

**TUOTTEEN HIILIJALANJÄLJEN MÄÄRITYS: CASE PAPERI-  
MUOVILAMINAATTI**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Forssa, Kestävä kehitys

Kevät, 2019

Niina-Maria Strand

Kestävä kehitys  
Forssa

---

<b>Tekijä</b>	Niina-Maria Strand	<b>Vuosi</b> 2019
<b>Työn nimi</b>	Tuotteen hiilijalanjalan määritys: case paperi-muovilaminaatti	
<b>Työn ohjaaja</b>	Sanna Hakkarainen	

---

## TIIVISTELMÄ

Yritykset ovat vastuussa tuotteistaan ja niiden aiheuttamista vaikutuksista vesistöihin, maaperään ja ilmakehään. Yksi osa yritysten ympäristö vastuuta on tuotteiden aiheuttama ilmastokuorman vähentäminen. Hiilijalanjälki kuvaa tuotteen elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä- ja poistumia ja on siten yksi työkalu tuotteen ilmastovaikutusten kartoittamiseen.

Opinnäytetyössä määritettiin alustava hiilijalanjälki erään suomalaisen konsernin valmistamille erikoispakkausmateriaaleille. Paperi-muovilaminaatti on joustopakkaamiseen tarkoitettu yhdistelmä materiaali, jonka raaka-aineena käytetään paperia ja muovikalvoa. Työn toimeksiantona oli hiilijalanjalan laskemisen lisäksi laatia suunnitelma selvityksen tulosten hyödyntämiseksi sekä tunnistaa mahdolliset jatkotutkimuskohteet.

Opinnäytetyön tutkimusosa pohjautui tuotteen hiilijalanjalan laskemista ja viestimistä käsittelevän ISO 14067 -standardin vaatimukseen sekä joustopakkausten tuoteryhmäkohtaisiin ohjeisiin. Käytännön laskennassa on hyödynnetty PAS 2050 -ohjeistusta. Selvitys laadittiin kahdelle paperi-muovilaminaattituotteelle tuhatta laminaattimetriä kohti. Laminaattien elinkaarta tarkasteltiin selvityksissä kehdosta portille.

Hiilijalanjalan suuruuteen vaikutti eniten raaka-aineiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöt. Toiseksi suurimmat päästöt syntyivät jätteiden käsittelystä. Laminaattien tuotannon aikaiset päästöt olivat sen sijaan vähäiset.

**Avainsanat** Hiilijalanjälki, kasvihuonekaasupäästöt, elinkaari, hiilidioksidiekvivalentti

**Sivut** 64 sivua

Degree Programme in Sustainable Development  
Forssa

---

<b>Author</b>	Niina-Maria Strand	<b>Year</b> 2019
<b>Subject</b>	Defining Carbon Footprint of a Product: Case Paper-Polymer Film Laminate	
<b>Supervisor</b>	Sanna Hakkarainen	

---

#### ABSTRACT

Organizations are responsible for their products and their impact on the bodies of water, soil and atmosphere. Reducing the burden on climate caused by the products is a part of environmental liability of organizations. The carbon footprint (CFP) represents greenhouse gas (GHG) emissions and removals over the life-cycle of a product, being one of the tools used for researching the climatic effect of a product.

In this thesis, the initial CFP was quantified for packaging material produced by certain Finnish corporation. Paper-polymer film laminate is a combination material made from paper and polymer film, used for flexible packaging. In addition to the calculation of the CFP, the main purpose of the thesis was to compile a program on how to utilize the results of the CFP study and identify the potential subjects for further research.

The CFP study was based on the principles of ISO 14067 technical specification detailing the quantification and communication of product CFP to the intended audience, as well as guidance of flexible packaging product category rules. In addition, the practical calculation method represented in the PAS 2050 specification was also utilized in the study. Two paper-polymer laminates were chosen as the subjects of the study, where the CFP was calculated to 1 000 meters of laminate. The life-cycles of the laminates were examined from cradle-to-gate.

The GHG emissions released in production of raw materials affected the CFP most. Second most significant emissions were recorded in the process of waste management. However, emissions that originated from the actual production phase of a laminate, were minor.

**Keywords** Carbon footprint, GHG emissions, life-cycle, carbon dioxide equivalent

**Pages** 64 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	HIILIJALANJÄLKI .....	2
2.1	Elinkaariarviointi hiilijalanjäljen pohjana .....	2
2.2	Hiilijalanjäljen käyttö.....	3
2.3	Rajoitukset.....	3
2.4	Hiilijalanjälki ja ilmastonmuutos .....	4
2.4.1	Kasvihuonekaasut.....	5
2.4.2	Toimet kasvihuonekaasujen hillitsemiseksi .....	7
3	TUOTTEEN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN .....	8
3.1	Tuotejärjestelmä .....	9
3.2	Toiminnallinen yksikkö ja vertailuvirta .....	11
3.3	Laskennan periaatteet.....	12
3.4	Ohjeistukset.....	13
3.4.1	Elinkaariarvioinnin standardit ISO 14040 ja ISO 14044.....	14
3.4.2	Tuotteen hiilijalanjäljen standardi ISO/TS 14067 .....	14
3.4.3	PAS2050-spesifikaatio .....	14
3.4.4	Tuoteryhmäkohtaiset säännöt .....	15
3.5	Hiilijalanjälkiselvityksen vaiheet.....	16
3.5.1	Tavoitteet ja soveltamisala.....	17
3.5.2	Elinkaari-inventaarivaihe.....	18
3.5.3	Vaikutusarviointi.....	20
3.5.4	Tulosten tulkinta.....	21
3.5.5	Raportointi.....	22
3.6	Hiilijalanjäljen viestiminen .....	23
4	PAPERI-MUOVILAMINAATTI YHDISTELMÄMATERIAALINA .....	24
5	PAPERI-MUOVILAMINAATIN ELINKAARI .....	26
5.1	Raaka-aineiden valmistus.....	28
5.1.1	Polyeteenin, polypropeenin ja polyeteenitereftalaatin valmistus.....	28
5.1.2	Kalvon valmistus .....	31
5.1.3	Kemiallisen massan valmistus .....	32
5.1.4	Paperin valmistus .....	33
5.1.5	Painopaperin täyteaineet .....	34
5.2	Paperi-muovilaminaatin valmistus.....	35
5.2.1	Paino .....	35
5.2.2	Liimalaminointi .....	36
5.3	Jatkojalostus.....	37
5.4	Käyttövaihe.....	38
5.5	Loppusijoitus .....	39
5.6	Elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen .....	39
6	PAKKAUSTEN HIILIJALANJÄLKIMERKINNÄT SUOMESSA .....	40

6.1	Kariniemen hunajamarinoidut broilerin fileesuikaleet .....	41
6.2	Sinileima Emmental-juusto .....	41
6.3	Elovena-kaurahiutaleet .....	42
6.4	Raisio Oyj:n hiilimerkinnät .....	42
7	PAPERI-MUOVILAMINAATIN HIILIJALANJÄLJEN SELVITTÄMINEN .....	43
7.1	Tavoitteet ja soveltamisala .....	44
7.1.1	Tuotteen valinta .....	44
7.1.2	Toiminnallinen yksikkö .....	45
7.1.3	Tuotejärjestelmä .....	46
7.1.4	Lähtötietojen laatuvaatimukset .....	48
7.2	Elinkaari-inventaarioanalyysi .....	48
7.3	Vaikutusarviointi ja tulokset.....	53
8	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	54
9	KEHITYSEHDOTUKSET .....	55
	LÄHTEET .....	58

## 1 JOHDANTO

Kasvihuonekaasuja syntyy ja poistuu tuotteen raaka-aineiden valmistuksesta jätteen loppusijoitukseen saakka, koko elinkaaren ajan. Yritykset ovat vastuussa tuotteistaan ja niiden vaikutuksista ympäristöön myös kasvihuonekaasujen kohdalla. Kuluttajien kasvava ympäristötietoisuus ja ekotehokkuutta ajavan lainsäädännön luoma paine kannustaa yrityksiä kehittämään ilmastoystävällisempiä ratkaisuja. Tuotteen, palvelun tai kokonaisen yrityksen hiilijalanjäljen selvittäminen on yksi keino tukea tällaista ympäristötyötä.

Hiilijalanjälki kuvaa tuotteen tai palvelun aiheuttamaa ympäristökuormaa koko sen elinkaaren ajalta. Arvo kertoo kasvihuonekaasujen, kuten hiilidioksidin, metaanin ja typen oksidien, päästöt ilmakehään. Ihmiskunnan toiminnan seurauksena syntyvät kasvihuonekaasut voimistavat maapallon luonnollista kasvihuoneilmiötä, jonka seurauksena maapallon keskilämpötila nousee.

Kasvihuonekaasujen vähentäminen on keskeinen osa kestävämmän tulevaisuuden rakentamista. Ympäristön ja kehityksen maailmankomissio määritteli vuonna 1987 kestävä kehityksen kehitykseksi, joka tyydyttää nykyisten sukupolvien perustarpeet vaarantamatta tulevien sukupolvien mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa. Ajattelu ja toimintatavat on siis muutettava sellaisiksi, että ne mahdollistavat hyvän elämän jatkumisen sukupolvelta toiselle. Ylisukupolvisuuden näkökulma on tärkeä ilmastonmuutoskeskustelussa, sillä kyseessä on ilmiö, jota ihmiset ovat aiheuttaneet jo vuosikymmeniä mutta jonka merkittävimmät seuraukset ilmenevät todennäköisesti vasta seuraavien sukupolvien eläessä. (Virtanen, 2011a, 11.)

Ihmisen oma toiminta vaikuttaa olennaisesti siihen, miten eläminen ja asuminen muokkaavat ympäristöä, mutta nykyisin myös tuotannolla ja kulutuksella on globaali ulottuvuus. Luonnonvarojen logistiset ketjut ovat laajat, kun tuotteita valmistetaan ympäri maailmaa ja kuljetetaan kauas syntysijoiltaan kuluttajien ulottuville. (Virtanen, 2011a, 12.)

Virtasen (2011b, 12) mukaan globalisoituneessa maailmassa toimiminen edellyttää paikallisen toiminnan laajempien vaikutusten näkemistä, mihin hiilijalanjälki tuo yhden ratkaisun. Hiilijalanjäljen hyödyntämismahdollisuudet ovat lukuisat: sen kautta voidaan arvioida tuotantoketjun päästöjä ja sitä voidaan käyttää osana yrityksen ilmastostrategian seuranta. Se mahdollistaa päästölähteiden tunnistamisen ja tarjoaa siten avaimet päästöjen vähentämiseen. Arvoa voidaan hyödyntää myös tuotemerkinnöissä, jolloin se viestii asiakkaalle vastuullisuudesta ja toimii kilpailuvalttina.

Näistä lähtökohdista ryhdyttiin määrittämään paperi-muovilaminaatin hiilijalanjälkeä. Paperi-muovilaminaatti on joustopakkaamiseen tarkoitettu yhdistelmä materiaali, jonka raaka-aineena käytetään nimensä mukaisesti paperi- ja polymeerikalvoa. Opinnäytetyön tavoitteina oli laskea kahden paperi-muovilaminaatin hiilijalanjälki, laatia suunnitelma tiedon hyödyntämiseksi sekä tunnistaa mahdolliset jatkotutkimuskohteet. Opinnäytetyön tilaajana toimi eräs suomalainen pakkausmateriaaleja valmistava konserni.

## 2 HIILIJALANJÄLKI

ISO/TS 14067 -standardin (2013, 12) määritelmän mukaan tuotteen hiilijalanjälki CFP (carbon footprint) on valikoidun tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien summa, joka ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttina (CO<sub>2</sub>-ekv.). Tuotteen elinkaaren ajatellaan etenevän raaka-aineiden hankinnasta tuotteen valmistukseen, käyttövaiheeseen ja loppukäsittelyyn saakka. Jos selvityksen kohteena olevan tuotteen, palvelun tai yrityksen elinkaareen on tehty rajauksia, puhutaan osittaisesta hiilijalanjäljestä.

Hiilijalanjälkiselvityksen perimmäisenä tavoitteena on selvittää tuotteen tai palvelun potentiaalinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen. Kasvihuonekaasujen ilmastonlämmitysvaikutukset poikkeavat huomattavasti toisistaan, jolloin tarvitaan hiilidioksidiekvivalentin kaltaista yhteismittaa. Se ilmaisee kasvihuonekaasun vaikutusta ilmaston lämpenemiseen hiilidioksidin verrattuna. Arvo saadaan kertomalla kasvihuonekaasun massa sen ilmaston lämmityspotentiaalikerroimella eli GWP-kerroimella (Global Warming Potential). (ISO/TS 14067/2013, 38.)

### 2.1 Elinkaariarviointi hiilijalanjäljen pohjana

Hiilijalanjälkilaskenta perustuu elinkaariarviointiin (LCA, Life Cycle Analysis), joka on yritysten ympäristöhallinnan menetelmä tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristökuormitusten ja niiden vaikutusten selvittämiseen. Elinkaariajatteluun pohjautuvan menetelmän mukaan tuottamisen ja kuluttamisen ympäristövastuut ulottuvat tuotteiden raaka-aine- ja energiapanosten hankinnasta valmistukseen, käyttöön ja käytöstä poistamiseen saakka. (Loikkanen ym., 1999, 1.)

Elinkaariarviointi tapahtuu määrittämällä tutkittavan tuotejärjestelmän energian kulutus, prosesseissa käytetyt luonnonvarat ja raaka-aineet, aiheutuneet päästöt ympäristöön sekä muut ympäristörasitukset, jonka jälkeen arvioidaan niiden vaikutuksia ympäristöön. Elinkaariarvioinnissa karotettavia ympäristövaikutuksia ovat esimerkiksi happamoituminen, rehevöityminen, otsonikato ja ilmastonmuutos. Hiilijalanjälkiselvitys keskittyy

ainoastaan tuotteen ilmastonmuutosvaikutukseen. Pohjimmiltaan hiilijalanjälkilaskentaa voidaan pitää yksinkertaistettuna elinkaariarviointina. (Loikkanen ym., 1999, 2.)

## 2.2 Hiilijalanjäljen käyttö

Hiilijalanjälkeä voidaan hyödyntää yritystasolla monin keinoin. Hiilijalanjälki auttaa ennen kaikkea tunnistamaan tuotejärjestelmän kasvihuonekaasupäästöt ja paikantamaan tuotantoprosessin päästölähteet. Kun päästölähteet ovat tiedossa, kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen, seuranta ja arvioiminen helpottuu ja ylipäänsä mahdollistuu. Laskennasta hyötyvät niin organisaatiot, hallitukset, yhteisöt kuin niiden sidosryhmätkin. (ISO/TS 14067/2013, 6.)

Hiilijalanjälki tukee organisaation sitoutumista ilmastonmuutoksen torjumiseen ja ilmastonmuutoksen hallintaa koskevien toimintaperiaatteiden toteuttamista (ISO/TS 14067/2013, 8). Kasvihuonekaasupäästöjen seuranta mahdollistaa tuotteen elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasujen hallintastrategioiden- ja suunnitelmien kehitystyön. Käytännössä hiilijalanjälkeä hyödynnetään vaihtoehtoisten tuotesuunnitelmien teossa, kuten harkittaessa uusia hankkimisvaihtoehtoja, raaka-ainevalintoja tai tuotanto- ja valmistusmenetelmiä. Sen avulla voidaan tehostaa myös kierrättämisen ja käytöstä poistamisen prosesseja. (ISO/TS 14067/2013, 6.)

Laskenta tuottaa tietoa organisaation sidosryhmille. Se tarjoaa tietoa kuluttajille ja muille tahoille päätöksentekoa varten. (ISO/TS 14067/2013, 8.) Hiilijalanjäljen suosio ilmastonmuutoksen mittarina on kasvanut viime vuosien ajan, koska se ilmaisee selkeästi tuotteen tai palvelun ilmastokuorman: mitä pienempi hiilijalanjälki, sitä parempi tuote (Pohjola, 2011, 339). Kuluttajia voidaan rohkaista muuttamaan käyttäytymistään ilmastoystävällisempään suuntaan hiilijalanjälkimerkintöjen avulla. Tämä voi aikaansaada positiivisen kierteen ilmaston lämpenemisen kannalta: hiilijalanjäljen avulla sidosryhmien ilmastonmuutostietoisuutta voidaan parantaa, jolloin kuluttajien valistuneemmat osto-, käyttö- ja käytöstä poistamispäätökset vähentävät osaltaan kasvihuonekaasuja. (ISO/TS 14067/2013, 6.)

## 2.3 Rajoitukset

Vaikka hiilijalanjälki on arvona yksinkertainen ja selkeä, sen laskeminen on yleensä hyvin monimutkainen prosessi, joka sisältää paljon epävarmuuksia. Yleisesti hiilijalanjälkiselvityksen epävarmuudet liittyvät erilaisten toimintatapojen lähtötietoihin, kuten tuotejärjestelmän energianlähteisiin tai mittausten menetelmiin. Erityisesti lähtötiedon puutteet tai tiedon huono laatu voivat vääristää hiilijalanjäljen tulosta. Myös keskimääräisiin tilastollisiin arvoihin tai arvioihin pohjautuvat laskelmat saattavat olla voimakkaasti harhaanjohtavia. (Pohjola, 2011, 339.)



Hiilijalanjäljen laskentaan liittyy myös rajaamisen ongelmia, kuten elinkaariarviointeihin yleensäkin. Selvitykset ovat melko työläitä toteuttaa, jolloin voi olla perusteltua yksinkertaistaa prosessia rajaamalla ei-merkityksellisiä tekijöitä laskennan ulkopuolelle. Rajaaminen voi kohdistua esimerkiksi tiettyihin kasvihuonekaasuihin, prosessin osiin tai itse tuotteen elinkaareen. On kuitenkin haastavaa päättää yksiselitteisesti, mitä tekijöitä laskentaan otetaan mukaan ja mitä ei, jolloin päätöksenteko selvityksen taustalla pohjautuu viime kädessä arvovalintoihin, mikä voi puolestaan heikentää selvitysten objektiivisuutta. (Pohjola, 2011, 339.)

Eri hiilijalanjätkiselvitysten keskinäinen vertailu on vaikeaa erilaisten laskentaohjeistusten ja -menetelmien vuoksi. Yleensä ottaen kahden tuotteen hiilijalanjäljet eivät ole vertailukelpoisia keskenään, ellei selvityksiä ole toteutettu täysin samalla tavalla. Jo pelkkä poikkeama elinkaaren rajauksessa tekee vertailusta mahdotonta.

Lisäksi hiilijalanjälki kuvaa ainoastaan tuotteen elinkaaren aikaisia kasvihuonepäästöjä, eikä ota kantaa tuotteen muihin mahdollisiin ympäristövaikutuksiin. Tuotteen elinkaaren aikaiset sosiaaliset ja taloudelliset näkökulmat ja vaikutukset rajautuvat laskennan ulkopuolelle, eikä hiilijalanjälki kykene esittämään niiden vaikutuksia. (ISO/TS 14067/2013, 8.)

#### 2.4 Hiilijalanjälki ja ilmastonmuutos

Hiilijalanjälki on työkalu kasvihuonekaasujen vähentämiseen ja siten keino torjua ilmaston lämpenemistä aiheuttavaa kasvihuoneilmiötä. Kasvihuoneilmiö on maapallon ilmakehässä tapahtuva luonnollinen ilmiö, joka mahdollistaa elämän maapallolla: ilmakehän kasvihuonekaasut pidättävät auringon lämpösäteilyä lasikaton tavoin, jolloin maapallon keskilämpötila pysyy elämälle suotuisana. Ilman kasvihuoneilmiön lämmittävää vaikutusta maapallon keskilämpötila olisi pakkasen puolella. (Ruosteenoja, 2011, 70.)

Kasvihuoneilmiö on voimistunut ihmisen toiminnan seurauksesta viimeisen sadan vuoden ajan, ja nykyään voidaan puhua jo globaalista uhasta, joka vaikuttaa niin luontoon, talouteen, ihmisten elämään kuin ylipäätään elämiseen maapallolla. Ilmastonmuutos vaikuttaa muun muassa veden saantiin, ruoan tuotantoon, helleaaltojen lisääntymiseen sekä yleisesti elinympäristöjen oloihin. Luonnon monimuotoisuus ja useat kasvi- ja eläinlajit kärsivät ilmastonmuutoksesta ekosysteemien muuttuessa lämpenemisen seurauksena. (Virtanen, 2011a, 5, 11.)

Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli IPSS (The Intergovernmental Panel on Climate Change) esitti vuonna 2007 neljännessä raportissaan, että ilmastonmuutos tapahtuu väistämättä ja lämpeneminen tapahtuu 90 prosentin varmuudella ihmisen toiminnan seurauksena. Merkittävimmät ilmastonmuutoksen aiheuttajat ovat fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ja hiilidioksidia sitovan kasvillisuuden ja metsien väheneminen. (Virtanen, 2011a, 20.) Suomen

ympäristökeskuksen (2004) koordinoimassa FINSKEN-hankkeessa ennustettiin Suomen ilmaston lämpenevän 1,8–5,5 °C vuoteen 2050 mennessä ilmastonmuutosskenaariosta riippuen, jos ilmastonmuutokseen ei kohdistu poliittisia toimia.

Ilmastonmuutoksen käytännön hillintäkeinoja ovat kasvihuonekaasujen merkittävän vähentämisen lisäksi ilmastovastuulliseen liiketoimintaan sijoittaminen, laaja-alainen ekotehokas toiminta tuotannossa ja kulutuksessa sekä energia- ja materiaalitehokkuuden lisääminen. Väistämättä tapahtuvan ilmaston lämpeneminen on myös osattava ennakoita ja siihen liittyvät sopeutumistoimet aloitettava. (Virtanen, 2011a, 5, 11.)

#### 2.4.1 Kasvihuonekaasut

Ilmakehän koostumus vaikuttaa kasvihuoneilmiön voimakkuuteen. Ilmakehässä luonnostaan esiintyviä kasvihuonekaasuja ovat vesihöyry, hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi ja otsoni. Ilmakehän valta-kaasut happi ja typpi muodostavat 99 % ilmakehästä eivätkä aiheuta kasvihuoneilmiötä. Jäljelle jäävä prosentti koostuu erilaisista jalokaasuista, kuten argonista, neonista, heliumista, kryptonista ja ksenonista. Näiden lisäksi ilmakehässä on joukko niin kutsuttuja hivenkaasuja erittäin pieninä pitoisuuksina. Kaikki kasvihuonekaasut sekä maapalloa ultraviolettisäteilyltä suojaava otsoni kuuluvat hivenkaasuihin. Vaikka kasvihuonekaasut muodostavat häilyvän pienen osan ilmakehästä, niiden lämpösäteilyn pidätyskyky on valtava. (Ruosteenoja, 2011, 71.)

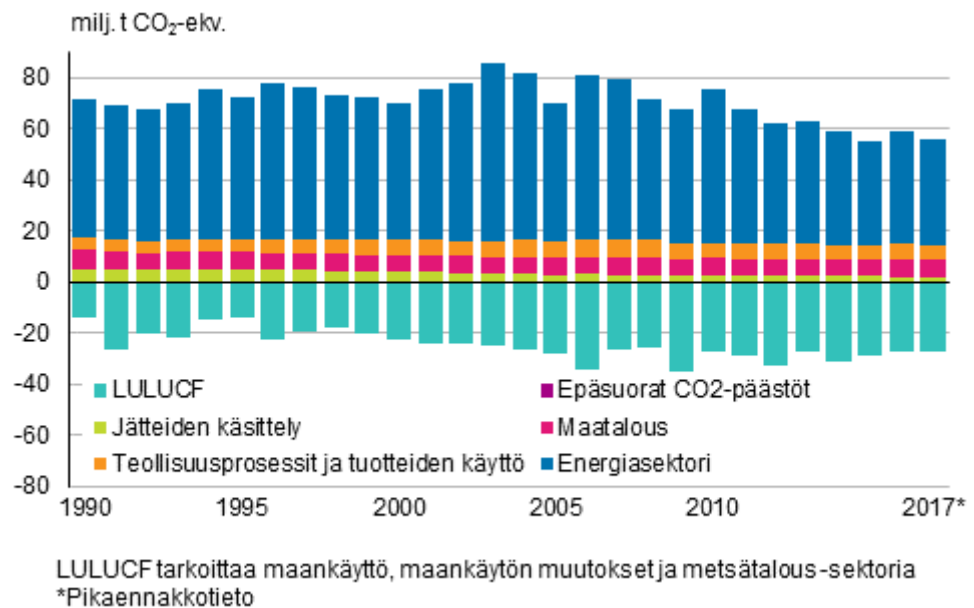
Kioton pöytäkirjan määrittelemiä haitallisia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), metaani (CH<sub>4</sub>), dityppioksidi (N<sub>2</sub>O) ja fluoratut kasvihuonekaasut, niin kutsutut F-kaasut, joita ovat fluorihilivedyt (HFC-yhdisteet), perfluorihilivedyt (PFC-yhdisteet), rikkiheksafluoridi (SF<sub>6</sub>) ja typpitrifluoridi (NF<sub>3</sub>). (Tilastokeskus, 2018a.)

