustatuksen omaavia kierrätyslannoitteita, mikäli lannoitteen hinta ei suuresti poikkea muista vastaavista tuotteista. Luomustatuksen jakeita Lahden seudulla ovat muun muassa kaurankuorijauho, hevosenlanta ja oluen valmistuksen mädätysjännös. Näillä jakeilla voidaan merkittävästi nostaa kierrätyslannoitteen hiilipitoisuutta. Lahden Kujalan alueella on

erinomaiset mahdollisuudet toimia Putretin® kaltaisen kierrätyslannoitteen tuottajana ja Lahden sijainti isojen asutuskeskusten läheisyydessä varmistaa tuotteelle riittävät markkinat. Lannoitteen hyväksyttävyyttä eri kohteisiin tulee ensivaiheessa tukea kaikkien projektiin osallistuvien tahojen puolelta ja sen turvallisuutta lannoitteena tulee mainonnassa korostaa, jotta saadaan luotua kierrätyslannoiteliiketoiminnalle turvalliset ja taloudelliset edellytykset. Tulee aina muistaa, että kierrätyslannoiteliiketoiminta tulee aina olemaan paikallista toimintaa, sillä lannoitteiden kuljettamisen hinta muodostuu helposti liiketoiminnan esteeksi. Lisäksi kierrätyslannoitteiden ravinnearvot eivät tule vastaamaan neitseellisiä lannoitteita ilman merkittäviä neitseellisten ravinteiden lisäämistä, mutta sellaisenaan niiden ravinnearvot ovat jo riittäviä sekä pelto- että metsälannoitukseen.

Hankkeen perusteella tunnistimme seuraavat kehittämiskohteet:

1. Mikro-organismien kehittäminen hajottamaan muovia pitkällä aikajänteellä, jotta muovin kertyminen metsässä voidaan estää.
2. Metsikkötason kokeiden suorittaminen ja raportointi, jolloin saadaan selville lannoitteiden vaikutukset puuston kasvuun, hiilen sitoutumiseen ja varastoitumiseen, sekä mahdollisten haitta-aineiden kertymiseen.
3. Kierrätyslannoitteiden markkinoille saattamiseksi tulee hyväksyä niiden haasteet ja mahdollisuudet: niiden ravinnepitoisuudet ovat aina alhaisemmat kuin neitseellisissä lannoitteissa, mutta hiilipitoisuus on aina suurempi, ja hiilijalanjälki hyvin pieni (vain muutamia kymmeniä prosentteja, Putretti® 12 %, neitseellisiin lannoitteisiin verrattuna). Tuotteen ulkonäkö on multamainen ja se ei vastaa perinteistä käsitystä lannoitteesta.
4. Kierrätyslannoiteliiketoiminnan aloittaminen ohjaavilla toimenpiteillä: riittävä seuranta ja valvonta, valmistuslaitosten/ konseptin taloudellinen tukeminen ja konkreettisten pilottikohteiden perustaminen julkisella tuella eripuolella Suomea huoltovarmuuden huomioon ottamiseksi.

## Sisälllys

Tiivistelmä.....	1
1 Hankkeen tausta ja tavoitteet .....	4
2 Hankkeen toteutus .....	6
Yleistä.....	6
TP1. Taimikasvatuskoe.....	6
TP2. Kompostin kuivaus- ja seulontamenetelmän pilotointi laboratorio- ja laitosmittakaavassa10	
TP3. Kierrätyslannoitteen kaupallistamisen ja markkinoille saattamisen reunaehto- selvittäminen ja kaupallistamis- ja markkinoille saattamissuunnitelman laatiminen .....	13
TP4. Hankkeen sisäinen ja ulkoinen viestintä .....	14
TP5. Hankkeen hallinnointi .....	14
3 Hankkeen tulokset.....	14
TP1. Taimikasvatuskoe.....	14
Taimikasvatuskokeen toteuttaminen .....	14
Taimien kasvuvaste lannoituskäsittelyihin.....	14
Kasvualustan lääkeaine- ja hormonijäämät .....	18
TP2. Kompostin kuivaus- ja seulontamenetelmän pilotointi laboratorio- ja laitosmittakaavassa... 21	
TP3. Kierrätyslannoitteen kaupallistamisen ja markkinoille saattamisen reunaehto- selvittäminen ja kaupallistamis- ja markkinoille saattamissuunnitelman laatiminen.....	25
TP4. Hankkeen sisäinen ja ulkoinen viestintä .....	26
TP5. Hankkeen hallinnointi .....	26
4 Tulosten hyödyntäminen .....	26
5 Hankkeen vaikutukset.....	29
6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset.....	30
7 Talousraportti.....	32
8 Johtopäätökset / Yhteenveto hankkeesta ja päätuloksista .....	33
LÄHDELUETTELO: .....	35

# 1 Hankkeen tausta ja tavoitteet

Suomen tavoitteena on olla hiilineutraali vuonna 2035. Samalla Suomi pyrkii maailman ensimmäiseksi fossiilivapaaksi hyvinvointiyhteiskunnaksi. Suomen tavoitteena on myös vahvistaa Suomen roolia kiertotalouden edelläkävijänä sekä vahvistaa hiilinieluja ja -varastoja lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. (Hallitusohjelma) Kotimaisen puupohjaisen kestävästi energiatuotannon lisääminen ja fossiilisten raaka-aineiden ja energian korvaaminen puupohjaisilla raaka-aineilla on asetettu kansalliseksi tavoitteeksi (Kansallinen metsästrategia 2025), mikä tarkoittaa puun käytön lisäämistä ja monipuolistamista. Metsien kasvun lisääminen edellyttää puuntuotannon tehostamista kestäväällä tavalla ja kasvua edistävien toimenpiteiden toteutusta (Kansallinen metsästrategia 2025). Biopohjaiset kiertotalouden ratkaisut painottuvat myös keuhkokuivatuksessa kansallisessa biotalousstrategiassa (Suomen biotalousstrategia 2022–2035). Kestävillä ratkaisuilla edistetään työllisyyttä, tuottavuutta ja sosiaalista yhteenkuuluvuutta (Kestävästi kasvun strategia 2020) sekä vastataan ilmastonmuutoksen, luonnonvarojen rajallisuuden ja luonnon monimuotoisuuden asettamiin haasteisiin. Kestävillä ilmasto- ja ympäristöystävällisillä ratkaisuilla pyritään kohti oikeudenmukaista ja kestävästi yhteiskuntaa (EU:n vihreän kehityksen Green Deal -ohjelma).

Maa- ja metsätaloudessa ja ympäristörakentamisessa on kysyntää kiertotalouden mukaisille uusille ravinneratkaisuille (ml. uudet palvelukonseptit) ravinteiden talteenotosta ravinteiden hyötykäyttöön asti. Puun käyttö lisääntyy, minkä vuoksi tarvitaan puuntuotannon tehostamista sekä turvemaita että kangasmetsissä. Metsikön puuntuotoskyvyn ylläpitämiseksi ja hiilinielujen vahvistamiseksi metsälannoitus tulee lähivuosina lisääntymään. Kangasmetsät ovat typpirajoitteisia, turvemaita on yleensä pula fosforista ja kaliumista. Lannoituksella voidaan kestävästi lisätä puuston kasvua. Metsälannoitteiden tuotevalikoima on kuitenkin suppea ja perustuu pitkälti tuontiraaka-aineista valmistettuihin, nopealiukoisiin epäorgaanisiin lannoitteisiin, joiden aiheuttama kasvuvaikutus puuston kiertoaikaan (80–100 vuotta) huomioon ottaen on liian lyhyt, keskimäärin alle 10 vuotta. Pitkävaikutteisille eli hidashiukoisille, orgaanisille metsälannoitteille (lannoitusvaikutus 30–50 v) on siten kysyntää. Yhä useampi metsänomistaja olisi valmis lannoittamaan metsänsä turvallisella ja kestävästi, paikallisista sivuvirroista valmistetulla orgaanisella kierrätyslannoitteella. Tällaisia metsälannoitteita ei kuitenkaan vielä ole markkinoilla. Myös uudelleen metsänhoidon palvelukonsepteille esim. lannoituksen toteuttamiselle avaimet käteen -periaatteella on yhä enemmän kysyntää.

Kierrätyslannoitteiden käyttö vähentää riippuvuutta kriittisten raaka-aineiden, erityisesti raakafosforin, tuonnista EU:n ulkopuolelta ja laajentaa korkealaatuisten lannoitevalmisteiden valikoimaa, joka on erityisen rajoittunut metsälannoitteiden osalta. Kierrätyslannoitteiden käyttö tuo merkittäviä ympäristö- ja ilmastohyötyjä. Niiden valmistaminen vähentää neitseellisten raaka-aineiden logistiikkaan ja prosessointiin liittyvää energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Niiden käyttö vähentää kaatopaikkajätteen määrää ja kaatopaikkapäästöjä. Orgaanisten kierrätyslannoitteiden käyttö maa- ja metsätaloudessa sekä taajama-alueilla ympäristörakentamisessa (maisemointi, viherrakentaminen) vähentää alapuolisiin vesistöihin ja Itämereen kohdistuvia ravinnepäästöjä ja siten vesistöjen rehevöitymiskehitystä. Orgaanisten kierrätyslannoitteiden lannoitusvaikutus kestää huomattavasti pidempään kuin vastaavien kivennäislannoitteiden. Orgaaniset kierrätyslannoitteet lisäävät myös hiilen määrää maaperässä sekä parantavat maaperän rakennetta ja biologista aktiivisuutta.

Paikallisten ravinnerikkaiden raaka-aineiden jalostaminen nykykäyttöä arvokkaammiksi tuotteiksi edistää alueellista kiertotalousekosysteemiä ja samalla ravinteiden kierrätyksestä syntyy uutta

liiketoimintaa, kun ne saadaan osaksi yritysten uusia liiketoiminta-avauksia. Biopohjaisten (orgaanisten) kierrätyslannoitteiden hintakilpailukyky on paranemassa sisämarkkinoiden kehittyessä ja kierrätyslannoitteiden kysynnän kasvaessa. Luonnonmukaisten lannoitteiden markkinat ovat huomattavat, jopa 30 % epäorgaanisten lannoitteiden nykyisestä käyttömäärästä olisi korvattavissa kierrätyslannoitteilla. Markkinoiden luominen kierrätyslannoitteille onkin otettu yhdeksi kansalliseksi toimenpiteeksi hiilinielujen ja -varastojen vahvistamiseksi.

Päijät-Hämeessä aloitettiin jo vuonna 2018 ennakkoluulottomasti selvittää ja tutkia RaKiKy-hankkeessa (2018–2020) puutuhkan ja kompostin käyttöä orgaanisena metsälannoitteena Etelä-Suomen aluekehitysrahaston myöntämällä rahoituksella. Huoli yhdyskuntalietepohjaisen kompostin ja siitä jalostettujen lannoitevalmisteiden aiheuttamasta ympäristöriskistä (haitta-aineet), oli johtanut silloiseen tilanteeseen, joka ainakin osittain on voimassa edelleen, missä viljojen loppukäyttäjät eivät halua ostaa tuotteita, joihin on käytetty yhdyskuntalietepohjaisilla lannoitevalmisteilla lannoitetuilla alueilla tuotettua viljaa. Tämän vuoksi yhdyskuntalietepohjaisen kompostin käytölle piti löytää uusia käyttötarkoituksia ja vähentää sen sisältämiä haitta-aineita. Rakiky-hankkeessa tunnistettiin selvästi myös tarve kehittää orgaaninen metsälannoite, jollaisia ei vielä silloin ollut markkinoilla.

Tätä raporttia kirjoitettaessa tilanne on lähes sama kuin neljä vuotta sitten v. 2018. Lannoitetuotannossa on keskitytty pitkälti peltolannoitteiden tuotantoon. Metsälannoitteiden tuotevalikoima on suppea ja pohjautuu neitseellisten raaka-aineiden käyttöön. Markkinoilla on vain epäorgaanisia metsälannoitteita, joiden hinta ja saatavuus (koskee kaikkia pelto- ja metsälannoitteita tällä hetkellä) käytännössä estävät metsien lannoittamisen tällä hetkellä. Tilanne voisi olla täysin toinen, jos lannoitteiden valmistaminen perustuisi raaka-aineiden tai lannoitevalmisteiden tuonnin sijaan paikallisten ja alueellisten ravinnerikkaiden sivuvirtojen hyödyntämiseen. Omavaraisuuden ja huoltovarmuuden parantamisen pitäisikin olla kaiken lannoitetuotannon keskiössä. Näin varmistettaisiin kotimainen ruuantuotanto niin kriisitilanteissa kuin rauhan aikana. Samalla tuettaisiin suomalaista työtä ja mahdollistettaisiin vihreä siirtymä kestäväällä tavalla.

LähiTurvaLannoite -hanke oli jatkoa vuoden 2020 loppuun päättyneelle Rakiky -hankkeelle, jossa Putretti® -lannoitteen kehitystyö aloitettiin. Rakiky -hankkeen tulokset osoittivat, että Lahden seudulta löytyy sivuvirtoja (puutuhka) ja ravinnerikkaita raaka-aineita (komposti), joista voidaan valmistaa kestävä kierrätyslannoite, jonka hiilijalanjälki on noin 12 % neitseellisestä, vastaavasta lannoitteesta, ja jonka ravinnepitoisuudet vastaavat neitseellistä lannoitevalmistetta. Paras lannoite ravinteiden suhteen saavutetaan, kun Putretti® sekoitetaan siten, että 2/3-osaa on kompostia ja 1/3 on tuhkaa, jolloin saavutetaan NPK-lannoite, jossa N (2,5 %), P (0,9 %) ja K (2,3 %) sekä alkuainehiilen osuus lannoituksen alussa on noin 23 % eli 230 kg/tn<sup>1</sup> (pelkälle kompostille noin 30 %).

