

Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutukset

Kirjoittajat: Matias Alarotu, Tiina Pajula, Juha Hakala, Ali Harlin

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutukset		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Metsäteollisuus ry, Ahti Fagerblom, Snellmaninkatu 13 00170 HELSINKI		Asiakkaan viite VTT-CRM-165518-19
Projektin nimi Hiili metsäteollisuuden tuotteissa ja ilmastovaikutukset		Projektin numero/lyhytnimi 125321 / Hiilimetsä
Tiivistelmä Tutkimuksessa tarkasteltiin Suomen metsäteollisuuden tuotteita ja vastaavia korvattavia tuotteita sekä niiden ilmastovaikutuksia. Tuotteet jaettiin kuuteen tuotekoriin: markkinamassaan, painopaperiin, kartonkiin, mekaanisiin puutuotteisiin, erikois- ja pehmopapereihin sekä uusiin tuotteisiin. Arvioinnissa laskettiin metsäteollisuuden tuotteiden elinkaaren aikaiset päästöt sekä vältetyt päästöt. Vältetyt päästöt saavutetaan korvausvaikutuksella, joka muodostuu metsäteollisuuden tuotteiden korvattaessa muita tuotteita markkinoilla. Muut tuotteet jäivät siis tuottamatta ja päästöt syntymättä, kun käytetään metsäteollisuuden tuotteita. Metsien käytön ilmastovaikutusta ei huomioitu laskennassa. Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutuspotentiaali laskettiin kahdelle vuodelle, joista vuosi 2017 edusti nykyhetkeä ja vuosi 2035 oli ennusteisiin ja oletuksiin perustuva tulevaisuusskenaario. Ilmastovaikutuslaskennan tuloksena todettiin metsäteollisuuden tuotteilla olevan hyödyllinen vaikutus ilmastomuutoksen hidastamisessa. Metsäteollisuuden tuotteiden aiheuttamat päästöt ovat pienemmät kuin aiheutuisi vastaavien tuotteiden valmistamisesta muista materiaaleista. Tutkimuksen lopputuloksena metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutukseksi arvioitiin -16,6 Mt CO₂e vuonna 2017 ja -17,5 Mt CO₂e vuonna 2035. Merkittävimmät tuotteet olivat kartongit ja mekaaniset puutuotteet, jotka muodostivat suurimman korvausvaikutuksen. Tuloksiin merkittävimmin vaikuttavat tekijät olivat tuotantovolyymit ja niiden muutokset, metsäteollisuuden tuotannon päästökehitys ja korvattavien tuotteiden päästökehitys. Lisäksi valitut tuotekorvaavuudet ja niille määritetyt korvaussuhteet vaikuttivat oleellisesti lopputulokseen.		
Espoo, 16.6.2020 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Matias Alarotu, Research Scientist	Antti Arasto, Technology Manager	Alina Ruonala-Lindgren, Co-Creation Manager
VTT:n yhteystiedot PL 1000, 02044 VTT (Käyntiosoite: Vuorimiehentie 3, Espoo)		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Ahti Fagerblom, Metsäteollisuus ry, 1 kpl		
VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.		

Sisällysluettelo

1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet	3
2. Työn toteutus	4
2.1 Käytetyt menetelmät ja systeemin rajaus	4
2.2 Arvioinnissa käytetyt tiedot ja oletukset	5
2.2.1 Markkinamassa	5
2.2.2 Painopaperi	7
2.2.3 Kartonki	8
2.2.4 Erikois- ja pehmopaperi	10
2.2.5 Mekaaniset puutuotteet	11
2.2.6 Uudet tuotteet	13
2.2.7 Tulevaisuusskenaarion päästökehitys	15
2.2.8 Kierrätyksen huomioiminen	16
2.2.9 Energiahyötykäyttö	17
3. Tulokset	18
3.1 Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutus	18
3.2 Herkkyystarkastelu	22
4. Johtopäätökset ja yhteenveto	23
LIITE A Markkina-alueosuudet tuotekoreittain	28
LIITE B Käytetyt tietolähteet	29

1. Toimeksiannon kuvaus ja tavoitteet

Metsäteollisuustuotteiden ilmastovaikutukset ja niiden fossiilisia materiaaleja korvaava vaikutus ovat nouseva aihe poliittisessa päätöksenteossa. Tämä tutkimus on osa Metsäteollisuus ry:n (Metry) teettämää selvitystä, jonka tarkoituksena on arvioida metsäteollisuuden ilmastovaikutuksia. Tulokset täydentävät tietoja metsäteollisuusraaka-aineen alkuperän eli metsien käytön ilmastovaikutuksista, jotka selvitetään erillisessä Luonnonvarakeskuksen (Luke) tutkimuksessa. Tämän työn tarkoituksena on tuottaa tietoa Suomen metsäteollisuuden tuoteportfolion kasvihuonekaasupäästöistä ja vaikutuksista huomioiden tuotteiden elinkaari ja korvattavat tuotteet markkinoilla.

Metsäteollisuus ry saa tämän selvityksen myötä käyttöönsä tietoa metsäteollisuuden tuoteportfolion ilmastovaikutuksista hiilen osalta, huomioiden korvattavat tuotteet markkinoilla. Tulokset ovat suuntaa-antavia esimerkinomaisesti valittujen korvattavien tuotteiden osalta. Suomen metsäteollisuuden tuotantoa tarkasteltiin kokonaisuutena ilman jakoa eri markkina-alueisiin tai aluekohtaisiin vaikutuksiin. Huomattavaa on, että Suomen metsäteollisuuden tuotteiden vaikutukset eivät rajoitu kotimaahan. Suomen metsäteollisuuden tuotteiden käyttö, kierrätys ja loppukäsittely tapahtuvat laajasti muualla kuin Suomessa, mikä asetti omat haasteensa kansallisten vaikutusten arviointiin. Selvitys ei kata metsänhoidollisia vaikutuksia eikä ota kantaa metsien hiilivaraston kehittymiseen tulevaisuudessa.

Tässä selvityksessä keskityttiin Suomen metsäteollisuuden tuoteportfolioon nyt ja tulevaisuudessa perustuen niin sanottuun vähähiiliseen skenaarioon sisältäen nykytilan ja ennusteen vuodelle 2035. Lähestymistapa rakentuu eri tuotekoreista ja sen alaisista tuoteryhmistä, keskittyen kuitenkin kokonaistuoteportfolion ilmastovaikutukseen. Jako koreihin ja ryhmiin toteutettiin yhteistyössä Metryn ja AFRYn kanssa. AFRY toimitti selvitystä varten vähähiiliseen skenaarioon liittyen VTT:lle tuotekoritason tiedot tuotantovolyymeistä, päästöintensiteivisyyksistä sekä puun käytöstä. VTT arvioi tämän lisäksi metsäteollisuuden arvoketjun päästöt sekä tuotekorvaavuuksien kautta tulevat vältetyt päästöt. Laskennassa rajoituttiin tarkastelemaan tuotekorien osalta muutamia tuoteryhmiä, joiden katsottiin edustavan koko tuotekoria, ja vastaavasti valittiin VTT:n ehdotuksen pohjalta tarkasteltavia tuoteryhmiä kohden sovelluskohteet ja korvattavat tuoteryhmät markkinoilta. Oleellista tarkastelussa oli tuoteryhmien kyky estää fossiilisen hiilen käyttöä.

Myös ennuste vuodelle 2050 huomioitiin alustavissa laskelmissa, mutta päädyttiin jättämään lopullisen tarkastelun ulkopuolelle suurten epävarmuuksien takia. Globaalin päästökehityksen todettiin vaikuttavan tuloksiin merkittävästi, ja pitkällä aikavälillä epävarmuudet kasvavat suuremmiksi. Myös metsäteollisuuden tuoteportfolion muutosten ja tuotekehityksen ennustettavuus vuosikymmeniksi eteenpäin on heikko, mikä lisäsi epävarmuutta liittyen korvattaviin tuotteisiin ja korvaussuhteisiin.

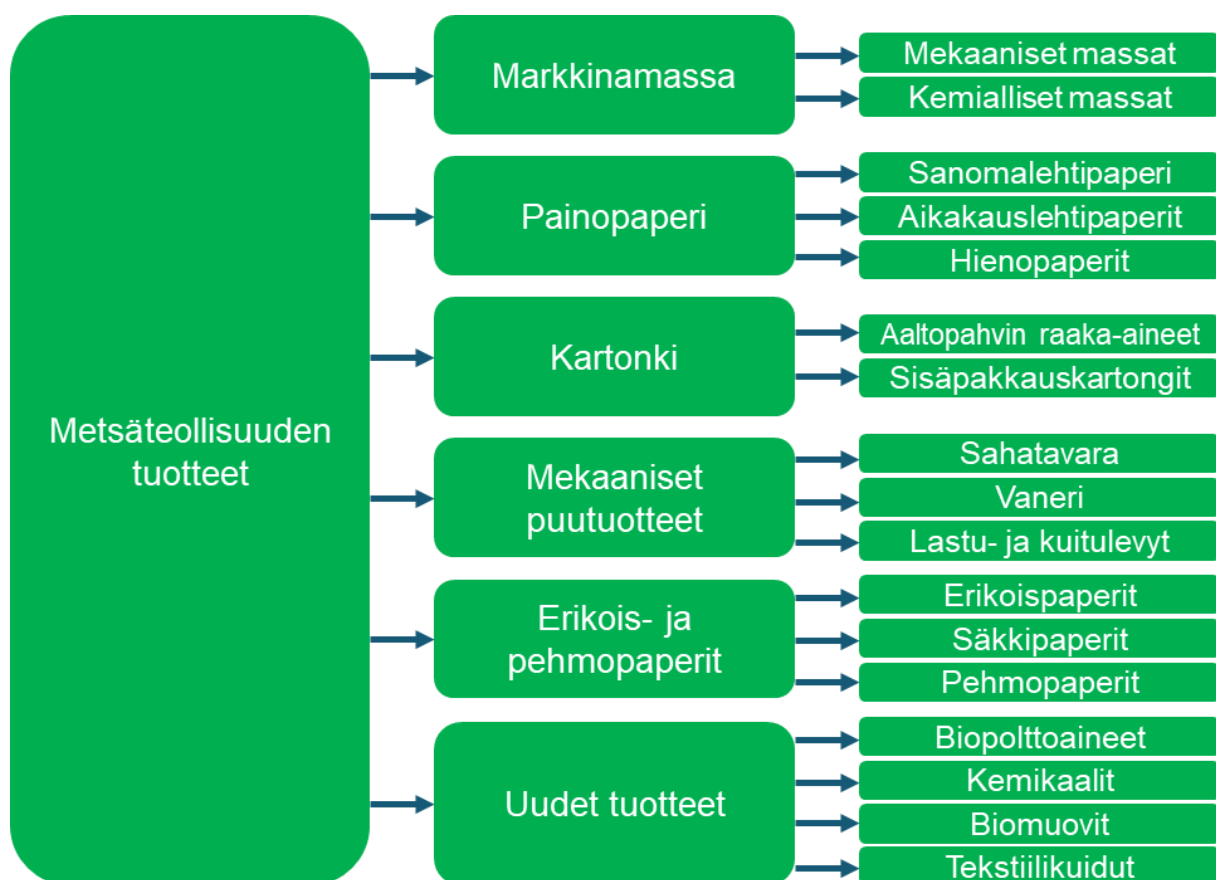
Ilmastovaikutusten arviointi perustui standardoituun hiilijalanjälkilaskentaan (ISO 14067) ja tuoteryhmien korvattavuuskertoimiin soveltuvien osien. Käytetyt parametrit esitetään selvityksessä avoimesti, mahdollistaen läpinäkyvyyden, sekä tarkennukset myöhemmin. Aihepiiri on erittäin laaja ja haastava, ja työ tulee jatkumaan tulevaisuudessa tieteellisesti.

Työssä on kehitetty ja sovellettu lähestymistapaa laskentakriteereineen tuoteportfolioiden käsittelemiseksi, tarjoten perustaa laajennetuille, yksityiskohtaisemmille ja tarkemmille analyyseille jatkossa.

2. Työn toteutus

2.1 Käytetyt menetelmät ja systeemin rajaus

Tutkimuksessa tarkasteltiin Suomen metsäteollisuuden tuotteita ja vastaavia korvattavia tuotteita sekä niiden ilmastovaikutuksia. Tuotteet jaettiin kuuteen tuotekoriin: markkinamassaan, painopaperiin, kartonkiin, mekaanisiin puutuotteisiin, erikois- ja pehmopapereihin sekä uusiin tuotteisiin. Lisäksi tuotekorit jaettiin vielä pienempiin tuoteryhmiin. Jako koreihin ja ryhmiin toteutettiin yhteistyössä Metsäteollisuus ry:n ja AFRYn kanssa. Ajanjaksona käytettiin yhtä vuotta, ja tarkasteluvuodiksi valittiin 2017 ja 2035. Tuotekorit ja niiden jakautuminen tuoteryhmiin on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 1).