Kasvihuonekaasupäästön aiheuttamaa ilmastonlämmitysvaikutuksen suhteellista voimakkuutta hiilidioksiidiin verrattuna ilmaistaan lämmityspotentiaalilla, Global Warming Potential eli GWP. GWP-kerroin ilmaistaan useimmiten 100 vuoden (GWP100) tai 20 vuoden ajalle (GWP20). Esimerkiksi metaanin GWP100-kerroin on 25, jolloin metaanin lämmitysvaikutus sadan vuoden ajalta on 25 kertaa hiilidioksidipäästön vaikutuksen suuruinen. (Ilmatieteenlaitos 2017.) Kasvihuonekaasujen GWP-kertoimia on esitetty taulukossa 1 (s. 6).

Taulukko 1. Kasvihuonekaasujen GWP-kertoimia (mukailien ISO/TS 14067/2013, 84–88).

Nimi	Kemiallinen kaava	Ilmaston lämmityspotentiaali sadan vuoden ajanjaksolla
Hiiliidioksidi	CO <sub>2</sub>	1
Metaani	CH <sub>4</sub>	25
Dityppioksidi	N <sub>2</sub> O	298
Rikkiheksafluoridi	SF <sub>6</sub>	22 800
Hiilitetrakloridi	CCl <sub>4</sub>	1400
Dikloorimetaani	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	8,7
Metyylikloridi	CH <sub>3</sub> Cl	13

Tilastokeskuksen (2018b) mukaan Suomen kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt vastasivat 56,1 miljoonaa hiiliidioksiditonnia hiiliidioksidiekvivalentina (CO<sub>2</sub>-ekv.) ilmaistuna vuonna 2017. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat sektoreittain vuosina 1990–2017 on esitetty kuvassa 1. Vuoden 2017 tilastot perustuvat pikaennakkotietoihin.



Kuva 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt ja -poistumat sektoreittain (Tilastokeskus, 2018b).

Kuvan mukaan päästöt laskivat melkein 5 % vuoteen 2016 verrattuna ja lähes 21 % vuoteen 1990 verrattuna. Tilastokeskus (2018c) raportoi, että kokonaispäästöistä 74 % tapahtui energiasektorissa, 12 % maataloudessa, 11 % teollisuuden prosesseissa ja tuotteiden käytössä ja 3 % jätteiden käsittelyssä. Päästöistä 81 % oli hiiliidioksidia, 8 % metaania, 8 % dityppioksidia ja 3 % F-kaasuja. Maankäytön, maankäytön muutoksien ja

metsätalouden (LULUCF) nettohiilinielu oli -27,1 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv. ja pysyi ennallaan edellisvuoteen verrattuna.

Eniten päästöjen vähentymistä tapahtui energiasektorissa, jossa päästöt laskivat 6 %. Päästöjen laskuun vaikuttivat eniten tärkeimpien fossiilisten polttoaineiden kulutuksen väheneminen ja biopolttoaineiden osuuden kasvu liikenteessä. (Tilastokeskus, 2018b.)

#### 2.4.2 Toimet kasvihuonekaasujen hillitsemiseksi

Ilmastonmuutokseen on mahdollista puuttua niin kansainvälisellä, kansallisella kuin paikallisella tasolla. Kansainväliset sopimukset vaikuttavat kaiken ilmastonmuutoksen liittyvän päätöksenteon taustalla ja ovat siten tehokkain keino torjua ilmaston lämpenemistä.

Tärkeimmät ilmastonmuutoksen torjumiseen tähtäävät kansainväliset sopimukset ovat vuonna 1992 Rio de Janeirossa hyväksytty YK:n ilmastonmuutoksen yleissopimus ja sitä täydentävät, vuonna 1997 hyväksytty Kioton pöytäkirja ja vuonna 2016 voimaan astunut Pariisin sopimus. Alkuperäisen YK:n ilmastosopimuksen päämääränä on vakauttaa ilmakehän kasvihuonekaasut vaarattomalle tasolle sellaisessa ajassa, että ekosysteemit ehtisivät sopeutua ilmastonmuutokseen luonnollisella tavalla. Elintarviketuotanto ja kestävä taloudellinen kehitys olisi myös turvattava. (Suomen ympäristökeskus, 2015.)

Varsinaisia ilmastonmuutosta hillitseviä velvoitteita asetettiin vasta Kioton pöytäkirjassa viisi vuotta myöhemmin sallittujen päästömäärien muodossa. Se on ensimmäinen oikeudellisesti sitova sopimus, jonka avulla päästöjä on vähennetty kansainvälisesti (Ympäristöministeriö, 2016a). Sen ensimmäinen velvoitekausi kattoi vuodet 2008–2012, ja kauden päästövähennystavoite oli 5,2 % ja EU:n oma tavoite 8 %. Suomi saavutti oman tavoitteensa ja kauden päästöt olivat 5 % alle Suomelle määritellyn sallitun päästömäärän (355 milj. t CO<sub>2</sub>-ekv.). Kioton pöytäkirjan toisella velvoitekaudella (2013–2020) EU:lla ja sen jäsenmailla on yhteinen 20 prosentin vähennysvelvoite vuoden 1990 päästötasosta. (Ympäristöministeriö, 2016b.)

Pariisin ilmastosopimus on tuorein YK:n ilmastosopimusta täydentävä sopimus, jonka tarkoitus on pitää maapallon keskilämpötilan nousu alle kahdessa asteessa suhteessa esiteolliseen aikaan. Sopimuksella tavoitellaan myös ilmastonmuutokseen sopeutumista sekä tuetaan vähähiilistä ja ilmastokestävää kehitystä. Pariisin sopimusta sovelletaan vuodesta 2020 eteenpäin, ja tällä hetkellä kansainväliset ilmastoneuvottelut keskittyvät sopimaan sen toimeenpanon yksityiskohdista. (Ympäristöministeriö, 2017a.)

Euroopan unionin sisäistä ilmastopolitiikkaa ohjailee Kioton pöytäkirjan lisäksi EU:n vuonna 2009 hyväksymä ilmasto- ja energiapaketti 2020.

Paketin lainsäädäntökokonaisuuteen kuuluu uudistettu päästökauppadiirektiivi, taakanjakopäätös, direktiivi hiilen talteenotosta ja varastoinnista sekä direktiivi uusiutuvista energiavaroista. EU:n jäsenmaiden päästövähennystavoite vuodelle 2020 on päästökauppasektorilla 21 % verrattuna vuoden 2005 tasoon ja 10 % päästökaupan ulkopuolisilla toimialoilla. (Ympäristöministeriö, 2016c.)

Ilmasto- ja energiapaketti saa jatkoa vuosille 2021–2030, jolloin uudeksi päästötavoitteeksi tulee 40 % vähennys vuoden 1990 tasoon verrattuna vuoteen 2030 mennessä. Päästötavoitteiden lisäksi paketissa tavoitellaan uusiutuvan energian osuuden kasvattamista 27 %:lla ja energiatehokkuuden parantamista ohjeellisesti 27 %. Pidemmän aikavälin ilmastopoliittisia tavoitteita visioidaan vuodelle 2050 asti Euroopan komission tiekartassa vähähiiliseen talouteen, joka julkaistiin vuonna 2011. Tiekartassa esitetään konkreettisia tavoitteita siitä, miten EU voi saavuttaa 80 % päästövähennystavoitteet vuoteen 2050 mennessä. (Ympäristöministeriö, 2016c.)

Suomi on EU:n jäsenmaana sitoutunut rajoittamaan kasvihuonekaasupäästöjään Kioton pöytäkirjan ja EU:n omien ilmastotavoitteiden mukaisesti. Suomen maakohtainen tavoite on tällä hetkellä 16 % päästövähennys päästökaupan ulkopuolisilla aloilla ja 21 % päästökauppaan kuuluvilla sektoreilla. Tavoitetta tukevat kansallisella tasolla vuonna 2015 voimaan astunut ilmastolaki sekä pitkän aikavälin energia- ja ilmastostrategia, jolla on toimeenpantu EU:n ilmasto- ja energiapaketin tavoitteet. Kansallinen pitkän aikavälin päästövähennystavoite, 80 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2050 mennessä, mukailee EU:n ilmaston -ja energiapaketin tavoitteita ja on kirjattu uuteen ilmastolakiin. (Ympäristöministeriö, 2017b.)

### 3 TUOTTEEN HIILIJALANJÄLJEN LASKEMINEN

Vaikka hiilijalanjälkiselvityksen laadintaan on saatavilla useita ohjeistuksia, selvityksen peruseriaatteet ovat samat. Hiilijalanjälkiselvityksen tavoite on laskea tuotteen potentiaalinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen hiilidioksidiekvivalenttina (CO<sub>2</sub>-ekv.) ilmaistuna. Tavoitteeseen päästään selvittämällä kaikki merkittävät kasvihuonepäästöt tuotteen elinkaaren ajalta, jonka jälkeen päästöjen määrä muunnetaan CO<sub>2</sub>-ekv:ksi kertomalla kasvihuonekaasujen massa ilmaston lämmityspotentiaalikerroimella. (ISO/TS 14067/2013, 38.) Lämmityspotentiaalikerroin kuvastaa kasvihuonekaasun yhden massapohjaisen yksikön säteilypakotteen vaikutuksia verrattuna hiilidioksidin vastaavaan säteilypakotteeseen tietyn ajanjakson aikana. (ISO/TS 14067/2013, 16.)

Hiilijalanjälkiselvitys laaditaan tuotejärjestelmän ja ympäristön välisestä materiaali- ja energiavaihdunnasta kootun inventaaritiedon perusteella. Materiaali- ja energiavaihduntaa kutsutaan selvityksen kielessä syötteiksi ja tuotoksiksi. (Dammert ym., 2004, 27.) Kuten elinkaariarvioinnissa myös

hiilijalanjäljen laskemisessa otetaan huomioon tuotteen elinkaari kokonaisuudessaan. Elinkaaren vaiheita ovat raaka-aineen hankinta, tuotteen valmistus, käyttö ja käytöstä poistaminen. Vaiheita on havainnollistettu kuvassa 2.

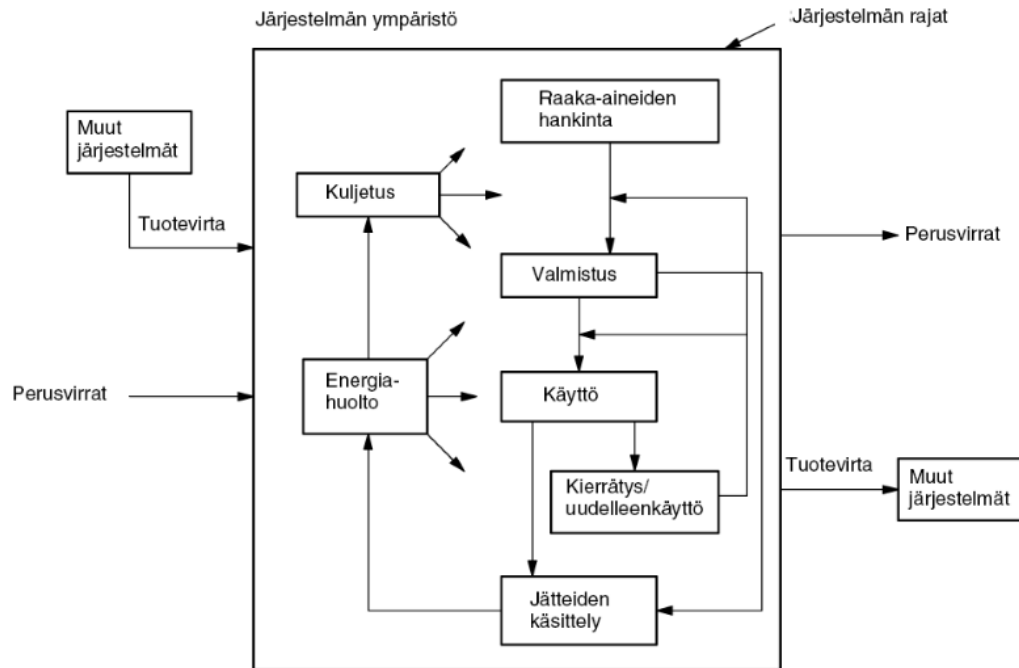


Kuva 2. Tuotteen elinkaaren tyypilliset vaiheet (Loikkanen ym., 1999, 2).

Hiilijalanjätkiselvitys voidaan jakaa viiteen vaiheeseen, jotka ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, elinkaari-inventaario, vaikutusarviointi, tulosten tulkinta sekä raportointi. Vaiheet kuvataan tarkemmin luvussa 3.5, alkaen sivulta 16. Selvitys etenee elinkaariarvioinnin tavoin iteratiivisesti, eli selvityksen aikaisempia vaiheita voidaan muokata tekoprosessin edetessä, kun tietämys prosesseista lisääntyy. Näin vähennetään selvityksen epävarmuuksia ja vähämerkityksisten inventaariotietojen käsittelyä. (Dammert ym., 2004, 27.)

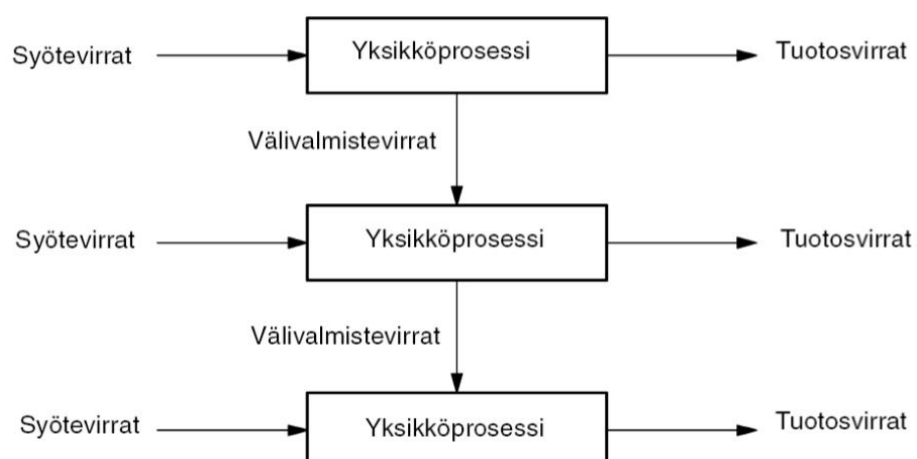
### 3.1 Tuotejärjestelmä

Hiilijalanjätkilaskenta rakennetaan tutkittavan tuotteen tuotejärjestelmän ympärille. Hiilijalanjätkilaskennassa tuotejärjestelmällä tarkoitetaan materiaalin, energian ja logistiikan luomaa kokonaisuutta, jota tarvitaan tuotteen tai palvelun tuottamiseen. (Loikkanen ym., 1999, 2.) Tuotejärjestelmä ympäristöineen on esitetty kuvassa 3 (s. 10).



Kuva 3. Tuotejärjestelmä (Suomen Standardoimisliitto SFS ry, 2015, 59).

Tuotejärjestelmän toiminnot voidaan jakaa edelleen pienempiin kokonaisuksiin, niin kutsuttuihin yksikköprosesseihin (kuva 4). Kuvassa 3 yksikköprosesseja ovat raaka-aineiden hankinta, valmistus, käyttö ja niin edelleen. ISO 14040 -standardin (2006, 18) määritelmän mukaan yksikköprosessi on selvityksen pienin mahdollinen osa, jonka suhteen syöte- ja tuotostiedot määritellään. Kasvihuonekaasupäästöt osoitetaan aina siihen yksikköprosessiin, jossa ne syntyvät (ISO/TS 14067/2013, 34).



Kuva 4. Yksikköprosessit (Suomen standardoimisliitto SFS ry, 2015, 60.)

Tuotejärjestelmä mallinnetaan tyypillisesti prosessikaaviolla, jossa kuvataan yksikköprosessit ja niiden väliset suhteet. Kuvauksessa määritellään yksikköprosessin alku, missä prosessi vastaanottaa järjestelmän raaka-aineet ja välivalmisteet. Seuraavaksi esitetään prosessin aikana tehtävät prosessoinnit ja toiminnan luonne. Viimeiseksi kuvataan prosessin loppuosa, josta selviää välivalmisteiden ja lopputuotteiden määränpää. (SFS-EN ISO 14044/2006, 26.)

### 3.2 Toiminnallinen yksikkö ja vertailuvirta

Hiilijalanjätkiselvitykset lasketaan aina niin kutsutun toiminnallisen yksikön suhteen. Toiminnallisen yksikkö kuvaa tuotejärjestelmän määrällistä suorituskykyä ja sen pääasiallista toimintoa. Sen tehtävä on toimia vertailuyksikkönä, johon järjestelmän syötteitä ja tuotoksia voidaan suhteuttaa. (ISO/TS 14067/2013, 40.) Esimerkiksi mehutökin hiilijalanjäljen määrityksessä toiminnallinen yksikkö voi olla tuhat yhden litran mehutölkkiä. Kartongin hiilijalanjälkitarkastelussa toiminnallinen yksikkö voi sen sijaan olla tuhat kiloa kartonkia.

Selvityksen tavoitteet vaikuttavat pitkälti toiminnallisen yksikön valintaan. Yksikön valinnassa tulee huomioida, mikä suure kuvaa hyvin tuotetta, mihin tuloksia halutaan verrata, mitä tulokset kertovat asiakkaalle ja mihin asiakkaat voivat tuloksia verrata. (Kokko 2012, 15). Suure antaa pohjan selvityksen elinkaari-inventaariovaiheelle, jolloin sen on oltava selkeästi määritelty ja mitattavissa. (ISO/TS 14067/2013, 40.)

Toiminnallisen yksikön toiminnon täyttämiseen tarvittavaa tuotosmäärää kutsutaan vertailuvirraksi. ISO 14067 -standardin (2013, 20) mukaan vertailuvirta on tietyn tuotejärjestelmän prosesseissa syntyvien tuotosten määrä, joka vaaditaan täyttämään toiminnallisen yksikön ilmaisema toiminto. Toiminnallisen yksikön ja vertailuvirran välinen suhde voidaan hahmottaa seuraavassa esimerkissä. Paperipyyhejärjestelmän hiilijalanjälki halutaan selvittää, ja tarkastelussa perehdytään käsien kuivaamisen toimintoon. Selvityksen toiminnalliseksi yksiköksi valitaan kuivattujen käsiparien yhtenevä luku, vaikkapa kymmenen käsiparia. Vertailuvirtana toimii yhden käsiparin kuivaamiseen tarvittavan keskimääräisen paperimäärän massa, joka voidaan suhteuttaa kulutetun paperin määrään. Paperipyyhejärjestelmälle voidaan nyt muodostaa syöte- ja tuotosinventario vertailuvirran perusteella. (ISO/TS 14067/2013, 40.)

Hiilijalanjätkilaskennan tulokset kirjataan selvitysraporttiin hiilidioksidiekvivalentin massana toiminnallista yksikköä kohden. Hiilijalanjälki on myös mahdollista raportoida itse valitun tuoteyksikön perusteella, kunhan toiminnallinen yksikkö esitellään ja näiden kahden välinen suhde selitetään.

Toiminnallisen yksikön merkitys korostuu tuotejärjestelmien välisissä vertailuissa, sillä vertailu on mahdollista vain sellaisten järjestelmien kesken,



joiden toiminnot, toiminnalliset yksiköt ja vertailuvirrat ovat yhtenevät (ISO/TS 14067/ 2013, 40).

### 3.3 Laskennan periaatteet

Hiilijalanjätkiselvitykset laaditaan tiettyjen periaatteiden mukaan, jotka vaihtelevat hieman ohjeistuksesta riippuen. ISO/TS 14067 -standardin periaatteet ja vaatimukset toimivat tämän opinnäytetyön laskennan perustana. Ne pohjautuvat elinkaariarviointimenettelyn periaatteisiin, jotka on esitetty standardeissa ISO 14040 ja ISO 14044. Seuraavaksi esitellään niistä tärkeimmät.

Hiilijalanjätkiselvityksen on kokonaisuudessaan oltava tarkka, yhtenäinen, läpinäkyvä ja oikeudenmukainen. Periaatteet koskevat selvityksessä käytettäviä tutkimus- ja laskentamenetelmiä ja selvityksen lähtötietoja. Vaatimusten tavoitteena on varmistaa hiilijalanjätkiselvityksen ja sen tulosten johdonmukaisuus. (ISO/TS 14067/2013, 32.)

Hiilijalanjätkiselvitykseen sovelletaan elinkaariarvioinnin neljää vaihetta, jotka ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, elinkaari-inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulkinta. Selvitykseen valittavien tietojen ja menetelmien on sovelluttava kasvihuonekaasupäästöjen arviontiin tutkitavassa tuotejärjestelmässä. Selvityksessä huomioidaan kaikki merkittävät tuotejärjestelmään vaikuttavat päästöt. Selvityksessä noudatetaan iteratiivista eli toistuvaa lähestymistapaa, jolloin selvityksen aikaisempia vaiheita toistetaan päivitettyjen tietojen pohjalta tai esimerkiksi silloin, kun tietojärjestelmään liittyvä ymmärrys on lisääntynyt. (ISO/TS 14067/2013, 32.)

Hiilijalanjätkiselvityksessä arvioidaan vain yhtä ilmastonmuutoksen vaikutusluokkaa, eikä sen tarkoitus ole kertoa tuotteen yleisestä paremmuudesta ympäristöasioissa. Tämän on tultava ilmi hiilijalanjäljen raportoinnin ja viestinnän yhteydessä. Laskettuja kasvihuonepäästöjä ei saa myöskään sekoittaa kasvihuonekaasupäästöistä tehtyihin vähennyksiin. (ISO/TS 14067/2013, 34.)

Selvityksessä käytettäviä oletuksia, menetelmiä ja tietoja on sovellettava samalla tavalla koko selvityksen ajan (ISO/TS 14067/2013, 32). Selvityksen on oltava yhtenäinen aikaisempien tuoteryhmän sisällä käytettyjen menetelmien, standardien ja opastavien asiakirjojen kanssa, jotta hiilijalanjälki on vertailukelpoinen tuoteryhmän sisällä. (ISO/TS 14067/2013, 34.)

Laskennan puitteissa tehtävät päätökset perustellaan luonnontieteillä. Jos tämä ei ole mahdollista, käytetään muita tieteellisiä lähestymistapoja tai kansainvälisiä sopimuksia. Päätökset voidaan perustaa arvovalintoihin vain, jos tieteellistä perustaa ei ole olemassa eikä kansainvälisiin sopimuksiin pohjautuva perustelu ole mahdollista. Arvovalinnat on perusteltava ja dokumentoitava hiilijalanjälkiraporttiin. (ISO/TS 14067/2013, 32.)

Hiilijalanjäljen laskemisen ja tulosten viestinnän on oltava asianmukaista ja tarkkaa. Laskenta ei saa johtaa harhaan ja epävarmuuksien on oltava mahdollisimman pieniä. Prosessin läpinäkyvyys varmistetaan esittämällä hiilijalanjälkiselvityksen tiedot avoimesti, kattavasti, ymmärrettävästi ja tietolähteisiin viitaten. Selvityksessä käytetyt laskentamenetelmät, tieto-oletukset, arviot ja selvityksen rajoitteet on ilmoitettava. Läpinäkyvyys varmistetaan myös siten, että hiilijalanjäljestä viestiminen on kohdeyleisön saatavilla ja sidosryhmät osallistetaan mukaan prosessiin. (ISO/TS 14067/2013, 34.)

Laskentaa suorittaessa on huolehdittava, että laskentaa ei suoriteta kahteen kertaan (ISO/TS 14067/2013, 34). Myös allokoointia on mahdollisuuksien mukaan vältettävä. Allokoinnissa tuotejärjestelmän ainevirrat ja kuorimitukset kohdennetaan tai jaetaan prosessin eri tuotteille. Allokointia voi tapahtua esimerkiksi silloin, kun tuotejärjestelmässä syntyy sivutuotteita tai tuote kierrätetään käytön jälkeen toisen tuotteen tuotejärjestelmässä. (Loikkanen ym., 1999, 21; EN ISO 14044/2006, 16.)

### 3.4 Ohjeistukset

Hiilijalanjälkilaskennan avuksi on laadittu useita kansainvälisiä ohjeistuksia ja lisää julkaistaan jatkuvasti. Tällä hetkellä tärkeimmät kansainväliset ohjeistukset ovat ISO 14040-standardi, PAS 2050, GHG Protocol, ILCD sekä ISO 14067-standardi.

Ohjeistukset ovat pääperiaatteiltaan melko samankaltaiset. Suurimmat erot liittyvät siihen, kuinka ohjeistukset suhtautuvat allokoointimenetelyyn, millä tarkoitetaan tuotejärjestelmän syötteiden tai tuotosten jakamista eri prosessien tai tuotejärjestelmien kesken. Erimielisyyksiä on myös tuotejärjestelmän rajausten linjauksissa: erityisesti maankäytön muutoksista aiheutuvien päästöjen sisällyttäminen selvityksiin jakaa mielipiteitä. (Pulkinen, Hartikainen & Katajajuuri, 2011, 13; EN ISO 14044/2006, 16.)