Hankkeen ensisijaisena tavoitteena oli varmistaa Putretin® turvallisuus (lääke- ja hormonijäämien selvittäminen Putretilla® lannoitettujen taimien kasvualustassa), vähentää teknisin ratkaisuin näkyvän muovin määrää ja mikromuovikuormitusta Putretin® raaka-aineena olevassa kompostissa sekä mahdollistaa kestävä kierrätyslannoiteliiketoiminnan aloittaminen Lahden alueella, osana Kujalan kiertotalousekosysteemiä. Pidemmän aikavälin tavoitteena oli olla osana luomassa markkinaa kierrätyslannoitteille ja kehittämässä kierrätyslannoitteen palvelukonseptia tuotantolaitokselta loppukäyttäjälle yhdessä muiden sidosryhmien kanssa, sekä tukemassa lannoitelainsäädännön kehittymistä turvallisten orgaanisten kierrätyslannoitteiden käyttöä edistäväksi.

---

<sup>1</sup> Laskettu seuraavasti:  $0,75 \times 0,58 \times 52 \% = 22,6 \%$ , jossa 0,75 on kompostin osuus Putretissa, 58 on alkuainehiilelle esitetty kerroin (Orgaanisten lannoitevalmisteiden käyttö, hiilen määrä maaperässä ja sen vaikutus, Tapio Salo, Luke, 2018). 52 % on tyypillinen hiilipitoisuus kompostissa.

## 2 Hankkeen toteutus

### Yleistä

Hankkeen toteuttajana oli Aalto-yliopiston, Kemianteeniikan korkeakoulun, Biotuotteiden ja biotekniikan laitos. Hankkeen projektipäällikkönä toimi prof. Olli Dahl, projektitutkijana Hanna Vanhanen ja kontrollerina (talousasiat) Jenni Ala-Hongisto. Aalto-yliopistosta hankkeen toteuttamiseen osallistuivat myös tutkijaharjoittelijat Sonja Dallyn, Camilla Inkeroinen ja Maija Hietto.

Hankkeen yritys yhteistyötahoina olivat Labio Oy, Lahti Energia Oy ja Salpakierro Oy. Ne toimivat hankkeessa sekä asiantuntijatahoina että raaka-aineiden toimittajina. Osa hankkeesta toteutettiin myös yhteistyötahojen toimipaikalla (kts. tarkemmat tiedot hankkeen toteutuksesta toimenpidekohtaisesti).

Hanke sai rahoitusta ympäristöministeriön Ravinteiden kierrätyksen ja jätevesien käsittelyn energiatehokkuuden rahoitusohjelmasta, VN/24111/2020.

Hanke käsitti viisi toimenpidettä (TP):

**TP1.** Taimikasvatuskokeen toteuttamisen

**TP2.** Kompostin kuivaus- ja seulontamenetelmän pilotoinnin laboratorio- ja laitosmittakaavassa

**TP3.** Kierrätyslannoitteen kaupallistamisen ja markkinoille saattamisen reunaehtojen selvittämisen ja kaupallistamis- ja markkinoille saattamissuunnitelman laatimisen

**TP.** Hankkeen sisäinen ja ulkoinen viestinnän

**TP5.** Hankeen hallinnoinnin.

Hankkeen toteutuksessa ohjaavana tekijänä oli löytää oikeat tekniset ratkaisut sekä makro- ja mikromuovien että lääkejäämien haasteisiin.

### TP1. Taimikasvatuskoe

#### **Taimien kasvattaminen, lannoituskäsittelyt ja taimien pituus- ja biomassamittaukset:**

Kokeessa käytettiin kaupallisesti tuotettuja (Fin Forelia Oy, Saarijärven taimitarha), yksivuotiaita männyn (*Pinus sylvestris*) paakkutaimia (Kuva 1). Kasvualustana käytettiin puolukkatyyppin männiköstä (VT-männikkö, Vesivehmaa) haettua humusta. Humuksesta poistettiin isot juuren pätkät, kivet ym. roskat ennen käyttöä. Taimet istutettiin 22.6.2021 kasvatuspurkkeihin (11x11x11cm, pohjalla suodatinkangas), joissa oli noin 8 cm kerros humusta.



Kuva 1. Taimikokeessa käytettyjä männyn yksivuotiaita paakkutaimia. Kuvat Hanna Vanhanen.

Parin viikon sopeutumisjakson jälkeen tehtiin taimipurkkien lannoituskäsittelyt (6.7.2021): lannoitteina Putretti® (P) ja verrokkeina pelkkä komposti (K), Ecolan Silva® Nitro (N), GreenCare Puutarhan Kevätlannoite (PTK), YaraMila Y3 (Y) ja lannoittamaton kontrolli (C). Lannoitustasot (Taulukko 1) vastasivat metsänhoidon suositusten mukaisia lannoitusmääriä 100–300 kg N/ha.

Taulukko 1. Käytetyt lannoitustasot ja käsittelyiden lyhenteet.

Lannoituskäsittelyt viidellä lannoitteella kolmella eri lannoitustasolla:	Käsittelyiden lyhenteet:
Lannoittamaton kontrolli	C
Lannoitustaso 100 kg N/ha	P1, K1, N1, PTK 1, Y1
Lannoitustaso 120 kg N/ha	P2, K2, N2, PTK 2, Y2
Lannoitustaso 200 kg N/ha	P3, K3, N3, PTK 3, Y3
Lannoitustaso 300 kg N/ha	P4, K4, N4, PTK 4, Y4

Taimet arvottiin käsittelyihin ja jokaisessa käsittelyssä oli neljä taimia (n=4). Jokainen taimi kasvatettiin omassa purkissaan (Kuva 2). Kasvatettavia taimia oli siis yhteensä 84 kpl. Taimet kasteltiin vesijohtovedellä kerran viikossa. Kasvuvasteen selvittämiseksi taimien pituus mitattiin kerran viikossa, ja läpimitta kokeen alussa ja lopussa. Taimet kasvatettiin avokasvihuoneessa Hollolassa / katoksen alla Lahdessa. Kesä 2021 oli kuuma ja hyvin aurinkoinen, minkä vuoksi taimipurkit pidettiin koko kasvatuksen ajan katoksen alla poissa suorasta auringonvalosta. Taimipurkit laitettiin myös muovipusseihin purkin pohjassa olevien reikien kautta tapahtuvan haihdunnan vähentämiseksi (Kuva 3). Suorassa auringonvalossa taimet olisivat palaneet ja kuivuneet pystyyn kastelusta huolimatta. Kasvatuskoe kesti 10 viikkoa (6.7–14.9). Kokeen päättymisen jälkeen oli vuorossa taimien biomassamääritykset (juuret, versot, neulaset). Juurten erottelu humuksesta tehtiin käsin. Juuret, versot ja neulaset kuivattiin (vapaa vesi pois, juuret ja versot yön yli +105 °C, neulaset 12 h +40 °C) ennen



biomassamäärytyksiä. Juurten, versojen ja neulasten biomassat määritettiin Putretin® ja kompostin aiheuttaman kasvuvasteen selvittämiseksi.



Kuva 2. Taimikokeen taimipurkkeja kokeen alkupuolella (heinäkuu 2021). Kuva Hanna Vanhanen.



Kuva 3. Taimikokeen taimipurkkeja (jokainen omissa muovipussissa haihdunnan vähentämiseksi) kokeen lopussa (syyskuu 2021). Kuva Hanna Vanhanen.

Taimitarhataimet olivat hyväkuntoisia ja taimien kasvu lähti hyvin käyntiin, kun valo- ja lämpöolosuhteet olivat kohdallaan. Taimien kasvattaminen avokasvihuoneessa luonnon olosuhteissa on haasteellisempaa kuin taimien kasvattaminen vakio-olosuhteissa esim. kasvatuskaapissa, jossa voidaan säätää ja vakioida mm. lämpötilaa, kosteutta ja yö-päivä-valojaksoa. Avokasvihuoneessa kasvattaminen antaa kuitenkin realistisemmän kuvan taimien selviytymisestä alati muuttuvissa luonnon olosuhteissa, minkä vuoksi taimikoe suoritettiin avokasvihuoneessa luonnon olosuhteissa. Taimikokeen tavoitteena oli tutkia orgaanisen lannoitevalmisteen, Putretin®, vaikutusta männyn taimien kasvuun ja kasvualustasta lannoituksen jälkeen analysoitaviin lääkeaine- ja hormonijäämiin. Putretin® kasvuvastetta eli vaikutusta taimien pituuteen, läpimittaan ja biomassoihin verrattiin lannoittamattomaan kontrollin ja jo markkinoilla olevien vastaavien (lannoituksessa annetun tyyppien määrän osalta) lannoitteiden kasvuvasteisiin.

### Humusnäytteenotto lääkejäämä/hormonianalyysijä varten:

Taimikokeen yhtenä tavoitteena oli selvittää, vaikuttaako lannoitus kasvualustan lääkeaine- ja hormonipitoisuuksiin, minkä vuoksi kasvualustana käytetystä humuksesta kerättiin humusnäytteet (kokoomanäyte eli yksi näyte per käsittely) lääkejäämä- ja hormonianalyysijä varten. Humusnäytteet kerättiin käsin seulomalla siten, ettei itse lannoitetta päässyt mukaan näytteeseen. Näin tehtiin, koska tarkoituksena oli selvittää, ilmeneekö lannoitteista mahdollisesti tapahtuva lääkeainejäämien ja hormonien liukeneminen kasvualustan lääkeaine- ja hormonipitoisuuksissa. Lääkeainejäämiä ja hormoneja on esimerkiksi jätevesilietteessä. Putretti sisältää kompostia, jonka yhtenä raaka-aineena on mädätetty yhdyskuntajätevesiliete.

### Lääkeaine- ja hormonianalyysit:

Lääkeaine- ja hormonianalyysit teetettiin ostopalveluna. Analyysien toteuttajaksi valittiin Eurofins Environment Testing Finland Oy Lahdesta. Eurofins on ainoa akkreditoitu laboratorio Suomessa, joka pystyy tarjoamaan kierrätyslannoitevalmisteisiin (pääraaka-aineena yhdyskuntajätevesilietettä sisältävä komposti) liittyviä lääkeaine- ja hormonianalyysipalveluita.

Lääkeaine- ja hormonianalyysit tehtiin alla olevista käsittelyistä (käsittelyn lyhenne tummennettu) (Taulukko 2.). Sokeana kontrollina käytettiin ibuprofeeninäytettä (kontrollikäsittelyn humusta, johon lisätty ibuprofeenia noin 100 x määräysraja (0,01 mg/kg kuiva-ainetta)). Näin ollen lääkeaine- ja hormonianalyysit tehtiin 13 näytteestä. Rahoituksellisista syistä lääkeaine- ja hormonianalyysijä ei voitu tehdä kokeen kaikista näytteistä. Näytteistä analysoitiin kahdeksan hormonia ja 151 lääkeainetta (laboratorion tarjoama laaja analyysipaketti).

Taulukko 2. Käsittelyt (tummennetut lyhenteet), joista tehtiin lääkeaine- ja hormonianalyysit.

Lannoituskäsittelyt viidellä lannoitteella:	Käsittelyiden lyhenteet:
Lannoittamaton kontrolli	<b>C</b>
Lannoitustaso 100 kg N/ha	<b>P1, K1, N1, PTK 1, Y1</b>
Lannoitustaso 120 kg N/ha	<b>P2, K2, N2, PTK 2, Y2</b>
Lannoitustaso 200 kg N/ha	<b>P3, K3, N3, PTK 3, Y3</b>

TP2. Kompostin kuivaus- ja seulontamenetelmän pilotointi laboratorio- ja laitosmittakaavassa

### Kompostinäytteenotto Labio Oy:llä:

Labio Oy sijaitsee Lahden Kujalassa. Labio Oy:ltä haettiin kuluneen kesän aikana kompostia kolme kertaa. Hankkeessa käytettiin kompostia, joka oli ollut ulkoaumassa noin 2 kk:n ajan (ns. 2 kk vanhaa kompostia). Kompostoitumisprosessin saman vaiheen kompostia käytettiin myös Putretin® raaka-aineena.

### Seulonnan esikokeet ja varsinainen seulontakoe laboratoriossa:

Seulonnan esikokeiden tavoitteena oli selvittää, millaisesta materiaalista kompostissa on kyse. Esikokeissa selvitettiin kompostin kuiva-ainepitoisuus ja se, kuinka hyvin komposti ylipäänsä seuloontuu seulontaan aiotulla laitteistolla. Esikokeiden perusteella suunniteltiin varsinainen seulontakoe.

Seulontakokeessa komposti seulottiin eri partikkelikokoluokkiin, jolloin voitiin määrittää muovin (makro- ja mikromuovi) määrä eri partikkelikokoluokissa.

Seulontakoe tehtiin hakeseulalla (Kuva 4). Kokeessa käytettiin seuraavia seulakokoja: > 13 mm reikäseula, > 6 mm reikäseula, > 3 mm reikäseula.



Kuva 4. Laboratoriossa tehdyssä seulontakokeessa käytetty hakeseula. Kuva Camilla Inkeroinen.

### Kompostin seulontakoe pilot-mittakaavassa:



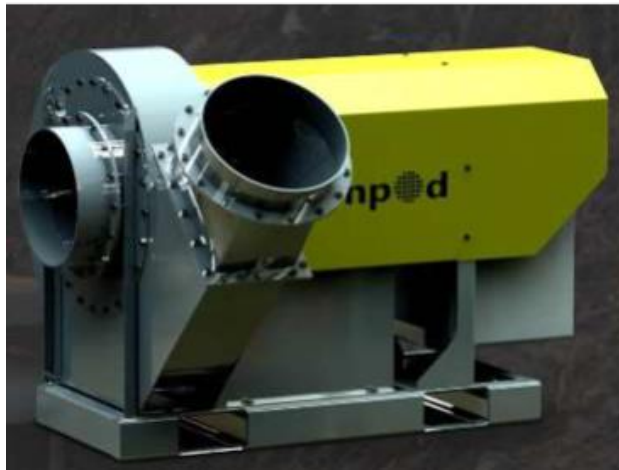
Kompostin laitosmittakaavan jälkiseulontakoe (vähintään 2 kk jälkikypsytetty kompostijae) toteutettiin elokuun lopussa 2022 Labio Oy:n kompostointikentällä. Tarjousten perusteella seulontakokeen toteuttajaksi valittiin Kivisampo Oy. Seulontakoe toteutettiin ostopalveluna. Seulontakokeelle asetettiin seuraavat tavoitteet:

- Kompostin muovirokaisuuden (näkyvä muovi) vähentäminen seulonnan alitteessa ja ylitteessä nykytilanteeseen (seulonta 12 mm:n tähtiseulalla, minkä jälkeen kompostijae jälkikypsytetään) verrattuna
- Ylitteen käyttökelpoisuuden parantaminen uudelleenkompostoinnissa (muovirokan erottaminen ylitteestä)

Kompostin seulontapilotissa käytettiin TEREX FINLAY 883+ Heavy Duty Screener-mobiiliseulaa, jonka toimitti Kivisampo Oy (Kuva 5). Mobiiliseulan kanssa käytettiin muovin erottamisessa Screenpod AV9 1600-imuria ylittekuljettimen päällä (Kuva 6). Pölyn vähentämiseen käytettiin Screenpod Dustcannon S-series vesitykkiä (Kuva 6). Imuria ja vesitykkiä käytettiin siirrettävällä dieselgeneraattorilla. Mobiiliseulaan syötettiin kompostia pyöräkoneella (Kuva 7).



