



**Ympäristöministeriö**  
Miljöministeriet  
Ministry of the Environment

Kasvua ja kehitystä puusta -tukiohjelma

## **LOPPURAPORTTI**

### **Hankkeen nimi ja diaarinumero**

Sisäilman kosteusolosuhteiden vaikutus puumateriaalien emissioihin (HUMIWOOD)  
VN/2899/2019

### **Loppuraportin kirjoittajat**

Henrik Heräjärvi (Luonnonvarakeskus)  
Pertti Pasanen (Itä-Suomen yliopisto)

## **Hankkeen työryhmä**

Tutkijat:

Anni Harju (Luonnonvarakeskus)

Henrik Heräjärvi (Luonnonvarakeskus), hankkeen vastuhenkilö

Marko Hyttinen (Itä-Suomen yliopisto)

Veikko Möttönen (Luonnonvarakeskus)

Pertti Pasanen (Itä-Suomen yliopisto)

Talousasiantuntija:

Mari Topi-Hulmi (Luonnonvarakeskus)

Opinnäytetyön tekijät:

Joonas Lampela (Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto)

Arttu Sivula (Itä-Suomen yliopisto, Ympäristötieteiden laitos)

## **Hankkeen myötävaikuttajaorganisaatiot**

Ympäristöministeriö, Luonnonvarakeskus, Itä-Suomen yliopisto, Stora Enso Wood Products /  
Uimaharjun saha (koeaineiston luovuttaja)

## Sisälllys

1.	Tiivistelmä.....	4
2.	Hankkeen tausta ja tavoitteet .....	5
3.	Hankkeen osapuolet ja menetelmät.....	6
3.1.	Kirjallisuustutkimus puun sisäilmapäästöistä.....	7
3.2.	Kierrätyspuu .....	8
3.3.	Kokeellinen osa .....	8
4.	Hankkeen tulokset.....	10
4.1.	Hankkeen tavoitteiden ja suunniteltujen tulosten toteutuminen.....	10
4.2.	Poikkeamat verrattuna suunnitelmiin .....	12
4.3.	Poikkeamien syyt.....	12
5.	Hankkeen vaikuttavuus .....	13
6.	Viestinnän toteutuminen ja tulokset.....	14
7.	Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen .....	15
8.	Talousraportti .....	16
9.	Suosituksat tulevia hankkeita ja ohjelmia varten .....	16
9.1.	Esiin nousseet jatkohankkeita tai liiketoimintamalleja koskevat ideat ja tarpeet.....	16
9.2.	Mitä vastaavissa hankkeissa tulisi välttää, mitä suositellaan .....	17
10.	Johtopäätökset ja yhteenveto hankkeen päätuloksista .....	18

## 1. Tiivistelmä

Rakennus- ja sisustusmateriaaleista ja -tuotteista haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöt ovat materiaalien laadun keskeisiä parametreja. Päästömittaukset tehdään yleensä vakioituissa ilman suhteellisen kosteuden 50 % ja huonelämpötilan +23 °C olosuhteissa. Tämä mittaustapa ei ota huomioon ilmankosteuden vaihtelua ja sen aiheuttamaa vuodenaikoihin liittyvää dynamiikkaa hygroskooppisen materiaalin kosteussuhteessa. HUMIWOOD-hankkeessa toteutettiin koeasetelma, jossa erilaisten mäntykoekappaleiden VOC-päästöt mitattiin hallituissa testauskammio-oloissa ilman kosteussuhteen vaihtelun funktiona. Koekappaleita valmistettiin juuri sahan kuivaamolta saadusta ”tuoreesta” puusta sekä kierrätyspuuta jäljittelevästä, noin 15 vuotta sisätiloissa säilytetystä ”vanhasta” puusta, sydän- ja pintapuupitoisia koekappaleita viisi kutakin. Tulokset osoittavat, että puun VOC-päästöt ovat voimakkaasti riippuvaisia ympäröivän ilman suhteellisesta kosteudesta, ja että kierrätyspuun päästöt ovat keskimäärin alhaisemmat ja koostuvat eri yhdisteistä kuin tuoreen puun päästöt. Hankkeessa valmisteltiin myös laaja kirjallisuuskatsaus puun ja puutuotteiden sisäilmapäästöistä sekä tarkasteltiin kierrätyspuun käyttömahdollisuuksia vähäpäästöisenä sisustusmateriaalina. Tutkimuksen tuottama tieto voi vaikuttaa hygroskooppisten materiaalien VOC-testimenetelmien tai standardien kehitykseen. Tietoa voi hyödyntää välittömästi esimerkiksi allergiakotien tai muiden sisäilman laadun kannalta kriittisten kohteiden sisustus- tai kalustemateriaalien valinnassa. Hanke lisäsi ymmärrystä puun päästöjen ja ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden vuorovaikutuksesta. Arvio on, että hankkeen tulosten perusteella erilaisten puuraaka-aineiden käyttömahdollisuudet ja kilpailukyky erityisesti pinnoittamattomina sisustusmateriaaleina paranevat kaikentyypisessä asuin- ja toimitilarakentamisessa – puun käyttö sisustusmateriaalina ei rajoitu puutaloihin. Tutkimus palvelee myös vientiliiketoiminnan kehittämistä; merkittävä osa suomalaisesta puutuoteviennistä koostuu sisäilman laatuun vaikuttavien sisustustuotteiden kaupasta.

## 2. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Rakennus- ja sisustusmateriaaleista ja -tuotteista haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöt ovat materiaalien, liimojen, pinnoitteiden, tapettien jne. laadun keskeinen parametri. Vähäpäästöisyys on erityisen tärkeää rakennettaessa tai remontoitaessa kohteita allergisille tai yliherkille kohderyhmille, jolloin hinnan ja materiaalin toiminnallisuuden lisäksi niiden vähäpäästöisyys sekä pintojen pölyntyvyys- ja puhdistettavuusominaisuudet nousevat tärkeiksi valintakriteereiksi. Materiaalivalinnan lisäksi myös pinnan toiminnallisiin ominaisuuksiin voi vaikuttaa. Esimerkiksi puun pintakäsittelyllä voidaan vähentää pölyn ja epäpuhtauksien tarttuvuutta ja helpottaa puhdistettavuutta. Samalla kuitenkin menetetään pintakäsittelemättömän puun esteettisyyteen, kosketustuntumaan, hygroskooppisuuteen ja antibakteerisuuteen liittyviä hyötyjä.

Perinteinen ajattelutapa esimerkiksi kokolattiamattojen soveltumattomuudesta allergiakohteisiin ei enää ole perusteltua mattomateriaalien kehittymisen myötä. Sisustusmateriaalimarkkinoille on tullut lukuisia vähäpäästöisiä (M1-luokka) luokiteltuja materiaaleja. Rakennustietosäätiö, joka vastaa pintamateriaalien päästöluokitusmenettelyistä, pitää yllä luetteloa M1-luokan rakennus- ja sisustusmateriaaleista. Luokitusta varten päästömittaukset tehdään kuukauden ikäisille materiaaleille; normaalisti materiaalien päästöt vähenevät vielä tämän ajan jälkeen. Samoin käyttönotetuissa asennetuissa rakennustuotteissa päästö on alussa suurempi, mutta vähenee murto-osaan muutamien kuukausien käyttöajan kuluessa. Sisäilman laadun kannalta ilmanvaihdolla on merkittävä rooli. Rakentamisen tai remontoinnin jälkeen tiloja tulisi tuulettaa tehostetulla ilmanvaihdolla vuoden ajan, millä ei kuitenkaan voida kokonaan kompensoida pölyvien tai runsaspäästöisten materiaalien aiheuttamaa sisäilman heikkenemistä. M1-luokan saavuttaakseen tuotteen pitää alittaa asetetut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispäästörajat ( $< 0,2 \text{ mg/m}^2\text{h}$ ), formaldehydi- ja ammoniakkipäästöt sekä karsinogeenisten aineiden ja hajujen päästöt neljän viikon kuluttua tuotteen valmistuksesta. M1-luokitustestissä materiaalipäästö mitataan vakioituissa olosuhteissa laboratoriossa. Formaldehydipäästö määritetään standardin ISO 16000-3 (2011) ja totaali-VOC:t joko standardin EN ISO 16017-1 (2003) tai ISO 16000-6 (2011) mukaan, molemmat kertamittauksena. Sisätiloja suunniteltaessa voidaan luokan M1 tuotteisiin rinnastaa pinnoittamattomina keraaminen laatta, lasi, luonnonkivi, metalli, tiili sekä käsittelemättömästä puusta (pois lukien trooppiset ns. kovapuulajit) valmistetut laudat ja hirret, joiden VOC-päästöt voivat vasta-asennettuna ylittää luokan M1 raja-arvot ([www.rts.fi](http://www.rts.fi)).