Ohjeistusten ongelmakohtina on pidetty niiden yleisluontoisuutta sekä keskenään poikkeavia tai ristiriitaisia sääntöjä. Osa ohjeistuksista edellyttää todella yksityiskohtaisten tietojen käyttöä, kun taas osa ohjeista yleisää vahvasti. Keskinäinen harmonisointi on aikaa vievä prosessi ja säilyy tulevaisuudessakin hiilijalanjälkiselvitykseen tarkoitettujen ohjeistusten haasteena. (Pulkinen ym., 2011, 10.)

Luvuissa 3.4.1–3.4.4 esitellään opinnäytetyön hiilijalanjälkiselvityksessä käytetyt ohjeistukset pääpiirteittäin.

### 3.4.1 Elinkaariarvioinnin standardit ISO 14040 ja ISO 14044

Vuonna 1997 julkaistut ISO 14040 ja ISO 14044 ovat vanhimpia elinkaariarviointia ohjaavia standardeja ja siten koko elinkaariarvioinnin ja hiilijalanjälkiselvitystyön pohja. Standardien uusimmat versiot ovat vuodelta 2006. ISO 14040 (Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet) esittelee elinkaariarviointimethodiikkaan liittyvät termit ja ISO 14044 (Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja) varsinaiset ohjeistukset. Yhdessä ne määrittelevät, mitä osia elinkaariarviointiin tulee sisällyttää, mitkä ovat elinkaariarvioinnissa käytettävien tutkimusmenetelmien pääpiirteet, miten tuloksista viestitään ja kuinka tulosten luotettavuus varmistetaan. (Pulkinen ym., 2011, 12.)

Standardit antavat kaikille teollisuussektoreille soveltuvia yleisluontoisia ohjeita elinkaariarvioinnin eri vaiheisiin. Standardien linjauksia ovat esimerkiksi allokontimenettelyn välttely. Useimmat ohjeistukset pohjautuvatkin elinkaaristandardeihin allokontisääntöjen osalta. (Pulkinen ym., 2011, 13.)

### 3.4.2 Tuotteen hiilijalanjäljen standardi ISO/TS 14067

ISO julkaisi vuonna 2013 ensimmäisen tuotteiden hiilijalanjälkilaskentaan tarkoitetun ohjeistuksen ISO/TS 14067-standardin. Standardi pohjautuu standardeihin ISO 14044 ja ISO 14025 (Ympäristömerkit ja -selosteet. Tyyppin III ympäristöselosteet. Periaatteet ja menettelyt). Tässä opinnäytetyössä hyödynnetään ISO/TS 14067:n ohjeistuksia hiilijalanjälkiselvityksessä sen tuoreuden takia.

Standardi on yhdessä PAS2050-ohjeistuksen kanssa ainoita kansainvälisiä ohjeistuksia, jotka antavat tarkempia suuntaviivoja uusiutuvien energiamuotojen käytöstä laskennassa. Standardin mukaan uusiutuvan energian päästökertoimia voidaan hyödyntää, kunhan pidetään huoli siitä, että laskennassa ei esiinny kaksoislaskentaa. Lisäksi ISO/TS 14067 huomioi maankäytön muutokset ja edellyttää suorien maankäytön muutosten sisällyttämistä laskentaan, mikäli niiden vaikutukset ovat kasvihuonekaasupäästöjen kannalta merkittävät. Epäsuorien maankäytön muutoksien vaikutukset on toistaiseksi rajattu laskennan ulkopuolelle. (Pulkinen ym., 2011 13.)

### 3.4.3 PAS2050-spesifikaatio

PAS2050 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services oli julkaisuhetkellään vuonna 2008 ensimmäinen tuotteiden hiilijalanjäljen laskentaan suunnattu kansainvälinen ohjeistus. Sen on laatinut Iso-Britannian standardointi-instituutti, British Standards Institution, joka julkaisi ohjeistuksesta myös päivitetyn version vuonna 2011. PAS2050 poikkeaa useimmista muista hiilijalanjälki-ohjeistuksista siten, että se sallii allokontinnin taloudellisuuden perusteella, vaikka

kehottaakin ensisijaisesti allokointimenettelyn välttämiseen. Lisäksi ohjeistus vaatii tuotteen käyttövaiheen sisällyttämistä laskentaan, vaikka todellisuudessa vain harvat tahot ovat ottaneet tuotteen käytön huomioon laskelmissaan. ISO 14067 -standardin tavoin se edellyttää myös arvioimaan suorien maankäytön muutosten vaikutuksia tarjoamalla valmiina karkeita oletusarvoja. (Pulkkinen ym., 2011, 13.)

#### 3.4.4 Tuoteryhmäkohtaiset säännöt

Hiilijalanjätkiselvitykseen tarkoitettut ohjeistukset on laadittu yleisluontoisiksi, jotta ne soveltuisivat kaikille tuotannonaloille. Yleisluontoisuus hankaloittaa käytännön laskentaa, ja ratkaisuksi on haettu erillisiä tuoteryhmäkohtaisia laskentaohjeistuksia (PCR, Product Category Rules), jotka pyrkivät tarkentamaan laskentaohjeita tuoteryhmien tasolla.

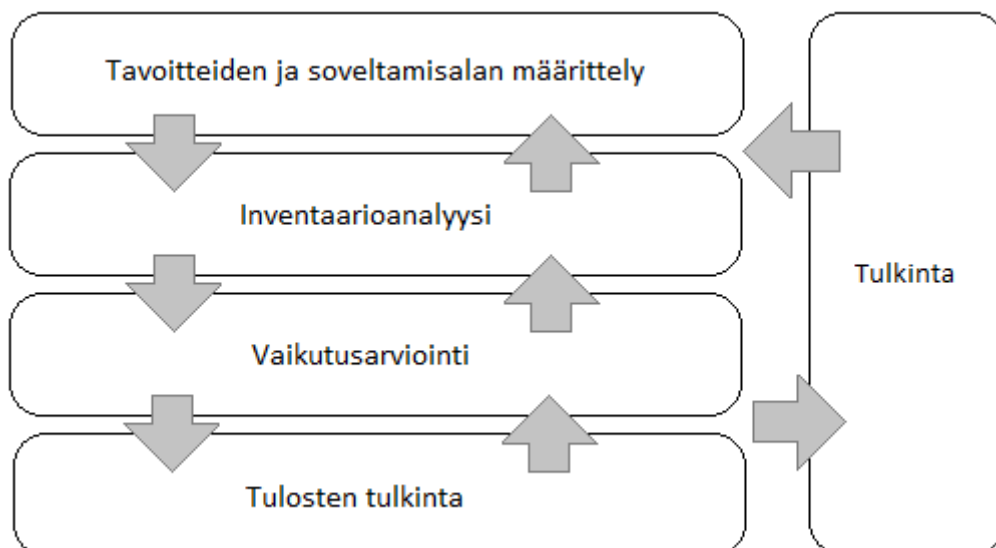
Tuoteryhmäkohtaiset säännöt ovat yhdelle tai useammalle tuoteryhmälle laadittu vaatimus- ja suuntaviivasarja, jotka on tarkoitettu tyyppin III ympäristöselosteen kehittämiseen. (ISO 14067/2013, 22.) Ne on luotu erityisesti elinkaariarviointien tarpeisiin, mutta myös hiilijalanjätkiselvityksille on laadittu omia ohjeistuksia tuoteryhmittäin. Hiilijalanjätkiselvityksiin tarkoitettujen sääntöjen lyhenne on CFP-PCR (Carbon Footprint Product Category Rules).

Tuoteryhmäkohtaisia ohjeistuksia on valmisteltu ympäri maailmaa eri järjestöjen ja yritysten toimesta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ohjeistuksia on laadittu hieman eri tavoin eri maissa ja niitä voi olla sekä samoille että päällekkäisille tuoteryhmille. Tällä hetkellä ei ole olemassa tahoja, joka valvoisi tuoteryhmäkohtaisten sääntöjen laadintaa, jolloin eri ohjelmien välisten ja ohjelmien sisäisten ohjeistusten harmonisointi säilyy hiilijalanjätkilaskennan tulevaisuuden haasteena. (Pulkkinen ym., 2011, 10, 16.)

Opinnäytetyön hiilijalanjätkiselvityksen kohteena oleva paperi-muovilaminaatti kuuluu joustopakkausten tuoteryhmään. Kansainvälisen EPD-ympäristöselosteohjelman puitteissa on laadittu tuoteryhmäkohtaiset ohjeistukset kartonki- ja paperipohjaisille pakkauksille sekä suljettaville joustopakkausmuoveille. Lisäksi keväällä 2019 julkaistaan pakkausmateriaaleja yleisluontoisesti käsittelevä tuoteryhmäkohtainen ohjeistus, jota valmistee Milanon yliopiston alainen ApE Packaging -työryhmä (EPD International AB, 2018). Ohjeistuksissa kuvataan kukin tuoteryhmä ja esitellään tuoteryhmän tyyppillinen tuotejärjestelmä yksikköprosesseineen ja rajauksineen. Ohjeistukset esittävät myös toiminnallisen yksikön, tiedon laatuun liittyvät vaatimukset ja antavat neuvoja käytännön laskentaan.

### 3.5 Hiilijalanjälkiselvityksen vaiheet

Hiilijalanjälkiselvitys jaetaan viiteen vaiheeseen (kuva 5). Vaiheista ensimmäinen, tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, kuvaa selvityksen lähtökohdat: mitkä ovat sen tavoitteet, soveltamiskohde, tuotejärjestelmä ja siihen liittyvät rajaukset sekä mikä on selvityksessä käytettävä toiminnallinen yksikkö. (Loikkanen ym., 1999, 2.)



Kuva 5. Hiilijalanjälkiselvityksen vaiheet (Loikkanen ym., 1999, 20).

Toinen vaihe, elinkaari-inventaarioanalyysi (LCI, life-cycle inventory analysis) kokoaa tuotejärjestelmän hiilikuormat eli kaikki syötteen ja tuotoksen toiminnallista yksikköä kohden. Syötteitä ovat esimerkiksi prosessissa käytetyt luonnonvarat, tuotoksia kasvihuonepäästöt.

Selvityksen kolmas vaihe on vaikutusarviointi (LCIA, life-cycle impact assessment), jonka tarkoituksena on arvioida kasvihuonekaasujen merkittävyyttä elinkaari-inventaarioanalyysin tietojen pohjalta. Perinteisessä elinkaariarvioinnissa tuotteen ympäristökuormitukset jaetaan ympäristövaikutusluokkiin, minkä jälkeen arvioidaan kunkin kuormituksen merkittävyyttä vaikutusluokkaan nähden. Vaikutusluokkia on mahdollista vielä arvioida suhteessa toisiinsa. (Loikkanen ym., 1999, 2.) Elinkaariarvioinnista poiketen hiilijalanjälkiselvityksessä tarkastellaan vain yhtä vaikutusluokkaa eli tuotteen vaikutusta ilmastonmuutokseen.

Seuraava vaihe on tulosten tulkinta, jossa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia arvioidaan ja tarkastellaan asetettujen tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti. Viimeisenä vaiheena voidaan pitää selvityksen tulosten raportointia. (Loikkanen ym., 1999, 2.)

Kuvan 5 (s. 16) nuolet kuvaavat hiilijalanjätkiselvityksen iteratiivista luonetta. Kun ymmärrys tuotejärjestelmästä lisääntyy projektin edetessä, projektin aikaisempiin vaiheisiin voidaan palata ja niitä muokata uuden tiedon pohjalta. Esimerkiksi jos elinkaari-inventaariovaiheessa huomataan, että jostain vähämerkitykselliseksi oletetusta syötevirrasta poistuu odotettua suurempia päästöjä, voidaan selvityksen tavoitteisiin ja soveltamisalaan palata ja muokata selvityksen rajausta niin, että syötevirtaan keskitytään enemmän. Näin selvitys tarkentuu projektin edetessä.

### 3.5.1 Tavoitteet ja soveltamisala

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely on hiilijalanjätkiselvityksen ensimmäinen vaihe, missä suunnitellaan toteutettava selvitys ja esitetään työn lähtökohdat; mitä on tarkoitus selvittää, miksi, miten ja kenelle. Vaiheeseen on paneuduttava huolella, sillä siinä tehdään koko selvityksen kannalta merkittäviä rajauksia ja linjanvetoja. (Loikkanen ym., 1999, 21.)

Hiilijalanjätkiselvityksen tavoitteissa esitellään selvityksen tekemisen syyt, kohdeyleisö, tulosten käyttötarkoitus ja se, onko tuloksia tarkoitus esitellä julkisesti. Selvityksen laajuus ja yksityiskohtaisuus riippuu pitkälti työn aiheesta ja tulosten käyttötarkoituksesta sekä siitä, kenelle selvityksen tulokset viestitään. (SFS/EN ISO 14044/2006, 10, 24.) Huolellinen suunnittelu selkeyttää ja tehostaa selvityksen suorittamista ja parantaa tulosten laatua (Dammert ym., 2004, 29).

Oleellinen osa selvityksen soveltamisalaa on tutkittavan tuotejärjestelmän esittely ja sen toimintojen kuvaus. Sitten tuotejärjestelmä rajataan eli tuotejärjestelmän muodostavista yksikköprosesseista valitaan ne, jotka halutaan huomioida selvityksessä. Tässä vaiheessa päätetään myös yksikköprosessien tarkastelun tarkkuustaso. Rajausten on oltava selvityksen tavoitteiden mukaisia, ja rajauskriteerit on esiteltävä selkeästi. (SFS/EN ISO 14044/2006, 24; ISO/TS 14067/2013, 40.) Myös rajauksen suhde muihin tuotejärjestelmiin on määritettävä järjestelmien välisen vertailun mahdollistamiseksi (Loikkanen ym., 1999, 21).

Rajauksen tarkoitus on säästää selvitysprosessin käytettäviä resursseja rajaamalla selvityksen tulosten ja johtopäätösten kannalta merkityksettömät syötteet ja tuotokset prosessin ulkopuolelle (Kokko, 2015, 15). Elinkaaren vaiheiden, prosessien, syötteiden tai tuotosten rajaaminen selvityksen ulkopuolelle on kuitenkin sallittua ainoastaan silloin, kun poisjätetyt osa-alueet eivät muuta merkittävästi selvityksen tuloksia. Selvityksestä poisjätetyt osat täytyy dokumentoida ja perustella tulosten raportoinnin yhteydessä. (SFS/EN ISO 14044, 26.)

Kun tuotejärjestelmä ja siihen liittyvät toiminnot ovat selvillä, valitaan selvityksessä käytettävä toiminnallinen yksikkö. Toiminnallinen yksikkö kuvaa määrällisessä muodossa tuotteen toimintoja ja suorituskykyä. Toiminnallisen yksikön rinnalle valitaan vertailuvirta, johon yksikköprosessien syöte-

ja tuotevirtoja normalisoidaan. (Dammert ym., 2004, 30.) Toiminnallista yksikköä on käsitelty tarkemmin luvussa 3.2, alkaen sivulta 11.

Selvityksessä käytetyt laskentamenetelmät voivat vaikuttaa selvityksen tuloksiin, jolloin ne on esiteltävä selvityksen tavoitteissa ja soveltamisalassa. Samassa yhteydessä kuvataan työssä tehdyt oletukset, jotka koskevat etenkin tuotteen käyttövaihetta ja käytöstä poistamisvaihetta. Selvityksen lähtötietoihin liittyy myös usein jonkinasteisia oletuksia. (ISO/TS 14067/2013, 38.)

Hiilijalanjätkiselvitykselle on usein asetettu vaatimuksia, jotka luetellaan tavoitteissa ja soveltamisalassa. Vaatimukset koskevat hiilijalanjätkiselvityksen eri vaiheita, raportointia, viestintää ja tiedon laatua. Etenkin tiedon laatuvaatimuksilla turvataan tarkka, toistettava ja vertailukelpoinen hiilijalanjätki. (Loikkanen ym., 1999, 21; ISO/TS 14067/2013, 38.) Korkealaatuinen tieto auttaa rakentamaan hiilijalanjätkin, joka edustaa tuotteelle tyyppillistä elinkaarta tietyn ajan puitteissa (PAS 2050, 2008, 15.)

Lopuksi on hyvä pohtia, tarvitaanko työn tulosten luotettavuuden lisäämiseksi kriittistä arviointiprosessia. Jos arviointiprosessiin päädytään, on päätettävä, tekeekö sen sisäinen vai ulkoinen asiantuntija (Loikkanen ym., 1999, 21).

### 3.5.2 Elinkaari-inventaariovaihe

Elinkaari-inventaarioanalyysi LCI (life-cycle inventory) muodostaa hiilijalanjätkilaskelman perustan. Siinä tuotteen elinkaaren aikaiset syötteet ja tuotokset, kuten raaka-aineet, energia, päästöt ja jätteet koostetaan ja kuvataan määrällisesti. (ISO 14067/2013, 24.)

Epävarmuuksien ja harhan välttäminen leimaavat koko elinkaari-inventaarioanalyysia. Luotettavaan inventaarioanalyysiin päästään käyttämällä tarkkaa ja laadukasta lähtötietoa, suosimalla laskennassa luonnontieteitä sekä varmistamalla laskentaprosessin läpinäkyvyys (ISO 14067/2013, 34.)

Hiilijalanjätkiselvitys on mahdollista toteuttaa käytännössä monin tavoin. Tämän työn käytännön osuutta on lähdetty rakentamaan PAS 2050-spesifikaation käyttöoppaan pohjalta, missä elinkaari-inventaarioanalyysin vaiheet on esitelty kohta kohdalta. Samalla on kuitenkin varmistettu, että elinkaari-inventaarioanalyysi täyttää ISO 14067 -standardin vaatimukset.

Elinkaari-inventaariovaiheen hahmottaminen aloitetaan rakentamalla tuotteen elinkaarta kuvaava prosessikaavio. Kaavioon sisällytetään materiaali-, energia- ja jätevirrat raaka-aineiden valmistuksesta aina tuotteen loppusijoitukseen saakka. Prosessikaavio on arvokas työkalu koko selvitysprosessin ajan, sillä se auttaa hahmottamaan tuotejärjestelmän visuaalisesti ja ohjaa lähtötietojen keruuta ja laskentaa. (BSI, 2008, 10.)

Prosessikaavion rakentamisessa lähdetään liikkeelle pilkkomalla työn toiminnallinen yksikkö pienempiin osiin massan perusteella. Vaiheeseen voi kuulua esimerkiksi tuotteen raaka-aineiden listaaminen ja pohdinta siitä, kuinka paljon kutakin raaka-ainetta on valmiissa tuotteessa prosenttein ilmaistuna. Seuraavaksi listataan tuotteen tuotannon ja käytön vaiheet ja jäljitetään kaikki syötteen syntyksijöilleen ja tuotokset siihen asti, kunnes ne eivät enää aiheuta päästöjä. On tärkeää keskittyä merkittävimpiin syötteisiin ensin ja tunnistaa kunkin syötteen omat syötteen, valmistusprosessit, varastointiolot ja kuljetustavat. Kun kaikki syötteen ja tuotokset on selvitetty, tiedoista koostetaan kaavio. Selvityksen edetessä ymmärrys tuotteen elinkaaresta lisääntyy, jolloin prosessikaavio voi olla tarpeen päivittää. (BSI, 2008, 10, 12.)

Seuraavaksi tarkastellaan tuotejärjestelmän rajausta. Merkittävien syötteiden tunnistamista ja tuotejärjestelmän rajojen hahmottamista helpottaa alustava hiilijalanjälkianalyysi. Alustavaan laskentaan käytettävät lähtötiedot perustuvat jo olemassa olevaan tietoon, kuten toisen tuotteen elinkaariarviointeihin, teollisuuden ja organisaatioiden julkaisuihin tai elinkaarimallinnusohjelmien tietokantoihin. Vaiheen tavoitteena on löytää hiilijalanjäljen kannalta oleellimmat prosessin osat, esimerkiksi suurimmat kasvihuonekaasujen lähteet, joihin selvityksen resurssit keskitetään. Tällöin aikaa ei tuhlaannu vähäisten päästölähteiden työstämiseen. (BSI, 2008, 10, 14.)

Tuotejärjestelmän rajaamisen jälkeen kerätään selvityksen todelliset lähtötiedot. PAS 2050 jakaa lähtötiedot toimintotietoihin ja päästökertoimiin. Toimintotiedoilla tarkoitetaan tuotteen elinkaaren aikaisia materiaali- ja energiamääriä, kun taas päästökertoimet ilmaisevat toiminnon aiheuttaman kasvihuonekaasun määrää. Tuotteen kasvihuonekaasupäästöt saadaan kertomalla kaikki elinkaaren aikaisten materiaalivirtojen, energian ja jätemäärien toimintotiedot vastaavalla päästökertoimella. Varsinainen hiilijalanjälki saadaan, kun kasvihuonekaasupäästöt muunnetaan hiilidioksidiekvivalentiksi kertomalla ne eri kasvihuonekaasutyypin lämmityspotentiaalilla (kuva 6). (BSI, 2008, 16, 20.)

$$\left( \text{Toimintotieto} \times \text{Päästökerroin} \right) \times \text{GWP} = \text{Hiilijalanjälki}$$

Kuva 6. Hiilijalanjäljen laskeminen (mukaillen BSI, 2008, 20.)

Elinkaari-inventaariossa koottavia lähtötietoja kerätään kaikista tuotejärjestelmän rajojen sisään kuuluvista yksikköprosesseista. Kerätyt lähtötiedot voivat olla joko mitattuja, laskettua, arvioituja tai oletettuja. Yleisesti ottaen selvityksissä olisi käytettävä tietoa, joka vähentää harhaa ja



epävarmuuksia siinä määrin kuin se on käytännöllistä käyttämällä laadukainta saatavilla olevaa tietoa. (ISO 14067/2013, 44, 48.)

Tietojen keruussa tehdyillä oletuksilla ja laskennan menettelytavoilla voi olla vaikutusta selvityksen johtopäätösten kannalta, jolloin vaiheeseen on kiinnitettävä huomiota. Inventaarioanalyysin tietoja kerätessä käsitys tuotejärjestelmästä tarkentuu, jolloin voidaan havaita uusia tietotarpeita, -rajoitteita ja rajaustarpeita. Tämä voi johtaa työn tavoitteiden ja soveltamisalan tarkennukseen tai uudelleenarviointiin. (Loikkanen ym., 1999, 21.)

Hiilijalanjäljen lähtötiedot jaetaan laadun mukaan primaaritietoon ja sekundaaritietoon. Primaaritieto on kaikkein edustavinta ja tarkinta tietoa, joka on mitattu paikan päältä todellisista prosesseista. Sekundaaritieto ovat muut kuin paikkakohtaiset suorat tiedot, kuten viralliset tietokannat sekä pätevien viranomaisten julkaisut. Paikkakohtaista, todellista tietoa on kerättävä kaikista prosesseista, jotka ovat hiilijalanjätkiselvitystä suorittavan organisaation taloudellisessa tai toiminnallisessa hallinnassa. Sitä on hankittava kaikista hiilijalanjälkeen merkittävästi vaikuttavista yksikköprosesseista, jolloin hiilijalanjäljen luotettavuus lisääntyy. Sekundaaritietoa käytetään silloin, kun prosessin painoarvo on vähäinen tai paikkakohtaisen tiedon kerääminen osoittautuu epäkäytännölliseksi. (ISO 14067/2013, 26, 42, 44.)

Selvityksessä on myös mahdollista käyttää muuta kuin paikkakohtaista sekundaari- ja primaaritietoa, jos paikkakohtaista tietoa ei ole saatavilla tai keräyksen kohteena olevan yksikköprosessi ei ole niin merkittävä. Muu tieto voi olla esimerkiksi kirjallisuustietoa, laskettua tietoa, arvioita tai muuta edustavaa tietoa. Kaikki selvityksessä käytettävät tiedot ja niiden laatu on perusteltava ja ilmoitettava lähteineen hiilijalanjätkiraporttiin. (ISO 14067/2013, 44.)

Ennen selvityksen laskentavaiheeseen siirtymistä on varmistettava, että kaikki tuotejärjestelmän syöte- ja tuotosvirrat on otettu huomioon. Helppo tapa löytää potentiaaliset piilovirrat, on laskea tuotejärjestelmän massatase. Massataseen periaatteena on, että prosessiin menevän materiaalin olisi vastattava ulos tulevaa materiaa. Jos esimerkiksi prosessista ulos tuleva massa on suurempi kuin prosessiin tulevat materia, jotkut virrat ovat jääneet piiloon. (BSI, 2008, 20.)

### 3.5.3 Vaikutusarviointi

Inventaarioanalyysin tuottamat määrälliset syöte- ja tuotostiedot eivät sellaisenaan riitä kertomaan tuotejärjestelmän kasvihuonekaasupäästöjen ympäristövaikutuksia (Loikkanen ym., 1999, 21). Vaikutusarvioinnin tavoitteena on ymmärtää ja arvioida tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisen potentiaalisten ympäristövaikutusten laajuutta ja merkittävyyttä. Kun tarvittavat lähtötiedot on kerätty ja kasvihuonekaasupäästöjen määrät selvitetty, lasketaan niiden potentiaalinen ilmastonmuutosvaikutus kertomalla

vapautuneen tai poistuneen kasvihuonekaasun massa ilmaston sadan vuoden lämmityspotentiaalikertoimella. Ilmastonmuutosvaikutus ilmoitetaan yksikössä CO<sub>2</sub>-ekv. kg eli hiilidioksidiekvivalentti per päästökilogramma. Lämmityspotentiaalikertoimina käytetään hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneeli IPCC:n ilmoittamia viimeisimpiä arvoja. (ISO 14067/2013, 24, 67.)