Kuva 5. Pilotissa käytetty mobiiliseula TEREX FINLAY 883+. Kuva Terex.com.



Kuva 6. Pilotissa käytetty Screenpod 1600 imuri (vas. kuva) ja Screenpod Dustcannon S-series vesitykki (oik. kuva). Kuvat Screenpod.co.uk.



Kuva 7. Mobiiliseulan syöttö rampilla korotetulla pyöräkoneella. Kuva Niko Kytölä.

**Mikromuovit:**

Mikromuovinäytteet kerättiin kompostointiprosessin eri vaiheista (ennen hygienisointia, hygienisoinnin jälkeen, aumakompostoidusta kompostista (2 kk vanhaa) sekä Putretista. Ennen mikromuovianalyysiä näytteet seulottiin 6 mm seulalla (hakeseula). Mikromuovit määritettiin 6 mm:n alitteesta. Mikromuovit eristettiin orgaanisesta aineksesta entsyymien avulla (Löder et al., 2017) ja ne analysoitiin Raman-spektroskopiolla (partikkelikoot olivat  $1 \text{ mm}^2 - 0,02 \text{ mm}^2$ ). Mikromuovimääritykset tehtiin Jyväskylän yliopistossa. Työ tehtiin maisteriopintojen lopputyönä (Noora Risku). Työn ohjaajina olivat Sami Taipale ja Katja Pulkkinen Jyväskylän yliopistosta ja Hanna Vanhanen Aalto-yliopistosta.

TP3. Kierrätyslannoitteen kaupallistamisen ja markkinoille saattamisen reunaehto-  
selvittäminen ja kaupallistamis- ja markkinoille saattamissuunnitelman laatiminen

Putretin® kaupallistamisen ja markkinoille saattamisen toteuttamiseksi selvitettiin suunnitelman kannalta olennaiset vaiheet ja osa-alueet, mitkä mainittu alla. Putretin® kaupallistamis- ja markkinoillesaattamissuunnitelma julkaistaan kokonaisuudessaan hankkeen erillisenä liitteenä.

**Toimiala:**

Lainsäädäntö, vallitsevat trendit, hiilikompensaatio, kilpailijat

**Kohderyhmät:**

Yksityisasiakkaat, sopimusasiakkaat, kunnat ja kuntaorganisaatiot, urakoitsijat, metsänomistajat

**Markkinointi ja viestintä:**

Brändi, ydinviesti, kohdennettu viestintä, markkinointikanavat, yritysasiakkaiden viestintä

**Myynti:**

Myyntikanavat

**Palvelumuotoilu:**

Asiakas- ja palvelukokemus, pakkaussuunnittelu

Suunnitelman reunaehtoja ja sisältöjä täydennettiin lisäksi yhteistyöorganisaatioiden ja Lahden alueen toimijoiden haastatteluilla, joissa haastateltavat pääsivät jakamaan omia näkemyksiään Putrettiin® liittyen. Haastatteluja toteutettiin yhteensä 10, ja ne pidettiin joko paikan päällä Lahdessa tai etänä Teams-videopuheluna.

Putretin® kaupallistamis- ja markkinoille saattamissuunnitelman laatimisesta vastasi Maija Hietto Aalto-yliopiston Kauppakorkeakoulusta. Suunnitelma julkaistaan erillisenä raporttina.

## TP4. Hankkeen sisäinen ja ulkoinen viestintä

Ks. Viestinnän toteutuminen ja tulokset

## TP5. Hankkeen hallinnointi

Hankkeen hallinnointi käsitti hankkeen tarvittavat maksatukset, raportoinnit ja valvontaryhmätyöskentelyn. Hankkeelle ei perustettu ohjausryhmää, vaan hankkeen ohjauksesta huolehti valvontaryhmä. Valvontaryhmä koostui AFRY Finland Oy:n jäsenistä ja hankkeen toteuttajatahona toimineen Aalto-yliopiston projektiryhmästä. Hankkeen alettua pidettiin hankkeen aloituskokous Aalto-yliopiston ja Ympäristöministeriön edustajien kesken. Tämän jälkeen hankkeelle perustettiin valvontaryhmä, joka kokoontui hankkeen kuluessa viisi kertaa Teams-palaverina.

# 3 Hankkeen tulokset

## TP1. Taimikasvatuskoe

### Taimikasvatuskokeen toteuttaminen

Taimikasvatuskokeen toteuttaminen männyn taimilla oli haasteellista. Kasvatuskokeen aikana pienikokoisia taimia piti käsitellä erittäin varoen, etteivät ne vioitu. Kasvuvastekokeen suorittaminen onnistui suunnitelmien mukaisesti. Haasteellisista olosuhteista (kuuma ja kuiva kesä) huolimatta kaikki taimet säilyivät hengissä ja hyväkuntoisina kokeen loppuun asti. Samoin kaikki näytteenotot ja kokeen aikana tehdyt mittaukset onnistuivat suunnitellusti.

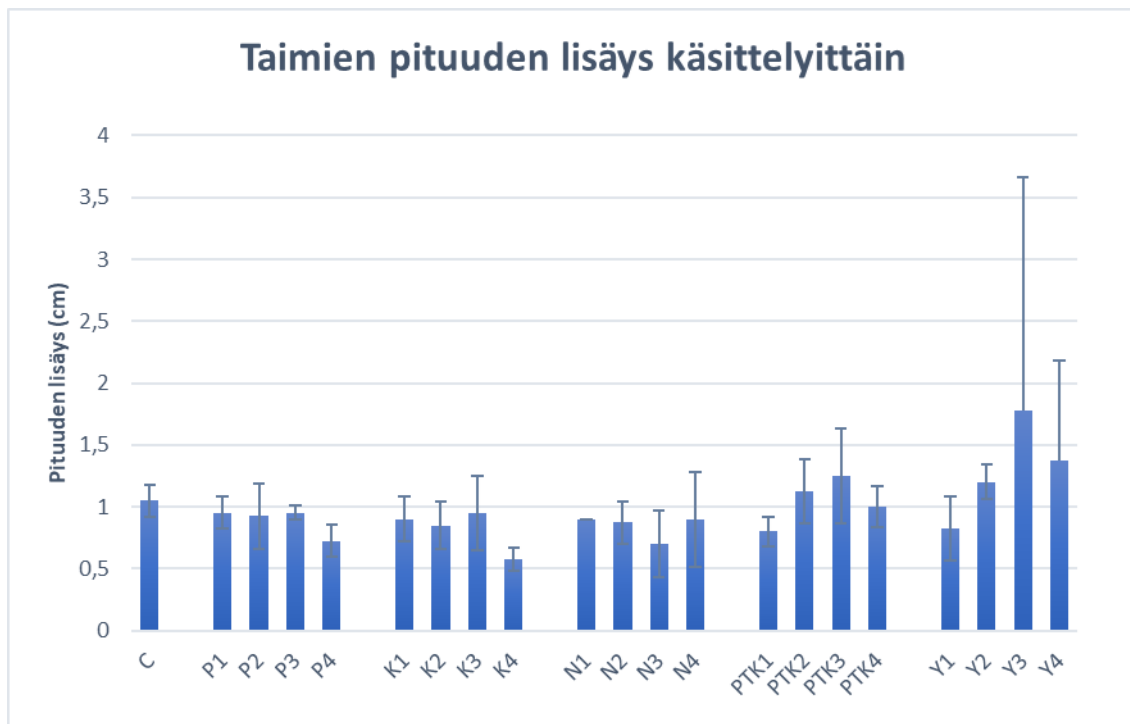
### Taimien kasvuvaste lannoituskäsittelyihin

Männyn taimien pituus mitattiin kerran viikossa ajanjaksolla 5.7 - 14.9.2021. Ensimmäinen pituusmittaus tehtiin ennen lannoitusta, minkä jälkeen taimien pituus mitattiin kerran viikossa kymmenen viikon ajan. Käsittelyn aiheuttaman kasvuvasteen selvittämiseksi laskettiin käsittelykohtainen männyn taimien pituuden lisäyksen keskiarvo (n=4) ja keskihajonta (Kuva 8). Kaikki käsittelyt huomioon ottaen pituuden lisäys vaihteli välillä 0,6–1,8 cm. Pienin pituuden lisäys (0,6 cm) todettiin Komposti -käsittelyssä (K4) ja suurin pituuden lisäys (1,8 cm) Yara Mila Y3 -käsittelyssä (Y3). Kontrollikäsittelyssä (C) taimien (4 kpl) pituuden lisäyksen keskiarvo oli 1,1 cm.

Käsittelyssä Y3 saatiin suurin pituuden lisäys, mikä selittyy yhden taimen poikkeuksellisen hyvällä kasvulla (pituuden lisäys 1,8 cm). Käsittelyn Y3 yksi neljästä taimesta kasvoi siis erityisen hyvin, mikä ilmenee sekä käsittelyn keskiarvossa että keskihajonnassa. Käsittelyssä N1 kaikkien neljän taimen pituuden lisäys oli sama (0,9 cm), minkä vuoksi käsittelyn keskihajonta on nolla (kuvassa ei ole keskihajontakuviota).

Taimet kasvoivat hyvin Putretti®- ja kompostikäsittelyissä, eikä taimien pituuskasvu pysähtynyt lannoituksen ja lannoituksessa annetun typpilisän seurauksena. Putretti®, komposti ja Ecolan Nitro - käsittelyissä taimien pituuden lisäys ei eronnut kontrollikäsittelyssä (ei lannoitusta) mitatusta taimien pituuden lisäyksestä. Sen sijaan käsittelyissä PTK1-4 ja Y1-Y4 taimien pituuden lisäys kasvoi typpitason noustessa (typpitasoilla 100, 120 ja 200 kg N/ha). Suurimmalla typpitasolla, 300 kg N/ha, taimien pituuden lisäys ei enää kasvanut edelliseen typpitasoon verrattuna. Taimien pituuden lisäyksen kasvu typpitason noustessa viittaisi siihen, että puut pystyvät hyödyntämään annetun typpilisän jo

taimivaiheessa, jos tyypeä on sopivassa määrin ja sopivassa muodossa saatavilla. Puutarhan Kevätlannoitteessa ja Yara Mila Y3 -lannoitteessa olevasta tyypeä noin puolet oli ammoniumtyyppinä ( $\text{NH}_4^+$ ) ja puolet nitraattityyppinä ( $\text{NO}_3^-$ ), jotka ovat kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Sen sijaan Putretissa®, kompostissa ja Ecolan Nitrossa tyyppi on orgaanisessa muodossa, eikä näin heti kasvien käytettävissä, mikä saattaa selittää sen, miksi Putretti®-, komposti- ja Ecolan Nitro -käsittelyissä kasvuvaste suhteessa typpilisäykseen oli erilainen kuin Puutarhan Kevätlannoite- ja Yara Mila Y3 -käsittelyissä.

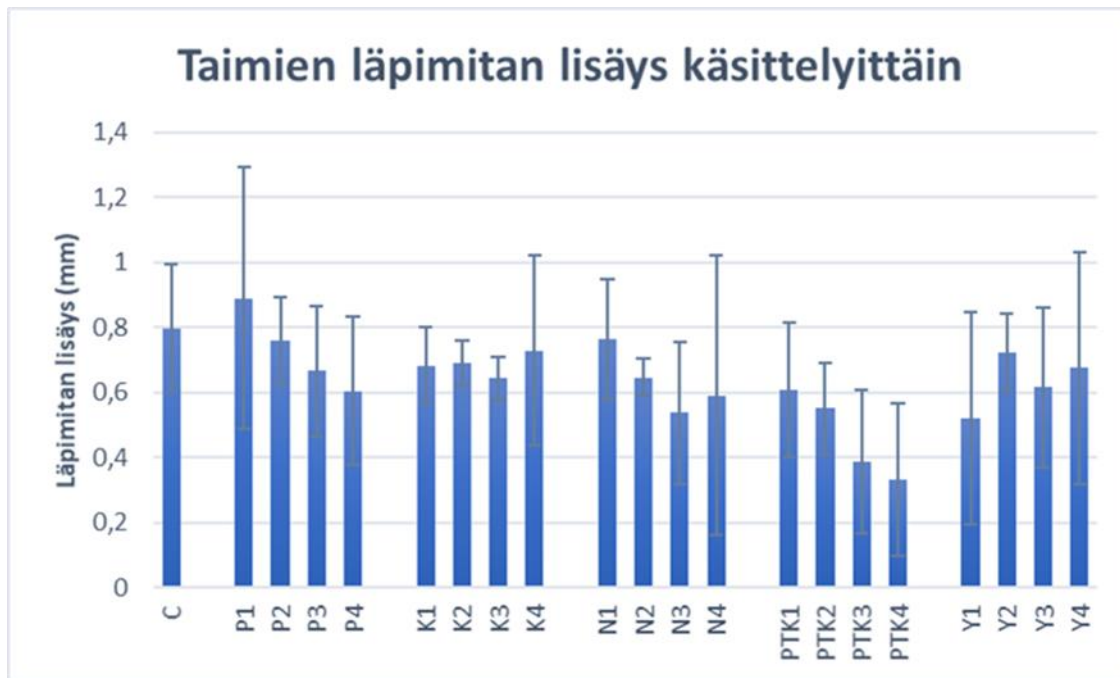


Kuva 8. Männyn taimien pituuden lisäyksen (cm) keskiarvo ja keskihajonta (merkattu virhepalkilla) käsittelyittäin ajanjaksolla 5.7-14.9.2021.