Puu poikkeaa muista yllä luetelluista M1-luokan materiaaleista, koska se on hygroskooppista: puun kosteussuhde vaihtelee ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan funktiona. Sassoli ym. (2016)<sup>1</sup> tutkivat 13 puulajin VOC-päästöjä kosteussykliin suhteen, tarkoituksenaan määrittää puulajikohtaiset VOC-profiilit ja tarkastella puulajien tunnistamista VOC-päästöjen avulla. He havaitsivat VOC-päästöjen radikaalin laskun heti ensimmäisen kuivaussyklin jälkeen ja päättelivät, että puulajien tai jopa sukujen erottaminen toisistaan on mahdollista vain tuoreen tai lähes tuoreen puun VOC-päästöistä. Sassolin ym. (2016)<sup>1</sup> tutkimuksessa ei ollut mukana suomalaisia rakennus- tai sisustuspuulajeja. Eräiden suomalaisten puulajien (kuusi, mänty, haapa) VOC-päästöjä on tutkittu paitsi käsittelemättömänä myös lämpömodifioituna (Manninen ym. 2002<sup>2</sup>, Hyttinen ym. 2010<sup>3</sup>). Näissä tutkimuksissa havaittiin, että haavan aldehydien ja havupuiden terpeenien päästöt laskivat lämpökäsittelyn seurauksena. Tutkimukset osoittavat, että puun ikääntyminen tai siihen verrattavissa oleva modifiointiprosessi kuten lämpökäsittely laskevat aldehydi- ja terpeenipäästöjä. Mannisen ym. (2002)<sup>2</sup> ja Hyttisen ym. (2010)<sup>3</sup> tutkimuksissa testausolosuhteet vakioitiin huonelämpötilaan ja 50 % ilmankosteuteen. Kotimaisten puuraaka-aineiden

<sup>1</sup> Sassoli, M., Taiti, C., Nissim, W.G., Costa, C., Mancuso, S., Manesatti, P. & Fioravanti, M. 2016. Characterization of VOC emission profile of different wood species during moisture cycles. *iForest – Biogeosciences and Forestry*. Vol 10, pp. 576-584.

<sup>2</sup> Manninen, A.-M., Pasanen, P., Holopainen, J.K. 2002. Comparing the VOC emissions between airdried and heat-treated Scots pine wood. *Atmospheric Environment* 36: 1763-1768.

<sup>3</sup> Hyttinen, M., Masalin-Weijo, M., Kalliokoski, P. & Pasanen, P. 2010. Comparison of VOC emissions between air-dried and heat-treated Norway spruce (*Picea abies*), Scots pine (*Pinus sylvestris*) and European aspen (*Populus tremula*) wood. *Atmospheric Environment* 44(2010): 5028-5033.

VOC-päästöjä ilman suhteellisen kosteuden ja sitä seuraavan puun kosteussuhteen vaihdellessa ei ole tutkittu.

Koska puu on hygroskooppinen materiaali ja sisätilojen ilman suhteellinen kosteus vaihtelee vuodenaikojen välillä jopa 70 prosenttiyksikköä, liittyy M1-standardimittaustapaan käytännön heikkous puun VOC-päästöjen arvioinnissa: päästötasoon vaikuttaa se, millainen kosteustila puulla sattuu mittaushetkellä olemaan ja millainen historia mitattavalla näytteellä on. Sisätiloissa käytettävän puun pinnan ja ohuemmilla kappaleilla sisäosienkin kosteussuhde vaihtelee lämmityskauden selvästi alle kymmenestä prosentista syksyn yli 15 prosenttiin. Puun kosteussuhteen vuosivaihtelu on verrattain säännönmukaista ja puumateriaali toimiikin eräänlaisena kosteuspumppuna haihtuville orgaanisille yhdisteille. Ilmiössä on kyse vesihöyrytlauksesta, jossa vesimolekyylit korvaavat materiaaliin adsorboituneita tai siinä luonnostaan olevia helposti haihtuvia kemiallisia ainesosia kuten aromaattisia yhdisteitä, ja vapauttavat ne ilmaan. Kosteussuhteen vuodenaikavaihtelun voidaan arvioida vaikuttavan puutuotteen VOC-päästöjen kehittymiseen paitsi lyhyellä myös pitkällä aikavälillä. Vuosia tai vuosikymmeniä käytetty puuraaka-aine (esim. kierrätyspuu) on käynyt läpi monia kostumis-kuivumis- ja kuivumissyklejä, ja sen voidaan olettaa olevan vähäpäästöisempää kuin raaka-aineen, joka ei ole altistunut vuodenaikaisvaihtelulle.

HUMIWOOD-hankkeen tavoitteena oli tuottaa käyttöolosuhteisiin suhteutettua tietoa tuoreen ja kierrätyspuuta jäljittelevän, vuosia sisätiloissa säilytetyn mäntypuun VOC-päästöistä ja määrittää, millaiset raaka-ainejakeet soveltuvat parhaiten allergia- ja yliherkkyysskohteiden (allergiakodit, sairaalat, terveysasemat, odotustilat, julkiset tilat) rakennus- tai sisustusmateriaaleiksi. Tutkimuksen hypoteesit:

- 1) Ilmankosteusolosuhteet vaikuttavat puumateriaalien päästöihin;
- 2) Puulaji, puun ominaisuudet ja säilytystapa vaikuttavat päästöjen kokonaismäärään, koostumukseen ja yhdisteiden jakaumiin;
- 3) Vanhalla, useita ilmankosteuden vuosisyklejä läpi käyneellä puulla on alhaisemmat ja erilaiset päästöt kuin tuoreella puulla.

### 3. Hankkeen osapuolet ja menetelmät

Hanke käynnistyi 1.9.2019 ja päättyi 31.12.2020. Tässä loppuraportissa tarkastellaan koko hankkeen ajalla toteutettuja toimenpiteitä ja raportoidaan syntyneet kustannukset.

Hanke toteutettiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Itä-Suomen yliopiston (UEF) yhteistyönä. Luke vastasi konsortion koordinaatiosta sekä päästöjä käsittelevän kirjallisuustutkimuksen ja PESTEL-analyysin teosta sekä osallistui kokeellisen osan suunnitteluun, materiaalien hankintaan ja koekappaleiden esikäsittelyyn. UEF/Sisäympäristön ja työhygienian tutkimusryhmä vastasi päästömittauskokeen käytännön toteutuksesta ja tulosten analyyseistä sekä osallistui kirjallisuustutkimuksen valmisteluun. Hankkeessa valmistui kaksi opinnäytetyötä Itä-Suomen yliopistoon, yksi Luken ja yksi UEF:n pääohjaamana.

Hankkeessa oli kolme toisiinsa linkittyvää työpakettia: 1) kirjallisuustutkimus massiivipuun päästöistä, 2) asiantuntijahaastatteluaineistoon perustuva PESTEL-analyysi kierrätyspuun käyttömahdollisuuksista vähäpäästöisenä sisustusmateriaalina ja 3) kokeellinen osa ilmankosteuden vaikutuksista mäntypuun päästöihin. Seuraavissa kappaleissa käsitellään näitä lyhyesti kohta kohdalta.

### 3.1. Kirjallisuustutkimus puun sisäilmapäästöistä

Hankkeessa on koottu laaja suomenkielinen katsaus ”Massiivipuun sisäilmapäästöt, kirjallisuuskatsaus”, joka tullaan julkaisemaan Luonnonvarakeskuksen raporttisarjassa alkuvuonna 2021. Koosteraportin on tarkoitus palvella tiedon käyttäjiä, ei niinkään tutkijoita. Lähellä lopullista julkaisua oleva kirjallisuustutkimuksen sisällysluettelo on esitetty kuvassa 1.