Kun laskennan puitteissa on tehtävä päätöksiä, päätökset tulisi perustella ensisijaisesti luonnontieteitä. Jos tämä ei ole mahdollista, käytetään muita tieteellisiä lähestymistapoja tai yleisesti hyväksytyjä kansainvälisiä sopimuksia. Päätökset voidaan perustaa arvovalintoihin vain silloin, kun tieteellistä perustaa ei ole olemassa eikä kansainvälisiin sopimukseen pohjautuva perustelu ole mahdollista. (ISO/TS 14067/2013, 32.)

Laskennan tulisi olla ISO 14067 -standardin (2013, 34) mukaan tarkkaa ja siinä esiintyvien epävarmuuksien mahdollisimman pieniä. Laskentaprosessin läpinäkyvyys varmistetaan esittämällä tiedot avoimesti, kattavasti ja ymmärrettävästi. Laskennan jälkeen tulosten tarkkuutta analysoidaan herkkyystarkastelulla. (PAS 2050, 2008, 10.)

Laskentaa suorittaessa on huolehdittava, että laskentaa ei suoriteta vahingossa kahteen kertaan. Myös kasvihuonekaasupäästöjen allokointia on vältettävä. (ISO/TS 14067/2013, 34.) Paperi-muovilaminaatin tuotantoprosessissa ei synny sivutuotteita, jolloin allokointia ei suoriteta tässä opinäytetyössä, eikä allokointiin perehdytä tarkemmin.

#### 3.5.4 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkinta on vaihe, jossa tunnistetaan ja arvioidaan elinkaari-inventaarion ja vaikutusarvioinnin tärkeimmät tulokset, minkä jälkeen ne raportoidaan tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti. Tulosten tulkinnan tarkoitus on luoda suosituksia ja johtopäätöksiä, jotka tukevat hiilijalanjälkeen liittyvää päätöksentekoa. (Loikkanen ym., 1999, 24.)

ISO/TS 14067 -standardin (2013, 64) mukaan tulkintavaiheessa olisi tunnistettava ja yksilöitävä hiilijalanjälkeen merkittävästi vaikuttavat seikat. Koska selvityksen tulokset ovat herkkiä menetelmällisille valinnoille, lähtötietojen laadulle ja oletuksille, tulisi tulosten herkkyyttä, epävarmuutta, täydellisyyttä ja johdonmukaisuutta arvioida tulosten tulkintavaiheessa tapahtuvilla herkkyystarkastuksilla (Loikkanen ym., 1999, 24).

Kun käytetyn tiedon laatu ja riittävyys on varmistettu, tulosten tulkinnan viimeisenä vaiheena on tuottaa johtopäätöksiä ja suosituksia sekä ilmoittaa tulosten rajoitukset. (ISO 14067/2013, 64.)

### 3.5.5 Raportointi

Hiilijalanjäljen selvitysraportin tehtävä on dokumentoida selvityksen laskennan tulokset, esittää tavoitteiden ja soveltamisalan taustalla vallinneet päätökset ja osoittaa, että käytetyn ohjeistuksen tai standardin vaatimukset on täytetty. Sen on myös mahdollistettava tulosten käyttö hiilijalanjälkiselvityksen tavoitteiden mukaisesti. (ISO 14067/2013, 64.)

Selvitysraporttiin on sisällytettävä ISO 14067 -standardin (2013, 66) mukaan seuraavan luettelon esittelemät kohdat:

- selvityksen vaiheiden kuvaus
- toiminnallinen yksikkö ja vertailuvirta
- järjestelmän rajat
- käytetyt rajauskriteerit ja rajaukset
- mahdolliset allokontimenetelmät
- selvityksessä käytetyt tiedot, niiden laatu ja niihin liittyvä ajanjakso
- selvityksessä käytetyt oletukset
- tulosten tulkinnan tulokset
- vaatimustenmukaisuus.

Edellä mainittujen tietojen lisäksi raporttiin olisi hyvä sisällyttää selvityksen soveltamisala perusteluineen ja rajoituksineen. Myös elinkaaren vaiheet, merkittävät yksikköprosessit ja ajanjakso, jota hiilijalanjälki edustaa, sisällytetään selvitysraporttiin. (ISO 14067/2013, 66.)

Hiilijalanjälkiselvityksissä on oleellista läpinäkyvyyden vaatimus käytetyille aineistolle ja menetelmille. Standardit ISO 14040 ja ISO 14067 kuvaavat perusraportointivaatimukset läpinäkyvyyden varmistamiseksi. Standardien mukaisen selvityksen edellytyksenä on tulosten esittäminen kohde-ryhmälle tarkasti ja kokonaisuudessaan. Kaikki tarkastelun ulkopuolelle jätetyt elinkaaren vaiheet, prosessit tai tarpeelliset aineistot on ilmoitettava raportissa. Myös käytetyn aineiston laatuvaatimukset, kuten ajallinen ja maantieteellinen edustavuus tai tiedon tarkkuus, kattavuus ja johdonmukaisuus, on tuotava raportissa julki. Aineiston lähteet ja puuttuvan tiedon käsittelytapa on myös raportoitava. (Loikkanen ym., 1999, 24, 25.)

Hiilijalanjälkiselvityksen tulokset ja johtopäätökset esitetään puolueettomasti, avoimesti ja riittävän yksityiskohtaisesti, jotta hiilijalanjälkiselvityksen taustalla vallinneet päätökset tulevat ymmärretyksi (ISO 14067/2013, 64). Hiilijalanjäljen rajoitukset kuvataan, jotta selvityksen käyttäjät ja mahdolliset päättäjät ymmärtävät selvitykseen liittyvät epävarmuudet. Raportissa täytyy erotella subjektiiviset elementit, kuten arvovalintoihin perustuneet päätökset, tieteellisesti pätevistä rakennesosista ja perustella molempien käyttö. (Loikkanen ym., 1999, 25.)

### 3.6 Hiilijalanjäljen viestiminen

Hiilijalanjäljen viestimisen päätarkoituksena on mahdollistaa käyttäjien tietoon perustuva päätöksenteko. Käyttäjä voi lisääntyneen tiedon pohjalta vaikuttaa tuotteen kasvihuonekaasupäästöihin muuttamalla tuotteen käyttövaiheen aikaista käyttäytymistään. Kierrätys- ja loppusijoitusvaiheen päästöt voivat myös muuttua käyttäjän päätöksenteon kautta. (ISO/TS 14067, 70.)

Standardoidun hiilijalanjäljen viestiminen voi tapahtua viestintäraportin tai hiilijalanjäljen tason seurantaraportin muodossa, mutta se voi olla myös hiilijalanjälkimerkki tai hiilijalanjälkiseloste. Ulkoisessa viestintäraportissa on esitetty tuotteen hiilijalanjälkiselvitys kokonaisuudessaan. Kun hiilijalanjälki on muuttumassa esimerkiksi tuotantoon liittyvien parannusten vuoksi tai tavarantoimittajan vaihtuessa, muutoksista on mahdollista viestiä hiilijalanjäljen seurantaraportilla. Molemmat raporttityypit on tarkoitettu yritysten väliseen viestintään. (ISO/TS 14067/2013, 72.)

Ympäristömerkiksi luokiteltava hiilijalanjälkimerkintä on totuttu näkemään esimerkiksi tuotteen pakkauksen yhteydessä. Se viestii tuotteen hiilijalanjäljen yhdellä arvolla ja voi olla luonteeltaan kansallinen, alueellinen tai kansainvälinen. Hiilijalanjälkimerkin on täytettävä useita ennakkoon määritettyjä kriteerejä ollakseen käyttökelpoinen. (ISO/TS 14067/2013, 74.)

Viestimistä koskevat vaatimukset vaihtelevat viestimiseen valitun tavan ja kohderyhmän mukaan. Julkiseksi tarkoitettu hiilijalanjälki tulee aina olla kolmannen osapuolen todentama. Hiilijalanjälkimerkinnässä ja -selosteessa pakollisia osioita ovat lisäksi viestintäohjelma ja tuoteryhmäkohtaiset säännöt. Viestintäohjelma on suunnitelma täsmällisen ja selkeän hiilijalanjälkiviestinnän toteuttamiseen, jossa esitetään viestinnälle asetetut vaatimukset ja menettelytavat. Sitä käytetään myös hiilijalanjäljen tuoteryhmäsääntöjen hallintaa ja ylläpitoon. Viestintäohjelman tarkoituksena on varmistaa hiilijalanjäljen laskemisen johdonmukaisuus eri tuoteryhmien ja teollisuussektoreiden sisällä. (ISO/TS 14067/2013, 76.)

Ulkoisessa viestintäraportissa ja hiilijalanjäljen tason seurantaraportissa viestintäohjelman laadinta ja tuoteryhmäsääntöjen käyttö on vapaaehtoista. Kun hiilijalanjälki on vain organisaation sisäiseen käyttöön, viestintäohjelma, tuoteryhmäsäännöt ja kolmannen osapuolen todentaminen ovat vapaaehtoisia paitsi sisäisen hiilijalanjälkiselosteen tapauksessa. (ISO/TS 14067/2013, 70.)

Viestintää koskevat vaatimukset on esitetty koostetusti taulukossa 2 (s. 24). Vihreät laatikot kuvaavat vapaaehtoisia vaiheita ja punaiset pakollisia. Hiilijalanjälkimerkintä voi olla ainoastaan julkinen, jonka vuoksi se on esitetty sisäisen viestinnän kohdalla harmaalla.

Taulukko 2. Hiilijalanjäljen viestimisen vaatimukset

	Ulkoinen viestintäraportti	Hiilijalanjäljen tason seurantaraportti	Hiilijalanjälki-merkintä	Hiilijalanjälkiseloste
Julkinen	Viestintäohjelma	Viestintäohjelma	Viestintäohjelma	Viestintäohjelma
	Tuoteryhmäsäännöt	Tuoteryhmäsäännöt	Tuoteryhmäsäännöt	Tuoteryhmäsäännöt
	3. osapuolen todentaminen	3. osapuolen todentaminen	3. osapuolen todentaminen	3. osapuolen todentaminen
Sisäinen	Viestintäohjelma	Viestintäohjelma	-	Viestintäohjelma
	Tuoteryhmäsäännöt	Tuoteryhmäsäännöt	-	Tuoteryhmäsäännöt
	3. osapuolen todentaminen	3. osapuolen todentaminen	-	3. osapuolen todentaminen

#### 4 PAPERI-MUOVILAMINAATTI YHDISTELMÄMATERIAALINA

Kun tuotteen hiilijalanjäljen laskentaperiaatteet ovat selvillä, siirrytään tarkastelemaan opinnäytetyön hiilijalanjälkiselvityksen varsinaista kohdetta eli paperi-muovilaminaattia. Seuraavat luvut keskittyvät joustopakkausmateriaaleihin kuuluvaan laminaattiin: luvussa 4 kuvataan paperi-muovilaminaatin raaka-aineita, ominaisuuksia ja käyttökohteita, jonka jälkeen laminaatin elinkaari esitellään luvussa 5.

Pakkauksen roolia jokapäiväisessä elämässä on vaikea sivuuttaa: ilman niitä yhteiskuntamme ei toimisi. Pakkauksia tarvitaan suojaamaan pakattuja tuotteita ympäristön rasituksia vastaan. Ne säilyttävät sisältöään ja myyvät sitä ulkopuolelle. Pakkauksen merkinnät kertovat tuotteesta ja antavat tietoa esimerkiksi tuotteen säilyvyydestä ja käytöstä. Monet tuotteet tunnistetaan niiden pakkauksesta, ja näin pakkaus palvelee osaltaan tuotemagon syntyä. (Leppänen-Turkula, Ollila & Järvi-Kääriäinen, 2007, 9, 11.)

Pakkausmateriaalien kirjo on moninainen: puu, pahvi, kartonki, paperi, lasi, metallit ja muovi edustavat kaikista tavallisimpia pakkausmateriaaleja. Pakkaukset sisältävät usein kahta tai useampaa pakkausmateriaalia: muovipakkauksessa voi olla paperinen etiketti tai lasipullossa metallinen korkki. Materiaaleja on myös mahdollista yhdistää toisiinsa pysyvämmiin, jolloin puhutaan yhdistelmä-materiaaleista. Yhdistelmä-materiaalien raaka-aineet yhdistetään toisiinsa laminoimalla tai päällystämällä siten, että ne eivät ole käsin irrotettavissa toisistaan. Esimerkiksi muovikalvoa, paperia ja alumiinifoliota on mahdollista yhdistää keskenään. Paperia ja muovia voidaan myös metalloittaa tai pinnoittaa. (Harju-Eloranta, Hiltunen, Karhuketo & Järvi-Kääriäinen, 2007, 159, 162–164.)

Pakkauksien materiaaliyhdistelmät riippuvat pitkälti pakattavan tuotteen vaatimasta suojasta eli barrieerista. Barrieerin tehtävä on säilyttää pakattun tuotteen alkuperäiset ominaisuudet. Sen ominaisuuksia ovat muun muassa vesi-, vesihöyry-, kaasu-, aromi-, rasva- ja valotiiviys. Suojaominaisuuksien lisäksi muita pakkausmateriaalin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat elintarvikekelpoisuus, hinta, painatus, pakkauksen halutut ulkonäköominaisuudet ja ympäristöystävällisyys. Myös pakkausmateriaalin ajettavuus käytössä olevilla koneilla ja materiaalin jalostajan tuotantomenetelmät vaikuttavat materiaalivalintaan. (Leppänen-Turkula ym., 2007, 11; Harju-Eloranta ym., 2007, 163.)

Yhdistelmäateriaalien etuina ovat hyvät suojaominaisuudet, joiden tuottamiseen tarvitaan vain vähän materiaalikerroksia. Paperi-muovilaminaatti on yhdistelmäateriaali, jossa paperin valonesto kohtaa muovin kaasutiiviuden. Sitä käytetään joustopakkausissa, jotka ovat pussimaisista tai ratamuotoisesta materiaalista muodostettuja pehmeitä pakkauksia (kuva 7). Tavanomaisia joustopakkauslaminaatin käyttökohteita ovat kaupan kääreet ja pussit, kuten lihan, pikaruuan ja leivän kääreet, tai mausteiden, jauhojen ja grillituotteiden pussit. (Harju-Eloranta ym., 2007, 159, 162, 167.)



Kuva 7. Erilaisia paperi-muovilaminaattia hyödyntäviä pakkauratkaisuja (mukaillen Pyroll, 2018; Fazer, 2018).

Paperi-muoviyhdistelmässä on optimaaliset barrieeriominaisuudet pakkauksen kannalta. Muovikalvot antavat kuitumateriaalille vedenpitävyyttä ja vesihöyrytiiviyyttä ja mahdollistavat pakkaustuotteen kuumasaumauksen. Paperi tuo pakkaukseen arvostettuja ominaisuuksia pölynsuojan, painatusominaisuuksien ja valoneston muodossa. (Harju-Eloranta ym., 2007, 162, 164.)

Paperi-muovilaminaatin raaka-aineet riippuvat pakattavasta tuotteesta. Paperi-muovilaminaatin tyypillinen materiaaliyhdistelmä on paperi ja polyeteeni, mutta polyeteenin voi korvata muukin kosteusuoja, rasvasuoja tai saumauspinoite. Paperilaatuna käytetään toispuoleisesti kiiltäviä MG-

papereita (Machine Glazed) tai yksipuolisesti päällystettyjä papereita. (Harju-Eloranta ym., 2007, 164, 167).

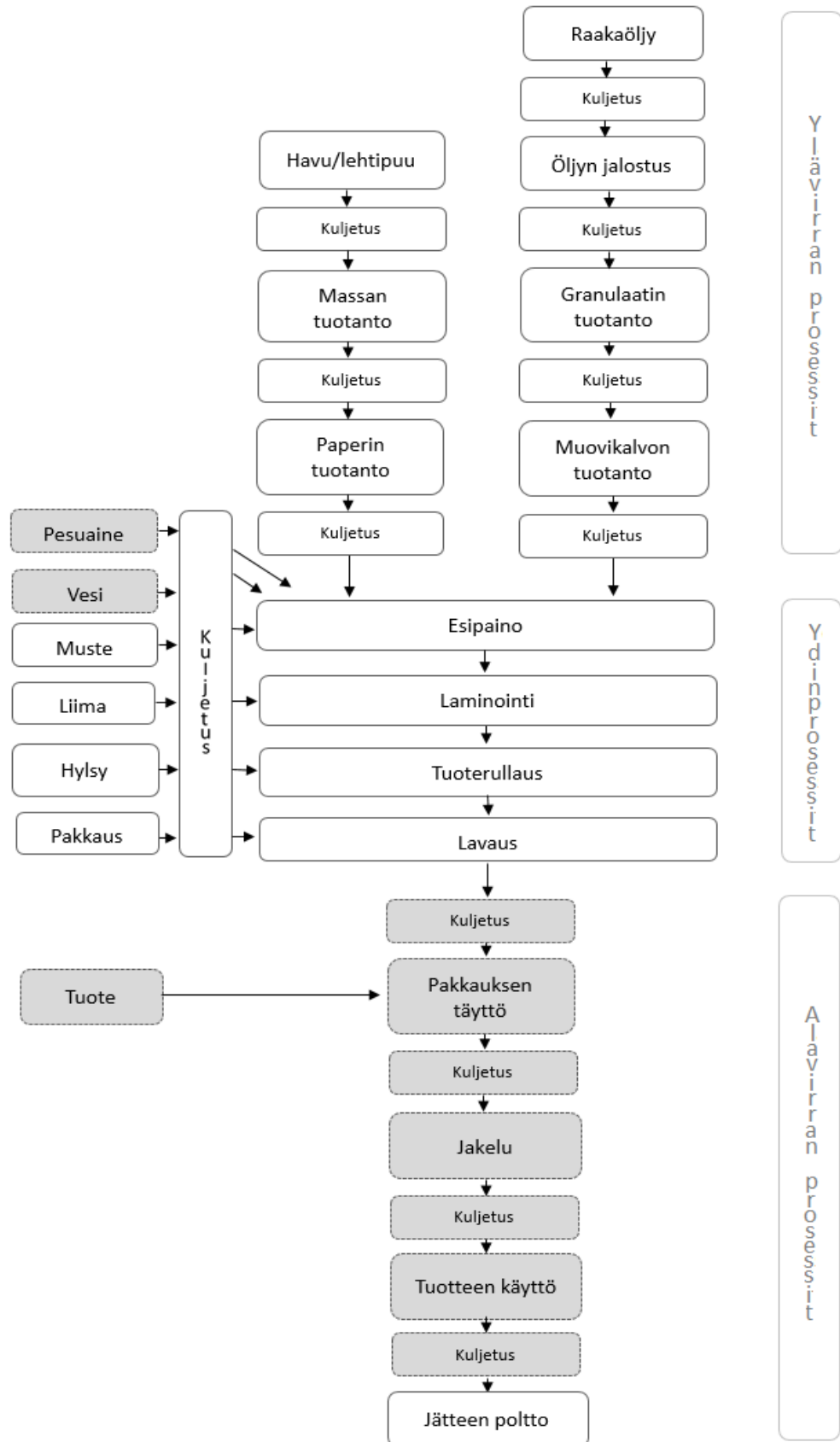
Erikoiskalvoista ja voimapapereista voidaan valmistaa korkeamman barrieerin omaavia laminaatteja. Erikoislaminaatit ovat kuumasaumattavia ja kemiallisesti kestäviä, jolloin ne soveltuvat erityyppisiin pakkaussovelluksiin kuin tavanomainen paperi-muovilaminaatti. Niiden käyttökohteita ovat lääkkeiden, tomaattisoseiden, kosteuspyyhkeiden tai teknokemian tuotteiden pakkauspussit sekä muovitölkkiä saumattavat kansimateriaalit. Erikoiskalvoista valmistettuja laminaatteja käytetään korvaamaan kalliimpia alumiinipohjaisia barrieerilaminaatteja, joita pidetään parhaimpana joustopakkausmateriaalina niiden erinomaisten suojaominaisuuksien ansiosta. Erikoiskalvolaminaattien kaasu-, aromi-, rasva- ja vesihöyrytiiviyys ovat melkein yhtä hyvät kuin kilpailevan alumiinilaminaatin. (Harju-Eloranta ym., 2007, 164, 167.)

Paperi-muovilaminaatti toimitetaan pakkaajalle ratamateriaalina ja varsinaisen pakkausmuotoillaan vasta tuotantolinjalla. Laminaatti voi olla painettu tai painamaton. Myös materiaalin saumaominaisuudet voivat vaihdella ja olla erilaiset sisä- ja ulkopinnoilla. (Harju-Eloranta ym., 2007, 163.)

## 5 PAPERI-MUOVILAMINAATIN ELINKAARI

Paperi-muovilaminaatin elinkaari, kuten tuotteiden elinkaari yleensäkin, on monivaiheinen. Laminaatin elinkaari alkaa pakkausmateriaalin raaka-aineiden tuottamisesta. Pakkausmateriaalinvalmistajat, kuten sellunvalmistajat sekä polymeerien ja kemikaalien tuottajat, tuottavat materiaalit pakkauksen valmistajalle, jolta pakkaus menee pakkaajalle. Pakattu tuote päättyy kaupan välittämänä edelleen käyttäjälle, josta se etenee kierrätykseen tai energiaksi. Osa pakkauksista päättyy jätteen loppusijoitukseen. Elinkaaren eri vaiheisiin osallistuu myös muunlaisia toimijoita, joihin kuuluvat esimerkiksi laitetoimittajat, suunnittelijat, painotalot sekä mainostojen toimistot. (Katajajuuri & Ollila, 2007, 15.)

Paperi-muovilaminaatin elinkaari on esitetty kuvassa 8 (s. 27). Elinkaaren ylävirran prosesseja ovat raaka-aineina toimivan paperin, polymeerikalvon, musteen, liiman, kartonkihylysyn ja paperi-muovilaminaatin pakkauksen valmistus. Paperi-muovilaminaatin tuotanto muodostaa elinkaaren ydinprosessit. Alavirran prosesseja ovat kaikki laminaatin tuotannon jälkeiset prosessit, kuten pakkauksen muodostus ja täyttö, jakelu- ja käyttövaihe sekä käytöstä poistamisen vaihe, joka on paperi-muovilaminaatin tapauksessa jätteen poltto.



Kuva 8. Paperi-muovilaminaatin elinkaaren vaiheet



Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana tapahtuvat prosessit ja käytetyt materiaalit vaikuttavat luonnollisesti tuotteen kasvihuonekaasupäästöihin (PAS 2050:2011, 4). Tässä luvussa esitellään paperi-muovilaminaatin elinkaaren tärkeimmät vaiheet. Näin saadaan käsitys pakkausmateriaalin hiilijalanjäljen suuruuteen vaikuttavista tekijöistä.

## 5.1 Raaka-aineiden valmistus

Paperi-muovilaminaatti koostuu pääasiassa kalvomuovista ja paperista, vaikka sen tuottamiseen tarvitaan myös mustetta ja liimaa. Musteen ja liiman tuotantoprosessit edustavat vain murto-osaa paperi-muovilaminaatin elinkaaresta, jolloin niiden tuotantovaiheisiin ei perehdytä tarkemmin tässä opinnäytetyössä. Seuraavissa luvuissa esitetään laminaatin tärkeimpien raaka-aineiden valmistusprosessit pääpiirteittäin, jonka jälkeen syvennytään itse laminaatin tuotantoprosessiin.

### 5.1.1 Polyeteenin, polypropeenin ja polyeteenitereftalaatin valmistus

Paperi-muovilaminaatin ensimmäinen raaka-aine on muovi. Muovit koostuvat polymeeriketjuista, jotka ovat yhteen liittyneitä, pienemmistä rakennyksiköistä eli monomeereista koostuvia makromolekyylejä. Muovien ominaisuudet perustuvat molekyylien suureen kokoon ja polymeeriketjujen pituuteen. (Hélen, Järvi-Kääriäinen, Laiho & Ollila, 2007, 86–87.)

Muoveja käytetään usein yhdistelmä rakenteissa, jotka eivät olisi teknisesti mahdollisia ilman niitä. Muovikalvoilla saadaan pakkaukseen kosteussuoja ja kalvo mahdollistaa materiaalin saumattavuuden. Läpinäkyvällä muovilla on myös tärkeä rooli pakkauksen ”ikkunana”. (Harju-Eloranta ym. 2007, 165.) Laminaateissa käytetty kalvomuovi valmistetaan synteettisesti kemianteollisuuden tuottamista pienimolekyylisistä monomeereista. (Helén ym., 2007, 86.)

Polyeteeni (PE) ja polypropeeni (PP) ovat suosituimpia muovikalvon raaka-aineita. Polyeteeni on edullinen, kevyt ja iskuluja materiaali, jolla on erinomainen kemikaalien ja kulumisen kesto. Se ei juuri ime kosteutta ja on helppo värjätä. Sen huonoja puolia ovat jäykkyys ja vetolujuus, eikä se selviydy yli 80°C lämpötilassa. (Muoviyhdistys, 2016.)