Männyn taimien läpimitta mitattiin kokeen alussa ja lopussa. Käsittelyn aiheuttaman kasvuvasteen selvittämiseksi laskettiin käsittelykohtainen männyn taimien läpimitan lisäyksen keskiarvo ( $n=4$ ) ja keskihajonta (Kuva 9). Kaikki käsittelyt huomioon ottaen taimien läpimitan lisäys vaihteli välillä 0,3–0,9 mm. Pienin läpimitan lisäys (0,3 mm) todettiin Puutarhan Kevätlannoite -käsittelyssä (PTK4) ja suurin läpimitan lisäys (0,9 mm) Putretti® -käsittelyssä (P1). Kontrollikäsittelyssä (C) taimien (4 kpl) läpimitan lisäyksen keskiarvo oli 0,8 mm.

Kokeen alussa taimien keskimääräinen läpimitta oli 2,5 mm ja kokeen lopussa 3,3 mm (kontrollikäsittely). Samoin kuin pituuskasvun osalta, Putretti®- ja kompostikäsittelyssä taimet kasvoivat hyvin, eivätkä lopettaneet läpimitan kasvuaan lannoituksen ja lannoituksessa annetun typpilisän seurauksena. Lannoituksen määrällä ja laadulla voi kuitenkin olla vaikutusta taimien läpimitan kasvuun. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset on syytä varmentaa metsikkötason kokein johtopäätösten tekemiseksi.

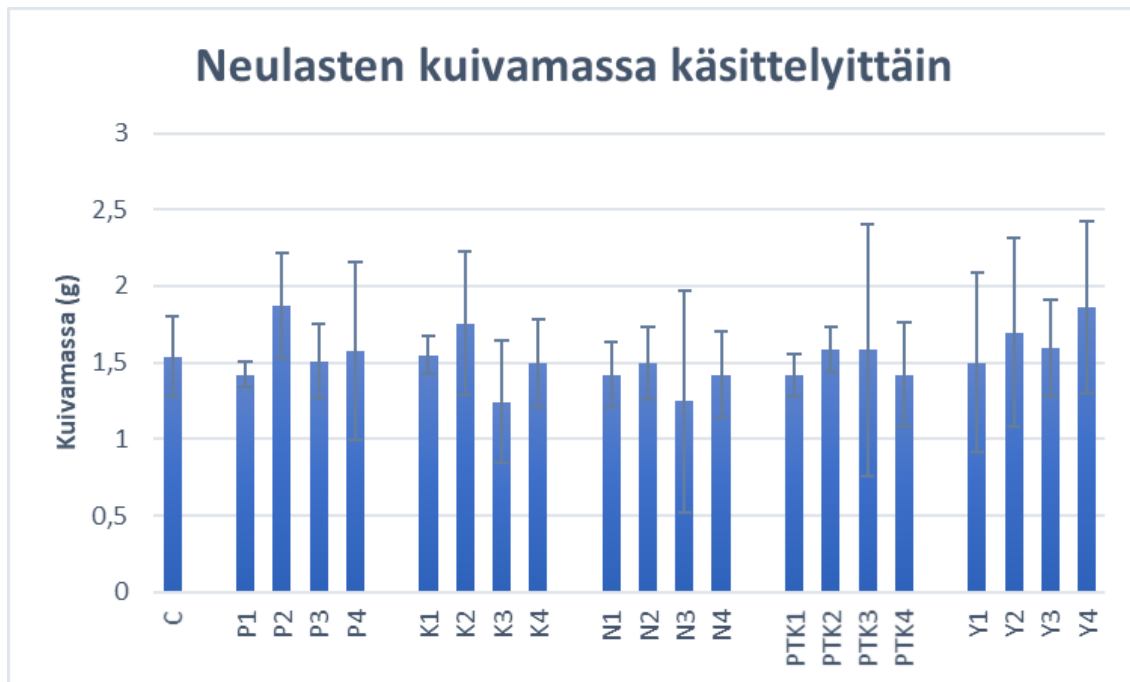




Kuva 9. Männyn taimien läpimitan lisäyksen (cm) keskiarvo ja keskihajonta (merkattu virhepalkilla) käsittelyittäin ajanjaksolla 5.7-14.9.2021.

Männyn neulasten kuivamassa mitattiin kokeen lopussa. Käsittelyn aiheuttaman kasvuvasteen selvittämiseksi laskettiin käsittelykohtainen männyn neulasten kuivamassan keskiarvo (n=4) ja keskihajonta (Kuva 10). Kaikki käsittelyt huomioon ottaen neulasten kuivamassa vaihteli välillä 1,2–1,9 g. Neulasten pienin kuivamassa (1,2 g) mitattiin Komposti -käsittelyssä (K3) ja Ecolan Nitro -käsittelyssä (N3). Neulasten suurin kuivamassa (1,9 g) mitattiin Putretti® -käsittelyssä (P2) ja Yara Mila Y3 -käsittelyssä (Y4). Kontrollikäsittelyssä (C) taimien (4 kpl) taimien neulasten kuivamassan keskiarvo oli 1,5 g.

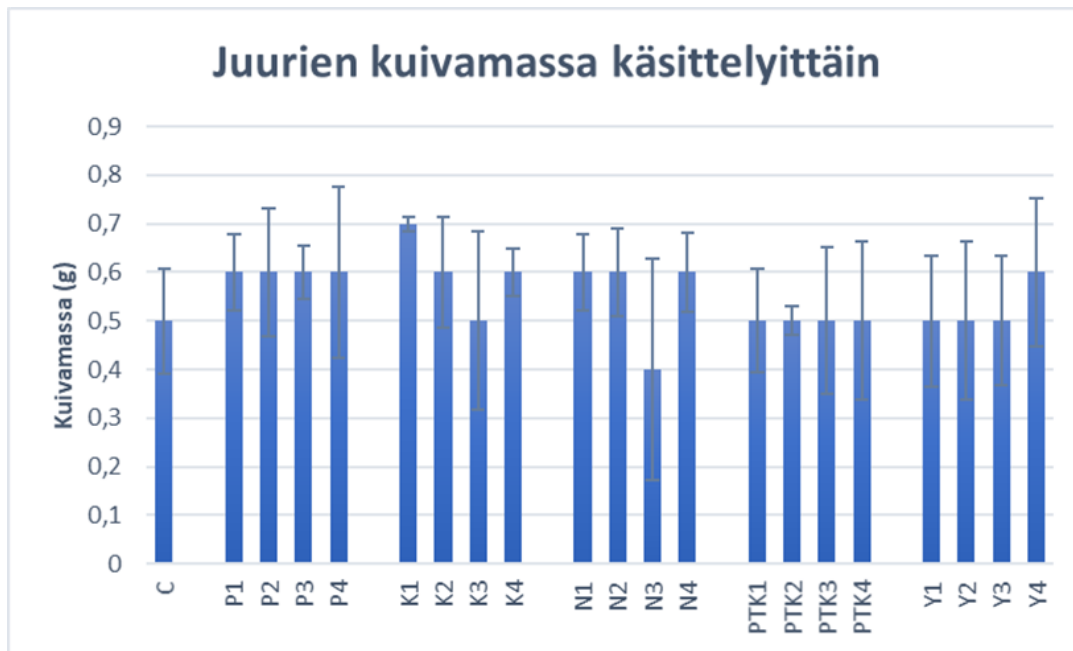
Lannoituksen laatu ja määrä voivat vaikuttaa havupuiden neulasten massaan. Aiempien tutkimustulosten perusteella tiedetään, että silloin, kun typpeä on runsaasti tarjolla, puut kasvattavat neulaspinta-alaa maksimoidakseen yhteyttävän pinta-alan, ja vasta sen jälkeen neulasten typpipitoisuus nousee. Silmämääräisesti arvioiden neulaset näyttivät kasvavan erityisesti pituutta, varsinkin niissä käsittelyissä, joissa oli enemmän typpeä tarjolla. Silmämääräisesti arvioiden neulaset olivat väriltään terveen värisiä koko koejakson ajan, eivätkä varisseet kokeen aikana. Tämän kokeen tulosten perusteella voidaan todeta, että Putretti-® ja kompostikäsittelyssä taimet kasvoivat hyvin myös neulasten osalta.



Kuva 10. Männyn neulasten kuivamassan (g) keskiarvo ja keskihajonta (merkattu virhepalkilla) käsittelyittäin kokeen lopussa.

Männyn juurien kuivamassa mitattiin kokeen lopussa. Käsittelyn aiheuttaman kasvuvasteen selvittämiseksi laskettiin käsittelykohtainen männyn juurien kuivamassan keskiarvo ( $n=4$ ) ja keskihajonta (Kuva 11). Kaikki käsittelyt huomioon ottaen juurien kuivamassa vaihteli välillä 0,4–0,7 g. Juurien pienin kuivamassa (0,4 g) mitattiin Ecolan Nitro -käsittelyssä (N3). Juurien suurin kuivamassa (0,7 g) mitattiin Komposti -käsittelyssä (K1). Kontrollikäsittelyssä (C) taimien (4 kpl) juurien kuivamassan keskiarvo oli 0,5 g.

Samoin kuin neulasten massa, lannoituksen laatu ja määrä voivat vaikuttaa myös puiden juurien kasvuun ja siten niiden massaan. Mänty on puulaji, jolla sienijuuret. Sieniosakas kerää puulle vettä ja ravinteita ja vastaavasti puu tarjoaa sienelle hiiltä (yhteyttämistuotteita) energialähteeksi. Olosuhteissa, joissa ravinteita on paljon tarjolla, puun ei kannata kasvattaa juuristoaan, vaan suurempi osa yhteyttämistuotteista allokoituu puun maapäällisten ositteiden kasvuun. Vastaavasti olosuhteissa, joissa ravinteita on niukasti tarjolla, puu kasvattaa juuristoaan. Tässä kokeessa taimet kasvoivat VT-männiköstä haetussa humuksessa, jossa ravinteita, erityisesti typpeä, on niukemmin tarjolla kuin esim. mustikkatyypin (MT) metsikössä. Tällaisissa olosuhteissa taimille on eduksi kasvattaa juuristoaan saavuttaakseen maaperän niukat ravinnevarat. Putretti®- ja kompostikäsittelyissä juurien biomassa näytti olevan hieman suurempi kuin kontrollikäsittelyssä ja Puutarhan Kevätlannoitteella tai Yara Mila Y3 -käsittelyissä. Koska juurien kasvu on monitahoinen asia, ovat tämän tutkimuksen tulokset suuntaa antavia ja saadut tulokset on syytä varmentaa metsikkötason kokein luotettavien johtopäätösten tekemiseksi. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että Putretti®- ja kompostikäsittelyissä taimet kasvoivat hyvin, eivätkä taimet lopettaneet juuriston kasvua lannoituksen ja lannoituksessa annetun typpilisän seurauksena.



Kuva 11. Männyn juurien kuivamassan keskiarvo ja keskihajonta (merkattu virhepalkilla) käsittelyittäin kokeen lopussa.

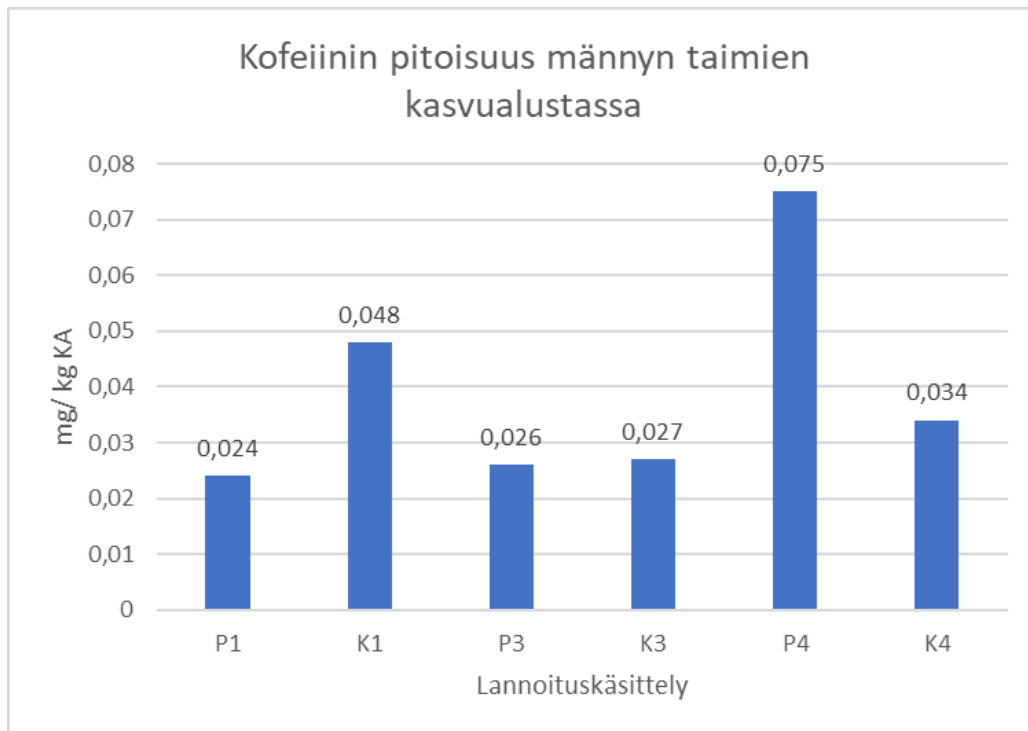
#### Kasvualustan lääkeaine- ja hormonijäämät

Tässä hankkeessa tutkittiin, vaikuttaako lannoitus männyn taimien kasvualustan lääkeaine- ja hormonipitoisuuksiin.

Koska hanke oli jatkumoa RAKIKY-hankkeessa aloitetulle Putretin® kehitystyölle, ja koska kummassakin hankkeessa tutkittiin samoja ja samoista laitoksista peräisin olevia kierrätyslannoitevalmisteen raaka-aineita (komposti ja puutuhka), täydennettiin tässä hankkeessa saatuja tuloksia RAKIKY-hankkeessa saaduilla tuloksilla. Näin saatiin parempi ymmärrys ja kokonais käsitys asiasta eli Putretin® turvallisuudesta lääkeaineiden ja hormonien osalta.