<b>Sisällys</b>	
<b>1. Johdanto</b> .....	<b>7</b>
1.1. Tausta	7
1.2. Tavoitteet.....	8
<b>2. Puu ja sisäilmaemissiot</b> .....	<b>10</b>
2.1. Puun rakenne ja kemia.....	10
2.1.1. Lehti- ja havupuu.....	10
2.1.2. Sydän- ja pintapuu.....	11
2.1.3. Modifioitu puu.....	11
2.2. Puu rakennus- ja sisustustuotteissa .....	12
2.2.1. Neitseellinen raaka-aine: Puulajit ja laadut .....	12
2.2.2. Käsitelty massiivipuuta: Kuivaus, modifiointi ja pintakäsittelyt .....	13
2.2.3. Kierrätyspuu.....	14
2.3. Sisäilma	16
2.3.1. Tausta.....	16
2.3.2. M1-luokitus.....	20
2.3.3. Muita luokituksia .....	22
2.4. Puun vaikutukset sisäilmaan .....	25
2.4.1. Primääriset lähteet .....	25
2.4.2. Puusta vapautuneiden yhdisteiden hapettumistuotteet.....	28
2.4.3. Puun sisäilmaemissioiden terveysvaikutukset.....	29
2.4.4. Muut vaikutukset.....	30
<b>3. Päätelmät</b> .....	<b>32</b>
3.1. Emissiot puuraaka-aineiden ja -tuotteiden käytön kannalta .....	32
3.2. Jatkotutkimustarpeet .....	32
<b>Viitteet</b> .....	<b>39</b>

*Kuva 1. Massiivipuun sisäilmapäästöt -kirjallisuustutkimuksen sisältörakenne (muutokset mahdollisia).*

Kirjallisuushaut rajattiin koskemaan suomen- ja englanninkielistä tutkimuskirjallisuutta. Kirjallisuudesta ja internetistä haettiin tietoa ja määritelmiä liittyen mm. sisäilmaluokitukseen, mittausmenetelmiin ja -standardeihin. Tieto pyrittiin raportoimaan sellaiseen muotoon, että ”maallikkolukija” pystyy sisäistämään raportin tai sen alaluvun lukemalla aihepiirin keskeisimmät asiat ja reunaehdot. Kirjallisuusviitteiden avulla lukija löytää tarvittaessa yksityiskohtaisempaa tietoa, jonka ymmärtäminen voi kuitenkin edellyttää laajempaa perustieteiden hallintaa. Muun muassa koeasetelmiin ja mittaustarpeisiin liittyvien erojen vuoksi eri raporteissa esitettyjen päästötulosten yhteismitallinen esittäminen on vaikeata, toisinaan mahdotonta, mikä haastoi tulosten vertailua ja ”helppolukuista” esitystapaa.

### 3.2. Kierrätyspuu

Kierrätyspuun erityispiirteitä ja mahdollisuuksia sisustustuotteissa tarkasteltiin metsätieteen kandidaatin tutkielmassa *Puun haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja kierrätyspuun potentiaali vähäpäästöisenä sisustusmateriaalina* (Lampela 2020). Opinnäytetyö koostuu kirjallisuuskatsauksesta sekä asiantuntijahaastatteluihin perustuvasta empiirisestä osasta. Haastatteluaineisto purettiin PESTEL-analyysiksi, jossa tarkastellaan laajasti kierrätyspuun käytön mahdollisuuksia, ottaen huomioon poliittiset (P), taloudelliset (E), yhteiskunnalliset (S), teknologiset (T), ympäristö- (E) ja lainsäädännölliset (L) ulottuvuudet. Joonas Lampela haastatteli suomalaisia julkisen ja yksityisen sektorin asiantuntijoita (N=9) siten, että kutakin PESTEL-teemaa edusti 1-2 haastateltavaa. Kunkin PESTEL-teeman analyysiä jatkettiin teemakohtaisella SWOT-taulukoinnilla, jonka tarkoituksena oli jäsentää tietoa ja lisätä päätöksenteon kannalta välttämätöntä ymmärrystä PESTEL-teemoihin linkittyvistä kierrätyspuun vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista ja uhkista.

### 3.3. Kokeellinen osa

Tutkittavaksi puulajiksi valittiin mänty, joka on tärkeä sisustuspuulaji ja jossa VOC-päästöjen ilmankosteusriippuvuus olisi korkean uuteainepitoisuuden vuoksi todennäköisesti esim. kuusta selvemmin havaittavissa. Tuore puu – vanha puu -asetelman lisäksi kokeeseen valikoitiin sydänpuupitoisia ja pintapuupitoisia näytteitä. Päästökoetta varten valmistettiin Luken vanhasta eteläsuomalaisesta mäntysahatavara-aineistosta 5 sydänpuu- ja 5 pintapuukoekappaletta (pituus: 250 mm, leveys: 100 mm, paksuus: 20 mm). Aineistoa on säilytetty sisätiloissa (Joensuun Metla-talon puutavaravarasto, jatkuva ilmanvaihto, kesäaikainen ilmastointi) noin 15 vuotta; kappaleet ovat käyneet läpi 15 vuotuista sisäilman kosteusvaihtelusykliä. Tätä osa-aineistoa kutsutaan nimellä ”vanha aineisto”. Vastaavat 5+5 sydän- ja pintapuukoekappaletta valmistettiin Stora Enso Wood Products Oy:n Uimaharjun sahalla saaduista mäntysahatavarakappaleista. Tukit, joista sahatavara oli peräisin, oli hakattu pohjoiskarjalaisesta leimikosta loka-marraskuussa 2019. Sahatavara oli kuivattu noin 18 % kosteussuhteeseen sahan kuivaamossa. Sahatavarakappaleet noudettiin sahalla 18.12.2019 ja työstettiin koekappaleiksi 19.12.2019. Tätä osa-aineistoa kutsutaan nimellä ”tuore aineisto”. Koekappaleiden sydänpuupitoisuudet arvioitiin näytteiden valmistusvaiheessa silmämääräisesti, ja kokeen päätyttyä UV-fluoresenssimittauksella. Erityisesti vanhan aineiston UV-fluoresenssi oli heikko, joten koekappaleiden sydänpuuosuudet (Taulukko 1) perustuvat enemmän silmämääräiseen arvioon.

”Vanha aineisto” määritteli päästökoekappaleiden dimensiot, koska vastatyöstettyjen pintojen määrä haluttiin minimoida. Työstämistä haluttiin välttää, koska vanhankin puumateriaalin tuoreilta työstöpinnoilta oletettiin vapautuvan suurempia määriä haihtuvia yhdisteitä kuin vanhoilta työstöpinnoilta. Poikkileikkaukseltaan 100 x 20 mm laudat katkaistiin 250 mm pituuteen siten, että katkaisusahausta tehtiin vain laudan toisesta päästä, jolloin koekappaleeseen syntyi vain yksi tuore katkaisupinta. Tuore katkaisupinta peitettiin alumiiniteipillä, jotta siitä mahdollisesti haihtuvien yhdisteiden määrä saataisiin minimoitua. ”Tuoreen aineiston” koekappaleiden valmistuksessa kaikki kuusi pintaa työstettiin joko katkaisusirkkelillä tai höylällä. Myös ”tuoreen aineiston” koekappaleiden toinen päätyypinta tukittiin alumiiniteipillä, jolloin koekappaleiden reaktiivinen pinta-ala saatiin vastaamaan ”vanhan aineiston” koekappaleita. Jokaisessa koekappaleessa oli siis viisi ilman kanssa vuorovaikutukseen altistuvaa ja haihtuvia yhdisteitä emittoivaa pintaa: kaksi lapetta, kaksi syrjää ja yksi päätyypinta.

Koekappaleiden sydänpuolen lappeelle ruuvattiin neljä n. 25 mm pituiseksi jätettyä ”ruuvijalkaa” 50 mm etäisyydelle päistä ja 20 mm etäisyydelle syrjistä. Jalkojen tarkoitus oli pitää näyte irti tasaannutuskammion pohjasta, jolloin myös alempi lape reagoi ympäröivän ilman suhteellisen kosteuden kanssa koko pinta-alallaan. Koekappaleet koodattiin käyttäen lyijykynää, josta ei haihdu ilmaan yhdisteitä.



**Taulukko 1.** Näytteiden sydänpuosuudet UV-fluoresenssin ja silmämääräisen arvioinnin perusteella. TS: tuore sydänpuu; VS: vanha sydänpuu; TP: tuore pintapuu; VP: vanha pintapuu.