Polypropeeni on polyeteenin suurin kilpailija. Ominaisuuksiltaan se on polyeteeniä jäykempi ja kovempi materiaali, ja se kestää paremmin rasvaa ja kemikaaleja. Myös polypropeenin vetolujuus on parempi kuin polyeteenin, mutta iskulujuus heikompi. Polyeteenin tavoin polypropeeni on halpa ja kevyt materiaali, joka ei ime kosteutta ja kestää kemikaaleja. (Helén ym., 2007, 93; Muoviyhdistys, 2016.)

Kun muovikalvolta vaaditaan kaasutiivyyttä, polyeteenitereftalaatti eli PET-muovi on hyvä raaka-ainevaihtoehto. Tereftaalihaposta ja eteeniglykolista

valmistettava PET-muovilaminaatti kestää hyvin korkeita lämpötiloja eikä päästä kaasuja kulkeutumaan lävitseen, jolloin sitä voidaan käyttää suoja-kaasupakkauksissa. Se on myös yksi kovimpia kalvomateriaaleja.

PET-muovi jaetaan alalajeihin rakenteen mukaan: PET-A on muovin amorfinen muoto ja PET-C:n atomit ovat järjestäytyneet osittain kiteisesti. PET-A:n suosituimpia käyttökohteita ovat virvoitusjuomapullot, mutta siitä voidaan valmistaa myös tekstiilikuitua. PET-C:tä käytetään esimerkiksi uuninkestävissä annosvuoissa. (Helén ym., 2007, 97.)

Polyeteenitereftalaattia valmistetaan teollisesti polykondensaatioreaktiolla, missä tereftaalihappo ja eteeniglykoli ensin esteröityvät ja sitten polymeroituvat paineen ja lämpötilan avulla. Kondensaatiopolymeraatioissa monomeerien liittyessä yhteen jokin pienimolekyylinen yhdiste, kuten vesi, lohkeaa liittymiskohdasta pois. (Malén, Sandell & Virtanen, 1999, 26.) Polymerointi voi tapahtua korkeassa tai matalassa lämpötilassa. Korkean lämpötilan menetelmässä polymeroinnin sivutuotteena syntyvä vesi poistetaan sekoittamalla reagoivaa massaa ja käyttämällä korkeaa lämpötilaa ja alipainetta. Matalan lämpötilan menetelmän polymeroinnissa lähtöaineet liuotetaan kahteen toisiinsa liukenemattomaan nesteeseen, missä reaktio tapahtuu nopeasti nesteiden rajapinnassa. (Seppälä, 2001, 106.)

Polyeteeni ja polypropeeni ovat polyolefiineja. Nimitys polyolefiini viittaa siihen, että polymeeriketjun muodostavana monomeerinä on toiminut alkeeni, tässä tapauksessa eteeni tai propeeni. Eteeniä ja propeenia saadaan maakaasusta kaasumaisessa muodossa, mutta yleisempi valmistustapa on teollisuusbensiinin krakkaus (Karhuketo, Seppälä, Törn & Viluksela, 2004, 66). Polyolefiinien krakkauksessa öljyn hiilivedyt pilkotaan lyhytketjuisiin tyydyttämättömiin hiilivetyihin kuumennuksen avulla. Krakkausta seuraa monivaiheinen tislauk, jossa erottuu eteeniä, propeenia, butadieenia ja aromaattisia aineita. (Helén ym., 2007, 91–92.)

Polyeteeni valmistetaan eteenistä joko korkeapaine- tai matalapaine-prosessissa. Polyeteenin tiheys vaihtelee valmistusprosessin mukaan, jonka vuoksi eri polyeteenilaadut erotetaan toisistaan kirjainyhdistelmillä. Korkeapaine-prosessi perustuu paineen asteittaiseen nousuun ja siinä syntyy matalatiheyksistä polyeteeniä eli PE-LD:tä (low density polyethylene). Matalapaine-prosessissa polymerointi tapahtuu matalassa lämpötilassa ja paineessa katalysaattorin avustamana joko saostus- tai liuotuspolymerointina. Prosessista saadaan korkeatiheyksistä polyeteeniä eli PE-HD:tä (high density polyethylene). Eteeniä voidaan myös kopolymerisoida butaanin kanssa matalapaine-prosessin kaltaisella menetelmällä, minkä tuloksena syntyy lineaarisista pienitiheyksistä polyeteeniä (PE-LLD, linear low density polyethylene). (Helén ym., 2007, 91–92.) Polyeteenin valmistuksen vaiheet on esitetty kuvassa 9 (s. 30).



Kuva 9. Polyeteenin valmistusprosessi (mukaillen PlasticsEurope, 2018).

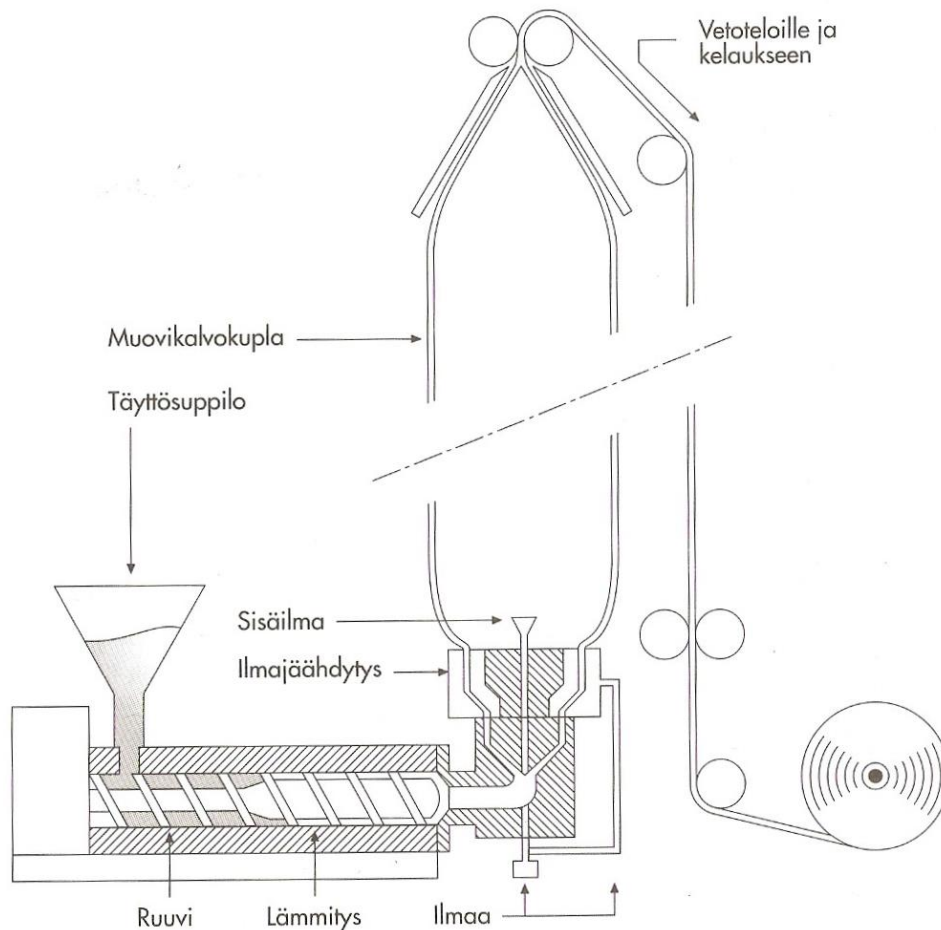
PE-LD:n ja PE-LLD:n osuus Länsi-Euroopassa käytetyistä kalvomuoveista on 76 %, ja merkittävä osa kalvoista menee pakkaustarkoitukseen. Päälystämiseen käytetään 7 % ja loput polyeteenistä käytetään muiden tuotteiden valmistusprosesseissa. Suomessa päälystämiseen käytetään peräti 35 % PE-LD:stä kehittyneen paperinjalostusteollisuuden ansiosta. (Helén ym., 2007, 93.)

Polypropeenin valmistusprosessi muistuttaa PE-HD:n valmistukseen käytettävää matalapaineprosessia. Prosessissa lähtöaineet eteeni, vety ja propeeni polymerisoituvat katalyytin avulla kahdessa reaktorissa, jonka jälkeen reagoimaton propeeni erotetaan polymeeristä matala- ja korkeapaine-erottimissa. (Helén ym., 2007, 93–94.)

Polymeerien ominaisuuksiin voidaan tarvittaessa vaikuttaa lisäaineiden avulla. Lisäaineilla helpotetaan muovipakkausten valmistusta, lisätään niiden käyttöikä tai parannetaan kalvon optisia ominaisuuksia. Esimerkiksi stabilisaattoreita käytetään estämään polymeerien hajoamista valmistusprosessissa sekä estämään hapen, otsonin tai uv-säteilyn vahingollisia vaikutuksia tuotteeseen. Pehmittimillä puolestaan lisätään polymeerien venyvyyttä ja muokattavuutta. EU:n elintarvikelainsäädäntö määrittää, mitä muovien lisäaineita saa käyttää elintarvikekosketukseen tarkoitettuihin pakkausratkaisuihin. (Helén ym., 2007, 88, 90.)

### 5.1.2 Kalvon valmistus

Polymeerikalvoa valmistetaan tyypillisesti kalvonpuhallusmenetelmällä suulakepuristusprosessissa, jonka periaate on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Kalvon valmistus (Hinttu ym., 2007, 103.)

Menetelmässä muoviraaka-aine syötetään ekstruuderiin eli suulakepuristimeen, jossa se sulaa ja puristuu ulkopuolisen lämmityksen ja ruuvien avulla. Ruuvi sekoittaa sulanutta muovia ja kuljettaa sen eteenpäin suuttimeen, jonka rengasmaisen rako muodostaa siitä letkumaisen rakenteen. Sula muoviletku jäähdytetään ilmalla, jonka jälkeen letkun puristetaan kiinni vetoteloilla. Sen jälkeen letkuun syötetään ilmaa, jolloin siitä muodostuu kalvokupla. Kalvo säädetään haluttuun leveyteen ilmaa lisäämällä. Kalvo siirtyy vetotelojen kautta kelauslaitteeseen, jossa se rullataan. (Hinttu ym., 2007, 102–103.) Rullauksen jälkeen kalvo on valmis toimitettavaksi toimitusketjun seuraavaan vaiheeseen.

### 5.1.3 Kemiallisen massan valmistus

Paperi on paperi-muovilaminaatin toinen pääraaka-aine. Se kuuluu puupääraisiin materiaaleihin, jotka ovat yksi tärkeimmistä pakkausteollisuuden raaka-ainekomponenteista. Kuitupakkausten etuina ovat lujuus, painatusmahdollisuus, kierrätettävyys, kompostointi sekä niiden luonnollinen, uusiutuva alkuperä. (Paltakari, 2007, 129.)

Pohjoismainen paperi valmistetaan kuusi- ja mäntyhakkeesta, jota saadaan sahoilta sivutuotteena tai tuotetaan metsänharvennuksessa saatavasta paperipuusta. Hakkeesta keitetään pitkäkuituista lujaa sellua, joka jatkojalostetaan eri paperilaaduksi. Pakkauksissa käytetty paperi tehdään ruskeasta tai valkoisesta sellusta, ja sen on huomattavasti vahvempaa hioke- tai hierrepohjaisiin painopapereihin verrattuna. Paperia käytetään kääreissä, pusseissa tai yhdistettynä muihin materiaaleihin esimerkiksi etiketin muodossa. (Mansikkamäki, 2002, 138–139.)

Erilaisia paperilaatuja ovat voima-, mg-, yksipuoliset päällystetyt-, tiivis-, irroke-, kreppi- ja säkkipaperit. Paperilaatujen ominaisuudet riippuvat niiden käyttötarkoituksesta. Esimerkiksi korkeabarrieerisissa paperi-muovilaminaateissa käytettävä voima- eli kraftpaperi on painoonsa nähden lujimpia papereita, jonka muita käyttökohteita ovat kääreet, pussit, kassit ja säkit. Se valmistetaan neutraalisesta ruskeasta sulfaattisellusta tai valkaisuista pitkäkuituisesta sellusta, ja sen luonnostaan karheaa pintaa voi kiillottaa painatusominaisuuksien parantamiseksi. (Mansikkamäki, 2002, 138.)

Paperin tärkein raaka-aine on puukuidusta valmistettava massa. Massaa voidaan valmistaa kemiallisesti tai mekaanisesti hiomalla tai hiertämällä. Tässä luvussa keskitytään kirjoitus- ja painopaperien sekä kuitupohjaisten pakkaussovelluksien raaka-aineena käytettävään kemialliseen massaan.

Kemiallisen massanvalmistuksen keittokemikaalit vaihtelevat, mutta Suomessa kemiallista massaa valmistetaan lähinnä sulfaattimenetelmällä pienempien rikkipäästöjen aikaansaamiseksi. Sulfaattimassan eli sellun pääraaka-aineita ovat mänty ja koivu, mutta myös kuusta käytetään jonkin verran. Sellun valmistus perustuu kemialliseen kuidutukseen, jossa kemikaalien ja lämmön avulla kuidusta liotetaan niitä toisiinsa sitova ligniini, jolloin kuidut vapautuvat. Keiton aikana poistuu myös hemiselluloosaa, jolloin massan kokonaissaanto pienenee lähes 50 %. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 31.)

Valmiista massasta erotetaan keittoliemi, minkä jälkeen massa lajitellaan ja käyttötarkoituksesta riippuen valkaistaan. Valkaisussa massan jäännösligniini pyritään poistamaan hapen tai otsonin avulla. Valkaisun voimakkuus riippuu massan jäännösligniinipitoisuudesta. Massan valmistuksesta jäljelle jäänyt keittoliuos väkevöidään haihuttamalla ja poltetaan. Liuenneen puuaineksen palamisesta saatava energia kerätään talteen höyryinä

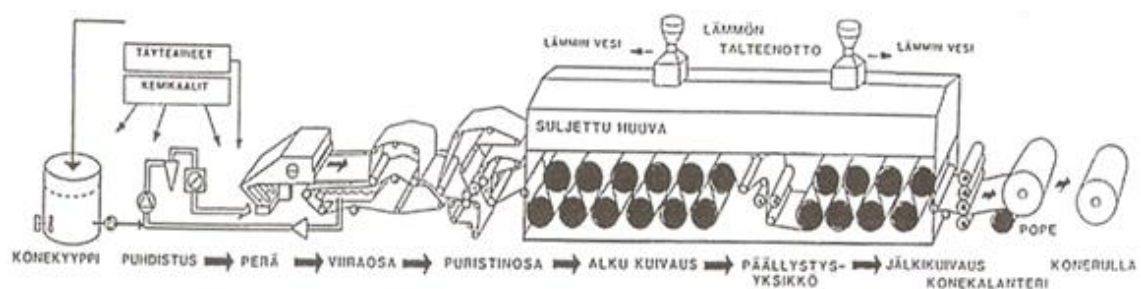
tai sähkönä. Kemikaalit vapautuvat poistossa, ja ne kierrätetään regeneroinnissa uuden keittoliuoksen valmistukseen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 31–32.)

Havupuusta valmistettu sulfaattisellu sisältää pitkiä puukuituja, jolloin sitä käytetään lujuutta vaativissa tuotteissa. Voimapaperien ja aaltopahvin pintakerroksien valmistuksessa käytetään valkaisuamatonta havupuusulfaattimassaa, jonka lujuusominaisuudet ovat valkaistua paremmat. Valkaistua havupuusellua käytetään parempilaatuisten kartonkilajien pinta- tai taustakerroksessa, pehmopapereissa sekä erilaisten kirjoitus- ja painopaperien lujuutta ja ajettavuutta parantavana armeerausmassana.

Lehtipuusellu on lyhytkuituista ja ohutta, jolloin sen optiset ominaisuudet ovat havupuusellua paremmat. Lehtipuusta valmistettu sulfaattimassa soveltuu erityisesti hienopaperien ja valkaistujen kartonkilajien valmistukseen. Kuitujen pintaa käsitellään tavallisesti vielä jauhamalla sitoutumiskykyisen pinnan kasvattamiseksi ennen varsinaisen paperirainan muodostamista. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 32.)

#### 5.1.4 Paperin valmistus

Paperinvalmistuksen prosessi alkaa niin kutsutussa märkämpäässä, missä kuituseos muodostuu rainaksi perälaatikon, viiraosan ja puristinosan kautta. Märkämpää sijaitsee kuvan 11 vasemmalla puolella. Valmistuksen ensimmäisessä vaiheessa laimea kuituseos eli sulppu syötetään tasaisesti perälaatikon läpi kohti viiraosaa, missä kuituseoksesta poistuu vesi. Viiraosa koostuu muovilangasta kudotusta matosta, jonka päällä sulppu kulkeutuu eteenpäin samalla kun sen sisältämä vesi valuu maton kudosten läpi pois. Veden mukana poistuu myös kuitua, minkä vuoksi poistovesi ohjataan takaisin prosessin alkuun ja kuitu palautetaan kiertoon. Viiran läpi kulkenut tuore massa laimennetaan vedellä ja puhdistetaan epäpuhtauksista ja kuitukimpuista. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 15–16.)



Kuva 11. Paperinvalmistuksen prosessikuvaus (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 16.)

Puhdas massa kuljetetaan seuraavaksi puristinosalle ja kuivatusosalle. Puristinosan puristusvyöhykkeellä kaksi tai neljä telaparia puristavat rainaa kuivemmaksi. Samalla rainan kuidut sitoutuvat toisiinsa tiukemmin ja rainan rakenne muuttuu. Puristinosan jälkeisen kuivatusosan tarkoitus on haihduttaa rainasta vesi ja saavuttaa halutun paperilajin mukainen loppukosteus. Kuivatusosastolla raina kulkee höyryllä lämmitettävien sylinterien päällä, jolloin sylinterien lämpö siirtyy paperiin ja haihduttaa siinä olevaa vettä. Kuivatusosa on kokonaisuudessaan kaapumaisen huuvin sisällä, jotta lämpö saadaan kerättyä talteen. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 16.)

Kuivatusosaan on usein yhdistetty liimapuristin, päällystysasema tai jenkisylinteri paperin pintakäsittelyä varten. Pintakäsittelyn tehtävä on parantaa paperin painojälkeä. Päällystys tapahtuu päällystysasemalla, jossa paperin pintaan levitetään pigmenteistä koostuva päällystyseli pasta. Päällystys voidaan suorittaa myös kuivatusosasta erillään olevalla päällystyskoneella. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 16.)

Pintakäsittelyn jälkeen paperin pinta viimeistellään kalanteroinnilla. Kalanteroinnissa paperin pinta kiillotetaan telojen välissä. Kalanteri sijaitsee prosessin loppupäässä ennen kiinnirullausta tai erillisenä kalanterointiprosessina. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 17.)

Paperinvalmistuksen viimeinen osaprosessi on rullaaminen. Rullain rullaa koneen levyisen paperin suureksi konerullaksi. Leveät konerullat leikataan pituusleikkurilla yksittäisrulliksi tai arkeiksi. Pituusleikkuri testaa samalla asiakasrullien ajettavuuden ja rullaa konerullat halutun kokoisiksi asiakasrulliksi. Pituusleikkauksen jälkeen rullat pakataan ja varastoidaan odottamaan kuljetusta. Arkkeina toimitettava paperi arkitetaan usein tehtaan omassa viimeistelyosassa ja pakataan lavoille. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 17.)

#### 5.1.5 Painopaperin täyteaineet

Painettavien paperituotteiden valmistuksessa käytetään useita täyte-, lisä- ja apuaineita, joiden tarkoitus on parantaa paperin laatua tai helpottaa paperin valmistusprosessia. Täyte- ja lisäaineet syötetään prosessiin märkässä.

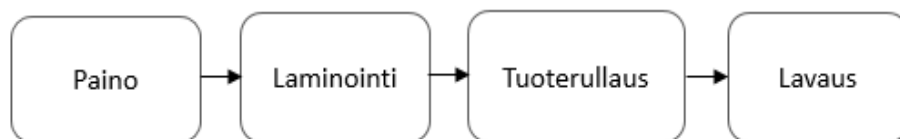
Täyteaineet ovat hienojakoisia pigmenttijauheita, joiden tehtävä on täyttää paperin ja kartongin pintakerroksen huokosia. Ne on valmistettu suoraan tai kemiallisesti luonnon mineraaleista, kuten kaoliinista, talkista, kalsiumkarbonaatista ja synteettisistä pigmenteistä. Täyteaineet lisäävät paperin tiheyttä eli toisin sanoen ohentavat tiettyyn neliömassaan tehtyä paperia. Täyteaineet korvaavat myös paperin kuitua, jolloin paperin lujuus laskee. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 37.)

Paperin muihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa lisäaineilla. Lisäaineryhmiä ovat esimerkiksi kuiva-, ja märkälujaliimat, hydrofobiliimat, värit ja optiset kirkasteet, rasvan hylkivyyttä parantavat aineet, ruosteenestoaineet sekä elintarvikkeiden säilyvyyttä parantavat aineet. Lisäaineet syötetään prosessiin joko massanvalmistuksen yhteydessä tai rainaan liimapuristimella.

Itse paperinvalmistusprosessia voidaan helpottaa erilaisin apuainein. Apuaineilla voidaan estää muun muassa paperikoneen osien likaantuminen, torjua pihkaa, säädellä massan pH:ta, helpottaa vedenpoistoa ja säädellä paperikoneella kulkevan rainan tarttumista. Muita apuaineita ovat limantorjunta- ja vaahdonestoaineet sekä monenlaiset pesuaineet. (Hägglom-Ahnger & Komulainen, 2005, 42–43.)

## 5.2 Paperi-muovilaminaatin valmistus

Paperi- ja muoviraaka-aineet toimitetaan laminaattitehtaalle rullina. Varsinaisen paperi-muovilaminaatin valmistus koostuu neljästä vaiheesta, jotka on havainnollistettu kuvassa 12.



Kuva 12. Paperi-muovilaminaatin valmistusvaiheet

Paperi painetaan, jonka jälkeen se kuljetetaan yhdessä muovikalvon kanssa laminointikoneelle. Laminointikone laminoi materiaalit yhteen liiman avulla ja rullaa materiaalin tuoterullaksi. Tämän jälkeen tuoterulla muunnetaan asiakkaan toivomaan kokoon rullaimella, joka myös pinoaa valmiit asiakasrullat kuljetuslavalle. Tarvittaessa laminaattirullaa voidaan leikata pienempään kokoon pituusleikkurilla. Lopuksi lavalle pinotut asiakasrullat huputetaan, kääritään välimuovikalvoon, tuetaan puutolpilla ja puukannella, minkä jälkeen lava saa vielä toisen kiristekalvokerroksen. Kalvotettu lava siirretään tämän jälkeen varastoon odottamaan kuljetusta jatkojalostukseen. (Toimeksiantaja, 2018.)

Alaluvuissa 5.2.1 ja 5.2.2 on esitetty tarkemmin painon ja laminoinnin prosesseja. Näitä kahta prosessia voidaan pitää paperi-muovilaminaatin valmistuksen tärkeimpinä vaiheina.

### 5.2.1 Paino

Paperi-muovilaminaattia painetaan yleisesti ottaen fleksopainomenetelmällä. Fleksopaino perustuu kohopainamiseen, missä painoväri siirtyy



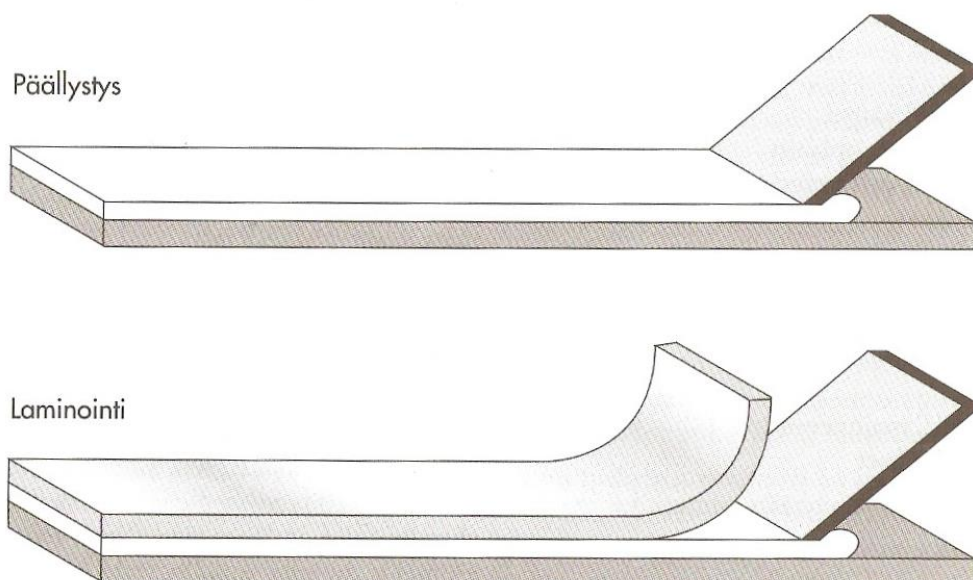
painolevyn koholla olevilta pinnoilta painettavalle materiaalille. Sen erikoisuutena ovat joustavat painolevyt ja painolaatat, mistä menetelmä on saanut nimensäkin.