Humusnäytteistä (taimikokeen kasvualusta) analysoitiin kahdeksan hormonia ja 151 lääkeainetta. Analysoitujen lääkeaineiden joukossa oli EU:n jätevesidirektiivin tarkkailulistalle (EU 2020/1161) kuuluvat lääkeaineet eli sellaiset lääkeaineet, joiden voidaan olettaa oleva ympäristölle haitallisia. Analysoitujen lääkeaineiden joukossa oli luonnollisesti myös prioriteettiaineiden listalla olevat lääkeaineet (yhteensä seitsemän lääkeainetta: kaksi antibioottia, yksi masennuslääke, kolme atsoliryhmän mikrobilääkettä), joille on jo määritetty raja-arvot esimerkiksi pintavedessä tai eliöstössä.

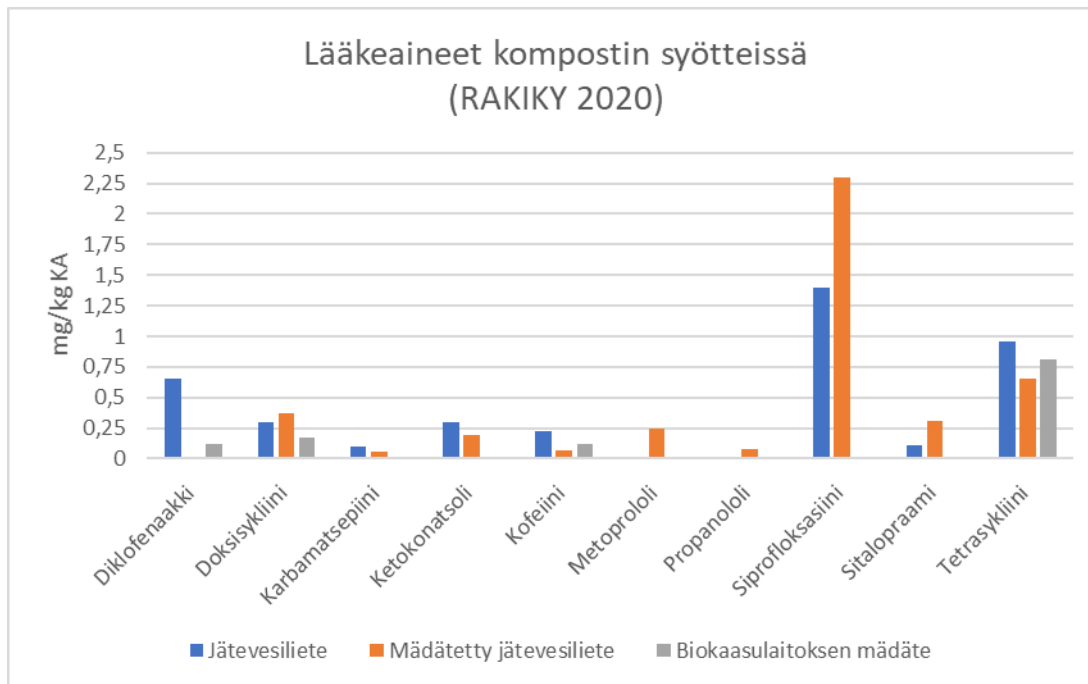
Männyn taimien kasvualustasta ei löytynyt lääkeaine- tai hormonijäämiä lukuun ottamatta kofeiinia, joka luokitellaan lääkeaineiden luokituksessa stimulantiksi. Kofeiinia havaittiin Putretilla® tai kompostilla lannoitetussa humuksessa kaikilla lannoitustasoilla (100, 200 ja 300 kg N/ha) (Kuva 12). Näytteissä, joissa kofeiinia havaittiin (määritysraja 0,02 mg/kg KA), kofeiinin pitoisuus oli 0,024–0,075 mg/kg kuiva-ainetta kohden määritettynä. Muilla lannoitteilla (Ecolan Silva Nitro, Puutarhan Kevätlannoite tai YaraMila Y3) lannoitetussa humuksessa, joista lääkeaine- ja hormonianalyysit tehtiin, ei havaittu kofeiinia, eikä muita lääkeaineita tai hormoneja.



Kuva 12. Kofeiinin pitoisuus (mg/kg kuiva-ainetta) männyn taimien kasvualustassa (humus). Lyhenteiden selitykset: P1 ja K1 Putretti® tai komposti lannoitustasolla 100 kg N/ ha, P3 ja K3 lannoitustasolla 200 kg N/ ha, P4 ja K4 lannoitustasolla 300 kg N/ ha.

Putretin® pääraaka-aineena käytettävä komposti sisältää kofeiinia, mikä selittyyne kotitalouksista, ravintoloista ym. ravitsemusliikkeistä tulevan biojätteen mukana tulevilla kahvinporoilla. Tässä hankkeessa männyn taimien kasvualustasta havaitut kofeiinipitoisuudet olivat kuitenkin erittäin alhaiset, kun havaittuja pitoisuuksia verrataan esimerkiksi päivittäin juotavan kahvin kofeiinipitoisuuteen (90 mg/dl). Suomalaiset juovat kahvia eniten maailmassa, noin 4,5 dl päivässä, minkä myötä päivittäin saatava kofeiiniannos on noin 405 mg. Tutkimusten mukaan parempilaatuisista kahvinpavuista (esim. Arabica) valmistettu kahvi sisältää vähemmän kofeiinia kuin huonompilaatuisista kahvinpavuista (esim. Robusta) valmistettu kahvi.

RAKIKY-hankkeessa, jossa selvitettiin lääkeaine- ja hormonijäämien pitoisuuksia kompostin syötteissä (kunnallinen jätevesiliete, mädätetty jätevesiliete, biokaasulaitoksen mädäte) ja kompostissa (2 kk vanhaa), lääkeaineiden jäämiä havaittiin eniten kunnallisessa jätevesilietteessä (kahdeksan lääkeainetta) ja mädätetyssä jätevesilietteessä (yhdeksän lääkeainetta) (Kuva 13). Sen sijaan biokaasulaitoksen mädätteessä lääkeaineiden jäämiä havaittiin enää vain neljän lääkeaineen osalta. Kompostissa ainut havaittu lääkeaine oli kofeiini (78 mg/kg KA). Kofeiini oli siis ainut lääkeaine, jota löytyi sekä kompostin syötteistä että itse kompostista. RAKIKY-hankkeessa näytteistä analysoitiin seitsemän hormonia ja 51 lääkeainetta.



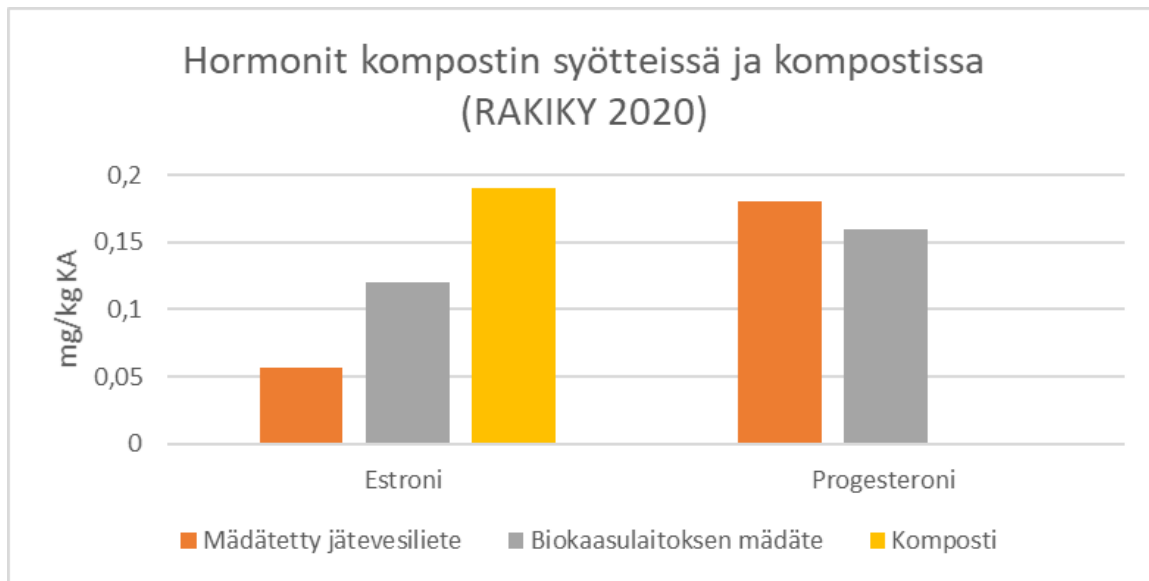
Kuva 13. Havaittujen lääkeaineiden pitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) kompostin syötteissä. Lähde: RAKIKY-hanke 2020.

Havaitut kymmenen (10) eri lääkeainetta edustivat käyttötarkoitukseltaan seitsemää eri lääkeaineryhmää (Taulukko 3), joista antibiootteja havaittiin eniten (kolme eri antibioottia). Sydän- ja verisuonitautilääkkeisiin kuuluvia lääkeaineita havaittiin kaksi. Muihin lääkeaineryhmiin kuuluvia lääkeaineita havaittiin vain yksi kutakin.

Taulukko 3. Näytteissä havaitut lääkeaineet lääkeaineryhmittäin.

<b>Tulehduskipulääkkeet</b>	Diklofenaakki
<b>Antibiootit</b>	Doksisykliini, siprofloksasiini, tetrasykliini
<b>Epilepsialääkkeet</b>	Karbamatsepiini
<b>Mikrobilääkkeet</b>	Ketokonatsoli
<b>Stimulantit</b>	Kofeiini
<b>Sydän- ja verisuonitautilääkkeet</b>	Metoprololi, propanololi
<b>Masennuslääkkeet</b>	Sitalopraami

RAKIKY-hankkeessa näytteissä havaittiin seitsemästä analysoidusta hormonista vain estronia ja progesteronia. Estronia havaittiin mädätetyssä jätevesilietteessä, biokaasulaitoksen mädätteessä ja kompostissa (Kuva 14). Progesteronia havaittiin mädätetyssä jätevesilietteessä ja biokaasulaitoksen mädätteessä (Kuva 14). Jätevesilietteessä ei havaittu yli määräysrajan olevia hormonipitoisuuksia.



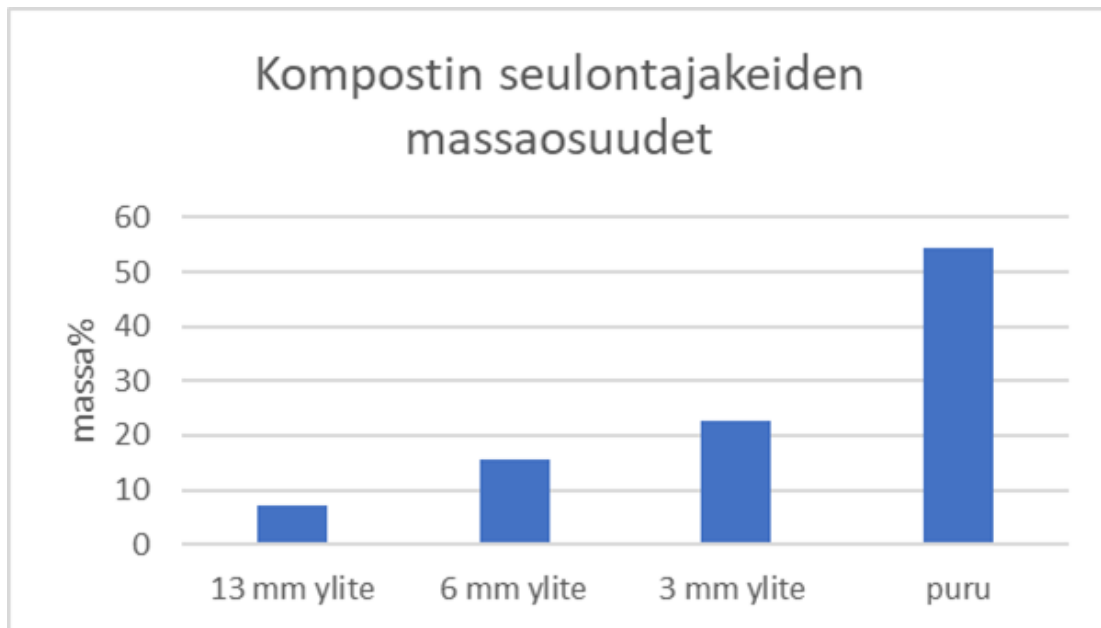
Kuva 14. Havaittujen lääkeaineiden pitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) kompostin syötteissä ja kompostissa. Lähde: RAKIKY-hanke 2020.

## TP2. Kompostin kuivaus- ja seulontamenetelmän pilotointi laboratorio- ja laitosmittakaavassa

### Seulonnan esikokeet ja varsinainen seulontakoe laboratoriossa:

Kompostin seulonnan esikokeen perusteella voitiin todeta, että koska komposti sisälsi jonkin verran tikkumaisia (ohuita ja kapeita) rakenteita, reikäseula sopi kompostin seulontaan paremmin kuin rakoseula, kun tavoitteena oli vähentää 'tikkujen' määrää jatkojalostettavassa kompostijakeessa. Kompostin seulonnan esikokeen perusteella kompostissa olevat murut hajoavat, kun kompostin kuiva-ainepitoisuus on 65–67 %.

Komposti oli hyvin hienojakoista. Kompostin massasta noin 75 % oli partikkelikooltaan alle 6 mm:n jaetta (Kuva 15). Vaikka kompostissa oli isompia partikkeleita (paakkuja), kompostin kuiva-ainepitoisuuden nostaminen kuivaamalla ei vaikuttanut näiden isoimpien partikkeleiden hajoamiseen ja siten seulontajakeiden massaosuuksiin. Kompostin kuivaaminen vaikutti eniten > 3 mm jakeen (23-31 %) ja purun (< 3 mm:n jae) (42–54 %) suhteellisiin osuuksiin.



Kuva 15. Kompostin seulontajakeiden suhteelliset massaosuudet.