Näytelaji	Näytenro	Sydänpuu-% pintalape	Sydänpuu-% sydänlape
TS	1	77	100
TS	2	79	90
TS	3	65	85
TS	4	100	100
TS	5	48	85
VS	1	92	100
VS	2	91	100
VS	3	100	100
VS	4	0	81
VS	5	43	75
TP	1	0	0
TP	2	0	0
TP	3	0	0
TP	4	0	0
TP	5	0	0
VP	1	0	0
VP	2	0	0
VP	3	0	0
VP	4	0	0
VP	5	0	37

Koekappaleiden kosteussuhde tasaannutettiin aluksi olosuhdekaapissa, jossa lämpötila oli 21 °C ja ilman suhteellinen kosteus RH 20 %. Koekappaleiden massan muuttumista seurattiin noin kerran viikossa toistetuin punnituksin. Kun massat eivät enää muuttuneet eli koekappaleet olivat saavuttaneet tasapainokosteutensa, siirrettiin ne yksilöllisiin 24 litran päästömittauskammioihinsa (Kuva 2) Itä-Suomen yliopiston Kuopion kampukselle. Siirto tehtiin 13.2.2020. Päästömittauskammioissa oli aluksi samat olosuhteet (T: 21 °C, RH: 20 %) kuin alkutasaannutuksen aikana. Kammioissa oli hallittu ilmanvaihto (tilavuusvirta 0,2 l/min, ilmanvaihtokerroin 0,51/h) ja reaaliaikainen ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaaminen, joka toteutettiin hankkeen ostamien Ruuvi Tag -antureiden ([www.ruuvi.com](http://www.ruuvi.com)) avulla. Ilmanvaihto säädettiin pienemmäksi kuin M1-testiprotokollassa käytetty 0,5 l/h, jotta se ei olisi haitannut kosteusolosuhteiden vakiointia ja koekappaleen VOC-päästöjen mittaamista. Olosuhdekammioon sisään menevä ilma puhdistettiin aktiivihiihli-suodattimella.

Ensimmäinen päästömittaus tehtiin 20.2.2020. Tämän jälkeen mittauskammioiden suhteellinen kosteus kohotettiin kuukaudeksi 40 % tasolle, minkä jälkeen tehtiin seuraava päästömittaus. Taulukossa 2 on esitetty päästömittaussuunnitelma ajan ja tasaannutusolosuhteiden mukaan. Koekappaleiden massat mitattiin kunkin päästömittauksen yhteydessä, jotta pystyttiin laskemaan niiden todelliset kosteussuhteet mittaushetkellä. Kuivamassat määritettiin uunikuivatuksen jälkeen kokeen päätyttyä. Teräsruijalkojen massat otettiin huomioon kosteussuhteen laskennassa.

**Taulukko 2.** VOC-päästömittausten aikataulu ja tasaannutusammioiden säilytysolosuhde noin kuukauden ajan ennen mittausta. Kammion suhteellinen kosteus kohotetaan seuraavalle tavoitetasolle välittömästi, kun edellinen VOC-mittaus on tehty.

Mittausaika (tai lähin arkipäivä)	Mittauskammion ilman suhteellinen kosteus RH [%]
20.2.2020	20
20.3.2020	40
20.4.2020	60
20.5.2020	80
20.6.2020	60
20.7.2020	40
20.8.2020	20



**Kuva 2.** Olosuhdekammiot (vasen kuva) ja sisällä oleva näyte (oikea kuva). Jokaiseen kammioon syötettiin vakioitu ilman tilavuusvirta 0,2 l/min. Kammion kansi tiivistettiin aina sulkemisen jälkeen alumiiniteipillä hallitsemattomien ilmavuotojen eliminoimiseksi. Oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy myös koekappaleen alumiiniteipillä suljettu pääty sekä valkoinen kiekko, joka on Bluetooth-yhteydellä toimiva Ruuvi Tag -kosteus- ja lämpötila-anturi. Vasen kuva: Henrik Heräjärvi, oikea kuva: Arttu Sivula.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden näytteet kerättiin pumppujen avulla Tenax TA-adsorbentteihin olosuhdekammioista (keräysaika 30 min). VOC-näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti TD-GC-MS-laitteistolla (termodesorptio, kaasukromatografi ja massaspektrometri). Yhdisteet tunnistettiin standardiyhdisteiden ja massaspektrikirjastojen avulla. Yhdisteiden pitoisuudet laskettiin ns. tolueniekvivalenttina, jota käytetään yleisesti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sisäilmamittauksissa. Mittauksissa käytettiin ISO 16000-6 -standardimenetelmää.

## 4. Hankkeen tulokset

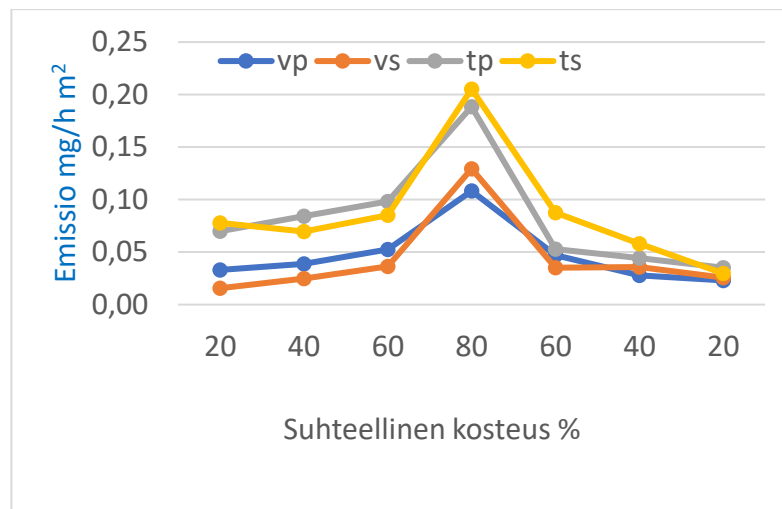
### 4.1. Hankkeen tavoitteiden ja suunniteltujen tulosten toteutuminen

HUMIWOOD-hankkeen tulosjulkaisut on pääosin kirjoitettu, mutta niitä ei ole vielä kahta opinnäytetyötä lukuun ottamatta julkaistu. Tässä loppuraportissa esitetään hankkeen keskeisiä tuloksia ja havaintoja, mutta ei mennä yksityiskohtaisiin tuloksiin tai pohdintaan, jotka löytyvät tai tulevat löytymään asiaa käsittelevistä julkaisuista, jotka on listattu tämän kappaleen lopussa.

Kierrätyspuun käytön PESTEL-analyysissä pääosa tuloksista tuki jo olemassa olleita käsityksiä kierrätyspuun käytön haasteista ja mahdollisuuksista Suomessa. Haastatteluaineiston perusteella voitiin tunnistaa eräitä ongelmakohtia, jotka eivät ole juuri olleet esillä aiemmissa tutkimuksissa tai julkisessa keskustelussa. Yksi tällainen puujätteen kierrättämistä haittaava asia on kierrätyspuun puutteellinen End-of-Waste -kriteeristö (EoW) niin EU- kuin kansallisellakin tasolla. Metall- ja lasijätteille on laadittu tarkat tekniset vaatimukset EoW-kriteereissä. Puujätteelle tällaisia vaatimuksia ei ole annettu EU-tasolla, ja vastuu yksityiskohtaisten vaatimusten laatimisesta on delegoitu jäsenvaltioille. Suomessa EoW-kriteerien tarkennuksia ei kuitenkaan ole puujätteelle laadittu. Tästä syystä EoW-menettelyn soveltaminen

puujätteeseen on vaikeata ja puujätteitä käsitellään tapauskohtaisesti mukailen tai soveltaen olemassa olevia ylätasoa EoW-kriteereitä. Tapauksia, joissa on pystytty tekemään EoW-kriteereitä mukaileva kierrätystuote puujätteestä, on vähän. Puujätettä käyttävän kierrätystuotteen valmistusta suunnittelevan on haettava puujätteen käsittelylupa, ja selvitettävä täyttääkö suunniteltu tuote tekniset EoW-kriteerit. Tästä koituu luvan hakijalle kustannuksia, eikä luvan saamisesta ole takeita. Syksyllä 2019 ympäristöministeriö julkaisi ohjeistuksen siitä, miten päätöksiä jätteen muuttumisesta tuotteeksi tehdään. Ohjeistuksen on tarkoitus helpottaa hakemusten tekemistä, mutta sen toimivuudesta ei vielä ole näyttöä.

Päästömittaustuloksia havainnollistavasta kuvasta 3 nähdään, että kokeen hypoteesit mäntyyn päästöjen ilmankosteusriippuvuudesta samoin kuin vanhan ja uuden puun eroista osoittautuivat paikkansapitäviksi. Kokonaispäästö oli sitä suurempi mitä korkeampi ilman suhteellinen kosteus oli. Tuoreesta puusta haihtui selvästi enemmän yhdisteitä kuin vanhasta puusta, mutta sydän- ja pintapuun väliset erot kokonaispäästöissä olivat oletettua pienempiä. Mittauksista valmistellaan pro gradu -työn lisäksi tieteellinen julkaisu.