Kuva 1. Metsäteollisuuden tuotteiden jako tuotekoreihin ja edelleen tuoteryhmiin.

Tutkimuksen laajuus rajattiin kattamaan metsäteollisuuden tuotteiden ja korvattavien tuotteiden elinkaari raaka-aineiden hankinnasta tuotteiden valmistukseen. Tuotannon suorien päästöjen lisäksi huomioitiin energian tuotannon, puun hankinnan, kemikaalien tuotannon ja raaka-ainekuljetusten päästöt. Rajauksen ulkopuolelle jäivät tuotteiden kuljetukset asiakkaille, käytön aiheuttamat päästöt ja loppukäsittelyt elinkaaren lopussa. Poikkeuksena tästä oletettiin paperi- ja kartonkituotteille yhtenä loppukäsittelyvaihtoehtona polttaminen energian talteenotolla.

Arviointimenetelmänä käytettiin elinkaariarviointiin (life cycle assessment, LCA) perustuvaa laskentatapaa, jossa keskityttiin vain yhteen vaikutusluokkaan eli ilmastomuutokseen. Vaikutusluokan laskentatuloksena saadaan ilmaston lämpenemispotentiaali, joka ilmaistaan hiilidioksidiekvivalenteina (CO₂e). Arvioinnissa laskettiin metsäteollisuuden tuotteiden

elinkaaren aikaiset päästöt sekä vältetyt päästöt. Vältetyt päästöt saavutetaan korvausvaikutuksella, joka muodostuu metsäteollisuuden tuotteiden korvauksella muita tuotteita markkinoilla. Muut tuotteet jäävät siis tuottamatta ja päästöt syntyvät, kun käytetään metsäteollisuuden tuotteita. Korvattavien tuotteiden päästöjen arvioinnissa noudatettiin samaa rajausta kuin metsäteollisuudenkin tuotteille, eli raaka-aineiden hankinnasta tuotteen valmistukseen. Korvaushyöty laskettiin tuotantovuodelle, vaikka varsinainen korvaus saattaisikin tapahtua vasta tulevaisuudessa.

Tutkimuksessa laskettiin tuotekoreittain, ovatko metsäteollisuuden tuotteiden aiheuttamat päästöt suuremmat vai pienemmät kuin korvattavien tuotteiden päästöt, ja kuinka suuri kokonaisvaikutus syntyy, kun korien tulokset lasketaan yhteen.

2.2 Arvioinnissa käytetyt tiedot ja oletukset

Tuotteiden ilmastovaikutusten arvioinnissa käytettiin useita tietolähteitä, kuten tutkimuskirjallisuutta, LCA-tietokantoja, tilastoja, yritysten ympäristötuoteselosteita sekä asiantuntija-arvioita. Lisäksi Metry määrittä tuoteryhmien osuudet kunkin tuotekorin sisällä kullekin tarkasteluvuodelle ja tuotteiden vientiosuudet eri markkina-alueille. AFRY arvioi omassa selvitystyössään metsäteollisuuden tuotteiden valmistuksen päästöt ja puunkulutuksen sekä tuotantovolyymin, joista muodostui skenaariot vuosille 2017 ja 2035. AFRYn työ sisälsi myös ostoenergian aiheuttamat päästöt. Näitä tietoja käytettiin tässä työssä laskennan lähtötietoina.

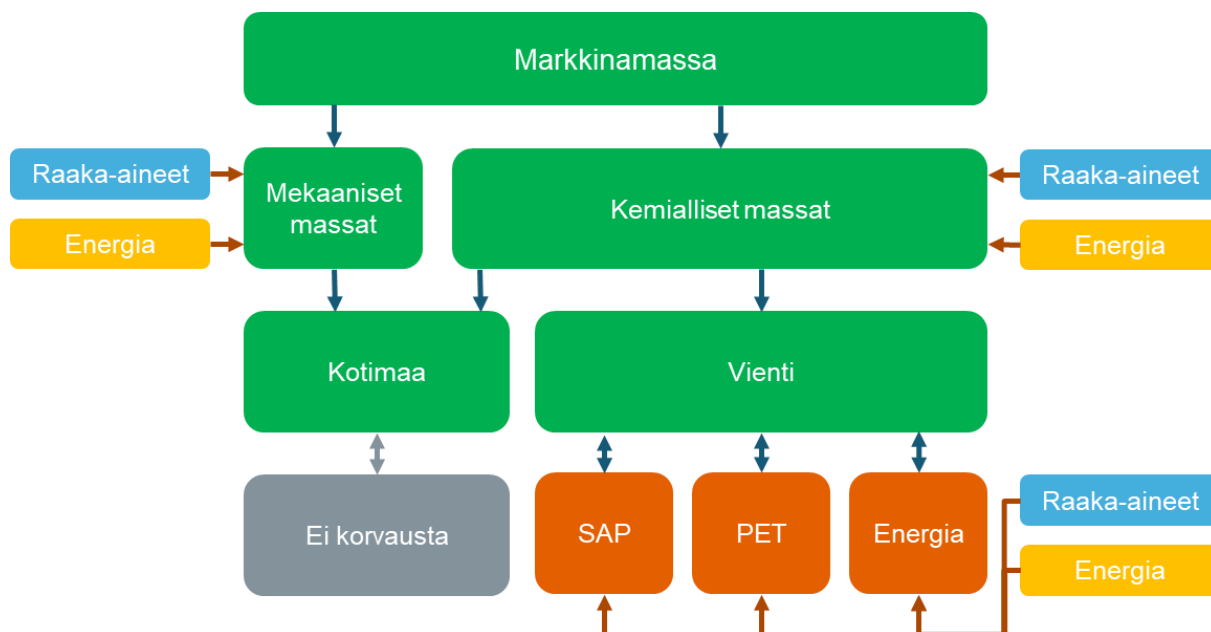
2.2.1 Markkinamassa

Markkinamassa -tuotekori jaettiin kahteen tuoteryhmään, mekaanisiin ja kemiallisiin massoihin, ja se sisälsi kuivatun massan, joka myydään tehtailta ulos. Integraattimassat, jotka käytetään kuivaamattomina samalla tehdasalueella paperien ja kartonkien valmistukseen, huomioitiin paperien ja kartonkien tuoteryhmien päästö- ja puunkulutuslukemissa. Mekaaniset massat oletettiin käytettävän Suomessa paperien ja kartonkien raaka-aineena, ja siten niiden korvausvaikutus tulisi huomioiduksi muiden tuoteryhmien kautta. Samalla periaatteella käsiteltiin myös Suomessa käytettävää kemiallista massaa. Kotimaassa käytettävillä massoilla ei siis laskettu olevan suoraa korvausvaikutusta. Vientiin menevälle kemialliselle massalle arvioitiin kolme käyttökohdetta: hygieniatuotteet, tekstiilikuidut ja paperituotteet. Kotimaan käytön ja viennin osuudet on esitetty liitteissä (LIITE A, Taulukko 19). Vientiin menevästä kemiallisesta massasta oletettiin menevän 5 % hygieniatuotteisiin, 25 % tekstiilikuituihin ja 70 % paperituotteisiin.

Hygieniatuotteissa kemiallisen massan oletettiin olevan fluff-sellua ja korvaavan natriumpolyakrylaattia, jota käytetään vettä sitovana aineena esimerkiksi vaipoissa. Tällaiset aineet, joilla on suuri vedensitomiskyky, tunnetaan myös superabsorbentteina (super absorbent polymer, SAP). Tekstiiliteollisuudessa kemiallisen massan oletettiin päätyvän viskoosiin ja lyocellin raaka-aineeksi, jolloin korvattavaksi tuotteeksi valittiin polyeteenitereftalaattigranulaatti (PET), jota käytetään polyesterikuidun raaka-aineena. Paperituotteiden raaka-aineeksi päätyvän massan ei laskettu korvaavan suoraan mitään, mutta polttoon päätyvän osuuden oletettiin korvaavan vientialueen keskimääräisen tuotantotapajakauman mukaista sähköntuotantoa. Energiahyötykäyttö ja sen tuoma korvausvaikutus on kuvattu tarkemmin luvussa 2.2.9.

Markkinamassa -tuotekorin kokonaissysteemi on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 2) ja korvattavien tuotteiden osuudet alla olevassa taulukossa (Taulukko 1). Tuotekorikohtaiset tuotantovolyymit, päästöintensitiivisyydet ja puunkulutukset saatiin lähtötietona AFRYltä. Tuoteryhmien osuudet korin sisällä saatiin Metryltä (Taulukko 2). Molemmille tuoteryhmille arvioitiin tyypilliset kemikaalikulutukset kirjallisuuden ja KnowPulp-tietojärjestelmän avulla.

Kemikaalien ja korvattavien tuotteiden päästötietojen arvioinnissa hyödynnettiin Ecoinvent-tietokantaa ja kirjallisuutta. Käytetyt datalähteet on esitetty liitteissä (LIITE B, Taulukko 20).



Kuva 2. Markkinamassa, tuoteryhmät ja korvattavat tuotteet. Kokonaissysteemissä on huomioitu tuotantoprosessien suorien päästöjen lisäksi raaka-aineiden ja energian tuotannon päästöt.

Taulukko 1. Markkinamassojen korvaamien tuotteiden osuudet vuosina 2017 ja 2035. Kotimaan käyttö ei korvaa suoraan mitään. Tuotantovolyymin kasvaessa viennin määrä kasvaa ja kotimaan käyttö pysyy vakiona, jolloin kotimaan käytön suhteellinen osuus pienenee.

Korvattava tuote	Osuus 2017	Osuus 2035
SAP	3,7 %	4,0 %
PET	18,4 %	20,1 %
Energia	51,4 %	56,3 %
Ei korvausta	26,5 %	19,6 %

Taulukko 2. Markkinamassa. Tuoteryhmäosuudet vuosille 2017 ja 2035 (lähde Metry).

Tuoteryhmät	2017	2035
Mekaaniset massat	5 %	5 %
Kemialliset massat	95 %	95 %

Markkinamassojen korvausvaikutus suhteessa vastaaviin tuotteisiin määritettiin kirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden perusteella. Laskennassa käytettiin massakorvaussuhteita, joiden avulla laskettiin, kuinka paljon metsäteollisuuden tuotteilla pystyttiin vastaavia tuotteita korvaamaan (Taulukko 3). Esitetyistä massakorvaussuhteista esimerkiksi SAPin korvaussuhde 0,1 tarkoittaa, että yhdellä kilogrammalla kemiallista massaa voidaan korvata 0,1 kilogrammaa SAPia.

Kemiallisen sellun ja SAPin välinen korvaussuhde on määritetty fluff-sellun ja SAPin vedensitomiskyvyn perusteella. Fluffia on arvioitu tarvittavan kymmenkertainen määrä SAPiin

nähdén saman toiminnallisuuden aikaansaamiseksi. Fluff-sellun tiheydeksi on oletettu 0,65 kg/dm³ ja SAPin tiheydeksi 0,60 kg/dm³ (SONGWON 2018).

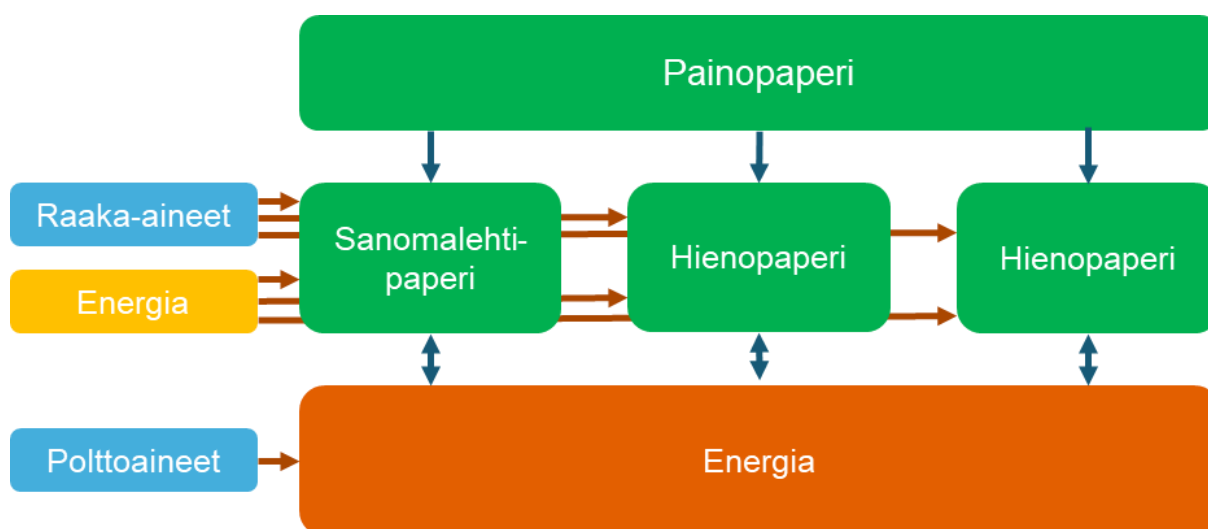
Kemiallisen sellun ja PETin välinen korvaussuhde perustuu sellupohjaisen kuidun ja PET-kuidun tiheyteen. PET-kuidun tiheys, 1,39 kg/dm³ (Lindström 2018), on pienempi kuin sellupohjaisen kuidun, 1,50-1,52 kg/dm³ (Kreze et al. 2001). Tästä johtuen massaperusteinen korvaussuhde on alle yksi, eli kemiallista sellua tarvitaan enemmän kuin PETiä samaan sovelluskohteeseen. Tiheyserojen aiheuttamia eroja kuiduista valmistettujen tekstiilien ominaisuuksissa, kuten lujuudessa, ei otettu huomioon.