#### Kompostin seulontakoe pilot-mittakaavassa:

Mobiiliseulaan syötettiin kompostia pyöräkoneella. Jatkuvalle syötölle seulontakapasiteetiksi mitattiin noin 61 m<sup>3</sup>/h, mutta käytännössä yhdellä pyöräkoneella seulontakapasiteetti oli noin 30 m<sup>3</sup>/h.

Seulonnassa syntyi kolme eri jae: > 15 mm ylitettä, josta imuroitiin pois muovia (Kuva 16), 8-15 mm välijae (Kuva 16) ja < 8 mm alitetta (Kuva 17). Pilotin aikana välijae ja ylite palautettiin takaisin kompostiprosessiin tukiaineena. Suurin osa muovista saatiin erotettua imuroimalla, mutta riippuen seulonnan tehokkuudesta muovin määrä muuttui ylitteessä ja välijakeessa. Taulukossa 3 on esitetty optimoiduilla säädöillä tehdyn seulontaerän tulokset jakeiden suhteellisista osuuksista.

Taulukko 4. Eri jakeiden suhteelliset osuudet eri jakeiden yhteismäärästä, ja jakeiden käyttö pilotissa.

Jae	Osuus	Käyttö
>15mm ylite	7,1%	Tukiaineeksi
8-15mm välijae	4,3%	Tukiaineeksi
<8mm alite	88,6%	Asiakkaille

Näkyvän muovin määrä jatkojalostettavassa < 8 mm kompostijakeessa väheni merkittävästi, noin 60 %, seulonnan vaikutuksesta. Muovin määrä määritettiin standardin CEN/TS 16202:2013 pohjalta kehitetyllä menetelmällä, jota myös Ruokavirasto käyttää. Silmäämääräisesti arvioiden seulotussa alitteessa ei enää ollut muovia. Tällä hetkellä kompostointiprosessin läpikäyvä materiaali seulotaan 12 mm seulalla, mihin verrattuna seulonta 8 mm:n seulalla toi siten merkittävän parannuksen näkyvän muovin osalta.

Seulontapilotissa seulontakapasiteettiin vaikutti eniten kompostin koostumus, kosteus ja laatu. Eriäinen materiaali kulkeutuu seulan läpi eri tahtiin, joka vaikuttaa seulontalaatuun ja nopeuteen.

Ylitäyttöjä tapahtui ensimmäisellä viikolla paljon ja ne vaikuttivat negatiivisesti seulonnan laatuun. Oikeilla säädöillä ja seulan käyttökokemuksella syöttönopeutta voidaan optimoida ja kapasiteettia kasvattaa, vähentäen myös ylitäyttöjä. Pilottiseulassa säädöt pystyttiin tekemään vain seulan huoltopaneelista. Automaattinen tai kauko-ohjattu säätö auttaisi seulonnan optimoimisessa. Pilottiseulan syöttösuppilo oli liian korkealla pyöräkoneen kauhalle, joten pyöräkoneelle täytyi rakentaa ramppi sorasta. Seulontaa voidaan helpottaa hankkimalla eri mallin mobiiliseula, jossa syöttösuppilo on matalammalla ja syöttökuljetin on asetettu seulaverkkojen päälle. Esimerkkinä matalasyötteisestä mobiiliseulasta on TEREX FINLAY 684. Pilottiseulan syöttösuppilo oli liian pieni, mikä hidasti seulontaa ja rajoitti pyöräkonekuskin tehokkuutta. Suurempi syöttösuppilo tehostaisi pyöräkonekuskin ajankäyttöä ja parantaisi seulonnan nopeutta ja laatua tasaamalla syöttöä, välttäen ylitäyttöjä. Pilotissa käytetty imuri oli tarkoitettu rakennusjätteen imurointiin, jossa rosan kappalekoko on huomattavasti suurempi. Imuri poisti muovia jonkin verran, mutta kaikkiaan imurilaitteisto on soveltumaton kompostin yhteydessä käyttämiseen säätövaran puutteen takia. Imuria käytettiin vain ylitteen imuroimiseen, joten välijakeeseen päätyi paljon muovia. Jos imuria halutaan käyttää tulevaisuudessa, tulisi niitä olla kaksi: yksi ylitteeseen ja yksi välijakeeseen.

Kompostin seulontatulokseen vaikuttaa merkittävästi sekä seulottavan kompostimateriaalin ominaisuudet, esimerkiksi kuiva-ainepitoisuus ja partikkelikokojakauma, että seulontalaitteisto. Tässä kokeessa saatiin hyvä käsitys pilotoitun seulontaprosessin toimivuudesta ja toteutuskelpoisuudesta sekä nähtiin, mitkä vaiheet ovat tavoitellun lopputuloksen kannalta kriittisimmät. Kokeessa testattu seulontalaitteisto soveltuu hyvin kompostin seulontaan näkyvän muovin määrän vähentämiseksi kompostissa, vaikka kehityskohteitakin löytyi.



Kuva 16. Kompostin seulonnan ylitte (> 15 mm:n jae) (vas. kuva) ja välijae (8–15 mm) (oik. kuva). Kuvat Niko Kytölä.





Kuva 17. Kompostin seulonnan alite (< 8 mm:n jae). Kuva Niko Kytölä.

#### **Mikromuovit:**

Arviolta mikromuovin (1-6 mm) määrä Putretissa oli 0,001 % tuorepainosta. Muovia löytyi eniten kaksi (2) kk vanhasta kompostista mikromuovipartikkeleiden lukumäärällä mitattuna ( $299 \pm 209$  kpl). Valtaosa löydetystä muovista oli Polyethylene terephataalia (PET), jota käytetään yleisesti elintarvikepakkauksissa. Kaiken kaikkiaan tutkimuksessa löytyi kahdeksaa eri muovilaatua. Seulonnalla voidaan vähentää makro- ja mikromuovin määrää kompostipohjaisissa kierrätyslannoitteissa. Lisää mikromuovikokeen tuloksista raportissa 'Mikromuovin määrä ja laatu kuivakompostissa sekä kierrätyslannoitteessa', joka on tämän hankkeen erillisenä liitteenä. Tulokset sisältyvät mikromuovityöstä julkaistavaan Pro gradu -tutkielmaan (Noora Risku, Jyväskylän yliopisto).

### TP3. Kierrätyslannoitteen kaupallistamisen ja markkinoille saattamisen reunaehtojen selvittäminen ja kaupallistamis- ja markkinoille saattamissuunnitelman laatiminen

Kierrätyslannoitteen liiketoiminnallinen kannattavuus on erittäin suuri kysymys, joka yhteistyöorganisaatioiden toimijoilla on Putrettiin® liittyen. Olemassa olevat lähtökohdat ovat kuitenkin hyvät ja vallitseva maailmantilanne edistää Putretti®-lannoitteen markkinoille saattamista, ja erityisesti yksityisasiakkaat ovat osoittaneet kiinnostusta kierrätyslannoitevalmistetta kohtaan. Selvästi suurin kysyntä on olemassa luomustatuksen kierrätyslannoitteille, jollainen on myös mahdollista valmistaa, kun Putretin® raaka-aineet valitaan luomukriteereiden perusteella. Putretin® kaupallistamis- ja markkinoillesaattamissuunnitelma julkaistaan kokonaisuudessaan hankkeen erillisenä liitteenä.

#### **Toimiala:**

Suunnitelmassa läpikäyty lainsäädäntö kattaa tuotannon, markkinoinnin, varastoinnin, käytön sekä levityksen. Putrettiin® sovellettaviin lakeihin ja asetuksiin sisältyvät jätelaki (646/2011), sivutuotelaki (517/2015), toiminnanharjoittaja- ja valvonta-asetus (11/12), kuluttajansuojalaki (38/1978), REACH (EY 1907/2006), lannoitelaki (711/2022), lannoitevalmisteasetus (24/11), nitraattiasetus (1250/2014) sekä nitraattidirektiivi (91/676/ETY).

Toimintaympäristöön kuuluvat olennaisesti myös Putretti®-lannoitteen kilpailijat sekä maailmalla vallitsevat trendit. Tämän hetken merkittäviä megatrendejä ovat kiertotalous, omavaraisuus, huoltovarmuus, jatkuvuuden hallinta sekä hiilikompensaatiotoiminta.

#### **Kohderyhmät:**

Putretin® kohderyhmiin kuuluvat yksityisasiakkaat, sopimusasiakkaat, kunnat ja kuntaorganisaatiot, urakoitsijat sekä metsänomistajat. Kohderyhmiä mallinnettiin asiakaspersonien avulla.

Yksityisasiakkailla tarkoitetaan vähittäiskaupoissa asioivia yksityishenkilöitä, jotka voidaan jakaa satunnaisiin asiakkaisiin ja aktiivisiin harrastajiin. Sopimusasiakkailla viitataan puolestaan maanviljelijöihin sekä piha- ja puutarha-alan yrittäjiin. Metsänomistajien kohderyhmä sisältää myös metsänhoitoyhdistykset.

#### **Markkinointi ja viestintä:**

Viestinnässä on alusta alkaen painotettava faktoihin perustuvaa argumentointia, jossa viitataan tutkittuun tietoon. Näin saadaan ylläpidettyä asiakkaiden luottamusta Putretti®-lannoitteeseen – sen brändiin ja toimintaan. Lisäksi markkinointiviestintää on toteutettava kohdennetusti ottaen huomioon eri asiakassegmenttien tarpeet ja odotukset.

Valittujen viestintäkanavien on oltava sellaisia, joita Putretin® eri kohderyhmät käyttävät aktiivisesti. Haastattelujen perusteella Putretin® kannalta varteenotettavimmat viestintäkanavat ovat ja tulevat olemaan:

- Sanoma- ja aikakauslehdet, radio, TV
- Facebook, LinkedIn, Twitter, YouTube
- Putretti®-verkkosivut, ostettu hakusanainonta

- Seminaarit, messut, esitteet, julisteet

Lisäksi yritysasiakkaille on hyvä valmistaa viestintäpaketti, joka sisältää raamit Putretista® viestimiseen yritysten omissa viestintäkanavissa. Viestintäpaketti sisältäisi valmiita fraaseja ja avainsanoja, logovaihtoehtoja, valokuvia sekä hashtagia.

#### **Myynti:**

Myyntikanavina tulee hyödyntää kivijalkaliikkeitä, verkkokauppaa sekä puhelinpalvelua. Tällöin kaiken kokoiset pakkaukset ovat tilattavissa verkkokaupasta, minkä lisäksi pienemmät pakkauskokoot tulisi olla saatavissa vähittäiskaupoissa. Lisäksi isoja määriä Putrettia® voisi tilata puhelinpalvelun kautta. Isojen tilausten toimitusvaihtoehtoksi tulee tarjota sekä avaimet käteen -palvelua että itsepalvelua Putretin® noutopisteellä.

#### **Palvelumuotoilu:**

Asiakas- ja palvelukokemusta mallinnettiin palvelupolkuja hyödyntäen. Palvelupolkujen vaiheet tulevat tarkentumaan, kun organisaation sisäistä tietoa täydennetään ajankohtaisella informaatiolla kohderyhmistä ja myyntiprosesseista.

Putretti®-tuotteiden pakkausmateriaalien valinnassa tulee painottaa kestävyyttä ja käytön jälkeistä kierrätettävyyttä. Pakkauksissa on oltava määräysten mukaiset merkinnät, mikä tarkoittaa sekä suomen- että ruotsinkielisen tuoteselosteen liittämistä pakkaukseen tai sen mukana tulevaan asiakirjaan.

#### TP4. Hankkeen sisäinen ja ulkoinen viestintä

Ks. Viestinnän toteutuminen ja tulokset

#### TP5. Hankkeen hallinnointi

Hankkeen hallinnointi käsitti hankkeen tarvittavat maksatukset, raportoinnit ja valvontaryhmätyöskentelyn. Hankkeelle ei perustettu ohjausryhmää, vaan hankkeen ohjauksesta huolehti valvontaryhmä. Valvontaryhmä koostui AFRY Finland Oy:n jäsenistä ja hankkeen toteuttajatahona toimineen Aalto-yliopiston projektiryhmästä. Hankkeen alettua pidettiin hankkeen aloituskokous Aalto-yliopiston ja ympäristöministeriön edustajien kesken. Tämän jälkeen hankkeelle perustettiin valvontaryhmä, joka kokoontui hankkeen kuluessa viisi kertaa Teams-palaverina.

## 4 Tulosten hyödyntäminen

#### **Taimikoe**

Metsämaassa on paljon typpeä, mutta siitä vain pieni osa on kasveille käyttökelpoisessa (ammonium- tai nitraattityyppinä) muodossa. Juuri tästä typen niukkuudesta johtuen kangasmaiden metsät ovat tyyppirajoittesia, minkä vuoksi suurimmat kasvunlisäykset on saatu lannoituksissa, joissa on mukana typpeä. Lannoituksen vaikutus puuston kasvuun riippuu lannoituksen määrän ja laadun ohella myös

puulajista ja puuston kehitysvaiheesta sekä kasvupaikkatyypistä. Vaikka lannoitus ei suoraan lisää puuston kasvua, voi lannoitus vaikuttaa maaperän ravinteisuuteen, happamuuteen ja maaperän mikrobitoimintaan ja sitä kautta ravinteiden, kuten typen, vapautumiseen kasvillisuuden käyttöön. Näin ollen, vaikka esim. tuhkalannoituksen ei ole todettu aiheuttavan suurta kasvunlisäystä kangasmaiden metsiköissä, tuhka vaikuttaa positiivisesti maaperän ominaisuuksiin ja sitä kautta puiden kasvuun. Tuhkan lannoitusvaikutus myös kestää vuosikymmeniä eli paljon pidemmän aikaa kuin keinolannoitteiden lannoitusvaikutus.