**Kuva 3.** Kokonaispäästön riippuvuus näytekamion ilman suhteellisen kosteuden tasosta kuukauden tasaannusjakson jälkeen (vp: vanha pintapuu; vs: vanha sydänpuu; tp: tuore pintapuu; ts: tuore sydänpuu).

Yksityiskohtaiset tulokset, tulosten tarkastelu ja johtopäätökset HUMIWOOD-konsortion eri osa-aiheista esitetään seuraavissa julkaisuissa:

- Lampela, J. 2020. Puun haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja kierrätyspuun potentiaali vähäpäästöisenä sisustusmateriaalina. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Metsätieteiden osasto. Metsätieteen kandidaatintutkielma. 32 s.
- Sivula, A. 2020. Sisäilman kosteusolosuhteiden vaikutus puumateriaalien emissioihin. Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Ympäristö- ja biotieteiden laitos. Ympäristötieteen pro gradu -tutkielma. 115 s.
- Tieteellinen julkaisu (käsikirjoitus valmistuu 2021): Sivula, A., Harju, A., Heräjärvi, H., Hyttinen, M., Möttönen, V. & Pasanen, P. Effect of indoor relative humidity on VOC emissions from Scots pine wood.
- Suomenkielinen kirjallisuuskatsaus (julkaistaan alkuvuonna 2021): Heräjärvi, H., Harju, A., Hyttinen, M., Lampela, J., Möttönen, V., Pasanen, P. & Sivula, A. 2021. Massiivipuun sisäilmapäästöt. Luonnonvara- ja biotalouden julkaisuja xx. Luonnonvarakeskus.
- Aikakauslehtiartikkelit / internet-kirjoitukset: 1 julkaistu (Muilu-Mäkelä, R. & Heräjärvi, H. 2019. Luonnonvarakeskus tutkii puumateriaalien vaikutuksia sisäilmaan ja tilojen käyttäjiin, Puumies 9: 30.), 3-5 kpl tulossa 2021.

Lisäksi hankkeesta ja sen tuottamista tuloksista on viestitty tai tullaan viestimään:

- Esitykset tieteellisissä tai ammattiseminaareissa: pidetty: 3 kpl, tulossa: 5-7 kpl.
- Hanke osallistui puun terveys- ja hyvinvointivaikutuksia käsitelleen tiedeseminaarin järjestämiseen marraskuussa 2020 yhdessä Puutuoteteollisuus ry:n ja muiden ympäristöministeriön Kasvua ja kehitystä puusta -rahoitusohjelman II hakukierroksen hankkeiden kanssa. Seminaarista julkaistiin lehdistötiedote Puutuoteteollisuus ry:n toimesta:

<https://puutuoteteollisuus.fi/ajankohtaista/tiedotteet/puun-terveys--ja-hyvinvointivaikutuksia-koskevia-tutkimuksia>

- Hanke on listattu Puutuoteteollisuus ry:n ylläpitämään hankeportaaliin ([www.hankeportaali.fi](http://www.hankeportaali.fi)).
- Ympäristöministeriön viestintäkonsultille on toimitettu hankkeesta pyydyt tiedot uutiskirjeartikkeliä varten.

Konsortion keskeisin tieteellinen lisäarvo koskee puumateriaalien VOC-päästöjen olosuhderiippuvuutta. Kokeellinen osa tuotti ymmärrystä ja tietoa, joita voidaan soveltaa rakennusmateriaalien päästömittausten kehittämisessä. Tulosten perusteella huonelämpötilassa ja vakioidussa 50 % suhteellisessa ilmankosteudessa tehtävä M1-päästömittaus ei anna kokonaiskuvaa puun sisäilmapäästöistä. Rakennuksissa, joissa on esimerkiksi ilmastoinnin vuoksi säännöllisesti alle 50 % sisäilman kosteussuhde, tuottaa M1-standardipäästömittaus puulle liian korkeat päästöarvot.

#### 4.2. Poikkeamat verrattuna suunnitelmiin

Hankkeessa on poikettu vain vähän suunnitelmasta, eikä mikään poikkeama ole aiheuttanut tulosten puutteellisuutta, yleistettävyysongelmia tms. Tärkeimmät poikkeamat:

1. Päästömittauskokeessa muutettiin mittauskammion kosteusmuutosaskelmaksi 20 %, vaikka suunnitelmaan oli kirjattu 10 % (ks. Taulukko 1).
2. Toinen hankkeessa tehty opinnäytetyö (Lampela 2020) on viivästynyt suunnitellusta aikataulusta.
3. Hankkeen yleisöviestintä on ollut suunniteltua vähäisempää ja tapahtunut eri kanavilla kuin suunnitelmassa esitettiin.

#### 4.3. Poikkeamien syyt

Poikkeamien syyt, edellisen kappaleen numeroinnin mukaisesti:

1. Muutoksella saatiin VOC-mittausasetelman aikataulu ja puumateriaalien kosteuden tasapainottuminen paremmin hallintaan hankkeen kestoaikana, kuitenkin menettämättä tavoiteltua informaatiota kosteustilan vaikutuksista koekappaleiden VOC-päästöihin. Tulokset (ks. Kuva 3) osoittavat, että 20 % kosteusmuutos mittausten välillä ei aiheuttanut odottamattomia hyppäyksiä, ja että mittausdata paljastaa kiinnostuksen kohteena olleen ilmiön riittävällä tarkkuudella.
2. Opinnäytetyön piti valmistua jo ennen kesää 2020, mutta se jätetään tarkastettavaksi vasta tammikuussa 2021. Koronaviruksen aiheuttama etäopiskelu ja -työskentely aiheuttivat sen, että opinnäytetyön edistymiseen tuli aluksi muutaman kuukauden viive keväällä 2020. Opiskelijan siirrettyä kesätöihin venyi viive lähes puolen vuoden pituiseksi.
3. Seminaaritilaisuudet, joissa hanketta oli tarkoitus esitellä, peruttiin koronatilanteen vuoksi. Osa tilaisuuksista muuttui webinaareiksi. On huomattava, että varsinaisia tuloksia on mahdollista esitellä vasta hankkeen päättymisen jälkeen – pääosa tuloksista ajoittui hankkeen päättymisen aikaan loppuvuoteen 2020.

## 5. Hankkeen vaikuttavuus

HUMIWOOD-hanke on perustutkimusluonteista materiaalitutkimusta, joka tuottaa tuotteiden ja rakenneratkaisujen kehittämistä palvelevaa tietoa puumateriaalien päästöistä ja lisää ymmärrystä hygroskooppisten materiaalien päästöjen ympäristöolosuhteriippuvuudesta. Hankkeen vaikuttavuus realisoituu tulevaisuudessa. Jo nyt voidaan sanoa, että koska hanke tuottaa ensisijaisesti sisustusmateriaaleja (lattia-, sisäseinä- ja sisäkattomateriaalit, kiintokalusteet, huonekalut) koskevaa tietoa, hyödyttää HUMIWOOD tasapuolisesti koko asuin- ja toimitilarakennussektoria rakennukseen valitusta runkomateriaalista (betoni, teräs, puu) riippumatta.

HUMIWOOD-hankkeen lisäämä ymmärrys puun sisäilmavaikutuksista ja erityisesti kierrätyspuun mahdollisuuksista vähäpäästöisenä sisustusmateriaalina voi avata uusia kiertotalouteen pohjautuvia liiketoimintamahdollisuuksia, joita kierrätyspuutavaralle kaivataankin pikaisesti. Rakennus- ja purkujätepuun muut kuin polttoon pohjautuvat käyttötavat ja niiden kannattavaksi muuttaminen ovat Suomen kiertotalouskehityksen keskeisiä kysymyksiä. Euroopan Unionin kiertotalouspaketti ja uudistunut jätelainsäädäntö asettavat tiukkoja tavoitteita käytöstä poistettavien materiaalien uudelleen- ja uusiokäytölle. Suomi, jossa purku- ja jätepuun tärkein ja taloudellisesti ylivoimaisesti kannattavin käyttötapa on ollut jo vuosikymmeniä energiaksi polttaminen, on suurien haasteiden edessä kierrätystavoitteiden saavuttamisessa. Toistaiseksi jätepuun polton, jota ei EU:n jätehierarkiassa kierrätykseksi lasketa, rinnalle ei ole Suomessa onnistuttu kehittämään yhtään teollisesti sovellettavissa olevaa prosessia tai tuotekäyttövaihtoehtoa. Ei-kontaminoituneen kierrätyspuun vuosien kuluessa alhaisiksi laskeneet VOC-päästöt mahdollistavat kiinnostavan erikoistuotepotentiaalin, joka ei välttämättä vähennä uuden raaka-aineen käyttöä sille perinteisissä kohteissa. Purkupuun kierrätys tuotteiksi lisäisi puun hiilensidonta-aikaa samalla kun auttaisi Suomea vastaamaan EU:n jätelainsäädännön haasteisiin.