Taulukko 3. Markkinamassan korvaussuhteet. Massakorvaussuhde tarkoittaa massamäärää, jonka yksi yksikkö metsäteollisuuden tuotetta pystyy korvaamaan.

Korvattava tuote	Massakorvaussuhde	Sovelluskohde	Lähde
Kemialliset massat			
SAP	0,1	Hygieniatuotteet	VTT:n asiantuntijan arvio SONGWON 2018
PET	0,9	Tekstiilikuidut	Kreze et al. 2001 Lindström 2018 AZoMaterials 2003

2.2.2 Painopaperi

Painopaperien tuotekori jaettiin kolmeen tuoteryhmään: sanomalehti-, aikakauslehti- ja hienopaperiin (Kuva 3). Painopaperien ei oletettu korvaavan mitään tuotetta suoraan, mutta energiahyötykäyttöön päätyvälle osuudelle laskettiin markkina-aluekohtainen energiakorvaavuus. Energiahyötykäyttö ja sen tuoma korvausvaikutus on kuvattu tarkemmin luvussa 2.2.9.



Kuva 3. Painopaperi, tuoteryhmät ja korvattavat tuotteet. Kokonaissysteemissä on huomioitu tuotantoprosessien suorien päästöjen lisäksi raaka-aineiden ja energian tuotannon päästöt.

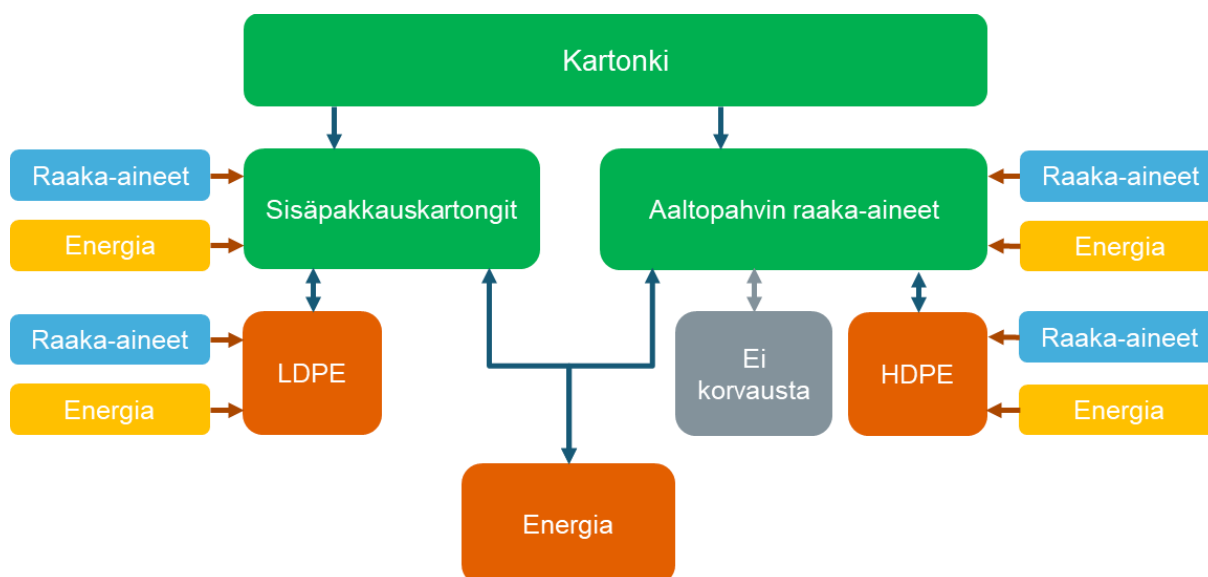
Tuotekorikohtaiset tuotantovolyymit, päästöintensivisyydet ja puunkulutukset saatiin lähtötietona AFRYltä. Tuoteryhmien osuudet korin sisällä saatiin Metryltä (Taulukko 4). Paperien valmistuksessa käytettävien täyte- ja päällystysaineiden määrien arviointiin käytettiin yritysten Paper Profile -dokumentteja ja KnowPap-tietojärjestelmää. Kemikaalien ja korvattavan energian päästötietojen arvioinnissa hyödynnettiin Ecoinvent-tietokantaa. Käytetyt datalähteet on esitetty liitteissä (LIITE B, Taulukko 20).

Taulukko 4. Painopaperi. Tuoteryhmäosuudet vuosille 2017 ja 2035 (lähde Metry).

Tuoteryhmät	2017	2035
Sanomalehtipaperit	5 %	5 %
Aikakauslehtipaperit	35 %	45 %
Hienopaperit	60 %	50 %

2.2.3 Kartonki

Kartongit jaettiin kahteen tuoteryhmään, sisäpakkauksparkonkeihin ja aaltopahvin raaka-aineisiin (Kuva 4). Kartonkeja oletettiin käytettävän erilaisiin pakkausratkaisuihin, joissa ne korvasivat muovia. Korvattaviksi muovilaaduksi oletettiin sisäpakkauksparkonkien osalta matalatiheyksinen polyeteeni (low-density polyethylene, LDPE) ja aaltopahvin raaka-aineiden osalta korkeatiheyksinen polyeteeni (high-density polyethylene, HDPE). Koska aaltopahvin arvioitiin olevan keveytensä ja lujuusominaisuuksiensa ansiosta vaikeasti korvattavissa muovilla, tai muillakaan materiaaleilla, eikä vastaavia tuoteratkaisuja ole moneen aaltopahvin käyttökohteeseen saatavilla, oletettiin aaltopahvin raaka-aineiden päätyvän korvaamaan muovia vain osittain. Korvausosuusiksi oletettiin, että puolet aaltopahvin raaka-aineista korvaa muovia ja puolella ei ole tuotekorvausvaikutusta. Kaikille kartongeille oletettiin kuitenkin energiahyötykäyttö, joka on kuvattu tarkemmin luvussa 2.2.9.



Kuva 4. Kartonki, tuoteryhmät ja korvattavat tuotteet. Kokonaissysteemissä on huomioitu tuotantoprosessien suorien päästöjen lisäksi raaka-aineiden ja energian tuotannon päästöt.

Tuotekorikohtaiset tuotantovolyymit, päästöintensiivisyydet ja puunkulutukset saatiin lähtötietona AFRYltä, ja tuoteryhmien osuudet korin sisällä saatiin Metryltä (Taulukko 5). Kartonkien valmistuksessa käytettävien täyte- ja päällystysaineiden määrien arviointiin käytettiin yritysten Paper Profile -dokumentteja ja KnowPap-tietojärjestelmää. Kemikaalien ja korvattavien tuotteiden päästötietojen arvioinnissa hyödynnettiin Ecoinvent-tietokantaa. Käytetyt datalähteet on esitetty liitteissä (LIITE B, Taulukko 20).

Taulukko 5. Kartonki. Tuoteryhmäosuudet (lähde Metry) vuosille 2017 ja 2035.

Tuoteryhmät	2017	2035
<i>Sisäpakkauskartongit</i>	70 %	75 %
<i>Aaltopahvin raaka-aineet</i>	30 %	25 %

Kartonkien korvausvaikutus suhteessa vastaaviin tuotteisiin arvioitiin kirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden perusteella (Taulukko 6). Sisäpakkauskartonkien oletettiin koostuvan nestepakkauskartongeista ja taivekartongeista, joiden tuotanto-osuuksiksi arvioitiin tuotantokapasiteettien perusteella vastaavasti 20 % ja 80 %. Nestepakkauskartongin korvaussuhteeksi arvioitiin pohjoismaalaisia nestepakkauksia vertailleen elinkaariarvioinnin (Markwardt et al. 2017) perusteella 1,8. Taivekartongin korvaussuhteeksi oletettiin 1,0, koska suhteen arvioitiin olevan yhden molemmiin puolin sovelluskohteesta riippuen. Sisäpakkauskartonkien tuoteryhmän korvaussuhteeksi laskettiin tuotanto-osuuksilla painotettu keskiarvo nestepakkauskartonkien ja taivekartonkien korvaussuhteista, jolloin suhteeksi saatiin 1,2.

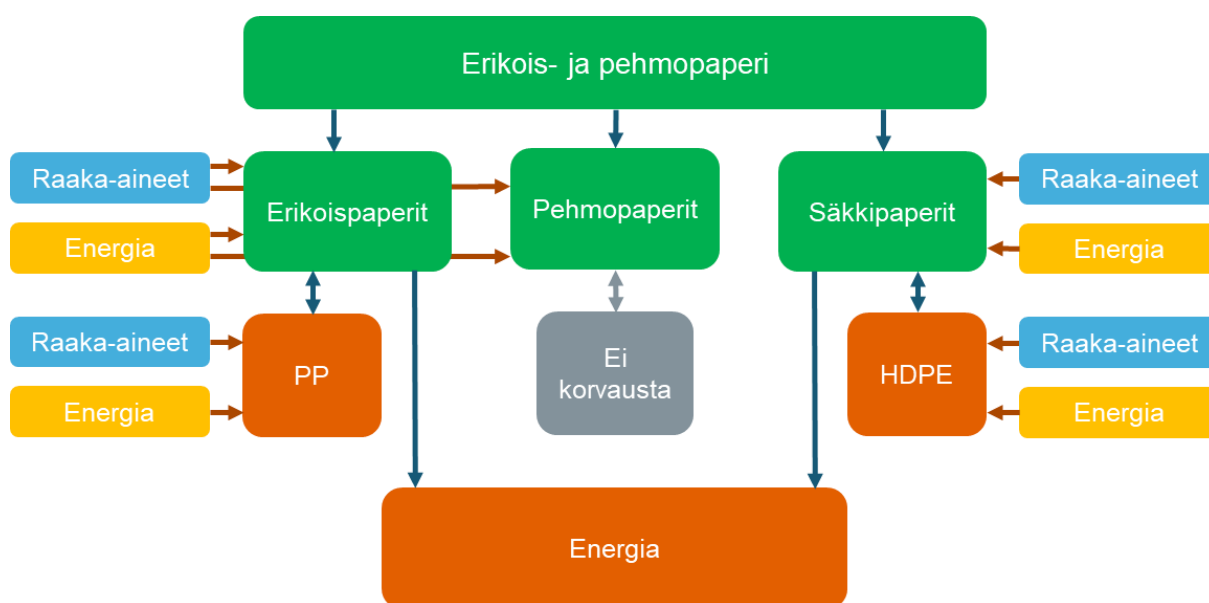
Aaltopahvin raaka-aineita vastaavalta muovilta vaadittiin aaltopahvin kaltaisia lujuusominaisuuksia. Korvaussuhteen määrittäminen perustui HDPE:n (0,96 kg/dm³; PlasticsEurope 2020) ja aaltopahvin tiheyteen (0,52 kg/dm³; Haverinen 2018), joiden lisäksi korvaussuhdetta selvitettiin kirjallisuuden avulla (Abejón et al. 2020). Sovelluskohteesta riippuen massakorvaussuhde voi olla huomattavasti parempikin kuin nyt käytetty arvo 2,3. Aaltopahvilla on painoonsa nähden hyvät lujuusominaisuudet, joten sitä tarvitaan huomattavasti vähemmän kuin muovia samojen ominaisuuksien saamiseksi.

Taulukko 6. Kartonkien massakorvaussuhteet. Massakorvaussuhde tarkoittaa massamäärää, jonka yksi yksikkö metsäteollisuuden tuotetta pystyy korvaamaan.