Jos lannoituksella tavoitellaan taloudellista kannattavuutta ja puuston mahdollisimman suurta kasvunlisäystä, tällöin metsikkö kannattaa lannoittaa lannoitteella, jossa typpimäärä vastaa metsikön typpitarvetta. Optimaalisessa tilanteessa lannoitteessa on sekä helppoliukoista typpeä, joka vastaa metsikön välittömään typpitarpeeseen, että hidasliukoista typpeä (orgaanisessa muodossa oleva typpi), joka vapautuu puuston käyttöön orgaanisen aineksen hajoamisen ja mineralisaation kautta vuosien tai jopa vuosikymmenien aikana. Tällasella lannoitteella lannoitettaessa lannoitusta ei tarvitse tehdä uudelleen, jolloin säästetään koko kiertoajalle lasketuissa lannoituskustannuksissa ja lannoitteen ilmastovaikutuksissa (hiilijalanjälki). Koska kansallinen lannoitelainsäädäntö sallii tällä hetkellä metsien lannoittamisen vain epäorgaanisilla lannoitteilla, typpeä sisältävissä metsälannoitteissa, esim. Ecolan Nitro, typpi lisätään lannoitteeseen keinotekoisesti esim. ureana, mikä nostaa vääjäämättä lannoitteen hiilijalanjälkeä ja valmistuskustannuksia.

Typen kemiallinen valmistusprosessi kuluttaa paljon energiaa. Myös typen, kuten esimerkiksi urean tai ammoniumtypen, tuominen ulkomailta ei ole kestävä ratkaisu, mikä kuluneen vuoden aikana on saatu konkreettisesti todeta – typpilannoitteiden raaka-aineista on pulaa, tuotantoa on jouduttu rajoittamaan, hinnat ovat nousseet liian korkeiksi ja lannoitukset jäävät tekemättä. Orgaanisten sivuvirtojen ja raaka-aineden, kuten esim. kompostin, hyötykäyttö orgaanisten metsälannoitteiden raaka-aineena tulisi sallia huoltovarmuuden ja metsien kasvun turvaamiseksi. Kiertotaloudessa on pitkälti kyse paikallisten ratkaisujen kehittämisestä globaaleihin ongelmiin. Ravinnerikkaiden sivuvirtojen ja raaka-aineiden hyötykäyttö mahdollistaa uusien, korkeamman jalostusarvon tuotteiden kehittämisen kiertotalousliiketoiminnan ytimenä. Samalla tuetaan suomalaista työtä ja osaamista.

Tässä hankkeessa saadut tulokset tukevat jo olemassa olevaa tutkimustietoa metsälannoituksesta, jonka mukaan typpi on tärkein puiden kasvua rajoittava ravinne kivennäismailla. Metsänhoidon suositusten mukaan typpilannoitus 100–200 kg N/ha lisää puuston kasvua. Orgaanisissa metsälannoitteissa suurin osa tpeestä on orgaanisessa muodossa, minkä vuoksi typpi vapautuu puuston käyttöön hitaasti vuosien ajan. Puiden kasvu lisääntyy ja metsikön hiilivarasto kasvaa lannoituksen seurauksena. Orgaanisia metsälannoitteita, kuten Putrettia®, voidaan käyttää metsälannoitteina.

### **Lääkejäämät ja hormonit**

Tämän hankkeen lääkejäämä- ja hormonituloksia voidaan hyödyntää kompostipohjaisten (sis. mädätettyä jätevesilietettä) kierrätyslannoitteiden turvallisuuden arvioinnissa ja sitä koskevan lannoitelainsäädännön valmistelussa. Tämän hankkeen ja Rakiky -hankkeen tuloksia voidaan myös hyödyntää, kun tarkastellaan jätevedenpuhdistamoiden roolia ympäristön haitta-ainekuormituksen vähentäjänä ja lääkeaineiden ja hormonien käytön rajoituksien ja jopa kieltojen vaikuttavuutta arvioitaessa.

Tässä hankkeessa tutkittiin, vaikuttaako kierrätyslannoitteen käyttäminen taimien kasvualustan lääkejäämä- ja hormonipitoisuuksiin. Tulosten mukaan männyn taimien kasvualustasta ei löytynyt lääkeaine- tai hormonijäämiä erittäin alhaisina pitoisuuksina (max 0,075 mg/kg KA) havaittua kofeiinia lukuun ottamatta. Tämän hankkeen ja Rakiky -hankkeen tulosten perusteella voidaan todeta, että jätevesilietteen mädätys (joko jätevedenpuhdistamolla tai isommissa yksiköissä muiden mädätettävien raaka-aineiden kanssa) ja edelleen mädätteen kompostointi ovat prosesseja, joiden aikana lääkeaineiden ja hormonien pitoisuudet laskevat merkittävästi, useimpien aineiden osalta alle määritysrajan.

### **Mikromuovit**

Mikromuoveja niiden ympäristöhaittoja on tutkittu viime vuosina aktiivisesti. Mikromuovit aiheuttavat huolta, sillä muovit sisältävät erilaisia lisäaineita, joista monet ovat terveydelle haitallisia. Lisäksi ne voivat absorboida haitta-aineita itseensä ympäristöstä. Mikromuovit ovat levittäytyneet laajasti ympäristöön ja orgaaniset kierrätyslannoitteet ovat tunnistettu yhdeksi mikromuovien lähteeksi ympäristössä. Mikromuovitutkimus on keskittynyt tähän mennessä pitkälti vesiympäristöön. Mikromuovien määrystä ja laadusta kompostointiprosessin eri vaiheissa ja kompostipohjaisessa kierrätyslannoitteesta ei ole vielä olemassa tutkittua tietoa. Tässä hankkeessa tehty mikromuovitutkimus on siten ensimmäisiä omalla sarallaan.

Tämän hankkeen mikromuovitulokset ovat uutta tietoa, jota hyödynnetään sekä kompostointiprosessin kehitystyössä (eri muovilaatujen esiintyminen kompostin eri vaiheissa) että kompostimateriaalin jatkojalostuksessa (turvallisuus) hyötykäytön edistämiseksi.

Tämän hankkeen mikromuovituloksia hyödynnetään myös mikromuovianalytiikan kehittämisessä kiinteille näytteille. Tässä hankkeessa saadut kokemukset ja niiden pohjalta tehty menetelmäkehitys vie mikromuovianalytiikkaa paljon eteenpäin, erityisesti kiinteiden, useaa eri materiaalia sisältävien näytteiden analysoinnin osalta. Vesinäytteille alun perin kehitetty mikromuovien analyysimenetelmä ei sovellu sellaisenaan kompostipohjaisille näytteille. Analyysimenetelmää pitää modifioida sekä näytteiden esikäsittelyn että uuttomenetelmienkin osalta seosmateriaalille sopivaksi.

Tämän hankkeen mikromuovitulokset ovat arvokasta tietoa, jotka kertovat jätteenkäsittelyn nykytilasta mikromuovien osalta. Nyt saatuja tuloksia voidaan hyödyntää sekä jätteenkäsittelyn että pakkausmuovien kehitystyössä.

### **Kaupallistamis- ja markkinoille saattamissuunnitelma**

Kaupallistamisen ja markkinoille saattamisen suunnitelmaa hyödynnetään nimensä mukaisesti Putretin® markkinoille siirtämisessä. Putretin® tuotannosta ja myynnistä vastaava organisaatio tulee hyödyntämään suunnitelman eri osa-alueita liiketoiminnan käynnistämiseksi sekä Putretin® tunnettuuden lisäämiseksi. Toisin sanoin suunnitelma tarjoaa yhteistyöorganisaatiolle valmiin kokonaisuuden, jota voi hyödyntää ohjekirjana.

### **Toimiala:**

Suunnitelmassa liiketoiminnan kannalta olennaisimpien lakien ja asetusten esittäminen kootusti tarjoaa selkeät raamit toiminnan käynnistämiseksi ja ylläpitämiseksi. Lisäksi suunnitelmassa käytetyt viittaukset eri säädöksiin auttavat yhteistyöorganisaatiota mahdollisessa tiedonhaussa.

Liiketoiminnan käynnistämiseksi ja kehittämiseksi on tunnettava sekä vallitsevat trendit että oman toiminnan potentiaaliset kilpailijat. Trendit kertovat Putretti®-tuotteesta vastaavalle organisaatiolle, miksi käynnistettävä liiketoiminta on merkittävää ja tarpeellista. Vallitseviin trendeihin läheisesti liittyvää hiilikompensaatiokauppaa tulee hyödyntää yhtenä Putretin® lisäarvon ajajana. Kilpailija-analyysi puolestaan tiivistää eri yritysten toimintatavat erityisesti kohderyhmien, viestinnän sekä käytettyjen myyntikanavien suhteen.

#### **Kohderyhmät:**

Ymmärrystä Putretin® kohderyhmistä ja niiden odotuksista hyödynnetään markkinoinnissa, viestinnässä, myynnissä sekä palvelumuotoilussa. Kohderyhmät toimivat siis perustana koko liiketoiminnalle. Yhteistyöorganisaation käynnistäessä toimintansa on olemassa olevaa tietoa kohderyhmistä täydennettävä ajankohtaisella datalla.

#### **Markkinointi ja viestintä:**

Kaupallistamisen ja markkinoille saattamisen yksi tärkeimmistä tavoitteista on Putretin® tunnettuuden lisääminen, johon voidaan vaikuttaa erityisesti markkinoinnin ja viestinnän keinoin. Suunnitelmassa läpikäytyjä markkinoinnin ja viestinnän osa-alueita hyödynnetään juuri tunnettuuden lisäämisessä sekä Putretin® imagon ja maineen rakentamisessa.

#### **Myynti ja asiakaskokemus:**

Kaupallistamissuunnitelman myynti -osiota hyödynnetään niin Putretin® myyntiverkoston rakentamisessa kuin parhaiden tilaus- ja toimitustapojen valitsemisessa, mitkä puolestaan vaikuttavat suoraan asiakaskokemuksen muodostumiseen. Nämä osa-alueet tarjoavat suunnitelman toteuttajalle hyvät lähtökohdat, joita kehittää eteenpäin liiketoiminnan kasvaessa.

Yllä mainittujen ohella Putretin® kaupallistamis- ja markkinoille saattamissuunnitelmalla on laajempiakin hyötyjä. Se esimerkiksi tuo lisää liiketoimintaa Kujalan kiertotalouden ekosysteemiin keskittämällä Putretin® tuotannon kyseiselle alueelle. Lisääntynyt liiketoiminta myös kannustaa Kujalan nykyisiä palveluita jatkuvaan kehitykseen. Tuotannon lisäksi alueelle voisi kiertotalouden nimissä perustaa tyhjiä Putretti®-lannoitesäkkien keräyksen. Sekä Putretti® että sen markkinoille saattamiseksi tehty suunnitelma tukevat myös Green Lahti -brändin tavoitteita ja hyödyttävät Lahden kaupungin asemaa kestäväen kehityksen edistämisessä.

## 5 Hankkeen vaikutukset

Putretti®- lannoitteessa käytetyistä jakeista tuhka kelpaa jo metsään ja komposti peltolannoitukseen. Toki molemmissa käyttökohteissa on omat haasteensa ja mahdollisuutensa. Seuraava askel olisi hyväksyä tuhkan ja kompostin seos sekä pelto- että metsälannoitteeksi. Suuren hiilimäärän omaava Putretti®- tuo merkittävän määrän hiiltä sekä pellolle että metsään, ja toimii kiertotalouden hengen mukaisesti ravinteiden palauttajana maaperään. Tulokset ovat osoittaneet, että Putretin® kaltaiset

kierrätyslannoitteet eivät sisällä luonnolle, eliöille ja ihmisille vaarallisia määriä haitta-aineita, joten niiden käyttö tulisi ilman muuta sallia mahdollisimman pian.

Kierrätyslannoiteliiketoiminnan aloittamisella tulee olemaan myös suuri vaikutus lannoitteiden saatavuuden turvaamiseen. Normaaliaikoina kierrätyslannoite on järkevää levittää metsiin kasvattamaan hiilen sidontaan ja poikkeusolosuhteissa ne voidaan hyödyntää turvallisesti ruuan tuottamiseen. Joten huoltovarmuuden kannalta on järkevää aloittaa kierrätyslannoiteliiketoiminta eripuolilla Suomea, ja näin turvata ne fasilitetit, jotka lannoitetta tarvitsevat.

Tuloksen myös osoittivat, että kierrätyslannoitteen hiilijalanjälki on pieni verrattuna vastaaviin neitseellisiin NPK-lannoitteisiin. Pienen hiilijalanjäljen varmistamiseksi tulee kierrätyslannoitteen prosessointi pitää mahdollisimman vähäisenä. Esimerkiksi lannoitteen rakeistusta, kuivausta ja neitseellisten lisäaineiden käyttöä tulee välttää, elleivät ne ole ehdottoman välttämättömiä tuotteen hyväksyttävyyden kannalta. Multamaisen kierrätyslannoitteen levittäminen onnistuu tarkoituksenmukaisesti samoilla laitteilla millä nykyisin jauhemaista kipsiä ja kalkkia levitetään pelloille ja metsiin.

Lainsäädäntöä ja erityisesti lannoitelainsäädäntöä tulee kehittää siihen suuntaan, että luodaan edellytykset kierrätyslannoiteliiketoiminnan syntymiselle. Hyvä suunta on se, että koetoimintalupa ja sen hakeminen on tehty helpommaksi sekä lannoitteiden valmistamiselle ja niiden kokeilemiselle erilaisissa käyttökohteissa. Varovaisuus on toki järkevää, mutta positiivisemmän ajattelumallin luominen ja kokeilujen kehittäminen sekä pilot-mittakaavan toimintojen tukeminen, on suunta ja malli mitä tulee suosia seuraavissa askelissa, jos kierrätyslannoiteliiketoimintaa aiotaan edistää.

Lisäksi kierrätyslannoiteliiketoiminnan hajauttaminen Suomessa on järkevää kaikkien sidosryhmien kannalta sekä huoltovarmuuden että ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta.

Hankkeen yhtenä tavoitteena oli mahdollistaa kannattavan kierrätyslannoiteliiketoiminnan aloittaminen Lahdessa kehittämällä turvallinen NPK(C)-lähilannoite, jonka ravinnesisältöä voidaan muuttaa joustavasti (reseptiikka) ja siten vastata kierrätyslannoitteiden vasta heräämässä olevaan kysyntään ja kierrätyslannoitteiden markkinoiden syntymiseen. Toteutuessaan uusi liiketoiminta (alkuvaiheessa tuotanto 10 000 tn NPK-lannoitetta vuodessa) luo uusia työpaikkoja koko arvoketjuun, joka muodostuu lannoitetoiminnan ympärille.