Hanke parantaa ymmärrystä liittyen puupintojen käyttöön julkisissa tiloissa ja kohteissa, joissa materiaaleille asetetaan M1-luokan tai jopa sitä tiukempia päästövaatimuksia. Materiaalien VOC-päästömittaukset tehdään yleensä vakio-olosuhteissa ilman suhteellisen kosteuden 50 prosenttia ja huonelämpötila +23 astetta olosuhteissa. Vakio-olosuhteissa tehdyt mittaukset eivät anna riittävää tietoa hygroskooppisista materiaaleista sisäilmaan eri vuodenaikoina vapautuvista päästöistä. Hankkeen tieteellinen uutuusarvo liittyy koeasetelmaan, jossa erityyppisten mäntyraaka-aineiden VOC-päästöjä mitataan sisäilman kosteusolosuhteiden funktiona. Tiedossa ei ole aiemmin julkaistuja tuloksia kokeesta, jossa testattavan puumateriaalin ympäristön kosteusolosuhteita olisi säädetty hallitusti. Myöskään kierrätyspuun päästöistä ei ole aiempaa tutkimustietoa. HUMIWOOD-hankkeessa toteutettu VOC-mittausasetelma on herättänyt mielenkiintoa, ja on luultavaa, että vastaavia kokeita tullaan tekemään muilla puulajeilla Suomessa tai muualla. Jos näin käy, voidaan hankkeen sanoa vieneen tiedettä askeleen eteenpäin.

Tutkimuksen tuottama tieto tukee hygroskooppisten materiaalien VOC-testimenetelmien tai standardien kehitystä ja osoittaa, ettei vakio-olosuhteissa tehty M1-päästömittaus anna aukotonta kuvaa hygroskooppisten materiaalien kuten puun päästöistä. Uudet testausolosuhteet tulee ottaa huomioon myös luokitustestausohjeissa ja -kriteereissä.

HUMIWOOD ja muut Kasvua ja kehitystä puusta -rahoitusohjelman toisella hakukierroksella rahoitetut TKI-hankeet ovat jo aiheuttaneet tai tulevat viimeistään silloin, kun tieteelliset julkaisut tulevat tiedeyhteisön luettavaksi, aiheuttamaan huomattavan kansallisen osaamisloikan puun ja puutuotteiden terveys-, hyvinvointi- ja sisäilmavaikutuksiin. Teema, jonka kotimaiset tutkimuspanokset ovat vuosikymmeniä olleet hajanaisia ja koettu puutteelliseksi, on ottanut vakuuttavan askelen eteenpäin.

Opinnäytetöiden osalta HUMIWOOD-hanke tarjosi opiskelijoille selvärajaiset työkokonaisuudet. Opinnäytetyön tekijöitä pyrittiin olemaan kuormittamatta koko hankkeen problematiikalla. Opinnäytetöiden ohjaamisesta vastasi hankkeen henkilöstö, pois lukien Lampela (2021), jonka toisena ohjaajana toimi metsäbiotalouden ennakoinnin professori Teppo Hujala Itä-Suomen yliopiston

metsätieteiden osastolta. Sivulan (2020) opinnäytetyön ohjasivat Marko Hyttinen ja Pertti Pasanen, ja Lampelan (2021) opinnäytetyön Henrik Heräjärvi ja Teppo Hujala. Opinnäytetöillä on sisältöään tai tuloksiaan suurempi vaikutus tekijöidensä urakehitykseen ja elämään.

## 6. Viestinnän toteutuminen ja tulokset

Ulkoinen viestintä hankeaikana on ollut verrattain vähäistä, koska a) tuloksia ei ole ollut käytettävissä ja b) koronavirusrajoitteet ovat estäneet henkilökohtaisiin tapaamisiin perustuvan viestinnän (seminaarit, kokoukset, yrityskäynnit). Hankkeen tulosten viestintä on vasta käynnistymässä tulosjulkaisujen myötä.

Tieteelliset julkaisut ja akateemiset opinnäytetyöt (2 kpl) ovat hankkeen keskeisin tulos. Tieteellisten tutkimusraporttien merkitys korostuu kokeellisen tutkimusosion tulosten verifiointissa ja uskottavuuden lunastamisessa. Tiedejulkaisujen lisäksi hankkeen tulokset tulevat näkymään puu- ja rakennusalan ammattilehdissä, www-sivustoilla sekä sosiaalisessa mediassa. Tiedekeskus Heurekassa 19.11.2020 järjestetyn loppuwebinaarin (videotallenne: <https://youtu.be/kmPA7PWN63A>) lisäksi hankkeen tuloksia tullaan esittelemään ainakin vuoden 2021 aikana sekä kotimaisissa että kansainvälisissä kokouksissa (esim. Viikki Sustainability Seminar 16.2.2021).

Tiedeviestinnän ensisijainen kohderyhmä on tiedeyhteisö. HUMIWOOD-hankkeen tuloksilla arvioidaan kuitenkin olevan vaikutusta myös sisäilman laatuun liittyvien standardointi- ja luokitusmenetelmien kehittämiseen. Koska hankkeen toteuttajista FT Pertti Pasanen toimii Rakennustietosäätiössä sisäilmaluokituksista vastaavan työryhmän puheenjohtajana, on HUMIWOOD-hankkeella suora yhteys tulosten jalkauttamiseen käytännön ohjeistuksiksi.

Hanketoimijoilla on aktiiviset yhteydet keskeisiin tiedon käyttäjiin sekä suorien yrityskontaktien (taloelementtitehtaat, lattiapäällystevalmistajat, sisustuspaneelivalmistajat, vaneriteollisuus) että etujärjestöjen kautta (Metsäteollisuus ry., Puutuoteteollisuus ry., Sahateollisuus ry., Suomen Sahayrittäjät ry., Hirsitaloteollisuus ry., Suomen hirsitaito ry., International Thermowood Association). Etujärjestöille tullaan jakamaan linkit hankkeen tulosraportteihin, jolloin tulokset leviävät tehokkaasti noin 500 yritykseen ja tuloksista kiinnostuneet pystyvät hyödyntämään tietoa tarpeidensa mukaisesti.

Hankkeen sisäinen viestintä on ollut aktiivista ja toimivaa. Hanke järjesti tilannekatsauspalavereja säännöllisesti noin kuukauden välein Teams-yhteydellä vuoden 2019 lopulta aina empiiristen kokeiden päättymiseen (alkusyksy 2020) asti. Näissä tapaamisissa ratkottiin käytännön kysymyksiä, tarkasteltiin koronatilanteen aiheuttamia riskejä ja työtapojen muutoksia sekä sovittiin seuraavan jakson toiminnasta. Hankehenkilöstön sisäisen viestinnän lisäksi HUMIWOOD-hankkeen henkilöstö on ollut aktiivisesti yhteydessä muutamien muiden Kasvua ja kehitystä puusta -rahoitusohjelman 2. hakukierroksen hankkeiden (PuPu, W4G) kanssa mm. sen vuoksi, että osa HUMIWOOD-hankkeen henkilöstöstä osallistui tutkijoina kahteen muuhunkin hankkeeseen.

## 7. Tulosten kestävyys ja hyödyntäminen

HUMIWOOD-hankkeen tuottamat tulokset ovat tieteellisesti kestäväällä pohjalla, ne eivät vanhene eikä niitä tulla osoittamaan vääriksi. Tuotettu tieto julkaistaan vertaisarvioituissa tutkimusjulkaisuissa tai muissa avoimesti saatavilla olevissa julkaisusarjoissa. Julkaisuissa, seminaariesityksissä ja viestintämateriaaleissa allekirjoittajina toimivat kaikki hankkeen tutkijat. Hankkeeseen ei liity IPR-kysymyksiä. HUMIWOOD-hankkeessa kehitetylle osaamiselle ja tiedolle, kuten myös testauspalveluille arvioidaan olevan kasvavaa kysyntää sekä kotimaassa että keskeisillä vientimarkkinoilla (erityisesti Keski-Eurooppa, Aasian maat).