Korvattava tuote	Massakorvaus-suhde	Sovelluskohde	Lähde
<i>Sisäpakkauskartongit</i>			
<i>LDPE</i>	1,2	Nestepakkaukset Elintarvikepakkaukset	Markwardt et al. 2017
<i>Aaltopahvin raaka-aineet</i>			
<i>HDPE</i>	2,3	Pakkaukset	Haverinen 2018 PlasticsEurope 2020

2.2.4 Erikois- ja pehmopaperi

Erikois- ja pehmopaperit jaettiin kolmeen tuoteryhmään: erikois-, säkki- ja pehmopapereihin. Erikois- ja säkkipapereita oletettiin käytettävän erilaisiin pakkausratkaisuihin, joissa ne korvaisivat muovia. Korvattaviksi muovilaaduiksi oletettiin erikoispaperien osalta polypropeeni (PP) ja säkkipaperien osalta lineaarinen matalatiheysinen polyeteeni (linear low-density polyethylene, LLDPE). Erikois- ja säkkipapereille oletettiin myös energiahyötykäyttö, joka on kuvattu tarkemmin luvussa 2.2.9. Pehmopaperien arvioitiin olevan tuoteryhmä, jolla ei ole vastaavaa tuotetta, jonka pehmopaperit korvaisivat, tai jolla pehmopaperit voisi korvata. Pehmopaperien ei myöskään oletettu päätyvän energiahyötykäyttöön, joten pehmopapereille ei laskettu mitään korvausvaikutusta. Erikois- ja pehmopaperien tuotesysteemi on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 5).



Kuva 5. Erikois- ja pehmopaperi, tuoteryhmät ja korvattavat tuotteet. Kokonaissysteemissä on huomioitu tuotantoprosessien suorien päästöjen lisäksi raaka-aineiden ja energian tuotannon päästöt.

Tuotekorikohtaiset tuotantovolyymit, päästöintensiivisyydet ja puunkulutukset saatiin lähtötietona AFRYltä. Tuoteryhmien osuudet korin sisällä saatiin Metryltä (Taulukko 7). Paperien valmistuksessa käytettävien täyte- ja päällystysaineiden määrien arviointiin käytettiin yritysten Paper Profile -dokumentteja ja KnowPap-tietojärjestelmää. Kemikaalien ja korvattavien tuotteiden päästötietojen arvioinnissa hyödynnettiin Ecoinvent-tietokantaa. Käytetyt datalähteet on esitetty liitteissä (LIITE B, Taulukko 20).

Taulukko 7. Erikois- ja pehmopaperit. Tuoteryhmäosuudet vuosille 2017 ja 2035 (lähde Metry).

Tuoteryhmät	2017	2035
Erikoispaperit	20 %	25 %
Säkkipaperit	60 %	60 %
Pehmopaperit	20 %	15 %

Erikois- ja pehmopaperien korvausvaikutus suhteessa vastaaviin tuotteisiin arvioitiin kirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden perusteella. Erikoispaperin ja PP:n sekä säkkipaperin ja LLDPE:n välinen massakorvaussuhde määritettiin materiaalien tiheyden ja paksuuden perusteella.

Erikoispaperiksi vertailuun valittiin UPM FlexPack™, jonka neliömassa on 60 g/m² ja paksuus 52 µm (UPM 2020a). Tästä saadaan tiheydeksi 1,15 kg/dm³. Vertailtavan PP:stä valmistetun joustopakkauksen tiheys on noin 0,92 kg/dm³ (PlasticsEurope 2020). Edelleen oletettiin muovin paksuudeksi 45 µm. Tästä seuraa erikoispaperin massakorvaussuhteeksi noin 0,7.

Säkkipaperiksi vertailuun valittiin UPM UniquePack™ Strong, jonka neliömassa on 90 g/m² ja paksuus 84 µm (UPM 2020b), ja tiheys vastaavasti 1,07 kg/dm³. Vertailtavan LLDPE-pussipakkauksen tiheys on noin 0,93 kg/dm³ (TerraCast 2016). Edelleen valittiin vertailuun pussipakkauksen paksuudeksi 50 µm. Säkkipaperin massakorvaussuhteeksi saatiin näin noin 0,5.

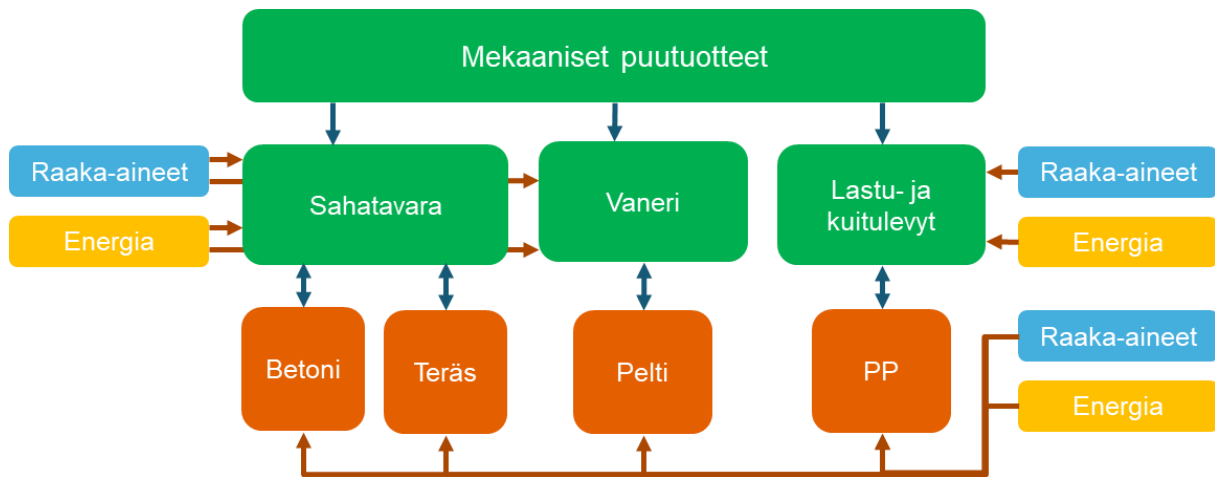
Kummassakin tapauksessa muovin tiheys oli pienempi ja siten sitä arvioitiin tarvittavan vähemmän kuin paperia vastaavassa sovelluskohteessa. Erikoispaperien ja säkkipaperien massakorvaussuhteet on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 8).

Taulukko 8. Erikois- ja pehmopaperien massakorvaussuhteet. Massakorvaussuhde tarkoittaa massamäärää, jonka yksi yksikkö metsäteollisuuden tuotetta pystyy korvaamaan.

Korvattava tuote	Massakorvaus-suhde	Sovelluskohde	Lähde
Erikoispaperit			
PP	0,7	Joustopakkaukset	UPM 2020a PlasticsEurope 2020
Säkkipaperit			
LLDPE	0,5	Pussipakkaukset	UPM 2020b TerraCast 2016

2.2.5 Mekaaniset puutuotteet

Mekaaniset puutuotteet jaettiin kolmeen tuoteryhmään: sahatavaraan, vaneriin ja lastu- ja kuitulevyihin. Sahatavara oletettiin käytettävän rakentamisessa, jossa se korvaisi betonia ja terästä. Vanerin oletettiin korvaavan peltiä seinärakenteissa. Lastu- ja kuitulevyjen oletettiin korvaavan polypropeenä (PP) huonekaluissa. Mekaanisten puutuotteiden tuotesysteemi on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 6).



Kuva 6. Mekaaniset puutuotteet, tuoteryhmät ja korvattavat tuotteet. Kokonaissysteemissä on huomioitu tuotantoprosessien suorien päästöjen lisäksi raaka-aineiden ja energian tuotannon päästöt.

Tuotekorikohtaiset tuotantovolyymit, päästöintensivisyydet ja puunkulutukset saatiin lähtötietona AFRYltä. Tuoteryhmien osuudet korin sisällä saatiin Metryltä (Taulukko 9). Mekaanisten puutuotteiden valmistuksessa käytettävien kemikaalien, kuten liimojen, määrien arviointiin käytettiin yritysten ympäristötuoteselosteita. Kemikaalien ja korvattavien tuotteiden päästötietojen arvioinnissa hyödynnettiin Ecoinvent-tietokantaa ja ympäristötuoteselosteita. Käytetyt datalähteet on esitetty liitteissä (LIITE B, Taulukko 20).

Taulukko 9. Mekaaniset puutuotteet. Tuoteryhmäosuudet vuosille 2017 ja 2035 (lähde Metry).

Tuoteryhmät	2017	2035
Sahatavara	90 %	90 %
Vaneri	9 %	10 %
Lastu- ja kuitulevyt	1 %	0 %

Mekaanisten puutuotteiden korvausvaikutus suhteessa vastaaviin tuotteisiin arvioitiin kirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden perusteella. Sahatavaran arvioitiin korvaavan suurimmaksi osaksi betonia, mutta myös osittain terästä. Osuuksiksi oletettiin 75 % betonin ja 25 % teräksen korvausta. Korvattaviksi betonin sovelluskohteiksi oletettiin betonielementtirakentaminen. Vertailuun otettiin keskiarvo puupohjaisista rakenteista puupilari-palkki-runko, CLT-rakenteiset suurelementit, puurankarakenteiset tilaelementit, puurankarakenteiset suurelementit ja CLT-rakenteiset tilaelementit (Vares et al. 2017). Korvaussuhteessa on huomioitu betonin käytön vähenemä, kun valitaan puupohjainen rakennusmenetelmä. Rakenteille on annettu lähteessä yhteispaino ja puun osuus, ja näiden erotuksen oletettiin olevan betonia. Massaperusteisessa vertailussa puu pärjää betoniin verrattuna hyvin, koska se on suhteellisen kevyttä lujuusominaisuuksiinsa nähden.

Korvattavaksi teräksen sovelluskohteeksi oletettiin erilaiset palkkirakenteet, joissa liimapuupalkkeja voidaan käyttää teräksen sijaan. Korvausluvut perustuvat VTT:n asiantuntijan arvioihin kattopalkkirakenteissa. Nykyisissä palkkiratkaisuissa terästä tarvitaan vähemmän, mutta tulevaisuudessa puun käytön oletetaan tehostuvan mitoituksen optimoinnin kautta, jolloin korvaussuhde paranee puun kannalta. Puurakenteen poikkipinta on nykytilanteessa 140/160 mukainen, kun se tulevaisuudessa voisi olla esimerkiksi 60/180. Teräsrakenne on oletettu olevan IPE80 mukainen. Myös teräsrakenteiden voidaan olettaa kehittyvän tulevaisuudessa, joten tulevaisuusskenaarioissa molempia materiaaleja oletettiin

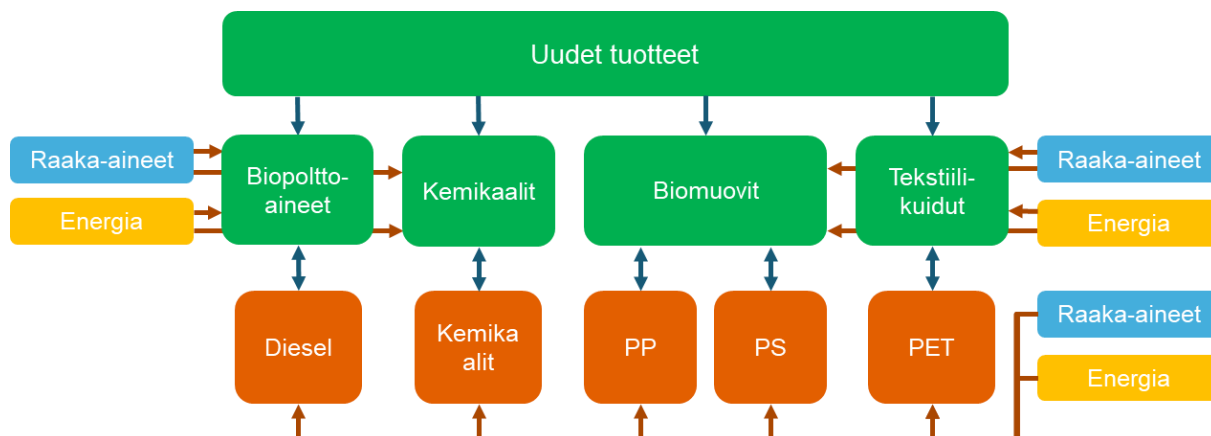
käytettävän yhtä paljon. Mekaanisten puutuotteiden massakorvaussuhteet on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 10).

Taulukko 10. Mekaanisten puutuotteiden massakorvaussuhteet. Massakorvaussuhde tarkoittaa massamäärää, jonka yksi yksikkö metsäteollisuuden tuotetta pystyy korvaamaan.