Menetelmän periaate on seuraava: juokseva, matalaviskoottinen painoväri annostellaan rasteritelan kautta painolevylle, jonka kohopinnalta väri siirtyy painonipin puristuksessa painomateriaalille. Koneen painopinta muodostuu joko yhdestä isosta painolevystä tai useammasta erillisestä, painosylinterin pinnalle kiinnitetystä laatasta.

Fleksopainon joustava painolevy mahdollistaa eri pakkausmateriaalien painon aina muovista aaltopahviin, minkä vuoksi menetelmä on suosittu pakkausteollisuudessa. Joustavalla painolevyllä voi painaa myös karheaa pintaa ja se soveltuu hyvin sekä päällystetylle että päällystämättömälle materiaalille. Myös vesipohjaisten painovärien käyttö on mahdollista. (Karhuketo ym., 2004, 116–117.)

### 5.2.2 Liimalaminointi

Joustopakkauksissa käytettävien yhdistelmäateriaalien raaka-ainekomponentit liitetään toisiinsa päällystämällä tai laminoimalla (kuva 13). Pakkausmateriaalin päällystyksellä tarkoitetaan yhden tai useamman, yleensä juoksevassa tai pastamaisessa muodossa olevan kerroksen levittämistä ratamaisen materiaalin pinnalle ja sen kiinnittämistä ja kovettamista radan pintaan. (Harju-Eloranta ym., 2007, 162.)



Kuva 13. Laminoinnin ja päällystämisen periaate (Hiltunen ym., 2007, 162)

Opinnäytetyössä tarkasteltava paperi-muovilaminaatti valmistetaan liimalaminointimenetelmällä. Liimalaminointi soveltuu hyvin kapeisiin ratoihiin ja lyhykestoisiin tuotantoeriin (Bezigan, 2007, 432). Menetelmässä liitetään polyolefiinejä, kuten polyeteeniä ja polypropeenia, alusratana toimivaan paperiin liiman avulla. Liimalaminointi jaetaan edelleen märkä- ja kuivalaminointiin. Märkälaminoinnissa liimaa sisältävä neste haihdutetaan materiaalien yhteen puristamisen jälkeen toisen radan läpi. Liima voidaan kovettaa myös ilman haihduttamista kemiallisen reaktion kautta. Reaktio voidaan käynnistää reagoivilla komponenteilla, katalysaattorilla, lämpökäsittelyllä, UV-säteilyllä tai ilmankosteuden avulla. (Harju-Eloranta ym., 2007, 162, 165.)

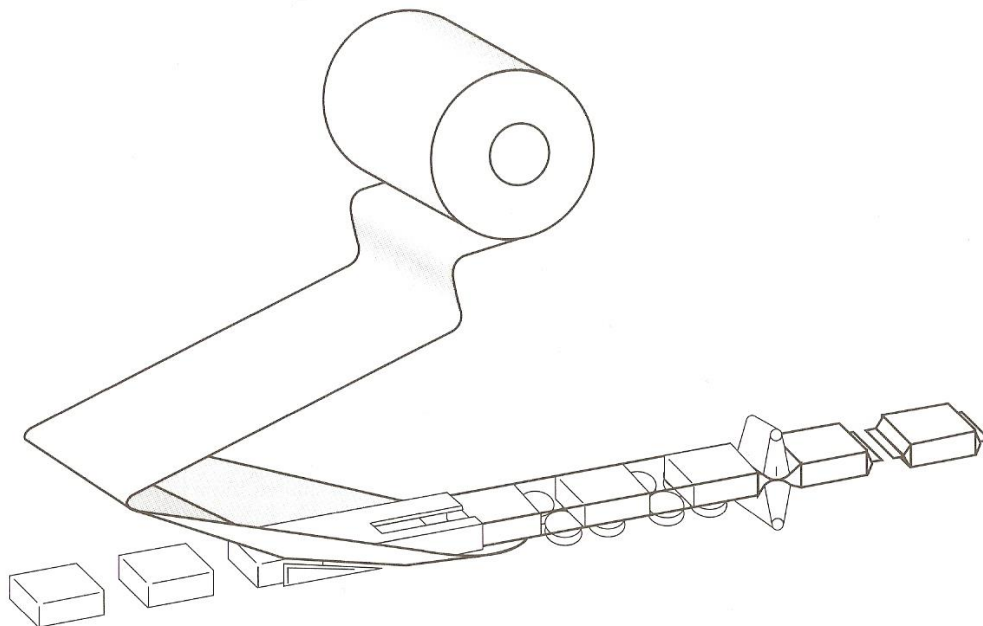
Kuivalaminoinnissa liiman liuotin kuivatetaan ensin ja radat liitetään yhteen joko tarramaisuuden tai korkean lämpötilan aiheuttaman sulamisen ansiosta (Harju-Eloranta ym., 2007, 162). Koskisen (2013, 9.) mukaan Metsäteollisuuden työnantajaliitto (1982) esittelee liimamenetelmissä käytettäviksi liimoiksi silikaatit, kaseiini- ja tärkkelyspohjaiset liimat sekä dispersioliimat. Liiman tilalla voidaan käyttää myös erilaisia lakkoja tai vahaa, joloin käytetään nimityksiä lakka- ja vahalaminointi.

### 5.3 Jatkojalostus

Paperi-muovilaminaattia hyödynnetään lukuisissa pakkausratkaisuisissa: sitä voidaan käyttää esimerkiksi lihan, pikaruuan tai meijerituotteiden kääreissä ja pussimaisissa pakkauksissa. Joustopakkausissa käytettävä laminaatti toimitetaan pakkaajalle ratamateriaalina ja varsinainen pakkaus muotoillaan vasta tuotantolinjalla, missä pakkaus myös täytetään.

Seuraavaksi esitellään lyhyesti paperi-muovilaminaatin yksi mahdollinen jatkojalostusskenaario. Opinnäytetyön varsinaisessa hiilijalanjäljen selvitysosiossa jatkojalostus on rajattu tarkasteltavan järjestelmän ulkopuolelle. Jatkojalostusesimerkinä toimii kuvitteellinen joustopakkaus, johon on pakattu meijerituotteita.

Ratamuotoisesta joustopakkausmateriaalista muodostetaan pakkausmuodostus-täyttö-suljentakoneella (form-fill-seal-kone). FFS-koneet jaetaan pakkausmateriaalin kulkusuunnan mukaan pystypakkaus-koneisiin ja vaakapakkaus-koneisiin. Tässä esimerkissä meijerituote pakataan vaakapakkaus-koneella eli flowpak-koneella, jonka periaate on esitetty kuvassa 14 (s. 38). (Hanén & Järvi-Kääriäinen, 2007, 187.)



Kuva 14. Vaakapakkaus kone eli flowpak-kone (Hänen & Järvi-Kääriäinen, 2007, 187.)

Nimi flowpak viittaa koneen pakkausradan jatkuvaan liikkeeseen: rata ei seisahdu edes pakkauksen saumauksen ajaksi. Flowpak-kone käyttää vain yhtä materiaalirullaa, jonka se rullaa auki, muotoilee pussimaiseen muotoon ja saumaa pitkittäin ja poikkisuuntaisesti. Lopuksi kone katkaisee materiaalitunnelin yksittäisiksi pusseiksi, kuten kuvasta 14 voidaan havaita. Pakkauksen saumausta tapahtuu koneessa yleensä kuumasaumaamalla. Valmis joustopakkaus jää yleensä hieman väljäksi. Pakattavan tuotteen säilyvyyttä voidaan parantaa pakkaamisen yhteydessä tapahtuvalla kaasu- huuhtelulla. (Järvi-Kääriäinen, 2002, 92–93; Hanén & Järvi-Kääriäinen, 2007, 187.)

#### 5.4 Käyttövaihe

Joustopakkauksen tyypillinen käyttövaihe alkaa, kun kuluttaja ostaa pakattun tuotteen ja kuljettaa sen kotiinsa. Pakattu tuote asetetaan jääkaappiin tai komeroon säilytykseen, jonka jälkeen pakkaus avataan ja lopulta heitetään roskiin. Pakkauksen pääasiallinen tehtävä käyttövaiheen aikana on suojata ja säilyttää tuotetta. Jotkut elintarvikkeet voidaan myös lämmittää pakkauksen sisässä mikroaaltouunissa.

Joustopakkausten tuoteryhmäkohtaiset säännöt ohjeistavat rajaamaan käyttövaiheen ja kuluttajan kotimatkan elinkaariarvioinneista ja hiilijalanjälkiselvityksissä ulos, sillä vaihe on pitkälti riippuvainen yksittäisen henkilön kulutustottumuksista ja siten vaikeasti mitattavissa (EPD, 2017).

## 5.5 Loppusijoitus

Joustopakkauksen loppusijoitus riippuu täysin pakkaukseen käytetyistä materiaaleista. Paperipohjaiset laminaatit sopivat erinomaisesti kierrätykseen, kompostointiin tai energiajätteeksi. Pakkausmateriaalien suhde toisiinsa määrittää loppusijoituksen: jos pakkaus sisältää enemmän muovia, pakkaus lajitellaan muovinkeräykseen. Vastaavasti paperipohjaiset pakkaukset lajitellaan paperinkeräykseen. Pakkausmateriaalit menevät polttoon, missä ne hyödynnetään energiana. Jotkut materiaalit soveltuvat myös kierrätykseen sellaisenaan. Vain harva pakkausmateriaali päätyy jätteen loppusijoituspaikalle. (Mansikkamäki, 2002, 138.)

## 5.6 Elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen

Pakkausta on tarkasteltava osana pakattavan tuotteen laajempaa tuotantoketjua. Pakkauksen elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasut ja muut ympäristövaikutukset ovat vähäiset koko tuotantoketjun elinkaareen verrattuna: useimpien elintarvikkeiden pakkausten valmistuksen osuus tuotteen kokonaisympäristövaikutuksista on vain 0,5–2 prosenttia. Toisaalta jos pakkaus hajoaa ja syömäkelpoista ruokaa joudutaan heittämään roskiin, koko ketjun ympäristövaikutukset ovat syntyneet turhaan. (Säilä, 2017, 8, 10.)

Kun halutaan vähentää pakkausten kasvihuonekaasupäästöjä, tulisi koko tuotejärjestelmä optimoida alkutuotannosta lähtien ja ymmärtää pakkauksen merkitys siinä tuotehävikkiä vähentävänä tekijänä. Luonnonvarakeskus tutki vuonna 2011 FuturePackEKO2010-hankkeessa elintarvikkeiden pakkausvaihtoehtojen ympäristövaikutuksia elinkaariarvioinnin avulla. Tutkimuskohteena olivat soijapohjaisen jugurtin, ruisleivän ja kokolihallekkeleiden pakkausvaihtoehdot. Elinkaariarvioinneissa tarkasteltiin ilmastomuutoksen, rehevöitymisen ja happamoitumisen ympäristövaikutusluokkia.

Tutkimustulokset osoittivat, että elintarvikkeiden tuotantovaiheen ympäristövaikutukset ovat tuote-pakkausjärjestelmätasolla merkittävin tekijä. Pakattujen elintarvikkeiden kuluttajahävikin määrä osoittautui tärkeämmäksi ilmastomuutoksen aiheuttajaksi kuin tuotetta suojaavan pakkauksen valmistus tai loppukäyttö. Näin ollen kuluttajahävikkiä vähentäneet pakkausratkaisut, jotka auttavat tuotetta säilymään pidempään ja kulkeutumaan ehjänä kuluttajalle aiheuttivat kokonaisuutta ajatellen vähiten ympäristövaikutuksia. (Silvenius ym., 2011, 3; Katajajuuri & Ollila, 2007, 22.)

Lisäksi elinkaariajattelu puoltaa paperi-muovilaminaattien kaltaisten yhdistelmäateriaalien käyttöä perinteisiin materiaaleihin verrattuna. Niiden valmistuksen tavoitteena on käyttää mahdollisimman vähän kutakin tarvittavaa materiaalia tarkoituksenmukaisen yhdistelmäateriaalin tuottamiseen. Lisäksi kahta tai useampaa pakkausmateriaalia yhdistämällä pystytään takaamaan tuotteen pakkaamisen vaadittavat

suojaominaisuudet vähemmällä materiaalilla. Loppukäyttöä ajatellen yhdistelmäateriaalit ovat hyvä pakkausmateriaalivaihtoehto, koska ne soveltuvat hyvin energiana hyödyntämiseen. (Hiltunen ym., 2007, 162.) Vaikka muovien osuus pakkausmateriaaleissa kasvaa jatkuvasti, paperi-muovilaминаateissa muovia pystytään korvaamaan kuidulla. Samalla hillitään muovin ympäristövaikutuksia ja kasvihuonekaasupäästöjä.

## 6 PAKKAUSTEN HIILIJALANJÄLKIMERKINNÄT SUOMESSA

Pakkausten hiilijalanjälkeä määrittää kokonaisketjuajattelu, mikä voidaan havaita myös hiilijalanjälkitutkimuksissa: yksittäisille pakkauksille on harvemmin laskettu hiilijalanjälkiä, koska pakkaus nähdään kiinteänä osana pakattavan tuotteen tuotantoketjua. Seuraavassa luvussa perehdytään muutaman suomalaisen elintarvikkeen hiilijalanjälkiselvitykseen. Hiilijalanjälkiselvityksiä on tehty melko vähän, jonka vuoksi luvussa tarkastellaan myös elinkaariarviointeja ilmastonmuutosvaikutusluokan osalta.

Hartikaisen, Katajajuuren ja Pulkkisen mukaan (2011, 34) vuonna 2011 ainakin kolme suomalaista yritystä, Fazer, Hunajayhtymä ja Raisio, olivat lisänneet elintarvikepakkauksiinsa hiilijalanjälkimerkinnät. Hiilimerkintöjä löytyy esimerkiksi kaurahiutaleista, kekseistä, välipalajuomista, leivistä ja hunajasta. Arvioiden mukaan Suomessa on noin 30–35 elintarviketta, joilla on hiilimerkintä. Lisäksi osa suomalaisista elintarvikeyrityksistä viestii tuotteidensa hiilijalanjäljestä kotisivuillaan, vaikka varsinaista pakkausmerkintää ei olisikaan. Muutammat suomalaiset elintarvikealan yritykset kertovat myös kompensoivansa toimintansa kasvihuonekaasupäästöjä.

Pakkauksen tuotannon osuus elintarvikeketjun ympäristö- ja ilmastovaikutuksista vaihtelee tuotteista riippuen. Elintarvikkeiden ympäristövaikutuksia tutkittiin laajemmin Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT:n Foodchain-hankkeessa 2000-luvun alkupuolella. MTT kehitti yhdessä alan elinkeinoelämän kanssa tuotelähtöisen ympäristöhallinnan menetelmiä viisi vuotta kestäneessä hankkeessa, jonka tulokset julkaistiin vuonna 2003. Hankkeessa tutkittiin Elovana-kaurahiutaleiden, Emmental-juuston ja Kariniemen broilerifileiden tuotantoketjun ympäristövaikutuksia elinkaariarvioinnin avulla. (LUKE, 2015; Katajajuuri & Ollila, 2007, 17.)

Kaurahiutaleiden, juuston ja broilerinfileiden tuotantoketjujen elinkaariarvioinnissa käytetyt tiedot perustuivat ketjujen todellisiin tietoihin muun muassa toimintamalliin ja prosesseihin liittyen. Tuote-esimerkkien tarkastelussa oli mukana koko tuotantoketju maatilalta kauppaan saakka. Kulutusvaihe oli rajattu ulos. Tarkastelun ilmastonmuutosvaikutusluokkaan oli sisällytetty hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, rikkioksidi, ammoniakki, typpen oksidit sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet. (Katajajuuri & Ollila, 2007, 17–18.)

## 6.1 Kariniemen hunajamarinoidut broilerin fileesuikaleet

Kariniemen hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden suurimmat ympäristövaikutukset aiheutuivat broilerin tuotannosta, jonka osuus ympäristövaikutuksista oli 65–85 %. Broilerin tuotantoprosessiin kuului muun muassa broilerikasvattamoiden sähkön- ja lämmönkulutus, broilerin ruokinta, broilerinlannan käsittely, rehuviljan viljely sekä sen teollinen prosessointi. (Katajajuuri & Ollila, 2007, 18.)

Tutkittu broilerinfilee oli pakattu suojakaasuun polypropeenirasiaan, jonka kantena toimi korkeabarrierinen monikerroslaminaatti. Elinkaariarvioinnissa oli mukana kolme eri kokoista broilerinfileerasiaa. Niiden osuuksia painotettiin toiminnallista yksikköä kohti myyntivolyymien suhteessa. Pakkauksiin kuului kulutuspakkauksen lisäksi välivarastoinnin pakkauksena toimiva muovipussi-aaltopahvilaatikoyhdistelmä ja muoviset kuljetuslaatikot, joiden tuotanto otettiin huomioon siltä osin, kun kuljetuslaatikoita häviää kierrossa. Kaikissa pakkaustyypeissä oli huomioitu koko tuotantoketju raaka-aineiden keruusta pakkausten valmistusprosesseihin. Pakkausten osuus broilerinfileeketjun kokonaisympäristövaikutuksista oli yhden prosentin luokkaa. (Katajajuuri & Ollila, 2007, 18.)

Broilerinfileiden elinkaaren kasvihuonekaasujen määrää voidaan arvioida ketjun energiankulutuksesta ja ilmastovaikutusluokan tuloksista. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden suurimmat ilmastonmuutosvaikutukset syntyivät broilerin kasvatuksesta ja broilerinlihan tuotannosta. Pakkausten valmistuksen osuus tuotantoketjun energiankulutuksesta oli 14 %, mutta pakkausten ilmastonmuutosvaikutus oli vain neljä prosenttia. Yhteenvetona todettakoon, että pakkausten osuus broilerinfileen ympäristövaikutuksista oli vähäinen. (Katajajuuri & Ollila, 2007, 19–20.)

## 6.2 Sinileima Emmental-juusto

Emmental-juuston elinkaariarviointi suoritettiin alun perin vuonna 2004 ja päivitettiin vuotta myöhemmin. Elinkaariarvioinnin mukaan juuston tuotannon suurimmat ympäristövaikutukset syntyivät alkutuotannosta, kuten broilerinfileiden tapauksessa.

Juuston pakkauskokonaisuuteen sisältyi monikerroslaminaatista valmistettu kuluttajapakkaus, aaltopahvinen ryhmäpakkaus, juuston kypsytyks- ja suojakalvot sekä kuljetuksessa käytetty pakkausmateriaali. Monikerroslaminaatin tuotannon hiilidioksidipäästöt olivat noin kaksi prosenttia ja ryhmäpakkauksen päästöt yksi prosentti juuston tuotannon päästöistä. Juuston kypsytyks- ja suojakalvojen sekä kuljetuspakkausten osuus oli huomattavasti pienempi. Pakkausten osuus juuston tuotantoketjun kokonaisenergiankulutuksesta oli kolme prosenttia. Koko ketjun ilmastonmuutosvaikutuksesta pakkausten osuus oli vain yhden prosentin verran. (Katajajuuri & Ollila, 2007, 21.)

### 6.3 Elovena-kaurahiutaleet

Elovena-kaurahiutaleiden elinkaariarvionnin tulosten mukaan suurimmat ympäristövaikutukset- ja kuormitukset syntyivät alkutuotannosta. Ilmaston lämpenemiseen vaikuttivat lannoitteiden typpioksiduuli ja hiilidioksidi, jota syntyy työkoneiden käytöstä, kauran kuivatuksesta ja kauran kalkituksesta. Viljelyn osuus ilmastonlämpenemispotentiaalista oli reilu 50 %.

Kaurahiutaleiden pakkauksiin kuuluivat kaurahiutalekotelosta ja sisäpussista koostuva tuotepakkaus, tuotteen ryhmäpakkauksena toimivat aaltopahvilaatikot sekä kuljetuspakkaukset, joita olivat kertakäyttöiset lavat ja niiden kiristekalvot. Pakkausten osuus kaurahiutaleketjun hiilidioksidipäästöistä oli 9 %. Ryhmäpakkausten osuus oli puolestaan neljä prosenttia. Pakkausten yhteenlaskettu osuus ketjun kokonaisilmastonmuutosvaikutuksista oli kuusi prosenttia. (Katajajuuri & Ollila, 2007, 20–21.)

### 6.4 Raisio Oyj:n hiilimerkinnät

Foodchain-hankkeessa toteutettu Elovena-kaurahiutaleiden elinkaariarviointi ja kuluttajien kasvava mielenkiinto elintarvikkeiden ympäristövaikutuksia kohtaan käynnisti laajemman hiilijalanjälkityön Raisiolla, jonka myötä ensimmäiset paketit saivat merkkinsä vuonna 2007. Hiilijalanjälkiä on laskettu kaurahiutaleiden lisäksi kekseille ja välipalajuomille. (Antila, 2010, 21.)

Raisio on ensimmäinen suomalainen elintarvikeyritys ja ensimmäisten joukossa maailmassa laskenut tuotteillaan hiilijalanjälkiä. Raisio kerää yksityiskohtaista tietoa jokaisen 2 500 sopimusviljelijän sadosta, käytetyistä lannoitteista ja energiankulutuksesta ja laskee niiden avulla päästöarvot. Se kehitti tietojen keruuta varten erityisen ympäristöindeksityökalun, jonka avulla tietoja voidaan myöhemmin helposti päivittää. (Antila, 2010, 21–22.)

Työkalu luokittelee sopimusviljelijöiden tiedot neljänneksiin parhaimmasta huonompaan, ja jokainen viljelijä voi seurata mihin kohtaan asteikkoa asettuu (Antila, 2010, 24–25). Indeksi tarjoaa viljelijöille omaa tuotantoa kuvaavia tunnuslukuja, joita voi verrata muiden viljelijöiden keskimääriin lukuihin. Se paljastaa myös niin kutsutut hot spotit eli viljelyn tehottomimmat tuotantovaiheet, jossa kuuluu keskimääräistä enemmän materiaa ja energiaa. Näin mahdollistetaan energiatehostamistoimet ja tehokkaiden viljelytekniikoiden löytäminen. Ympäristöindeksityökalussa käytetyt tiedot kerätään syksyisin sadonkorjuun jälkeen sadon esinäytteiden yhteydessä. (Antila, 2010, 21–23.)

Raision hiilijalanjälkimerkintä perustuu elinkaariarviontiin sekä hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n periaatteisiin. Raision laskentatavassa ovat mukana kaikki elintarvikkeen elinkaaren vaiheet pelloilta kaupan varastoon asti. Kasvihuonekaasuista hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli ovat

huomioitu selvityksissä. (Meiseri, 2010, 14.) Merkeissä on siis huomioitu kaikki ne toiminnot, johon Raisio itse voi vaikuttaa. Selvityksestä on rajattu ulos esimerkiksi päästöt, jotka syntyvät kaupassa tavaraa varastoitaessa ja esillä pidettäessä sekä kulutusvaiheessa, kun asiakas säilyttää tai kypsennää elintarviketta. (Antila, 2010, 40.)

Hiilijalanjälkien laskenta ei ole ollut täysin ongelmaton. Raision käyttämä laskentatapa on tarkka ja siten työläs varsinkin ensimmäisten hiilijalanjälkiselvitysten kohdalla. Toisaalta kun pohjatyö oli tehty valmiiksi, seuraavien tuotteiden hiilijalanjälki oli huomattavasti helpompi laskea. (Antila, 2010, 23.)

Raision merkinnässä kasvihuonekaasupäästöt on ilmoitettu 100 grammaa kohti. Elovena-karahiutaleiden ensimmäisessä hiilijalanjälkimerkissä oli mukana vain hiilidioksidipäästöt, jolloin kaurahiutaleiden hiilijalanjälki oli 37g CO<sub>2</sub>-ekv. /100 g. Päivitetyssä merkinnässä oli otettu myös metaani ja typpioksiduuli mukaan, jolloin uusi merkintä sai arvon 80 g CO<sub>2</sub>-ekv. per 100 grammaa kaurahiutaleita. (Meiseri, 2010, 14.)

Nykyään Raisio ilmoittaa hiilijalanjäljen värikoodilla, joka on jaettu viiteen eri luokkaan värien mukaan. Värit edustavat hiilidioksidiekvivalentin suuruutta siten, että ensimmäiseen vihreään luokkaan kuuluvat tuotteet, joiden CO<sub>2</sub>e on alle 200 grammaa per 100 grammaa tuotetta ja viimeisessä punaisessa luokassa ovat ne tuotteet, joiden CO<sub>2</sub>-ekv. on yli 1 200 grammaa per 100 grammaa tuotetta. (Raisio, 2018.) Raision hiilijalanjälkimerkki on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Raision hiilijalanjälkimerkki (Raisio 2018.)

## 7 PAPERI-MUOVILAMINAATIN HIILIJALANJÄLJEN SELVITTÄMINEN

Pääluvussa esitellään opinnäytetyön tutkimusosa eli hiilijalanjälkilaskenta eri vaiheineen. Selvityksen aloittaa tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, jonka jälkeen siirrytään elinkaari-inventaarivaiheen kautta vaikutusarviointiin ja tulosten tulkintaan. Hiilijalanjälkiselvityksen tulokset on esitetty luvussa 7.3. (s. 51).