Sidosryhmät ovat osoittaneet kiinnostusta HUMIWOOD-hankkeen tuloksia kohtaan hankkeen alusta lähtien. Hankkeen tuloksia tultaneen hyödyntämään vähäpäästöisten puupohjaisten sisustusmateriaalien tuotekehityksessä, rakennus- ja purkujätepuun kierrätystä hankaloittavien säädöspuutteiden ajantasaistamisessa sekä puun sisäilmapäästöjen jatkotutkimusten suunnittelussa. Jatkotutkimuksissa tulisi paneutua männyn lisäksi muihin keskeisiin sisustuspuulajeihin, tarkastella yhden, kahden tai kolmen sivun pintakäsittelyn ja eri pintakäsittelyaineiden vaikutuksia puun päästöihin sekä suhteuttaa päästötuloksia käyttöolosuhteisiin (ilmanvaihtokerroin, huonekorkeuden vaikutus, emittoivat materiaalmäärät per sisäilmakuutio, jne.).

Puun käyttö rakentamisen tai sisustamisen pitkäikäisissä tuotteissa on lähtökohtaisesti kestävä kehityksen ratkaisu. Tämän hankkeen yhtenä hypoteesina oli, että pitkään varastoitu tai käytössä ollut puumateriaali alittaa tiukatkin päästövaatimukset. Tällöin esimerkiksi ensimmäisen elinkaarensa lopussa käytöstä poistettu puujäte muuttuu jätteestä kiinnostavaksi raaka-aineeksi. Puujätteen poltto tulee EU:n kiertotaloustavoitteiden johdosta vaikeutumaan tai kallistumaan, ja jätepuulle haetaan kuumeisesti kierrätysratkaisuja erityisesti Suomessa, josta puuttuu kierrätyspuuta käyttävä lastulevyteollisuus. Kotimaisen käytön puuttuessa Suomesta viedään jätepuuta muualle Eurooppaan. Puujätteen End-of-Waste -kriteeristön kansalliset täsmennykset ovat avainasemassa sen uusio- ja uudelleenkäyttöön perustuvan liiketoiminnan kehittämisessä. Kansallisissa End-of-Waste -kriteereissä tulisi määritellä materiaalin hyödyntämisen reunaehdot ja poistaa sellaiset tulkinnanvaraisuudet ja todistamistarpeet, jotka aiheuttavat epätietoisuutta, kohtuutonta työtä ja kustannuksia yritystoimintaa suunnittelevalle. Ympäristöhallinnon verkkosivulla todetaan End-of-Waste-kriteereistä seuraavaa:

*”Jätteeksi luokittelu voi päättyä ja jäte lakata olemasta jätettä, jos jätelain (646/2011) 5.4 §:n määritelmän mukaiset edellytykset täyttyvät. Tällä hetkellä EU:n end-of-waste (EoW) -kriteerit on määritetty seuraaville jätejakeille: rauta-, teräs- ja alumiiniromu, lasimurska ja kupariromu. Myös muiden jätteiden jätteeksi luokittelu voi päättyä, jos toimivaltainen viranomaisen on päätöksessään ratkaissut, että aine tai esine on hyödyntämistoimen seurauksena lakannut olemasta jätettä.*

*Kustakin tuotetusta tai EU:n alueelle tuodusta EoW-erästä tulee tehdä vaatimustenmukaisuusilmoitus. Ilmoitus on toimitettava EoW-lähetysten seuraavalle haltijalle ja pyydettyessä valvovalle viranomaiselle. EU:n EoW -kriteerit ovat voimassa vain EU:n alueella ja kansalliset EoW-päätökset vain siinä maassa, jossa ne on tehty. Kansainvälisissä jätesirroissa toiminnanharjoittajan tulee varmistaa kaikkien ao. maiden viranomaisten kanta jätteeksi luokittelun päättymiseen.”*

## 8. Talousraportti

Taulukossa 3 esitetään hankkeen toteutuneet kustannukset, haettava avustussumma ja hankepartnereiden omarahoitusosuudet. Hankkeen yksityiskohtainen talousraportti toimitetaan rahoittajalle erikseen.

**Taulukko 3. HUMIWOOD-hankeessa kertyneet kustannukset toimijoiden mukaan eriteltynä ajalla 1.9.2019–31.12.2020. LUKE: Luonnonvarakeskus; UEF: Itä-Suomen yliopisto.**

Kustannuslaji	LUKE	UEF	Yhteensä
Tukikelpoiset kustannukset yhteensä	160 367,88	38 897,12	199 265,00
Väliraportoinnin yhteydessä laskutettu	24 279,56	9 338,03	33 617,59
Loppulaskutuksessa laskutetaan	104 014,74	21 779,66	125 794,40
Haettava avustus yhteensä	128 294,30	31 117,69	159 411,99
Omarahoitusosuus yhteensä	32 073,58	7 779,43	39 853,01

## 9. Suositukset tulevia hankkeita ja ohjelmia varten

### 9.1. Esiin nousseet jatkohankkeita tai liiketoimintamalleja koskevat ideat ja tarpeet

Tulokset osoittavat, että kierrätyspuulla on paitsi suuria teknisiä, logistisia, taloudellisia ja regulaatioon liittyviä haasteita myös suuri potentiaali vähäpäästöisenä sisustusmateriaalina. Kierrätyspuun käyttötapoja tulisi ideoida laajemmin esimerkiksi kansainvälisten ja monikulttuuristen opiskelijoiden harjoitustöinä, mikä on osoittautunut tuotteliaaksi ja mielikuvitusrikkaaksi tavaksi tuottaa innovatiivisia ratkaisuja erilaisten raaka-ainejakeiden arvoa lisäävään käyttöön<sup>4</sup>.

Esimerkiksi kierrätykseen perustuvasta arvoketjusta otetaan purkuhirsi, jonka tuotekäyttö on verrattain harvinaista. Vanhalla hirrellä on tuoreeseen puuhun verrattuna monia aineellisia ja aineettomia ominaisuuksia, joiden realisoimisessa tuotteiksi on suuri liiketoimintapotentiaali. Hirsien merkittävin etu purkujätepuujakeiden heterogeenisessä joukossa on niiden suuri koko. Koko mahdollistaa monenlaiset arvoketjut joko sellaisenaan tai pienemmiksi tuotteiksi pilkottuna. Jos pienessä purkujätepuukappaleessa on vikaa, joutuu koko kappale suurella todennäköisyydellä polttoon. Sen sijaan suuressa hirressä voi olla lahonnutta tai muutoin käyttökelvotonta osaa, mutta käyttökelpoisen osan dimensiot riittävät esim. sisustuspaneelien, listojen, kalustekomponenttien tai koriste-esineiden tekemiseen. Jopa satoja vuosia käytössä ollut hirsi on lähtökohtaisesti hyvin vähäpäästöistä, etenkin jos pintoja ei avata työstämällä, katkomalla tai sahaamalla. Vanha hirsi on erittäin mittapysyvää ja usein hidaskasvuista ja lujaa puuta. Näitä vahvuuksia tulisi hyödyntää nykyistä laajemmin. Mittapysyvyys ja lujuus mahdollistavat esimerkiksi tarkkojen ja lujien liimattomien japanilaistyyppisten puu-puu -liitosten tekemisen. Puu-puu -liitoksiin liittyvä osaaminen on lähes kadonnut metallisten kiinnikkeiden ja edullisten liimojen jo noin 150 vuotta kestäneen valtakauden aikana. Viime vuosina liimaton liitostekniikka on kuitenkin kokenut osittaisen renessanssin ja nykyaikaisella puun työstötekniikalla on mahdollista valmistaa automatisoidusti, kustannustehokkaasti, nopeasti ja täsmällisesti monimutkaisia puu-puu -liitoksia. KierrätysHIRSI olisi tällaisiin tuotesovelluksiin kiinnostavaa raaka-ainetta paitsi teknisten ominaisuuksiensa myös visuaalisen ja kulttuurisen ainutkertaisuutensa perusteella. Vanha hirsi, erityisesti jos sillä on tunnettu kiinnostava

<sup>4</sup> Heräjärvi, H. (ed.). 2017. Solutions to utilisation of wood planing residues. Student reviews from 11 countries. Liperin Höyläämö Oy. 25 p. Confidential.

Heräjärvi, H. (ed.) 2018. Solutions to utilize wood residues in 12 countries. Student reports for Hirsiseppä Ky. 48 p. Confidential.