Korvattava tuote	Massakorvaus- suhde	Sovelluskohde	Lähde
Sahatavara			
Betoni (75 %)	5,6	Elementtirakenteet	Vares et al. 2017
Teräs (25 %)	0,6 (2017) 1,0 (2035)	Palkkirakenteet	VTT:n asiantuntijan arvio
Vaneri			
Pelti	0,5	Seinärakenteet	Puuinfo 2020a UPM 2020c Hallirakentajat 2020 Teräsrakenne- yhdistys 2020
Lastu- ja kuitulevyt			
PP	1,4	Huonekalut	Puuinfo 2020b PlasticsEurope 2020

2.2.6 Uudet tuotteet

Uudet tuotteet jaettiin neljään tuoteryhmään, biopolttoaineisiin, kemikaaleihin, biomuoveihin ja tekstiilikuituihin, joista vain biopolttoaineita ja biomuoveja oletettiin tuotettavan vuoden 2017 skenaariossa. Biopolttoaineet oletettiin mäntyöljypohjaiseksi biodieseliksi, joka korvaa fossiilista dieseliä. Biomuovien oletettiin vastaavasti korvaavan fossiilisia muoveja. Tulevaisuusskenaariossa oletettiin tekstiilikuitujen korvaavan polyeteenitereftalaatista (PET) valmistettua polyesterikuitua ja kemikaalien korvaavan vastaavia kemikaaleja, jotka on valmistettu muista raaka-aineista kuin puusta. Uusien tuotteiden tuotesysteemi on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 7).



Kuva 7. Uudet tuotteet, tuoteryhmät ja korvattavat tuotteet. Kokonaissysteemissä on huomioitu tuotantoprosessien suorien päästöjen lisäksi raaka-aineiden ja energian tuotannon päästöt.

Tuotekorikohtaiset tuotantovolyymit, päästöintensiivisyydet ja puunkulutukset saatiin lähtötietona AFRYltä. Tuoteryhmien osuudet korin sisällä saatiin Metryltä (Taulukko 11). Uusien tuotteiden valmistukseen tarvittavien kemikaalien määrät arvioitiin kirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden perusteella. Kemikaalien ja korvattavien tuotteiden päästötietojen arvioinnissa hyödynnettiin Ecoinvent- ja GaBi-tietokantaa. Käytetyt datalähteet on esitetty liitteissä (LIITE B, Taulukko 20).

Taulukko 11. Uudet tuotteet. Tuoteryhmäosuudet vuosille 2017 ja 2035 (lähde Metry).

Tuoteryhmät	2017	2035
Biopolttoaineet	40 %	25 %
Kemikaalit	0 %	20 %
Biomuovit	60 %	30 %
Tekstiilikuidut	0 %	25 %

Uusien tuotteiden korvausvaikutus suhteessa vastaaviin tuotteisiin arvioitiin kirjallisuuden ja asiantuntija-arvioiden perusteella. Biopolttoaineiden ja kemikaalien oletettiin olevan täysin vastaavia kuin öljystä tai muista raaka-aineista valmistetut tuotteet. Biomuovien korvaussuhde fossiiliseen muoviin nähden arvioitiin selluloosa-asetaatin tiheyden (1,3 kg/dm³; ChemicalBook 2017) ja korvattavien muovilaatujen, polypropeenin (PP, 0,95 kg/dm³; PlasticsEurope 2020) ja polystyreenin (PS, 1,05 kg/dm³; Polymer Properties Database 2018), tiheyden perusteella. Puupohjaisen tekstiilikuidun ja polyesterikuidun välinen korvaussuhde arvioitiin lyocellin (1,52 kg/dm³; Kreze et al. 2001) ja PET-kuidun (1,39 kg/dm³; Lindström 2018) tiheyden perusteella. Tiheyserojen aiheuttamia eroja kuiduista valmistettujen tekstiilien ominaisuuksissa, kuten lujuudessa, ei otettu huomioon. Uusien tuotteiden massakorvaussuhteet on esitetty taulukossa alla olevassa taulukossa (Taulukko 12).

Taulukko 12. Uusien tuotteiden massakorvaussuhteet. Massakorvaussuhde tarkoittaa massamäärää, jonka yksi yksikkö metsäteollisuuden tuotetta pystyy korvaamaan.

Korvattava tuote	Massakorvaus-suhde	Sovelluskohde	Lähde
Biopolttoaineet			
Diesel	1,0	Liikennepolttoaine	oletus
Kemikaalit			
Kemikaalit	1,0	Kemikaalit	oletus
Biomuovit			
PP (50 %) & PS (50 %)	0,8	Ruiskupuristettavat muovit	ChemicalBook 2017 PlasticsEurope 2020 Polymer Properties Database 2018
Tekstiilikuidut			
PET-kuitu	0,9	Tekstiilit	Kreze et al. 2001 Lindström 2018 AZoMaterials 2003

2.2.7 Tulevaisuusskenaarion päästökehitys

Metsäteollisuuden päästöjen muutos vuoteen 2035 mennessä huomioitiin AFRYn selvityksessä, joka keskittyi metsäteollisuuden suoriin ja ostoenergian aiheuttamiin päästöihin. Näiden päästöjen lisäksi tässä työssä huomioitiin korvattavien tuotteiden ja metsäteollisuuden arvoketjun päästökehitys tulevaisuudessa.

Päästökehityksen perustana käytettiin International Energy Agencyn (IEA) World Energy Outlook 2019 -raportin (IEA, 2019) kestävä kehityksen skenaariota. Vuodelle 2017 käytettiin IEA:n dataa vuodelta 2018. Tuotantotapajakaumat eri tarkasteluvuosille, niiden perusteella lasketut sähkön ominaispäästöt sekä muutos ominaispäästöissä on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 13).

Taulukko 13. IEA:n sähköntuotantoskenaarioihin (IEA World Energy Outlook 2019) perustuva tuotantotapajakauma vuosille 2017 ja 2035 sekä jakauman perusteella lasketut hiilidioksidipäästöt.

	2017	2035
<i>Hiili</i>	38 %	13 %
<i>Öljy</i>	3 %	2 %
<i>Maakaasu</i>	23 %	19 %
<i>Ydinvoima</i>	10 %	9 %
<i>Vesivoima</i>	16 %	18 %
<i>Tuuli- ja aurinkovoima</i>	7 %	33 %
<i>Muut uusiutuvat</i>	3 %	6 %
<i>Hiilidioksidipäästöt (kg CO₂e/MWh)</i>	571	292
<i>Muutos vuodesta 2017</i>		-49 %

Varsinaiset hiilijalanjälkilukemat korvattaville tuotteille ja metsäteollisuuden raaka-aineille vuonna 2035 laskettiin vähentämällä vuoden 2017 laskentaan käytetyistä jalanjäljistä 49 %. Prosentuaalinen vähenemä perustuu sähköntuotannon päästöjen pienenemiseen, kuten yllä olevassa taulukossa (Taulukko 13) on esitetty. Kaikki käytetyt tietolähteet esitetty liitteissä (LIITE B, Taulukko 20).

2.2.8 Kierrätyksen huomioiminen

Metsäteollisuuden tuotteista monien oletettiin korvaavan muovia, jonka kierrätystä pyritään lisäämään tulevaisuudessa. Tämä kehitys huomioitiin siten, että vuoden 2035 skenaariossa 20 % korvattavasta muovista oletettiin olevan kierrätettyä. Vuoden 2017 laskennassa kierrätysmuovia ei huomioitu, vaan kaikki korvattava muovi oli primääriraaka-aineista valmistettua muovia. Kierrätyskehitys huomioitiin polyeteenille (HDPE, LDPE, LLDPE) ja polypropeenille (PP). Datalähteiden rajallisuuden vuoksi kaikille kierrätysmuoveille kuitenkin oletettiin samat päästöt, jotka perustuivat kierrätetyn HDPE:n valmistukseen. Eri PE-laatuja ja PP:n päästöjen arvioitiin olevan riittävän lähellä toisiaan, jotta kierrätetyn HDPE:n voitiin olettaa kuvaavan myös muita kierrätettyjä muovilaatuja päästöjen osalta.

Metsäteollisuuden tuotteiden kierrätys rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkimus keskittyi Suomessa tapahtuvaan tuotantoon, josta suurin osa menee vientiin, joten tuotteet kierrätettäisiin ulkomailla, jossa ne päätyisivät paikallisen tuotannon raaka-aineeksi. Suomen ulkopuolisen metsäteollisuustuotannon vaikutukset eivät kuuluneet tähän tutkimukseen, joten myös suomalaista alkuperää olevan kierrätyskuidun hyödyt ja prosessoinnista aiheutuvat päästöt jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

2.2.9 Energiahyötykäyttö

Tutkimus rajattiin kattamaan tuotteiden elinkaari tuotteiden valmistukseen asti, joten loppukäsittelyt elinkaaren päässä jäivät tarkastelun ulkopuolelle. Poikkeuksena käsiteltiin kuitutuotteet, joista osan oletettiin käytön jälkeen päätyvän polttolaitoksille energiantuotantoon. Tuotekoreista tämä koski painopaperia, kartonkia ja erikois- ja pehmopaperia sekä markkinamassaa siltä osin kuin kemialliset massat päätyivät viennin kautta paperituotteisiin. Suomessa käytettävän markkinamassan oletettiin päätyvän paperi- ja kartonkituotteiden raaka-aineeksi, joten sen energiahyötykäyttö tulisi huomioitua muiden tuotekorien kautta.

Energiahyötykäyttö otettiin mukaan laskentaan, koska osa paperi- ja kartonkituotteista käytetään polttoaineena elinkaarensa lopussa, joten hiilineutraali energia luokiteltiin yhdeksi tuotteeksi. Korvattavaksi tuotteeksi oletettiin keskimääräisellä tuotantotapajakaumalla tuotettu sähkö. Jokaiselle markkina-alueelle käytettiin omia jakaumia, jotka perustuivat Ecoinvent-tietokannan sähköprofiileihin. Markkina-alueosuudet ja datalähteet on esitetty liitteissä (LIITE A, Taulukko 19; LIITE B, Taulukko 20). Energiahyötykäyttöön päätyvien paperi- ja kartonkituotteiden osuudet eri markkina-alueilla sekä käytetyt paperien ja kartonkien lämpöarvot on esitetty alla olevissa taulukoissa (Taulukko 14 ja Taulukko 15).

Taulukko 14. Energiahyötykäyttöön päätyvät osuudet markkina-alueittain.

Markkina-alue	Energiahyötykäyttöön päätyvä osuus	Lähde
<i>Suomi</i>	7,1 %	Tilastokeskus 2018
<i>Saksa</i>	25,2 %	Recycling International 2017 Euroopan komissio 2020
<i>Iso-Britannia</i>	8,0 %	Defra 2020 Euroopan komissio 2020
<i>Muu Eurooppa</i>	17,1 %	Euroopan komissio 2020
<i>Kiina</i>	15,6 %	Statista 2019 UNEP 2017
<i>Muu Aasia</i>	11,6 %	UNEP 2017
<i>Pohjois-Amerikka</i>	6,7 %	EPA 2020
<i>Etelä-Amerikka</i>	0,0 %	Hettiarachchi et al. 2018
<i>Muut</i>	0,8 %	IPCC 2019 The Guardian 2019

Taulukko 15. Paperi- ja kartonkituotteiden lämpöarvot (Alakangas et al. 2016).

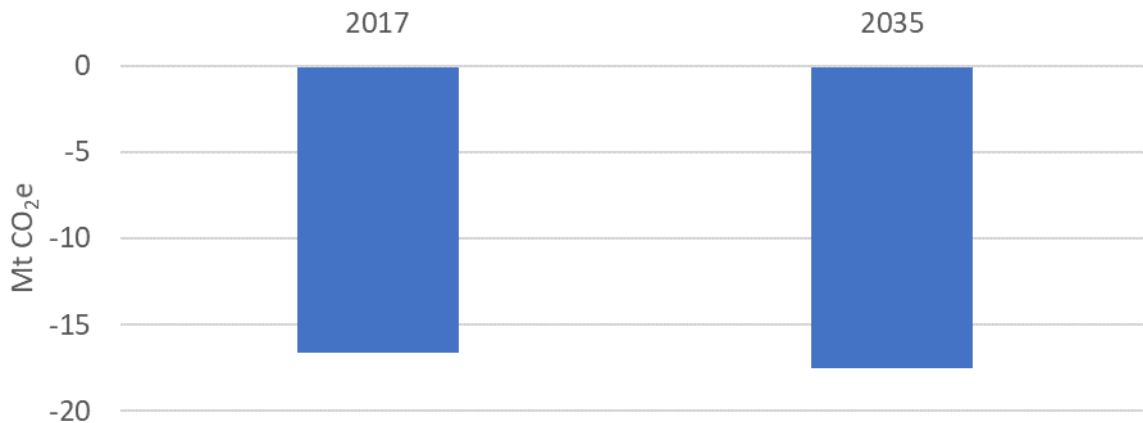
Tuoteryhmä	Lämpöarvo (MJ/kg)	Oletukset
<i>Kemialliset massat</i>	18,50	Sanomalehtipaperin lämpöarvo
<i>Sanomalehtipaperit</i>	18,50	
<i>Aikakauslehtipaperit</i>	12,20	
<i>Hienopaperit</i>	16,90	Käärepaperin lämpöarvo
<i>Sisäpakkauskartongit</i>	16,25	Elintarvikekartongin ja nestepakkauskartongin lämpöarvojen keskiarvo
<i>Aaltopahvin raaka-aineet</i>	16,40	
<i>Erikoispaperit</i>	16,90	Käärepaperin lämpöarvo
<i>Säkkipaperit</i>	16,40	Aaltopahvilaatikoiden lämpöarvo

3. Tulokset

Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutuspotentialiaali laskettiin kahdelle vuodelle, joista vuosi 2017 edustaa nykyhetkeä ja vuosi 2035 on ennusteisiin ja oletuksiin perustuva tulevaisuusskenaario. Tuloksiin vaikuttivat merkittävästi metsäteollisuuden omien ja arvoketjun päästöjen väheneminen, muutokset tuotantovolyyymeissä sekä korvattavien tuotteiden päästöjen väheneminen. Lisäksi taustalla vaikuttivat oleellisesti arviot korvattavista tuotteista ja korvaussuhteista, joilla metsäteollisuuden tuotteiden arvioitiin korvaavaan muita tuotteita.