## 6 Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Hankkeen viestintä koostui sisäisestä ja ulkoisesta viestinnästä, joka toteutui pääosin hankesuunnitelmassa esitetyn viestintäsuunnitelman mukaisesti.

Viestinnän tavoitteena oli saada näkyvyyttä uudelle ja markkinoille saatetulle hiilijalanjäljen huomioon ottavalle tulevaisuuden orgaaniselle metsälannoitteelle sekä viestiä positiivisesti lannoitteen loppukäyttäjille (asukkaita, maanviljelijöitä, metsän omistajia, metsänhoitoyhdistyksiä) ottamaan lannoite käyttöön. Kullekin kohderyhmälle oli tarkoitus suunnata myös omaa, kohderyhmän tavoitteet ja viestinnälliset tarpeet huomioon ottavaa viestintää. Kohderyhmäkohtaisen viestinnän sisältöjä valmisteltiin kaupallistamis- ja markkinointisuunnitelman laatimisen yhteydessä, mutta konkreettista kohderyhmäkohtaista viestintää ei hankkeen aikana tehty. Koska Putrettia® ei vielä ole saatavilla,

konkreettista kohderyhmäkohtaista viestintää ei voitu tehdä, vaan katsottiin, että käyttäjäkohderyhmiä kannattaa lähestyä vasta siinä vaiheessa, kun lannoitetta voi saada myös kokeiltavaksi. Tämän vuoksi Putrettiin® liittyvissä viestinnällisissä toimenpiteissä panostettiin Putretin® ydinviestin rakentamiseen yhdessä Putretin® yhteistyöorganisaatioiden ja Putretin® kehitystyöhön läheisesti liittyvien tahojen kanssa. Putretille® tehtiin myös tarina. Tarinallisuus on yksi keino lisätä Putretin® näkyvyyttä ja erityisesti tuoda Putretti® lähelle ihmisiä. Tarinan kautta Putrettiin® on helpompi samaistua ja kokea myös itse olevansa osa Putretin® kehitystyötä, niin kuin asia onkin – sinunkin kahvinporosi ja porkkanan kuoret ovat osa Putretin® tarinaa.

Hankkeen sisäisessä viestinnässä hyödynnettiin hankkeelle Teams:iin perustettua hankealustaa, hankkeen sisäistä WhatsApp -ryhmää, sähköpostia sekä kerran viikossa pidettävää tiimipalaveria. Tiimipalaverit koettiin heti hankkeen alusta alkaen tärkeiksi hankkeen etenemisen kannalta. Tiimipalavereissa käytiin läpi edellisellä viikolla tehdyt toimet ja erityisesti tulevat toimet ja niistä suoriutuminen eli käytiin läpi, mitä ja miten työt tulee suorittaa ja tarvitseeko joku jossakin hommassa apukäsiä tai muuta apua. Teamsissä olevaan rullaavaan muistioon tehtiin kirjaukset tiimipalaverin tärkeimmistä asioista. Näin saatiin dokumentoitua myös hankkeen sisäinen työskentely.

Hankkeen aikana tehdyistä toimista, hankkeen etenemisestä, haasteista ja tuloksista viestittiin avoimesti ja aktiivisesti hankkeen koko ajan. Hankkeesta viestittiin hankkeen yhteistyötahoille (Labio Oy, Lahti Energia Oy, Salpakierto Oy ja Salpamaa Oy) ja tärkeimmille sidosryhmille (MMM, YM, Ruokavirasto) kerran kuussa sähköpostitse lähetettävällä kuukausikirjeellä, jossa kerrottiin tiivistetysti hankkeeseen liittyvistä asioista sekä muista olennaisista asioista ja tapahtumista. Kuukausikirjeen ohella hankkeesta viestittiin myös hankkeen blogi-sivustolla: <https://putretti.blogspot.com/>. Hankkeen ulkoisen viestinnän toimet listattuna tarkemmin Liitteessä 1.

Hankkeessa tehdyt toimenpiteet herättivät kiinnostusta laajasti ympäri Suomen. Hankkeen toimenpiteistä orgaanisen metsälannoitteen kehittämiseksi ja markkinoille saattamiseksi sekä kierrätyslannoitteisiin liittyvistä liiketoimintamahdollisuuksista ja Putretti® -tuoteinnovaatiosta kerrottiin monissa eri tilaisuuksissa. Putretti® osallistui Cooler Planet -tapahtumaan 8-29.9.2021 (Kuva 18), joka oli osa Helsinki Design Weekin toteutusta. Näyttelysuunnittelija Sonja Dallyn vastasi Putretin® näyttelyn suunnittelusta ja toteutuksesta. Cooler Planetin jälkeen Putretti® -näyttely oli nähtävillä Aalto-yliopiston Biotuotteiden ja biotekniikan laitoksen aulaan joulukuun 2021 loppuun asti. Syksyllä 2022 Putretti® -näyttely oli nähtävillä Aalto Perhepäivässä, jossa Putretti® herätti paljon kiinnostusta. Paljon kyseltiin muun muassa sitä, mistä Putrettia® saa ostaa, saako sitä luomuna ja miksi orgaanisia lannoitevalmisteita ei saa käyttää metsässä.





Kuva 18. Putretti® -näyttely Cooler Planet -tapahtumassa syyskuussa 2021. Kuva Hanna Vanhanen.

Jo Rakiky-hankkeen aikana alkanut yhteistyö Meri-Lapin toimijoiden ja Kuusamon Evon osuuskunnan toimijoiden kanssa jatkui myös tässä hankkeessa. Kuusamon Evon osuuskunta kävi myös vierailulla Labio Oy:llä Lahdessa tutustumassa Putretti® syntysijoihin. Putretti® ja hankkeesta viestiminen herätti kiinnostusta myös ulkomailla. Eräs miljardiliikevaihdon omaava keskieurooppalainen yritys otti hanketyöryhmään yhteyttä uuden, typen poistoon keskittyvän teknologian kehittämiseksi. Aiheen tiimoilta aloitetut keskustelut yhteistyön aloittamiseksi ovat kesken. Kontakti saatiin aikaan aktiivisen viestinnän avulla.

## 7 Talousraportti

Hanke pysyi budjetissa. Hankkeessa käytetty avustuksen (ympäristöministeriö) summa oli 61 978 € ja Aalto-yliopiston omarahointus oli 72 967 €. Henkilökustannukset toteutuivat lähes budjetoidun mukaisesti. Muita kustannuksia ja matkakuluja oli selvästi budjetoitua vähemmän. Ulkopuolisten palveluiden osalta tehtiin suunnitellut hankinnat analyysien osalta. Myös aineita ja tarvikkeita tarvittiin budjetoitua vähemmän.

## 8 Johtopäätökset / Yhteenveto hankkeesta ja päätuloksista

Putretti® on orgaaninen NPK(C) metsälannoite, joka koostuu kompostista ja puunpolton tuhkasta. Komposti sisältää typpeä (N) ja kaliumia (K), ja puuntuhka fosforia (P) ja kaliumia, mitkä ovat puiden kasvun pääravinteita. Lisäksi lannoite sisältää suuren määrän orgaanista hiiltä (C). Paras lannoite ravinteiden suhteen saavutetaan, kun Putretti® sekoitetaan siten, että 2/3-osaa on kompostia ja 1/3 on tuhkaa, jolloin saavutetaan NPK-lannoite, jossa N (2,5 %), P (0,9 %) ja K (2,3 %) sekä alkuainehiilen osuus lannoituksen alussa on noin 23 % eli 230 kg/tn (pelkälle kompostille noin 30 %). Tarvittaessa Putrettiin® tehdään boorilisäys puiden terveen kasvun ja normaalin kehityksen varmistamiseksi. Joissain erityistapauksissa on myös järkevää lisätä joko neutraalista ureaa tai vastaavaa typpeä sisältävää kierrätysjätettä, jolloin voidaan lisätä nopealiukoisien typen osuutta lannoitteesta. Putretti® soveltuu myös muuhun lannoituskäyttöön, kuten orgaaniseksi maanparannusaineeksi, kasvuvalustakäyttöön sekä viherrakentamiseen.

Kasvuvasteen osalta taimikokeissa Putretin® tai Putretin® raaka-aineena olevan kompostin vaste ei poikennut jo markkinoilla olevien lannoitteiden antamasta kasvuvasteesta. Männyn taimien kasvuvalustasta ei löytynyt lääkeaine- tai hormonijäämiä lukuun ottamatta kofeiinia, jota havaittiin alhaisina pitoisuuksina Putretilla® kaikilla lannoitustasoilla (100, 200 ja 300 kg N/ha). Mikromuovia löytyi myös vähäisiä määriä. Merkittävin havainto oli se, että teknisillä ratkaisulla, kuten kompostin seulontakonseptia kehittämällä, voidaan merkittävästi vähentää näkyvän muovin määrää kompostissa ja siten parantaa jatkojalostettavan kompostin laatua ja hyödynnettävyyttä.

Tutkimuksen aikana tuli selväksi ja sen tulokset osoittivat, että kierrätyslannoitteille on kysyntää markkinoilla. Erityisesti toivottiin luomustatuksen omaavia kierrätyslannoitteita, mikäli lannoitteen hinta ei suuresti poikkea muista vastaavista tuotteista. Lahden Kujalan alueella on erinomaiset mahdollisuudet toimia Putretin® kaltaisen kierrätyslannoitteen tuottajana ja Lahden sijainti isojen asutuskeskusten läheisyydessä varmistaa tuotteelle riittävät markkinat.

Hankkeessa tunnistimme seuraavat kehittämiskohteet kierrätyslannoitteiden osalta:

- Tulee kehittää mikro-organismeja, jotka jatkavat mikromuovien hajottamista metsiköissä, jotta niiden mahdollinen kumuloituminen voidaan estää.
- Tulee suorittaa laajalti metsikkötason kokeita, jolla varmennetaan kierrätyslannoitteiden vaikutukset puuston kasvuun, hiilensitoutumiseen ja varastoitumiseen sekä mahdollisten haitta-aineiden kertymiseen.
- Tulee hyväksyä kierrätyslannoitteiden erilaiset ominaispiirteet neutraalisiin lannoitteisiin verrattuna: niiden ravinnepitoisuudet ovat aina alhaisemmat, mutta lannoitteen hiilipitoisuus on aina suurempi. Lannoitteen hiilijalanjälki olennaisesti pienempi, jolloin tuotteen ulkonäkö on multamainen raemaisuuden sijasta.
- Kierrätyslannoiteliiketoimintaa tulee tukea ohjaavilla toimenpiteillä, joita ovat: valmistuksen riittävä seuranta ja valvonta, valmistuslaitosten investointien taloudellinen tukeminen julkisin varoin ja toimintaa tulee käynnistää eripuolella Suomea lannoitteiden saatavuuden turvaamiseksi.



## Lähdeluettelo:

EU 2020/1161. Komission täytäntöönpanopäätös tarkkailtavien aineiden luettelon hyväksymisestä. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020D1161&from=EN>

EU:n vihreän kehityksen Green Deal -ohjelma. <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/>

Hallitusohjelma, Valtioneuvoston julkaisuja 2019/31. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN\\_2019\\_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161931/VN_2019_31.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Kansallinen metsästrategia 2025. <https://mmm.fi/kms2025>

Kestävän kasvun strategia 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0650&from=FI>

Löder, M.G.J., Imhof, O.H.K., Ladehoff, O.M., Löschel, L.A., Lorenz, C., Mintenig, S., Piehl, S., Primke, S., Schrank, I., Lafors, C. and Gerdts, G. Enzymatic Purification of Microplastics in Environmental Samples. Environ. Sci. Technol. 2017, 51(24) 14283–14292.

Suomen biotalousstrategia 2022-2035. <https://mmm.fi/metsat/strategiat-ja-ohjelmat/suomen-biotalousstrategia>

## Hankkeen ulkoinen viestintä: listaus viestintätoimenpiteistä

- Kuukausikirje -> 16 julkaistu
- Vierailut, tapaamiset -> Nanopar Oy (Camilla Inkeroinen), Jyväskylän yliopisto (Hanna Vanhanen)
- Cooler Planet –tapahtuma 8.-29.9.2021
  - [Designs for a Cooler Planet 2021 – YouTube](#)
  - [Putretti: the sustainable fertilizer exhibited at Designs for a Cooler Planet 2021 | Aalto University](#)
- Lehtiartikkelit ym. julkaisut -> Aalto-yliopiston viestinnän kaksi juttua (fi ja eng)
  - <https://aaltouniversity.shorthandstories.com/lainsuojaton-lannoite/index.html> ja
  - [Sonja Dallyn muotoilee ekolannoitteesta ahaa-elämystä | Aalto-yliopisto](#)
- Esitykset -> Olli Dahlin esitys New European Bauhaus –tilaisuudessa 5.5.2021
- putretti.blogspot.com [Putretti - aito lähilannoite](#)
- Lausunto lannoitelain luonnokseen 21.1.2022 (Olli Dahl ja Hanna Vanhanen)
- ACEF –seminaari 14.6.2022 Kemi, Putretti –case esitetty, nykyinen lannoitevalmisteasetus on haastava (Olli Dahl)
- Loppuseminaari -> hankkeen tuloksista kerrotaan jonkun muun hankkeen, esim. KiertoKuja - hankkeen, kanssa yhdessä myöhemmin sovittavana ajankohtana
- Container Garden –projekti (Creativity Sustainability Master students) Otaniemessä 3-9/2022
- Aalto Family Day 10.9.2022 -> kiinnostus Putrettiin suuri, ostohalukkuutta löytyy, luomu kiinnostaa
- Orgaaniset lannoitevalmisteet metsäkäytössä? Uhka vai mahdollisuus? -tapahtuma 13.10.2022 + Biopajan avoimet ovet LUKEn Jokioisten kampuksella
- Orgaanisten lannoitevalmisteiden metsäkäyttö tukee kiertotaloutta - Policy Briefin julkaisuwebinaari 2.12.2022, Luke
- Putretin yhteistyöorganisaatioiden ja Lahden alueen toimijoiden haastattelut
- Yhteydenpito YLEn paikalliseen toimittajaan hankkeen etenemisestä