## 7.1 Tavoitteet ja soveltamisala

Hiilijalanjätkiselvityksen tavoitteena on määrittää joustopakkauslaminaatteihin kuuluvan paperi-muovilaminaatin potentiaalinen vaikutus ilmaston lämpenemiseen hiilidioksidiekvivalenttina ilmaistuna laskemalla kaikki merkittävät kasvihuonekaasupäästöt rajatun elinkaaren ajalta. Hiilijalanjälki lasketaan sillä tarkkuudella, että selvityksen tulokset ovat käytettävissä yrityksen sisäisessä viestinnässä ja strategisen suunnittelun apuvälineenä. Tulosten avulla tuotejärjestelmän mahdolliset kasvihuonekaasupäästölähteet voidaan paikantaa ja niihin kohdentaa kehittämistoimia.

Selvitys pohjautuu ISO 14067 -standardin ja Closable Flexible Plastic Packaging Product Category Classification -tuoteryhmäkohtaisten sääntöjen vaatimuksiin. Säännöt on laatinut yhteistyönä Ecolean ja Swedish Environmental Research Institute ja ne ovat osa kansainvälistä EPD®-järjestelmää, jonka puitteissa laaditaan ISO 14025 -standardin mukaisia kolmannen tyypin ympäristöselosteita.

### 7.1.1 Tuotteen valinta

Hiilijalanjätkiselvityksen kohdetuotteen valinnassa lähdetään liikkeelle työn tavoitteita silmällä pitäen. Kun potentiaalisia selvityskohteita on useita, valintaa helpottaa tavoitteiden mukaisten kriteerien luominen. Kriteerien luomisessa auttavat seuraavat kysymykset: Kuinka monta tuotetta, tuoteryhmä tai eri kokoista tuotetta selvitykseen valitaan? Minkä tuotteiden päästöjä voidaan potentiaalisesti vähentää ja mitkä tuotteet liittyvät yrityksen päästötavoitteisiin? Mitkä tuotteet ovat tärkeitä kilpailun ja erottautumisen näkökulmasta? Millä tuotteilla on parhaimmat markkinointimahdollisuudet? Kuinka paljon tavarantoimittajat voivat osallistua selvitykseen? Kuinka paljon aikaa ja resursseja hiilijalanjätkiselvitykseen voidaan käyttää? (PAS 2050:2008, 6–7.)

Selvityksen kohteiksi valikoitui työn toimeksiantajan kaksi tavaramerkkiä. Tarkasteltavat paperi-muovilaminaatit edustavat melko tyyppillisiä erikoispakkauslaminaatteja ja ovat erottautumisen kannalta tärkeitä. Laminaattien valintaan vaikutti eniten se, että niiden ilmastovaikutusten suuruudesta ei ollut ennakkokäsitystä. Selvityksen tarkoituksena oli lisätä tietämystä laminaattien ilmastoystävällisyydestä.

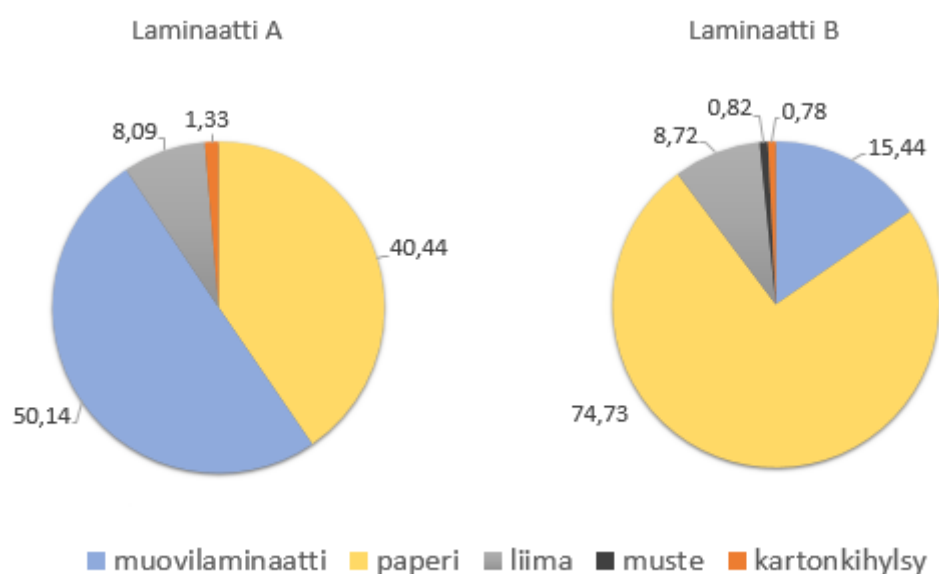
Opinnäytetyön toimeksiantaja valmistaa työn kohteena olevien laminaattien lisäksi muitakin laminaattiratkaisuja, jolloin hiilijalanjätkiselvityksen tulokset antanevat viitteitä myös niiden hiilijalanjälkien suuruusluokasta. Lisäksi tulevien hiilijalanjälkien laadinta helpottuu huomattavasti, kun laskennan vaatima pohjatyö on jo kerran tehty.

Selvityksen kohteiksi valikoiduille paperi-muovilaminaateille on tässä opinnäytetyössä annettu nimet laminaatti A ja laminaatti B. Laminaatti A on laminaatti B:tä ohuempi materiaali, joka soveltuu sellaisenaan

muodostamaan pakkauksen tai toimimaan rasiamuotoisen pakkauksen kantena. Laminaatti A muodostetaan laminoimalla paperi polymeerikalvoon.

Laminaatti B on paksumpi materiaali, joka koostuu kahdesta paperilaminaatista ja yhdestä polymeerilaminaatista. Laminaatti B:n paperi painetaan ennen laminointia. Laminaatti B on kuumasaumattava ja soveltuu rasiamuotoisen pakkauksen alaosaksi.

Laminaattirullien väliset erot voidaan havaita konkreettisesti kuvassa 16, jossa on esitetty laminaattien raaka-aineiden suhde toisiinsa. Laminaattien tarkempi kuvaus ei ole mahdollista salassapitovelvollisuuden vuoksi.



Kuva 16. Paperi-muovilaminaattien raaka-aineiden välinen suhde (muokailen Toimeksiantaja, 2018.)

Paperi-muovilaminaattirullien pakkauksena voidaan pitää lavakokonaisuutta, jolle valmiit rullat pinotaan. Lavalle kootut yksittäiset rullat suojataan pakkaushupulla, jonka jälkeen lava kiedotaan kalvoon. Kalvopeitteinen lava tuetaan kulmista tukilaudoilla ja rullien päälle lasketaan puukansi. Sen jälkeen koko lavan ympärille vedetään vielä kiristekalvo.

### 7.1.2 Toiminnallinen yksikkö

Tuotteen valinnan jälkeen määritellään toiminnallinen yksikkö, joka kuvaa tuotteen todellista kulutuskokoa. Opinnäytetyön selvityksen toiminnalliseksi yksiköksi valittiin tuoteryhmäkohtaisista säännöistä poiketen 1 000 metriä pakkausmateriaalia eli paperi-muovilaminaattia. Tuoteryhmäkohtaisissa säännöissä ohjeistetaan määrittämään hiilijalanjälki 1 000:lle joustopakkaukselle, mikä ei tue opinnäytetyön tavoitetta laskea hiilijalanjälki

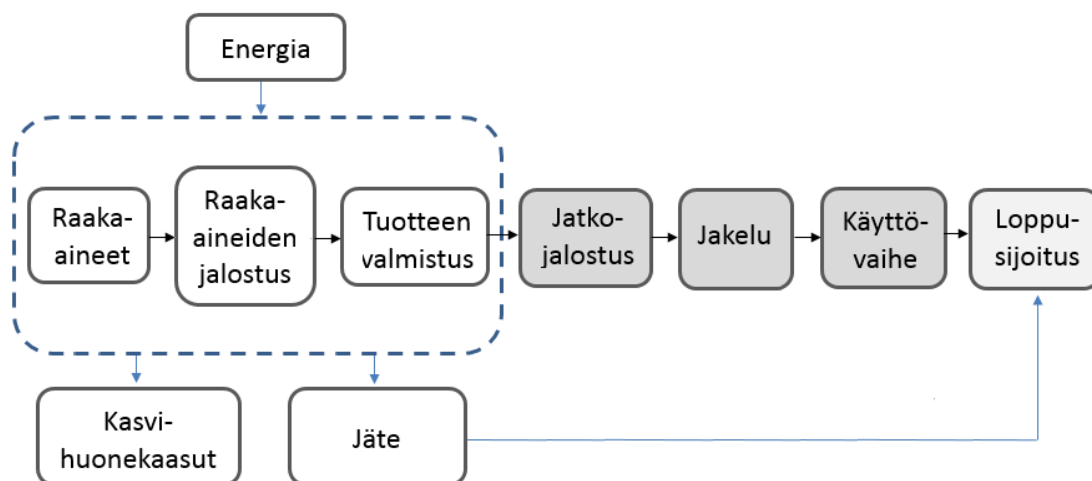
pelkälle pakkausmateriaalille. Toiminnallisen yksikön valinnassa on myös ajateltu mahdollista vertailutilannetta, mikäli toimeksiantajan muille laminaattityypeille päätetään tulevaisuudessa laatia vastaavat hiilijalanjälkiselvitykset.

Laminaattien toiminnallisten yksiköiden tarkat mitat kuuluvat liikesalaisuuksiin eikä niitä esitellä tässä opinnäytetyössä.

### 7.1.3 Tuotejärjestelmä

Paperi-muovilaminaattien elinkaarta tarkastellaan kehdoista portille -lähestymistavan mukaisesti eli raaka-aineiden valmistuksesta siihen asti, kun valmis laminaattirulla odottaa kuljetusta jatkojalostajalle. Selvityksen ulkopuolelle on rajattu tuotteen jatkojalostus, käyttövaihe ja loppusijoitus.

Tuotejärjestelmän rajat on esitetty kuvassa 17. Kuvaan on merkitty harmaalla ulos rajatut osa-alueet. Jätteen loppusijoitus on esitetty kuvassa vaaleanharmaalla. Tämä tarkoittaa sitä, että ainoastaan paperi-muovilaminaatin tuotantoprosessissa syntyvän jätteen loppusijoitusta tarkastellaan. Paperi-muovilaminaatista valmistetun pakkauksen ja pakatun tuotteen loppusijoitusta ei käsitellä tässä työssä.



Kuva 17. Tuotejärjestelmän rajat.

Rajaukseen vaikuttivat toimeksiantajan toiveet sekä tavoite laatia hiilijalanjälki pelkälle pakkausmateriaalille, ei siitä muodostettavalle pakkaukselle. Joustopakkausten tuoteryhmäkohtaiset säännöt ohjeistavat rajamaan käyttövaiheen ja kuluttajan kotimatkan hiilijalanjälkiselvityksestä ulos, koska nämä vaiheet ovat pitkälti riippuvaisia yksittäisen henkilön kulutustottumuksista. (EPD, 2017.)

Paperi-muovilaminaatin tarkka tuotejärjestelmän on esitelty kuvassa 8 (s. 26). Tuotejärjestelmä on jaoteltu ylävirranprosesseihin, ydinprosesseihin ja alavirran prosesseihin sen mukaan, mihin elinkaaren vaiheeseen prosessit kuuluvat. Yläprosesseihin kuuluvat kaikkien raaka-aineiden tuotantovaiheet eli paperin, polymeerikalvojen, liiman, musteiden, hylsyn ja sekundaaripakkaukskalvon tuotantoprosessit. Ydinprosesseja ovat raaka-aineiden ja pakkauksen kuljetus laminaattien tuotantopaikalle, raaka-aineiden varastointi, paperi-muovilaminaattien valmistuksen vaiheet, valmiin laminaatin varastointi sekä tuotantoprosessista syntyvän jätteen käsittely.

Tuotejärjestelmän alavirran prosessit eivät kuulu selvityksen kehdosta portille -lähestymistapaan. Alavirran prosesseja olisivat valmiin laminaatin kuljetus jatkojalostajalle, laminaatin jatkojalostus eli pakkaukseksi muodostus ja pakkauksen täyttö, kuljetus jakelukeskukseen sekä edelleen kuluttajalle, jonka jälkeen laminaattipakkaus päättyy loppukäsittelyn kautta polttoon.

ISO 14067 -standardin (2013, 40) mukaan tuotejärjestelmän elinkaaren vaiheita, prosesseja, syötteitä ja tuotoksia voidaan jättää selvityksestä pois vain, jos niiden poisjätto ei muuta hiilijalanjälkiselvityksen johtopäätöksiä merkittävästi. Tuoteryhmäkohtaiset säännöt määrittelevät vähämerkityksellisiksi sellaiset syöte- ja tuotosvirrat, joiden osuus tuotejärjestelmän kokonaisvirrasta on alle prosentti (EPD, 2017, 6).

Selvityksen ulkopuolelle rajatut osat on esitetty harmaalla kuvassa 7 (s. 26). Niiden lisäksi ydinprosessiksi luokiteltua sisäisen kuljetuksen prosessia ei ole otettu huomioon, koska kaasutrukilla tapahtuvaa kuljetusta on tuotannon aikana vain joidenkin satojen metrien verran. Pääosa sisäisestä kuljetuksesta tapahtuu ihmisvoimin käsitrukilla.

Ydinprosesseihin kuuluu myös laminaatti B:n kohdalla painokoneen pesuprosessi, joka on rajattu ulos tiedon puutteen vuoksi. Pesuprosessissa koneen painopinnat pestään aina kun tuotantoerä vaihtuu, mutta prosessin veden ja pesuaineen kulutusta oli hyvin vaikea arvioida. Puutteelliset tiedot johtivat myös tuotantohallin energiankulutuksen rajaukseen. Tuotantohallin energiankulutuksesta ei ollut olemassa tietoja, eikä kirjallisuudesta löytynyt vastaavia arvioita. Raaka-ainevarastot ovat kylmävarastoja, jolloin niiden energiankulutusta ei tarvinnut huomioida selvityksessä.

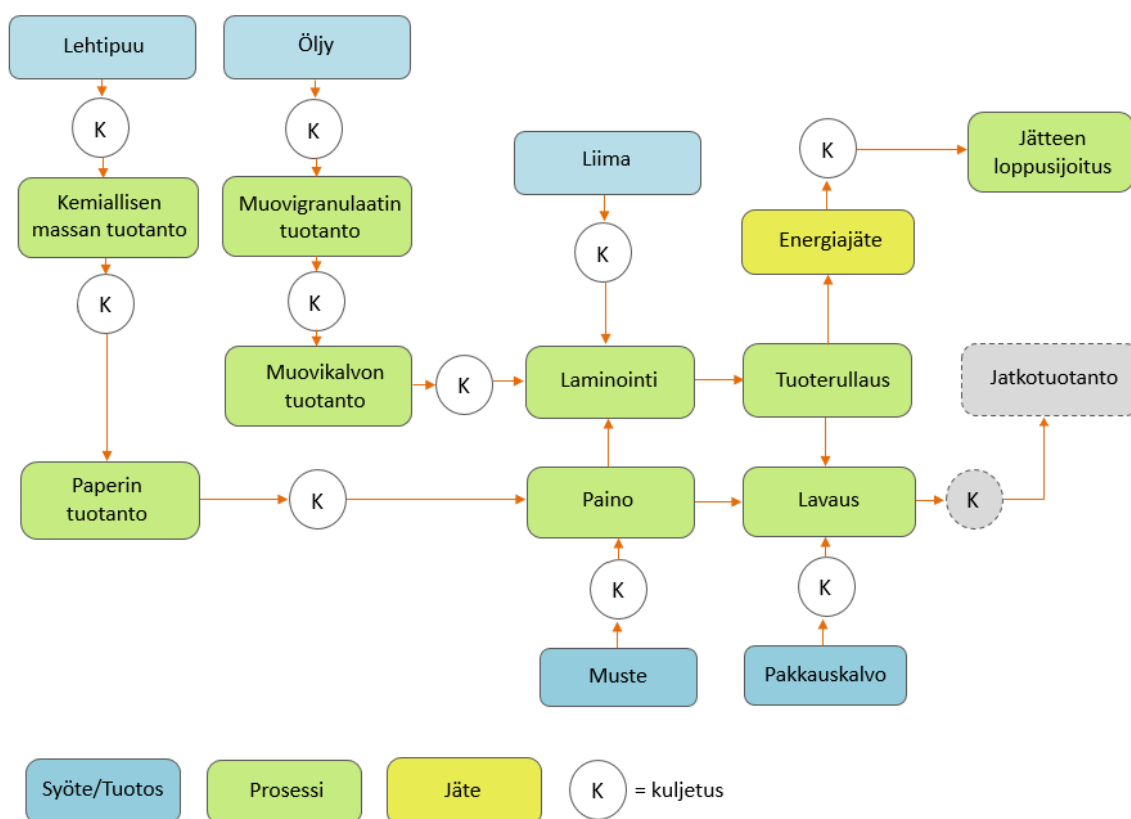
Selvityksessä laskettiin yksikköprosessien hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidipäästöt. Hiilijalanjälki oli tarkoitus mallintaa elinkaarianalyysiohjelmalla, mutta ohjelma ei soveltunut odotusten mukaisesti opinnäytetyön tarpeisiin, jolloin siitä luovuttiin. Hiilijalanjälkiselvitys toteutettiin käsin laskemalla, jolloin mukaan otettavia kasvihuonekaasuja oli rajoitettava laskennan yksinkertaistamiseksi.

### 7.1.4 Lähtötietojen laatuvaatimukset

Selvityksessä pyrittiin käyttämään primaaritietoja tuotejärjestelmän ydinprosesseja tarkasteltaessa. Ylävirran prosesseissa on käytetty tietokantoihin pohjautuvaa sekundaaritietoja, kun primaaritietoa ei ole ollut saatavilla tai sen hankkiminen olisi ollut kohtuuttoman työlästä. Tietojen maantieteellinen kattavuus on varmistettu siten, että selvitykseen on kelpuutettu vain Suomen ja Euroopan alueelta kerättyä tietoa muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Samalla on huolehdittu, että tiedot olisivat enintään viisi vuotta vanhoja. Lisäksi tietoja on valittu toisista elinkaariarvioinneista ja hiilijalanjälkiselvityksistä lähtötietojen laadun varmistamiseksi.

### 7.2 Elinkaari-inventaarioanalyysi

Elinkaari-inventaariovaihe aloitettiin prosessikaavion työstämisellä. Kaaviossa kuvataan paperi-muovilaminaatin tuotejärjestelmän materiaali-, energia- ja jätevirrat koko elinkaaren kattavasti. Prosessikaavio on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Paperi-muovilaminaatin elinkaaren prosessikaavio

Tuotejärjestelmän prosessit on kuvattu prosessikaaviossa vihreällä värillä. Syötteet ja tuotokset näkyvät sinisellä, jätteet keltaisella värillä. Valkoiset pallot ilmaisevat kuljetusprosesseja. Harmaaksi jätetyt kohdat ovat selvityksen rajauksen ulkopuolella.

Prosessikaavion työstämisen jälkeen alettiin suunnittelemaan lähtötietojen keruuta. Tarvittavia lähtötietoja hahmoteltiin aluksi listoja kokoamalla, jonka jälkeen tiedot jaoteltiin ylävirran prosesseille ja ydinprosesseille. Ydinprosessien lähtötiedot kerättiin haastattelemalla opinnäytetyön toimeksiantajaa. Tietojen keruuseen suunniteltiin puolistrukturoitu haastattelulomake, jossa haastattelukysymykset oli jaoteltu eri tuotantoprosessien vaiheisiin. Lomake lähetettiin haastateltavalle tuotantopäällikölle ennakoon sähköpostilla ja varsinainen haastattelu toteutettiin lokakuun 2018 alussa. Opinnäytetyöprojektin edetessä huomattiin, että lähtötietoja puuttui edelleen, jolloin puuttuvia tietoja kerättiin myöhemmin sähköpostitse tai puhelimen välityksellä. Kaikki lähtötiedot koottiin taulukkoon niiden käytön helpottamiseksi. Laminaatti A:n paperinkuljetuksen lähtötiedot esitetty esimerkkinä taulukossa 3.

Taulukko 3. Paperin kuljetusprosessin lähtötiedot

Syöte	Määrä	Yksikkö	Lähde	Kommentti
Paperi	1800	km	Toimeksiantaja, 2018.	*laminaatti A
Kuorman massa	8250	kg	Toimeksiantaja, 2018.	
Pakokaasupäästökerroin CO <sub>2</sub>	437	g CO <sub>2</sub> /km	VTT oy, LIPASTO 2016.	9 t jakelukuorma-auto, EURO VI, diesel
Pakokaasupäästökerroin CO <sub>2</sub>	366	g CO <sub>2</sub> /km	VTT oy, LIPASTO 2016.	tyhjä jakelukuorma-auto, EURO VI, diesel
Pakokaasupäästökerroin N <sub>2</sub> O	0,040	g CO <sub>2</sub> /km	VTT oy, LIPASTO 2016.	9 t jakelukuorma-auto, EURO VI, diesel
Pakokaasupäästökerroin N <sub>2</sub> O	0,040	g CO <sub>2</sub> /km	VTT oy, LIPASTO 2016.	tyhjä jakelukuorma-auto, EURO VI, diesel
Pakokaasupäästökerroin CH <sub>4</sub>	0,00040	g CO <sub>2</sub> /km	VTT oy, LIPASTO 2016.	täysi 9 t jakelukuorma-auto, EURO VI, diesel
Pakokaasupäästökerroin CH <sub>4</sub>	0,00030	g CO <sub>2</sub> /km	VTT oy, LIPASTO 2016.	tyhjä jakelukuorma-auto, EURO VI, diesel

Ylävirran prosessien toimijoita ei ollut mahdollista haastatella rajallisen ajan puitteissa, minkä vuoksi ylävirran prosessien tiedot ovat peräisin sekä ensi- että toissijaisista lähteistä. Molempien muovilaminaattien, musteen ja laminaatti B:n paperin tuotannon tiedot ovat peräisin kunkin tavarantoinnittajan omista hiilijalanjälkiselvityksistä. Selvityksissä hiilijalanjäljet on laadittu yhdessä portille -lähestymistavan mukaisesti. Selvitysten tarkempia tietoja ei ollut mahdollista saada, jolloin selvitysten rajauksista, tuoreudesta tai niihin sisällytetyistä kasviuonekaasuista ei ole varmuutta.

Voimapaperin, liiman ja kartonkihylsyjen tuotannon tiedot ovat peräisin eri tahojen laatimista elinkaariarvioinneista, jotka ovat vuosilta 2012–2017. Kaikki tutkimukset on tehty Euroopan alueella, suurin osa Ruotsissa. Käytetyt elinkaariarviointit on laadittu yhdessä portille.

Laminaattiliimojen kohdalla on käytetty useiden vesiohenteisten liimojen keskimääräistä hiilijalanjälkeä, koska liiman tarkasta koostumuksesta ei ollut tietoa.

Kartonkihylsyjen tuotannon tiedot perustuvat pakkauskartongin elinkaariarviointiin, sillä hylsystä ei ollut olemassa omia selvityksiä. Pakkauskartongin tuotanto vastannee ainakin osittain kartonkihylsyn tuotantoa. Pakkauskartongin elinkaariarvioinnissa oli huomioitu myös kartongin käyttö- ja loppusijoitusvaihe, jolloin hiilijalanjätkiselvityksessä voi tapahtua hie-man kaksoislaskentaa. Tietojen päällekkäisyys ei ole merkittävää, sillä kartonkihylsyn osuus molemmissa laminaateissa on vain prosentin luokkaa.

Raaka-aineiden kuljetusten etäisyydet vastaavat todellisia kuljetusmatkoja. Muovilaminaatille on kaksi eri tavarantoimittajaa, pää- ja varatoimittaja, mutta laskennassa on käytetty vain pääasiallisen toimittajan tietoja. Kuljetuksen päästökertoimet on saatu Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n LIPASTO-laskentajärjestelmästä, jossa on esitetty Suomen liikenteen pakokaasupäästöt ja energiankulutus. Kuljetuksissa on käytetty viiden eri tavaraliikenteen ajoneuvon päästökertoimia kuljetettavien kuormien koosta riippuen. Nämä ajoneuvot ovat 1,2 tonnin kantavuuden kuorma-auto, 2,4 tonnin kantavuuden kuorma-auto, 9 tonnin kantavuuden jakelu-kuorma-auto, 25 tonnin kantavuuden puoliperävaunuyhdistelmä sekä 40 tonnin kantavuuden täysperävaunuyhdistelmä. Raaka-ainekuormissa on ajateltu olevan yhteen paperi-muovilaminaatin tuotantoerään tarvittava määrä raaka-ainetta muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Kartonkihylsyjä ja pakkauksen raaka-aineita on oletettu toimitettavan yhden laval-lisen verran rajoitetun varastointitilan vuoksi.