3.1 Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutus

Ilmastovaikutuslaskennan tuloksena voidaan todeta metsäteollisuuden tuotteilla olevan hyödyllinen vaikutus ilmastomuutoksen hidastamisessa. Metsäteollisuuden tuotteiden aiheuttamat päästöt ovat pienemmät kuin aiheutuisi vastaavien tuotteiden valmistamisesta muista materiaaleista. Tuloksista nähdään vuosituotannon vaikutuksen suuruusluokan olevan 16-18 Mt hiilidioksidiekvivalenttia (CO₂e). Alla olevassa kuvassa (Kuva 8) negatiiviset arvot tarkoittavat vältettyjen päästöjen olevan suuremmat kuin aiheutetut päästöt. Vuodesta 2017 vuoteen 2035 vaikutus kasvaa, mikä johtuu metsäteollisuuden päästöjen vähenemisestä ja tuotantovolyyymien kasvusta. Vaikutuksen kasvua hillitsee kuitenkin korvattavien tuotteiden aiheuttamien päästöjen väheneminen.



Kuva 8. Metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutus. Negatiiviset arvot tarkoittavat vältettyjen päästöjen olevan suuremmat kuin aiheutetut päästöt.

Tuotekoreittain sekä aiheutettuihin ja vältettyihin päästöihin jaetuista tuloksista (Taulukko 16 ja Taulukko 17) nähdään suurimpien vältettyjen päästöjen syntyvän kartongeista ja mekaanisista puutuotteista. Vältetyt päästöt pienenevät korvattavien tuotteiden päästöjen vähentyessä, mutta toisaalta myös aiheutetut päästöt laskevat merkittävästi. Uusien tuotteiden korvausvaikutus kasvaa vuoteen 2035 tuotantovolyymien kasvaessa huomattavasti. Painopapereiden ja erikois- ja pehmopapereiden nettovaikutus jää varsin pieneksi sekä 2017 että 2035.

Vuoden 2017 tuloksissa metsäteollisuuden suorat ja ostoenergian aiheuttamat päästöt (taulukoissa Metsäteollisuuden tuotanto) ovat samaa suuruusluokkaa kuin tuotannossa käytettävien prosessikemikaalien ja liimojen valmistuksen ja kuljetuksen aiheuttamat päästöt (taulukoissa Raaka-aineiden tuotanto). Metsäteollisuuden päästöt kuitenkin vähenevät huomattavasti vuoteen 2035, jolloin merkittävimpänä päästölähteenä on raaka-aineiden tuotanto. Puun hankinnan aiheuttamat päästöt ovat suhteellisen pienet sekä 2017 että 2035.

Taulukko 16. Aiheutetut ja vältetyt päästöt (Mt CO₂e) tuotekoreille markkinamassa, painopaperi ja kartonki.

Päästölähteet	Markkinamassa		Painopaperi		Kartonki	
	2017	2035	2017	2035	2017	2035
Vältetyt päästöt	-3,8	-3,0	-1,5	-0,6	-13,0	-8,8
Puun hankinta	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Raaka-aineiden tuotanto	0,8	0,6	1,3	0,5	1,1	0,8
Metsäteollisuuden tuotanto	1,3	0,2	1,4	0,1	0,9	0,1

Taulukko 17. Aiheutetut ja vältetyt päästöt (Mt CO₂e) tuotekoreille erikois- ja pehmopaperi, mekaaniset puutuotteet ja uudet tuotteet.

Päästölähteet	Erikois- ja pehmopaperi		Mekaaniset puutuotteet		Uudet tuotteet	
	2017	2035	2017	2035	2017	2035
Vältetyt päästöt	-1,3	-0,9	-6,5	-5,7	-1,3	-3,6
Puun hankinta	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,0
Raaka-aineiden tuotanto	0,3	0,2	1,2	0,9	0,3	0,6
Metsäteollisuuden tuotanto	0,3	0,0	0,8	0,2	0,1	0,0

Yleisenä trendinä voidaan havaita kaikkien päästöjen laskevan selvästi vuonna 2035. Erityisesti metsäteollisuuden suorat ja ostoenergian aiheuttamat päästöt vähentyvät huomattavan paljon ja suhteellisesti enemmän kuin muut päästöt. Myös muut metsäteollisuuden arvoketjun päästöt vähenevät, lukuunottamatta uusia tuotteita, joiden raaka-ainetarve kasvaa huomattavasti tuotantovolyymin kasvaessa, jolloin myös päästöt kasvavat vuodesta 2017 vuoteen 2035. Raaka-aineidenkin ominaispäästöt pienenevät, mutta volyymin kasvu on uusien tuotteiden kohdalla merkittävämpi tekijä kuin päästöjen väheneminen.

Vältettyjen päästöjen voimakas lasku johtuu pääosin korvattavien tuotteiden päästöjen vähenemisestä, joka perustuu luvussa 2.2.7 kuvattuun päästöskenaarioon. Tämä päästöjen väheneminen näkyy erityisesti kartongin tuloksissa, joissa lasku on suurin. Kartonki korvaa muovia, jonka tuotannon aiheuttamat päästöt vähenevät tulevaisuudessa, kun tuotantoprosessien tarvitsema energia on vähäpäästöisempää. Myös markkinamassan ja

mekaanisten puutuotteiden tuloksissa näkyy vähentyneet vältetyt päästöt vuonna 2035. Kasvanut tuotanto, eli suurempi korvattavien tuotteiden määrä, riittää kuitenkin kompensoimaan korvattavien tuotteiden pienentyneet ominaispäästöt, ja näiden tuotekorien nettovaikutus kasvaa vuodesta 2017 vuoteen 2035 (Taulukko 18).

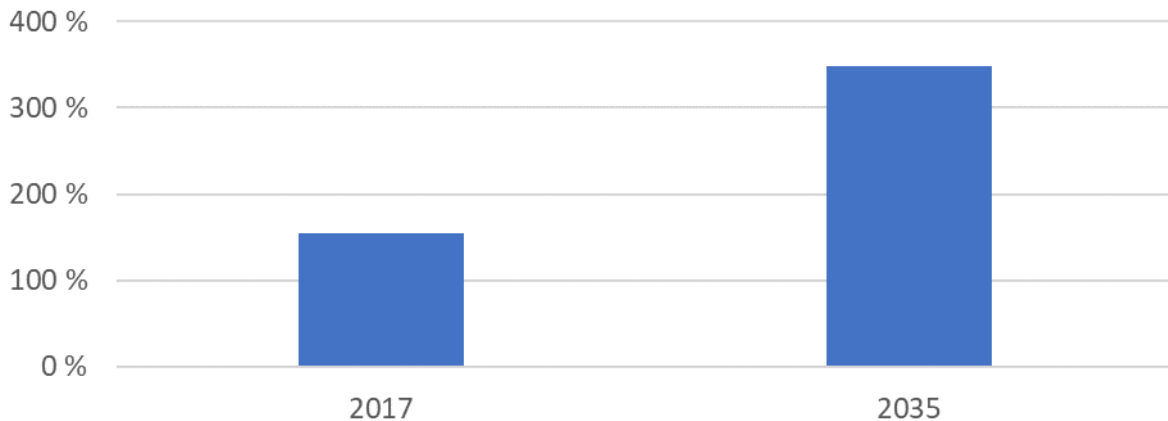
Taulukko 18. Ilmastovaikutustulokset (Mt CO₂e) vuosina 2017 ja 2035 tuotekoreihin jaoteltuina.

	2017	2035
<i>Markkinamassa</i>	-1,5	-2,1
<i>Painopaperi</i>	1,3	0,2
<i>Kartonki</i>	-10,8	-7,8
<i>Erikois- ja pehmopaperi</i>	-0,6	-0,6
<i>Mekaaniset puutuotteet</i>	-4,2	-4,3
<i>Uudet tuotteet</i>	-0,8	-3,0

Tuotekorikohtaisista nettotuloksista havaitaan, että ainoa tuotekori, jonka nettovaikutus on positiivinen, on painopaperi. Painopaperien tuotanto siis aiheuttaa enemmän päästöjä kuin sillä saavutetaan vältettyjä päästöjä. Painopapereille oletettiin vain energiahyötykäytön kautta tulevat vältetyt päästöt eikä suoraa tuotekorvausta. Korvattavan energian päästöt pienenevät huomattavasti vuonna 2035, joten vältetyt päästötkin pienenevät. Nettovaikutus jää kuitenkin suhteellisen pieneksi paperintuotannon päästöjen vähentyessä vuonna 2035.

Kun vältetyt päästöt suhteutetaan aiheutettuihin päästöihin, havaitaan, että suhteellinen hyöty kasvaa vuodesta 2017 vuoteen 2035 (Kuva 9). Aiheutetuilla päästöillä saavutetaan siis suurempi päästövähennys jokaista metsäteollisuuden päästöyksikköä kohti. Tämä johtuu metsäteollisuuden tuotteiden nopeasta päästökehityksestä, jolla arvoketjun päästöt tippuvat merkittävästi vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi metsäteollisuuden tuotantovolyymi kasvaa tuotekoreissa, joilla on suurimmat korvausvaikutukset, kuten kartongeissa ja mekaanisissa puutuotteissa, ja vähenee pienemmän korvausvaikutuksen tuotekoreissa, kuten painopapereissa. Tämän kehityksen seurauksena metsäteollisuuden tuotannon aiheuttamat päästöt vähenevät nopeammin kuin korvattavien tuotteiden päästöt, joten suhdeluku paranee metsäteollisuuden tuotteiden kannalta.

Tuloskuvaajissa 0 % tarkoittaa neutraalia tilannetta, jossa aiheutetut päästöt ja vältetyt päästöt ovat yhtä suuret, ja 100 % tarkoittaa vältettyjen päästöjen olevan kaksi kertaa niin suuret kuin aiheutetut päästöt.



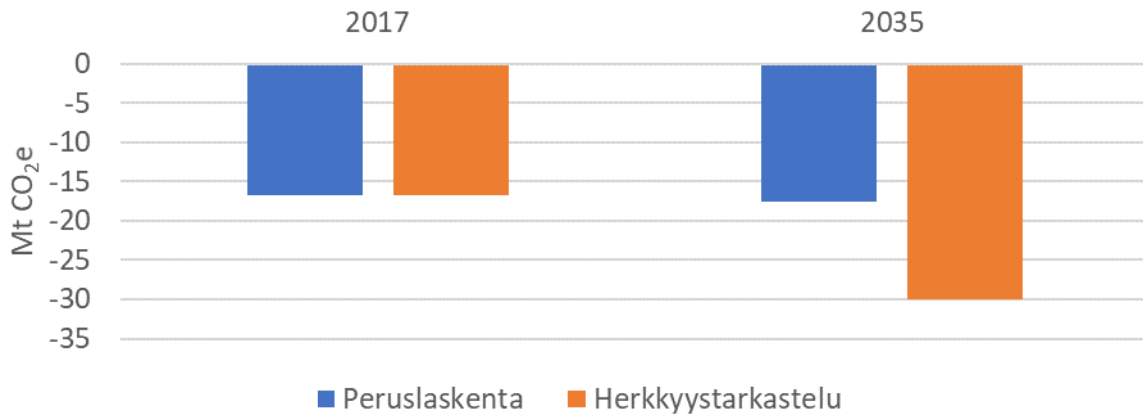
Kuva 9. Vältettyjen päästöjen suhde aiheutettuihin päästöihin. 0 % tarkoittaa aiheutettujen päästöjen ja vältettyjen päästöjen olevan yhtä suuret. Positiiviset prosenttiluvut tarkoittavat vältettyjen päästöjen olevan suuremmat kuin aiheutetut päästöt.