Heräjärvi, H. (ed.). 2018. 5G and smartpole solutions in Asia, North America, and Europe. Student reports for Ecotelligent Oy. 12 p. Confidential.



historia, tarjoaa tuotteiden tekijälle mahdollisuuden tarinallistamiseen, mikä on osoitettu oivalliseksi keinoksi luoda tuotteelle kiinnostavuutta ja arvonlisää.

Kiinnostava vähäpäästöiseen kierrätyspuuhun perustuva liiketoimintapotentiaali liittyy myös allergiakotien sisustamiseen. Vanhasta vähäpäästöisestä puusta valmistetut paneelit, lattialaudat, kalusteet tai ovet voivat muodostaa tuoteperheen, joka kiinnostaa yliherkkysoireista kärsiviä kotien sisustajia. Vaikka puusta haihtuvien yhdisteiden tuoksua pidetään pääosin miellyttävänä, voivat esim. terpeenit aiheuttaa yliherkkysoireita. Tästä syystä muut materiaalit ovat allergiakodeissa puuta suositumpia. Lähtökohtaisesti vähäpäästöinen kierrätyspuukin tulisi lajitella vähintään puulajin perusteella siten, että kokonaispäästön vähäisyyden lisäksi asiakkaalle pystyttäisiin kertomaan se, mitä mahdolliset päästöt ovat eli onko tuote esimerkiksi terpeenitöntä lehtipuuta.

## 9.2. Mitä vastaavissa hankkeissa tulisi välttää, mitä suositellaan

Ratkaisua vaille jääneitä ongelmia ei ilmennyt. Päästömittausten käytännön toteutus vaati perusteellista suunnittelua ja koejärjestelyyn liittyvien teknisten ongelmien ratkaisua, mutta kaikkiin löydettiin toimivat ratkaisut erinomaisen yhteishengen vallitessa. Puunäytteen tasaannutus on hidasta ja empiiriset kokeet ovat sen vuoksi aikaa vieviä. Koekappaleen dimensiot vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti se saavuttaa tasapainokosteutensa. Tässä tutkimuksessa haluttiin käyttää koekappaleita, joista saatavat tulokset vertautuvat esim. sisustuspaneelisiin tai lattialautoihin. Tästä syystä kukin ilman suhteellisen kosteuden taso säilytettiin kuukauden ajan ennen kutakin VOC-mittausta. Esimerkiksi ohuilla viulunäytteillä tasaantuminen tapahtuisi nopeammin, mutta toisaalta päästötuloksetkin olisivat todennäköisesti erilaisia.

Kirjallisuustutkimuksessa havaittiin, että päästötulosten vertailu eri tutkimusten välillä on vaikeaa. Vertailua vaikeuttavat mm. seuraavat seikat:

- Eri puulajeissa esiintyy eri yhdisteitä ja yhdisteiden pitoisuuksia;
- Puulajien sisällä esiintyy paitsi perinnöllistä vaihtelua, myös vaihtelua rungon eri osien, maantieteellisten alueiden ja kasvupaikkojen, eri ikäisten puiden sekä sydän- ja pintapuun välillä. Jos otantaa ei ole raportoitu huolellisesti, ei voida perustellusti olettaa, että aineisto edustaisi näitä kaikkia tasapuolisesti.
- Eri mittaus- (miten yhdisteet on kerätty talteen) ja analyysimenetelmillä (miten yhdisteet on tunnistettu) saadaan erotettua ja tunnistettua eri yhdisteitä ja yhdisteryhmiä.
- Koska puun haihtuvia tai puolihaihtuvia yhdisteitä on satoja, ei esimerkiksi yhdisteiden ryhmittely kahden tutkimuksen välillä ole aina yhdenmukaista.
- Mittauksen kesto ja mittausajankohta (esim. kuinka pitkä aika asennuksesta tai näytteen valmistuksesta on kulunut).
- Pitoisuuksia voidaan raportoida monilla tavoilla ja mittayksiköillä (esim. yhdisteen massa tilavuus- tai pinta-alayksikköä kohden tai aikayksikköä kohden) monen eri standardin mukaisesti.
- Mittaukset on voitu tehdä joko standardoiduissa tai vaihtelevissa lämpötila- ja kosteusoloissa.
- Näytteen valmistus- ja kuivaustapa (jauhe, lastu, sahatavara; tuore, ilmakeivattu, uunikuivattu,...) vaikuttavat tuloksiin.
- Koejärjestely (miten eliminoidaan kontaminaatiot, huoneilman pääsy mittauskammioon, tiivisteistä, liimoista jne. haihtuvat päästöt; miten erotetaan puusta tai muusta materiaalista havaitut emissiot).
- Päästömittauksen kesto aika.

Muun muassa näistä syistä tutkimustulosten vertailu, ymmärtäminen ja tulkintojen tekeminen edellyttää merkittävää ajankäyttöä ja syvällistä perehtyneisyyttä kiinnostuksen kohteena oleviin yhdisteisiin sekä mittausmenetelmiin ja -instrumentteihin.

Kierrätyspuuhun, samoin kuin sisäilmapäästöihin liittyvän regulaation hallinta on vaikeata EU- ja kansallisella tasolla. Asiaan perehtymättömän kuluttajan voi olla vaikea erottaa esimerkiksi mikä on velvoittava säädös ja mikä suositus. Kulutus päätöksiin voidaan tästä syystä vaikuttaa faktojen lisäksi myös harhaanjohtavalla viestinnällä. Objektiivisen tiedon saatavuus tulisikin turvata siten, että paitsi ammattilaiset myös kuluttajat saisivat tarvitsemaansa tietoa riittävän selkolukuisessa muodossa.

## 10. Johtopäätökset ja yhteenveto hankkeen päätuloksista

HUMIWOOD-hankkeen tulokset edistävät kierrätysraaka-aineen käyttöä. Kierrätyspuun käyttöä rajoittavia teknis-taloudellisia tai säädösohjaukseen liittyviä ongelmia hanke ei poista, mutta tuo kierrätyspuukontekstiin aiemmin huomiotta jääneen vähäpäästöisyysnäkökulman. Kierrätyspuun vähäpäästöisyys, jonka HUMIWOOD-hanke osoittaa, avaa uusia kiertotaloutta, resurssiviisautta, sekä hyvinvointi- ja terveystekijöitä yhdistäviä liiketoimintamahdollisuuksia esimerkiksi kierrätysraaka-aineen käytölle allergia-kohteiden sisustuksessa.

HUMIWOOD kokosi olemassa olevaa ja tuotti uutta tieteellistä tietoa mäntypuumateriaalien (uusi sahatavara vs. jo pitkään käytössä ollut puu) päästöistä vaihtelevissa ilmankosteusolosuhteissa. Hankkeessa toteutettiin tietyistä ensimmäistä kertaa koeasetelma, jossa suomalaisen männyn päästöjä mitattiin ympäröivän ilman kosteussuhteen funktiona, jäljitellen sisäilman suhteellisen kosteuden vuodenaikaisvaihteluja. Hankkeen hypoteesit vanhan ja tuoreen mäntypuun päästöeroista osoittautuivat paikkansapitäviksi. Sen sijaan erot männyn sydän- ja pintapuun kokonaispäästöissä olivat odotettua vähäisempiä. Tarkasteltaessa kokonaispäästöjen asemesta yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksia, olivat myös sydän- ja pintapuun erot odotetun mukaisia ja selviä. Koeasetelma on herättänyt mielenkiintoa, ja on luultavaa, että vastaavia kokeita tullaan toistamaan muilla puulajeilla joko Suomessa tai muualla.

Arvio on, että hankkeen tulosten perusteella erilaisten puuraaka-aineiden käyttömahdollisuudet ja kilpailukyky erityisesti pinnoittamattomina sisustusmateriaaleina paranevat. Tutkimus palvelee myös vientiliiketoiminnan kehittämistä; merkittävä osa suomalaisesta puutuoteviennistä tulee sisäilman laatuun vaikuttavien sisustustuotteiden kaupasta. Aihepiirin kehittyvälle osaamiselle, tutkimustiedolle ja asiantunteville tki-palveluille arvioidaan olevan kasvavaa kysyntää niin kotimaassa kuin puutuotteiden vientimarkkinoillakin. Erityisen suurta kiinnostus puutuotteiden päästöihin ja hyvinvointivaikutuksiin on Aasiassa ja Keski-Euroopassa, molemmat keskeisiä puutuotemarkkinoita Suomelle.