3.2 Herkkyystarkastelu

Tutkimustulokset perustuvat monilta osin ennusteisiin ja oletuksiin tulevaisuudessa tapahtuvasta kehityksestä sekä yksinkertaistuksiin tuoteryhmien sisältöön ja korvattaviin tuotteisiin liittyen. Tästä johtuen selvitettiin herkkyystarkastelulla merkittävimäksi oletetun tekijän, eli korvattavien tuotteiden ja metsäteollisuuden raaka-aineiden tulevaisuuden päästökehityksen, vaikutusta tuloksiin.

Tulevaisuuden päästökehityksen vaikutusta tutkittiin laskemalla tulokset ilman luvussa 2.2.7 kuvattua kehitystä, joka perustuu IEA:n ennusteeseen sähköntuotannon kehityksestä tulevaisuudessa. Korvattavien tuotteiden valmistuksen ja metsäteollisuuden käyttämien prosessikemikaalien ja liimojen valmistuksen aiheuttamille päästöille käytettiin siis samaa dataa myös vuoden 2035 laskennalle. Metsäteollisuuden tuotannon ja puunhankinnan päästöjen oletettiin kehittyvän samalla tavalla kuin varsinaisessa skenaariossa. Tällaista kehitystä, jossa Suomen metsäteollisuus kehittyy vähäpäästöisemmäksi muun maailman pysyessä ennallaan, voidaan pitää epärealistisena eikä sitä siksi tulisi käsitellä vaihtoehtoisena skenaariona. Herkkyystarkastelun tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon oletettu päästöjen väheneminen vaikuttaa lopputuloksiin ja niistä vedettäviin johtopäätöksiin.

Herkkyystarkastelutuloksista (Kuva 10) nähdään, että oletetulla päästökehitysskenaariolla on huomattavan suuri vaikutus lopputuloksiin. Peruslaskennassa metsäteollisuuden tuotteiden aikaansaama päästövähennyspotentiaali kasvaa noin miljoona CO₂e-tonnia vuodesta 2017 vuoteen 2035 siirryttäessä. Herkkyystarkastelussa päästövähennyspotentiaali sen sijaan kasvaa huomattavasti enemmän tulevaisuudessa, mikä johtuu metsäteollisuuden pienenevistä päästöistä ja kasvavasta tuotantovolyymista, joka korvaa suuremman määrän muita tuotteita, joiden ominaispäästöt pysyvät samoina.



Kuva 10. Peruslaskennan ja herkkyystarkastelulaskennan tulokset. Herkkyystarkastelussa korvattavien tuotteiden ja metsäteollisuuden käyttämien prosessikemikaalien ja liimojen päästöt pysyvät samoina kaikkina tarkasteluvuosina.

4. Johtopäätökset ja yhteenveto

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Suomen metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutus vuosina 2017 ja 2035. Menetelmänä käytettiin elinkaariarviointiin perustuvaa laskentatapaa, jolla metsäteollisuuden tuotteille määritettiin elinkaaren aikaiset päästöt sekä vältetyt päästöt, jotka oletettiin saavutettavan, kun metsäteollisuuden tuotteet korvaavat muista materiaaleista valmistettuja tuotteita markkinoilla. Tuotesysteemit rajattiin kattamaan elinkaaret raaka-aineiden hankinnasta tuotteiden valmistukseen asti.

Metsäteollisuuden tuoteportfolio jaettiin kuuteen tuotekoriin ja edelleen tarkempiin tuoteryhmiin. Tuoteryhmäjaolla haluttiin päästä riittävän tarkkoihin tuotetyppeihin, joilla voitiin olettaa olevan tarpeeksi samanlainen korvausvaikutus, jotta niitä voitaisiin käsitellä yhtenä yksikkönä. Tarkemmalla jaottelulla saavutettaisiin tarkemmat tulokset, mutta tämä vaatisi myös tarkemmat lähtötiedot, mikä ei tämän tutkimuksen puitteissa ollut mahdollista. Jako tuoteryhmiin aiheutti siis epävarmuutta laskentaan, mikä pyrittiin ottamaan huomioon tuoteryhmien massakorvaussuhteita määritettäessä.

Tutkimuksen lopputuloksena metsäteollisuuden tuotteiden ilmastovaikutukseksi arvioitiin -16,6 Mt CO₂e vuonna 2017 ja -17,5 Mt CO₂e vuonna 2035. Negatiiviset luvut tarkoittavat metsäteollisuuden tuotteiden aiheuttamien päästöjen olevan pienemmät kuin niiden ansiosta saavutetut vältetyt päästöt. Tuotteilla vuosittain saavutettava ilmastohyöty siis kasvaa vuoteen 2035 mennessä vajaalla miljoonalla hiilidioksidiekvivalentitonilla.

Merkittävimmät tuotteet olivat kartongit ja mekaaniset puutuotteet, jotka muodostivat suurimman korvausvaikutuksen. Uusien tuotteiden vaikutus oli varsin pieni vuonna 2017 pienehkön tuotantovolyymin vuoksi, mutta kasvoi huomattavasti merkittävämmäksi volyymin kasvaessa vuonna 2035. Myös markkinamassan korvausvaikutus kasvoi vuoteen 2035 kasvavan tuotantovolyymin myötä. Erikois- ja pehmopaperien vaikutus oli suhteellisen pieni ja pysyi lähes samana molempina tarkasteluvuosina. Ainoa tuotekori, jonka aiheutetut päästöt olivat suuremmat kuin vältetyt päästöt, oli painopaperi, mutta nettotulos painui lähes nolleen vuonna 2035 aiheutettujen päästöjen vähentyessä merkittävästi.

Tuloksiin merkittävimmin vaikuttavat tekijät olivat tuotantovolyymit ja niiden muutokset, metsäteollisuuden tuotannon päästökehitys ja korvattavien tuotteiden päästökehitys. Lisäksi valitut tuotekorvaavuudet ja niille määritetyt korvaussuhteet vaikuttivat oleellisesti lopputulokseen. Korvattavien tuotteiden päästökehityksen vaikutusta tutkittiin tarkemmin

herkkyystarkastelun avulla. Tulokset laskettiin ilman päästökehitystä vuodelle 2035, jolloin metsäteollisuuden tuotteiden ilmastohyöty kasvoi huomattavasti suuremmaksi. Tällaista tulevaisuutta voidaan pitää epärealistisena, mutta tuloksen perusteella nähdään, että korvattavien tuotteiden päästöintensivisyys tulevaisuudessa vaikuttaa huomattavasti metsäteollisuuden tuotteiden ilmastohyötyyn, ja voi vaikuttaa enemmän kuin metsäteollisuuden omien päästöjen vähentäminen.

Tulevaisuudessa sekä metsäteollisuuden tuotteiden että niillä korvattavien tuotteiden aiheuttamien päästöjen voidaan olettaa vähenevän. Tässä tutkimuksessa käytettyjen skenaarioiden mukaan suomalaisen metsäteollisuuden päästöjen oletetaan vähenevän huomattavasti nopeammin kuin globaalin tuotannon keskimäärin, mikä parantaa suomalaisten metsäteollisuustuotteiden asemaa suhteessa korvattaviin tuotteisiin. Metsäteollisuuden päästökehitysskenaarion mukaan suurimmat päästövähennykset on kuitenkin saatu aikaan jo vuonna 2035, jonka jälkeen uusilla päästövähennystoimenpiteillä saavutettava hyöty jää huomattavasti pienemmäksi. Myöskään tuotantovolyymin kautta saatavaa etua ei voi loputtomasti kasvattaa rajallisten metsäresurssien takia. Pitkällä aikavälillä metsäteollisuuden tuotteiden tulisi korvata entistä päästöintensivisempiä tuotteita ja parannettava korvaussuhdetta säilyttääkseen nykyisen ilmastohyödyn, joka tuotteilla saadaan aikaan.

Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon metsien käytön ilmastovaikutuksia, ja tulevaisuudessa kasvaviin tuotantovolyymeihin tarvittava hakkuumäärä saatiin annettuna skenaariona. Myöskään tuotteisiin sitoutunutta hiiltä ei huomioitu laskennassa, eikä metsäteollisuuden tuotteiden ja korvattavien tuotteiden loppukäsittelyjä. Tämän tutkimuksen tulokset antavat arvion potentiaalisesta korvausvaikutuksesta, joka Suomen metsäteollisuuden tuotteilla voi globaalisti olla nyt ja tulevaisuudessa, kun metsäteollisuuden tuotteiden ansiosta päästöintensivisempien tuotteiden valmistuksen päästöt jäävät syntymättä.

Lähdeviitteet

- Abejón, R. et al. (2020). When plastic packaging should be preferred: Life cycle analysis of packages for fruit and vegetable distribution in the Spanish peninsular market, Resources, Conservation and Recycling, Volume 155, April 2020. [viitattu 12.6.2020] <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104666>
- Alakangas, E. et al. (2016). Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Technical Research Centre of Finland. [viitattu 28.5.2020] <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf>
- AZoMaterials (2003). Polyethylene Terephthalate Polyester (PET, PETP) - Properties and Applications - Supplier Data by Goodfellow. [viitattu 2.6.2020] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2047>
- ChemicalBook (2017). 9004-35-7 Cellulose acetate, Product description. [viitattu 2.6.2020] https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_US_CB5196205.aspx
- Defra (2020). UK Statistics on Waste, Department for Environment, Food & Rural Affairs. [viitattu 28.5.2020] https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/874265/UK_Statistics_on_Waste_statistical_notice_March_2020_accessible_FINAL_rev_v0.5.pdf
- EPA (2020). Paper and Paperboard: Material-Specific Data, United States Environmental Protection Agency.). [viitattu 28.5.2020] <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/paper-and-paperboard-material-specific-data>
- Euroopan komissio (2020). Annex C to the PEF/OEF Methods (Updated May 2020). [viitattu 28.5.2020] <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>
- FEICA (2018). Reactive resins based on polyurethane or silanemodified polymer, unfilled/solvent-free, polyol-free, Environmental Product Declaration, FEICA - Association of the European Adhesive and Sealant Industry. [viitattu 11.6.2020] <https://www.feica.eu/our-priorities/edps>
- Gontia, P. (2014). Life cycle assessment of bio-based sodium poly-acrylate production from pulp mill side streams-Case at a TMP and sulphite pulp mill, Master's thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. [viitattu 11.6.2020] <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/203143/1/203143.pdf>
- Hallirakentajat (2020). Tuotteet & ratkaisut, Sandwich paneelit. [viitattu 2.6.2020] <http://hallirakentajat.fi/tuotteet-ratkaisut/sandwich-paneelit/>
- Haverinen, A-R. (2018). Laadunhallinnan kehittäminen taivekartongin valmistuksessa. Diplomityö. Lappeenranta teknillinen yliopisto. [Viitattu 2.6.2020] <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018042719245>
- Hettiarachchi, H. et al. (2018). Municipal Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean: Issues and Potential Solutions from the Governance Perspective, Recycling 2018, 3, 19. [viitattu 28.5.2020] <https://doi.org/10.3390/recycling3020019>
- IEA (2019), World Energy Outlook 2019, IEA, Paris. [viitattu 28.5.2020] <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>

- IPCC (2019). Waste generation, composition and management data, Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 2. [viitattu 28.5.2020] https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5_Volume5/19R_V5_2_Ch02_Waste_Data.pdf
- Kreze, T. et al. (2001). The sorption behaviour of cellulose fibres. [viitattu 2.6.2020] https://www.researchgate.net/publication/237238342_The_sorption_behaviour_of_cellulose_fibres
- Lindström, F. (2018). Chemical and physical changes in PET fibres due to exhaust dyeing. Master's thesis. The Swedish School of Textiles, University of Borås. [viitattu 2.6.2020]
- LIPASTO (2017). LIPASTO - Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. [viitattu 11.6.2020] <http://lipasto.vtt.fi/>
- Markwardt, S. et al. (2017). Comparative Life Cycle Assessment of Tetra Pak® carton packages and alternative packaging systems for liquid food on the Nordic market, Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu). [viitattu: 1.6.2020] https://www.ifeu.de/oekobilanzen/pdf/LCA_Nordic_final_report_incl_Critical_Review.pdf
- Parma (2019a). TB-Suorakaidepilari, Ympäristöseloste, RTS EPD, RTS_30_19, Parma Oy. [viitattu 11.6.2020] https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rtsepd_30-19_parma_tb-suorakaidepilari-1.pdf
- Parma (2019b). Ontelolaatta, Ympäristöseloste, RTS EPD, RTS_28_19, Parma Oy. [viitattu 11.6.2020] https://cer.rts.fi/wp-content/uploads/rtsepd_28-19_parmaoy_ontelolaatta-1.pdf
- PlasticsEurope (2020). Polyolefins. [viitattu 2.6.2020] <https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics/large-family/polyolefins>
- Polymer Properties Database (2018). Polystyrene. [viitattu 2.6.2020] <https://polymerdatabase.com/polymers/polystyrene.html>
- Puuinfo (2020a). Puutieto, Levytuotteet, Vaneri. [viitattu 2.6.2020] <https://www.puuinfo.fi/puutieto/levytuotteet/vaneri>
- Puuinfo (2020b). Puutieto, Levytuotteet, Lastulevy. [viitattu 2.6.2020] <https://www.puuinfo.fi/puutieto/levytuotteet/lastulevy>
- Recycling International (2017). [viitattu 28.5.2020] <https://recyclinginternational.com/paper/new-record-of-74-5-recovered-paper-use-in-germany/2859/>
- Ruukki (2014). Maalipinnoitetut teräksiset rakennustuotteet, Ympäristöseloste, Ruukki Construction Oy. [viitattu 11.6.2020] https://www.ruukki.com/docs/default-source/b2b-documents/facades/joint-folder/fi-epd-rc-maalipinnoitetut.pdf?sfvrsn=88e68184_2
- SONGWON (2018). Super absorbent polymers (SAPs). Version 3, May 2018. SONGWON Publication. [Viitattu 2.6.2020] https://www.songwon.com/assets/images/contentModelImages/SONGWON_Technical_Sheet_Super-Absorbent-Polymers_V3.pdf
- Statista (2019). Recycling rate for paper and cardboard in China from 2009 to 2018. [viitattu 28.5.2020] <https://www.statista.com/statistics/1076772/china-paper-recycling-rate/>

- TerraCast (2016). The Differences between LLDPE, LDPE & HDPE. Blog. TerraCast Products. [viitattu 2.6.2020] <https://www.terracastproducts.com/differences-llpe-ldpe-hdpe/#:~:text=That's%20why%20LLDPE%20is%20much,and%20planters%20on%20the%20market>
- Teräsrakenneyhdistys (2020). Teräs materiaalina, Terästä ja rautaa. [viitattu 2.6.2020] <http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/teras-materiaalina/terasta-ja-rautaa/>
- The Guardian (2019). How will a domestic waste recycling industry work in Australia?. [viitattu 28.5.2020] <https://www.theguardian.com/environment/2019/aug/14/how-will-a-domestic-waste-recycling-industry-work-in-australia>
- Tilastokeskus (2018). Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-3339. 2018, Yhdyskuntajätekertymä 2018, tonnia . Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 28.5.2020]. http://www.stat.fi/til/jate/2018/jate_2018_2020-01-15_tau_001_fi.html
- UNEP (2017). Asia Waste Management Outlook, United Nations Environmental Programme. [viitattu: 28.5.2020] <http://www.rrcap.ait.asia/Publications/Asia%20Waste%20Management%20Outlook.pdf>
- UPM (2020a). UPM FlexPack, UPM Paper Catalogue. [viitattu 2.6.2020] <https://www.upmpaper.com/products/paper-catalogue/categories/packaging-papers/upm-flexpack/>
- UPM (2020b). UPM UniquePack Strong, UPM Paper Catalogue. [viitattu 2.6.2020] <https://www.upmpaper.com/products/paper-catalogue/categories/packaging-papers/upm-uniquepack-strong/>
- UPM (2020c). UPM WISA-Multiwall. [viitattu 2.6.2020] <https://www.wisaplywood.com/siteassets/documents/brochures/wisa-multiwall-fs.pdf>
- Vares, S., Häkkinen, T., & Vainio, T. (2017). Rakentamisen hiilivarasto. VTT Technical Research Centre of Finland. VTT Asiakasraportti, No. VTT-CR-04958-17 [viitattu: 1.6.2020] <https://cris.vtt.fi/en/publications/rakentamisen-hiilivarasto>
- Venäläinen, P. et al. (2019). Puunkorjuun ja kuljetusten päästöjen nykytila ja vähennyskeinot, Metsäteho Oy, Metsätehon tuloskalvosarja 12/2019. [viitattu 28.5.2020] <http://www.metsateho.fi/puun-korjuun-ja-kuljetusten-paastojen-nykytila-ja-vahennyskeinot/>

LIITE A Markkina-alueosuudet tuotekoreittain

Taulukko 19. Tuotteiden käyttö Suomessa ja vienti ulkomaille, osuus prosentteina. Osuuksia käytettiin tuotteiden energiahyötykäytön mallintamiseen. Kemiallisen massan kotimaan käytön oletettiin pysyvän vakiona, jolloin kasvavasta tuotantomäärästä suurempi suhteellinen osuus menee vientiin vuonna 2035. Mekaanisille puutuotteille ja uusille tuotteille ei laskettu energiahyötykäyttöä, joten niiden markkina-alueosuuksia ei käytetty laskennassa.

		Suomi	Saksa	UK	Muu Euroop- ppa	Kiina	Muu Aasia	P- Ameri- kka	E- Ameri- kka	Muut
Markkina- -massa	Mekaa- niset massat	100	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kemial- liset massat 2017	22,6	9,6	0,9	28,1	30,3	5,3	0,2	0,2	2,8
	Kemial- liset massat 2035	15,4	10,4	1,0	30,7	33,1	5,7	0,2	0,2	3,0
Paino- paperi	Sanoma- lehtipaperi	12,9	31,7	4,4	32,1	0,4	7,4	0,0	1,1	10,0
	Aikakaus- lehtipaperi	0,0	14,4	8,2	33,3	1,0	11,3	18,2	5,0	8,5
	Hieno- paperit	32,1	15,1	9,3	28,7	0,3	4,5	4,6	2,1	3,3
Kartonki	Sisä- pakkaus- kartongit	0,0	15,1	6,2	47,0	1,3	11,8	6,7	6,8	5,0
	Aalto- pahvin raaka- aineet	57,6	0,6	0,4	18,4	0,3	8,8	2,4	8,2	3,3
Erikois- ja pehmo- paperi	Erikois- paperit	0,0	36,0	7,9	30,0	1,1	1,5	20,2	3,4	0,0
	Säkki- paperit	94,0	0,2	0,3	1,9	0,2	0,3	0,3	1,9	1,1
	Pehmo- paperit	85,8	6,2	0,5	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9

LIITE B Käytetyt tietolähteet

Taulukko 20. Käytetyt tietolähteet. Ecoinvent-tietokannasta käytössä versio 3.5.

Metsäteollisuuden tuotteet	Tietolähde	Datasetin nimi	Referenssivirta	Lokaatio
<i>Mekaaniset massat</i>	Ecoinvent	sodium sulfite production	sodium sulfite	RER
		chlor-alkali electrolysis, membrane cell	sodium hydroxide, without water, in 50% solution state	RER
<i>Kemialliset massat</i>	Ecoinvent	chlor-alkali electrolysis, membrane cell	sodium hydroxide, without water, in 50% solution state	RER
		sodium chlorate production, powder	sodium chlorate, powder	RER
		air separation, cryogenic	oxygen, liquid	RER
		hydrogen peroxide production, product in 50% solution state	hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state	RER
		magnesium sulfate production	magnesium sulfate	RER
		sulfuric acid production	sulfuric acid	RER
		quicklime production, milled, loose	quicklime, milled, loose	RoW
<i>Sanomalehtipaperit</i>	Ecoinvent	calcium carbonate production, precipitated	calcium carbonate, precipitated	RER
		kaolin production	kaolin	RER
<i>Aikakauslehtipaperit</i>	Ecoinvent	calcium carbonate production, precipitated	calcium carbonate, precipitated	RER
		kaolin production	kaolin	RER
		polyester-complexed starch biopolymer production	polyester-complexed starch biopolymer	RER
		latex production	latex	RER
		malusil production	malusil	RER
<i>Hienopaperit</i>	Ecoinvent	polyester-complexed starch biopolymer production	polyester-complexed starch biopolymer	RER

<i>Sisäpakkauskartongit</i>		kaolin production	kaolin	RER
		calcium carbonate production, precipitated	calcium carbonate, precipitated	RER
	Ecoinvent	calcium carbonate production, precipitated	calcium carbonate, precipitated	RER
		kaolin production	kaolin	RER
		polyester-complexed starch biopolymer production	polyester-complexed starch biopolymer	RER
		latex production	latex	RER
		malusil production	malusil	RER
<i>Aaltopahvin raaka-aineet</i>	Ecoinvent	packaging film production, low density polyethylene	packaging film, low density polyethylene	RER
		polyester-complexed starch biopolymer production	polyester-complexed starch biopolymer	RER
<i>Sahatavara</i>	Ecoinvent	market for phenolic resin	phenolic resin	RER
		market for melamine formaldehyde resin	melamine formaldehyde resin	RER
	FEICA 2018	Reactive resins based on polyurethane or silane-modified polymer, unfilled/solvent-free, polyol-free		
<i>Vaneri</i>	Ecoinvent	market for phenolic resin	phenolic resin	RER
<i>Lastu- ja kuitulevyt</i>	Ecoinvent	market for melamine formaldehyde resin	melamine formaldehyde resin	RER
		market for urea formaldehyde resin	urea formaldehyde resin	RER
<i>Erikoispaperit</i>	Ecoinvent	calcium carbonate production, precipitated	calcium carbonate, precipitated	RER
		kaolin production	kaolin	RER
		polyester-complexed starch biopolymer production	polyester-complexed starch biopolymer	RER
		latex production	latex	RER
		malusil production	malusil	RER
		packaging film production, low density polyethylene	packaging film, low density polyethylene	RER

<i>Säkkipaperit</i>	Ecoinvent	rosin size production, for paper production	rosin size, for paper production	RER
		polyester-complexed starch biopolymer production	polyester-complexed starch biopolymer	RER
<i>Pehmopaperit</i>	Ecoinvent	rosin size production, for paper production	rosin size, for paper production	RER
		polyester-complexed starch biopolymer production	polyester-complexed starch biopolymer	RER
<i>Biopolttoaineet</i>	Ecoinvent	hydrogen cracking, APME	hydrogen, liquid	RER
<i>Kemikaalit</i>	Ecoinvent	chemical production, inorganic	chemical, inorganic	GLO
<i>Biomuovit</i>	Ecoinvent	acetic acid production, product in 98% solution state	acetic acid, without water, in 98% solution state	RER
		sulfuric acid production	sulfuric acid	RER
		ethyl acetate production	ethyl acetate	RER
		dichloromethane production	dichloromethane	RER
		methanol production	methanol	GLO
<i>Puunhankinta</i>				
<i>Puun korjuu</i> <i>Puun kuljetus</i>	Metsäteho (Venäläinen et al. 2019)	Metsätehon tulosalvosarja 12/2019	Puun korjuun ja kuljetusten päästöjen nykytila ja vähennyskeinot	
<i>Polttoaine</i>	Ecoinvent	market for diesel, low-sulfur	diesel, low-sulfur	Europe without Switzerland
<i>Korvattavat tuotteet</i>				
<i>SAP</i>	Gontia 2014	Fossil-based polymer		
<i>Muovit</i>	Ecoinvent	polyethylene terephthalate production, granulate, amorphous	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous	RoW
		polyethylene terephthalate production, granulate, amorphous, recycled	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, recycled	RoW

		packaging film production, low density polyethylene	packaging film, low density polyethylene	RER
		packaging film production, low density polyethylene (unit process)	packaging film, low density polyethylene	RER
		extrusion, plastic film	extrusion, plastic film	RER
		polyethylene production, high density, granulate	polyethylene, high density, granulate	RER
		polyethylene production, high density, granulate, recycled	polyethylene, high density, granulate, recycled	Europe without Switzerland
		polyethylene production, low density, granulate	polyethylene, low density, granulate	RER
		polyethylene production, linear low density, granulate	polyethylene, linear low density, granulate	RER
		polypropylene production, granulate	polypropylene, granulate	RER
		polystyrene production, general purpose	polystyrene, general purpose	RER
	GaBi Professional Database	Polyethylene terephthalate fibres (PET)	Polyethylene terephthalate fibres (PET)	EU-28
<i>Betoni</i>	Parma 2019a	TB-Suorakaidepilari		
	Parma 2019b	Ontelolaatta		
<i>Teräs</i>	Ecoinvent	reinforcing steel production	reinforcing steel	RER
	Ruukki 2014	Maalipinnoitetut teräksiset rakennustuotteet		
<i>Diesel</i>	Ecoinvent	market for diesel, low-sulfur	diesel, low-sulfur	Europe without Switzerland
<i>Kemikaali</i>	Ecoinvent	chemical production, organic	chemical, organic	GLO
<i>Energia</i>	Ecoinvent	market for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	FI
		market for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	DE

		market for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	GB
		market group for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	RER
		market group for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	CN
		market group for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	RAS
		market group for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	RNA
		market group for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	RLA
		market group for electricity, medium voltage	electricity, medium voltage	GLO
Kuljetukset				
<i>Raaka- ainekuljetusvälineet</i>	LIPASTO	Täysperävaunuyhdistelmät (60 t), EURO VI		
<i>Polttoaine</i>	Ecoinvent	market for diesel, low-sulfur	diesel, low-sulfur	Europe without Switzerland