Kuljetusten päästökertoimet kuvaavat maantieajoa ja ajoneuvojen on oletettu kuuluvan tuoreimpaan Euro 6 -päästöluokkaan. Ajoneuvojen päästö-kertoimina on käytetty täyden kuorman kertoimia, vaikka muutamien raaka-aineiden kuljetusajoneuvot eivät todellisuudessa ole täydessä las-tissa. Laskennassa on huomioitu myös tyhjien ajoneuvojen paluumatkat. Ajoneuvot käyttävät oletusarvoisesti polttoaineena dieseliä. Kuljetuksissa ei ole huomioitu dieselin välillisiä energiapanoksia tai päästöjä, joita syntyy polttoaineen tuotannosta. Dieselin tuotantovaiheisiin olisi kuulunut die-selöljyn tuotanto, kuljetus, jalostus, varastointi, jakelu ja annostelu.

Ydinprosesseihin kuuluu paperimuovilaminaatin tuotanto ja siihen liittyvät toiminnot, kuten syntyvä jäte ja halli, jossa tuotanto tapahtuu. Tuotantoa kuvaavat tiedot ovat peräisin oikeista prosesseista. Molempien laminaat-tien tuotantokoneiden sähköntarve on laskennassa määritelty samaksi, vaikka todellisuudessa prosessien kulutus vaihtelee ja on riippuvainen use-asta eri tekijästä. Laskelmassa käytetty tuotantokoneiden sähköntarve pe-rustuu toimeksiantajan laskelmaan koneiden keskimääräisestä sähköntar-peesta.

Paperi-muovilaminaatin tuotantoprosessissa käytetään uudelleen raaka-ainerullista peräisin olevia kartonkihylsyjä. Esimerkiksi painoon menevästä paperista jää aukirullauksen yhteydessä jäljelle hylsy, jonka ympärille seuraava painettava paperi voidaan kiertää. Kiertäviä hylsyjä ei ole huomioitu laskennassa, koska niiden päästöt on laskettu sen raaka-aineen hiilijalanjälkiselvityksessä, jonka konerullasta hylsy on peräisin. Kartonkihylsyn tuotannon päästöt on laskettu paperi-muovilaminaatin asiakasrulliin tarkoitettuille hylsyille, jotka tilataan laminaattitehtaalle uutena.

Tuotantokoneiden valmistuksessa syntyvät päästöt ja työvoiman aiheuttamat epäsuorat päästöt on rajattu ISO/TS 14067/2013 -standardin mukaisesti selvityksestä ulos. Tällaisia päästöjä ovat esimerkiksi työntekijöiden työmatkoista aiheutuvat päästöt.

Tuotantohallin lämmityksen ja ilmanvaihdon päästöt oli alun perin tarkoitus sisällyttää selvitykseen, mutta toimeksiantajalla ei ollut hallin energiankulutuksesta tietoa eikä kirjallisuudessa ollut saatavilla vastaavankokoisen hallin tietoja. Näin ollen öljylämmitteisen hallin energiankulutusta ei ole huomioitu. Tuotantohallissa on koneellinen ilmanvaihto, mutta suljetun ja säännöllisesti huolletun ilmastointijärjestelmän vuodot ovat erittäin vähäisiä ja niissä käytettyjen jäähdytysnesteiden suorat vaikutukset ilmastoon eivät ole merkittäviä, jolloin ilmastoinnin kasvihuonekaasupäästöt on jätetty selvityksen ulkopuolelle. (UNFCCC, 2000, 9.)

Selvityksessä on huomioitu tuotantohallin ja kahden raaka-ainevaraston valaistuksen sähkönkulutus eli lamppujen käytöstä aiheutuvat välilliset päästöt. Lamppujen valmistuksen päästöjä ei ole huomioitu, koska valmistusprosessissa syntyy vain murto-osa lampun koko elinkaaren aikaisista kasvihuonekaasupäästöistä. Lamppujen valmistuksen energiankulutus arvioidaan olevan 0,5–1,5 % elinkaaren kokonaiskulutuksesta. (Huuhtanen, 2013.)

Lampputyypit ja niiden lukumäärät vastaavat todellisia tietoja, ja käytetyt raaka-aineiden varastointiajat kuvaavat keskimääräisiä varastointiaikoja. Sähkön päästökerroin saatiin tuotantotilojen sähköntoimittajalta. Tuotantohallin loisteputkilamppujen teho tiedettiin, mutta paperivaraston ledien ja muovivaraston loisteputkien kohdalla käytettiin arviota. Valaisintyyppien sähkönkulutustiedot ovat peräisin suomalaisen Adato Energia Oyn tekemästä tutkimuksesta, jossa käsiteltiin kotitalouksien sähkönkäyttöä vuonna 2011. Tuotantohallin valojen käyttöaika on saatu toimeksiantajalta, mutta varastojen valaistuksessa on käytetty arviota. Arviointi oli hankalaa erityisesti suuremman paperivaraston kohdalla, missä ledit syttyvät liiketunnistimella ja palavat puoli tuntia aktivoinnin jälkeen.

Laskuissa on käytetty oletusta, että varastoissa säilytetään yhtä tuotantoerää kerrallaan selkeyden vuoksi. Valmiita paperi-muovilaminaattirullia säilytetään tuotantohallissa niille varatulla paikalla ja niiden varastointiaika on huomioitu tuotantohallin valaistuksen sähkönkulutuksessa.



Tuotannon jälkeen laminaatit pakataan lavoille. Laminaattien tertiäripakkauksen määrät ja painot ovat pääosin arvioita tai perustuvat keskimääriin arvoihin. Tertiäripakkaus koostuu lavasta, suojahupusta, välikalvosta, tukilautoista ja puukannesta sekä kiristekalvosta. Pakkauksen tukirakenteena toimivat tolpat ja puukansi tulevat tehtaalle samalta toimittajalta ja niiden tuotannon hiilijalanjälki on laskettu sahatavaran hiilijalanjäljen tiedoista, jotka on saatu Aalto-yliopiston puurakennusten hiilijalanjälkeä käsittelevästä kalvosarjasta. Kalvosarjassa esitettiin myös puuhun varastoituneen hiilen määrä ja arvo on laskettu paperi-muovilaminaatin pakkaamisessa käytetyille puurakenteille. Sitoutunut hiili esitetään tuloksissa erikseen, sillä sitoutuneen hiilen määrän vähentäminen päästöistä vääristäisi hiilijalanjälkeä.

Lavan pakkaamisessa käytetyt suojahuput, väli- ja kiristekalvot on oletettu valmistettavan matalatiheyksisestä polyeteenista ja kalvojen paksuudeksi on oletettu 12 mikronia. Kaikkien kolmen tuotannon hiilijalanjäljen määrittämisessä on käytetty korealaista elinkaariarviointia, jonka polyeteeni oli peräisin Euroopasta. Eurooppalaisten muovintuottajien kattojärjestö PlasticsEuropen tarjoamat tiedot muovikalvoista olivat vanhentuneet ja poistettu järjestön tarjoamasta palvelusta.

Valmiit paperi-muovilaminaattirullat pakataan todellisuudessa noin 17 kilon painoiselle kertakäyttölavalle, mutta laskennassa on käytetty 25 kilon EUR-lavan valmistuksen tietoja, kun tarkempaa hiilijalanjälkiarvoa ei ollut saatavilla.

Paperi-muovilaminaatin tuotannosta syntyvä energiajäte oletetaan poltettavan sekajätteen mukana arinapolttolaitoksessa tarkemman tiedon puutteessa. Kuljetus polttolaitokseen on oletettu tapahtuvan kuorma-autolla, jonka kuljetuskapasiteetti on 10 tonnia. Laminaattien lämpöarvo on arvioitu muovilaminaatin muovilaatujen ja paperin lämpöarvoista ja niiden välisestä suhteesta laskemalla painotettu keskiarvo. Muovilaatujen lämpöarvoja oli tutkittu yhdysvaltalaisen The City College of New Yorkin teettämässä tutkimuksessa vuonna 2016.

Jätteen polton sekä sähkön- ja lämmöntuotannon tiedot ovat Suomen ympäristökeskuksen raportista vuodelta 2008, missä käsitellään jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitusta ja kustannuksia. Jätteen polton päästökertoimena on käytetty sekajätteen päästökerronta. Sekajätteen arvojen käyttäminen tuonee laskentaan jonkin verran virhettä. Selvityksessä ei ole otettu huomioon jätteenpoltosta syntyvän tuhkan loppusijoitusta.

Polttolaitoksessa tuotetaan sähköä ja lämpöä, jota hyödynnetään laitoksen ulkopuolella. Syntyvällä energialla voidaan välttää sähkön ja lämmön tuotantoa muilla keinoin. Vältetty sähkön- ja lämmöntuotanto on esitetty tuloksista erillään mahdollisten vääristymien välttämiseksi.

### 7.3 Vaikutusarviointi ja tulokset

Lähtötietojen keruun jälkeen tiedot taulukoitiin ja kunkin elinkaaren vaiheen kasvihuonekaasupäästöt laskettiin hiilidioksidiekvivalenttina. Tulokset laskettiin toiminnallista yksikköä eli 1 000 laminaattimetriä kohden.

Laminaatti B:n hiilijalanjälki osoittautui laminaatti A:n hiilijalanjälkeä suuremmaksi. Hiilijalanjälkilaskennan tarkkoja tuloksia ei ole esitetty opinnäytetyössä salassapitovelvollisuuden vuoksi.

Suurimmat päästöt syntyivät molempien laminaattien kohdalla raaka-aineiden tuotannossa. Raaka-aineiden tuotannon päästöistä leijonanosa aiheutui kummankin laminaatin tapauksessa muovikalvon tuotannosta. Muovikalvon valmistusprosessi aiheutti 94 % raaka-aineiden tuotannon päästöistä laminaatti A:n kohdalla, laminaatti B:n vastaava luku oli 70 %. Laminaatti A:n raaka-aineiden päästöistä toiseksi suurimmat päästöt (5 %) syntyivät liiman tuotannosta. Laminaatti B:n raaka-aineiden tuotannon päästöt jakoutuivat eri raaka-aineiden kesken seuraavasti: paperin tuotanto 14 % ja liiman tuotanto 12 %. Pakkauksen osuus molempien laminaattien raaka-aineiden tuotannossa oli vain 0,2–0,4 prosenttia.

Toiseksi suurimmat päästöt syntyivät jätteen käsittelyprosessista. Laminaatti B:n jätteen käsittelyssä aiheutui päästöjä suhteessa 18 % enemmän kuin laminaatti A:n jätteen käsittelyssä. Kasvihuonekaasupäästöt syntyivät molempien laminaattien kohdalla lähinnä sähkön tuotannosta. Jätteen polton osuus jätteen käsittelyssä oli vain 1,3 %.

Jätteen poltosta saadaan lämpöä, jolla voidaan ainakin teoriassa korvata laminaattien elinkaaren aikaisempien vaiheiden energiantarvetta. Lämmöntuotannossa vältettyjä päästöjä syntyi laminaatti A:n elinkaaren aikana 1,4 kg CO<sub>2</sub>-ekv. ja laminaatti B:n vastaava määrä oli 2 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Vältettyjä päästöjä ei kuitenkaan ole huomioitu hiilijalanjäljessä hiilijalanjäljen vääristymien välttämiseksi.

Molempien laminaattien raaka-aineiden ja jätteen kuljetuksissa syntyi noin 3 % elinkaaren kasvihuonekaasupäästöistä. Tulos on jonkin verran vääristynyt, koska laminaattien elinkaaren alkupään kuljetuksen tiedot on sisällytetty kunkin raaka-aineen tuotannon ja jalostuksen hiilijalanjälkeen, jota on käytetty selvityksen lähtötietoina. Toisin sanoen kuljetuksen päästöissä näkyy ainoastaan kuljetus raaka-ainetoimittajien porteilta laminaattin tuotantolaitokseen ja sieltä edelleen jätteenkäsittelypaikalle.

Laminaattien tuotannon osuus elinkaaren kokonaispäästöistä oli vähäinen kummankin laminaatin tapauksessa.

## 8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön hiilijalanjälkiselvitys tarjoaa alustavan kuvan paperi-muovilaminaattien hiilijalanjäljestä. Hiilijalanjälkiselvityksen tuloksiin vaikuttaa eniten käytetyt lähtötiedot. Paperi-muovilaminaattien toimitusketjun eri toimijoita ei ollut mahdollista osallistaa selvitysprosessiin, mikä heikentää suoraan lähtötietojen laatua. Tavarantoimittajien haastattelut olisivat voineet tuottaa tarkempia ja luotettavampia lähtötietoja, mutta selvitykseen kuluva aika olisi vastaavasti lisääntynyt.

Lähtötietojen suurimmat epävarmuudet liittyvät raaka-aineiden tuotantovaiheiden tietoihin, joissa käytettiin raaka-ainetoimittajien omia tuloksia laskemistaan hiilijalanjäljistä. Raaka-aineiden hiilijalanjälkiä ei ollut mahdollista arvioida kriittisesti, koska niistä oli saatavilla pelkkä tulos, eikä lähdeaineistoon ollut mahdollisuutta perehtyä. Hiilijalanjäljet voivat sisältää rajauksia esimerkiksi kasvihuonekaasujen tai elinkaaren vaiheiden suhteen, mikä voi vääristää niiden pohjalta lasketun hiilijalanjälkiselvityksen tuloksia.

Hiilijalanjälkiselvityksen laajuus oli opinnäytetyön resursseihin nähden haasteellinen ja selvitystä oli yksinkertaistettava käytettävän ajan puitteissa, mikä näkyy myös työn rajauksessa. Rajauksen ulkopuolelle jäi esimerkiksi laminaatin tuotannon yhteydessä tapahtuva painokoneen pesu-prosessi, johon olisi sisältynyt painokoneen pesu ja huuhtelu aina silloin, kun painettava tuote vaihtuu. Prosessissa kuluu vettä, mutta veden määrää oli mahdoton arvioida.

Tuotejärjestelmän rajaukseen vaikutti myös lähtötietojen huono saataavuus. Esimerkiksi laminaattien tuotantohallin energiankulutuksen osuus paperi-muovilaminaattien hiilijalanjäljistä jäi tarkastelun ulkopuolelle puutteellisten lähtötietojen vuoksi. Lisäksi laminointi- ja tuoterullausprosessin aikana syntyy pieni määrä sekajätettä, jonka määrän oletettiin olevan niin pieni, että se ei vaikuta laminaattien hiilijalanjälkeen. Syntyvän sekajätteen määrästä ei kuitenkaan ollut todellista tietoa.

Paperi-muovilaminaattien jätteenkäsittelyä päätettiin lähestyä siten, miten se tehtaalla todellisuudessa tapahtuu. Jätteenkäsittelyvaihtoehdoksi valittiin siten jätteen poltto. Toimeksiantajan mukaan paperi-muovilaminaattia on käytännössä mahdollista myös kierrättää, jolloin laminaatti menee joko paperin- tai muovinkeräykseen, riippuen siitä kumpaa materiaalia on käytetty enemmän. Jätteenkäsittelyyn olisi voinut sisällyttää kierrätyskenaarion, jolloin eri jätteenkäsittelyvaihtoehtoja olisi päässyt vertaamaan.

Kasvihuonekaasujen jakaumaa paperi-muovilaminaattien elinkaaren eri vaiheissa olisi ollut mielenkiintoista tarkastella, mutta suurin osa lähtötiedoista oli esitetty suoraan hiilidioksidiekvivalenttina ilman

kasvihuonekaasujen erittelyä. Tämä ei sinänsä olisi ollut ongelma, jos raaka-aineiden alkuperäisiin hiilijalanjälkiselvityksiin olisi ollut mahdollisuus päästä käsiksi. Kasvihuonekaasujen jakaumaa elinkaaren eri vaiheissa ei pystytty tarkastelemaan tässä opinnäytetyössä.

Paperi-muovilaminaattien hiilijalanjälkiä on verrattava toisiinsa varauksella. Laminaatti B:n suurempi hiilijalanjälki selittyy sillä, että sen tuotanto on monivaiheisempi, raaka-aineita on useampi ja kutakin raaka-ainetta käytetään enemmän laminaatin valmistuksessa. Lisäksi molempien laminaattien tuotantovaiheen sähkönkulutuksessa on käytetty samoja arvoja, vaikka todellisuudessa prosessien sähkönkulutus eroaa toisistaan. Laminaatti A:n pienempi hiilijalanjälki ei siis suoraan viesti sen paremmuudesta ilmastoasioissa. On muistettava, että opinnäytetyön tavoitteena oli ainoastaan selvittää laminaattien hiilijalanjäljet, ei vertailla niiden paremmuutta. Elinkaariarviointi voisi laajuudessaan palvella paremmin laminaattien vertailutilannetta, jos sellaista halutaan jatkossa selvittää.

Vaikka hiilijalanjälkilaskentaa on pyritty harmonisoimaan uusien standardien ja tuoteryhmäkohtaisten sääntöjen muodossa, laskennan tulokset ovat edelleen riippuvaisia käytetyistä menetelmistä ja laskennan suorittajan henkilökohtaisista linjauksista. Hiilijalanjälkiselvitysten laskentamenetelmien vakiintumattomuus on tänäkin päivänä esteenä kahden eri tuotteen välisessä vertailussa. Paperi-muovilaminaattien hiilijalanjälkeä voi verrata muiden pakkausmateriaalien hiilijalanjälkiin vain, jos molempien tuotejärjestelmät, rajaukset ja laskentamenetelmät ovat yhtenevät.

Paperi-muovilaminaattien hiilijalanjäljistä ei pysty tekemään johtopäätöksiä laminaattien ympäristöystävällisyydestä. Hiilijalanjälki kertoo laminaattien vaikutukset ilmastoon; muihin ympäristövaikutuksiin se ei ota kantaa. Valitettava tosiasia on se, että laminaatin toinen pääraaka-aine on valmistettu uusiutumattomista luonnonvaroista. Keveänä materiaalina paperi-muovilaminaatti tarttuu helposti tuulen tai veden mukaan ja voi kulkeutua pitkiäkin matkoja ympäristössä. Laminaatin sisältämä muovi hajoaa luonnossa pienempiin partikkeleihin, jotka vesistöjä pitkin kulkiessaan voivat päätyä niitä ravinnoksi luulevien eläinten elimistöön. Laminaatin tai sen raaka-aineiden tuotannossa saattaa myös poistua ilmakehään yhdisteitä, jotka kulkeutuvat sateen mukana maaperään sitä happamoittaen. Paperi-muovilaminaattien ympäristövaikutusten arviointiin tarvitaan oma selvitys esimerkiksi elinkaariarvioinnin muodossa.

## 9 KEHITYSEHDOTUKSET

Alustavan hiilijalanjäljen pohjalta on huomattavasti helpompaa lähteä määrittämään tuotteiden tarkempaa hiilijalanjälkeä, kun pohjatyö on tehty jo valmiiksi. Jos paperi-muovilaminaateille päätetään laskea uusi hiilijalanjälki alustavan hiilijalanjäljen tulosten pohjalta, hiilijalanjälkiselvityksen

alkuvaiheessa kannattaa pohtia uudelleen mihin tarkoitukseen hiilijalanjälkeä on tarkoitus käyttää. Hiilijalanjäljen tarkoituksena voi olla esimerkiksi tiedon tarjoaminen kuluttajille päätöksentekoa varten, ilmastonmuutos-tietoisuuden parantaminen tai kuluttajien sitouttaminen ympäristöasioihin. Se voi myös auttaa ilmastonmuutoksen hallintaa koskevien toiminta-periaatteiden toteuttamisessa ja helpottaa organisaation sitoutumista ympäristöasioihin. (ISO/TS 14067/2013, 8.)

Viestintä voi tapahtua käytännössä viestintäraportin, hiilijalanjälkimerkin tai hiilijalanjälkiselosteen muodossa. Paperi-muovilaminaatin alustava hiilijalanjälki on tällä hetkellä liian epätarkka julkiseen viestintään, mutta muutamien kehitystoimenpiteiden jälkeen se soveltuisi yritysten väliseen viestintään. Sopiva viestintämuoto olisi silloin viestintäraportti. Seuraavissa kappaleissa on pohdittu keinoja kehittää opinnäytetyön tuloksena saatuja hiilijalanjälkiä.

Hiilijalanjälkiselvityksen tulokset antavat viitteitä elinkaaren mahdollisista päästölähteistä. Suurimmat päästöt syntyivät selvityksen mukaan raaka-aineiden tuotannossa ja jätteiden käsittelyssä. Jos alustavan hiilijalanjäljen pohjalta päätetään selvittää laminaattien täydellinen hiilijalanjälki, näihin prosesseihin kannattaa kiinnittää huomiota. Prosessien lähtötietojen tulisi olla mahdollisimman laadukkaita ja perustua ensisijaiseen tietoon. Raaka-ainetoimittajat olisi hyvä saada mukaan selvitysprosessiin, jolloin lähtötietoja olisi helpommin saatavilla.

Paperi-muovilaminaatin tuotantovaiheessa jäi joitain yksikköprosesseja puuttuvien tietojen vuoksi. Puuttuvia prosesseja olivat tuotantohallin energiantarve ja painokoneen pesu ja näiden lisäksi selvityksessä ei huomioitu tuotantoerän 5 %:n hävikin osuutta eikä laminointi- ja rullausprosessista syntyvän sekajätteen päästöjä. Lähtötietojen vaihteluiden vaikutusta hiilijalanjäljen tuloksiin ei tutkittu, mikä olisi ollut mahdollista erilaisilla herkkyystarkasteluilla. Raaka-aineiden kuljetuksissa käytettiin useita oletuksia kuljetusmuotojen ja kuorman täyttöasteen suhteen, mikä todennäköisesti vääristää tuloksia jonkin verran. Herkkyystarkastelut ja puuttuvien tietojen mukaanotto auttaisivat parantamaan hiilijalanjälkiselvityksen kattavuutta ja tarkkuutta.

Kaikki selvitykseen mukaan otetut prosessit eivät olleet hiilijalanjäljen kannalta merkittäviä. Opinnäytetyön tulokset osoittavat, että laminaattien lavaukseen tarvittavien pakkausmateriaalien kasvihuonekaasupäästöt olivat erittäin vähäisiä, vain 0,2 ja 0,4 % raaka-aineiden tuotannon kokonaispäästöistä. Sama pätee pakkausmateriaalien kuljetukseen, kun tarkastellaan kuljetusten kokonaispäästöjä: 0,8 % laminaatti A:n kohdalla ja 0,5 % laminaatti B:n tapauksessa. Nämä prosessit voidaan harkinnan mukaan jättää uudessa selvityksessä laskennan ulkopuolelle.

Jätteen loppusijoitus, kierrätys ja poltto poikkeavat päästöarvoiltaan huomattavasti toisistaan. Jätteenkäsittelyyn kannattaa valita useita

skenaarioita, jolloin jätteenkäsittelyvaihtoehtojen ilmastovaikutusten vertailu mahdollistuu. Samalla voi löytyä vähäpäästöisempi käytöstä poistamisen vaihe paperi-muovilaminaatille.

Alustavassa selvityksessä vältettyjä päästöjä syntyi pakkauksen puurakenteista ja jätteen poltosta syntyvän lämmön muodossa, kun lämmön ajateltiin korvaavan elinkaaren aikaisempien vaiheiden lämmöntarvetta. Paperinvalmistuksessa käytettyyn puuhun sitoutunutta hiiltä ei huomioitu selvityksessä, jolloin vältetyt päästöt jäivät todellista pienemmäksi. Jatkoselvityksessä puun hiili kannattaa ottaa selvitykseen mukaan. Vaikka vältetyt päästöt esitetään varsinaisesta hiilijalanjäljestä erillään, se voisi tuoda selvitykselle lisäarvoa.

## LÄHTEET

Adato Energia Oy. (2013). Kotitalouksien sähkönkäyttö 2011. Haettu 13.1.2019 ositteesta [https://www.vattenfall.fi/globalassets/energianeuvonta/kodin-sahkonkulutus/kotitalouksien\\_sahkonkaytto\\_2011\\_tutkimusraportti.pdf](https://www.vattenfall.fi/globalassets/energianeuvonta/kodin-sahkonkulutus/kotitalouksien_sahkonkaytto_2011_tutkimusraportti.pdf)

Antila, K. (2010). Kaikki toimialat ovat vihreitä. Helsinki: Talentum.

Bezigan, T. (2017). Extrusion Coating and Laminating. Teoksessa Spalding, M. & Chatterjee, A. (toim.) Handbook of Industrial Polyethylene and Technology: Definitive Guide to Manufacturing, Properties, Processing, Applications and Markets Set. USA: John Wiley & Sons, 429–441. E-kirja, haettu osoitteesta: [https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=xNk5DwAAQ-BAJ&oi=fnd&pg=PA429&dq=Extrusion+coating+and+Laminating,&ots=a2c8hUwiAv&sig=mQ2p0iMoeX3r4OHRoOOOp9dq1gd0&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Extrusion%20coating%20and%20Laminating%2C&f=false](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=xNk5DwAAQ-BAJ&oi=fnd&pg=PA429&dq=Extrusion+coating+and+Laminating,&ots=a2c8hUwiAv&sig=mQ2p0iMoeX3r4OHRoOOOp9dq1gd0&redir_esc=y#v=onepage&q=Extrusion%20coating%20and%20Laminating%2C&f=false)

BSI. (2008). Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services. BSI: London.

CEPI Eurokraft. (2015). CO2 Footprint of the European Paper Sack in 2015. Haettu 14.1.2019 osoitteesta <http://www.cepi-eurokraft.org/?p=2259>

Dammert, T., Väänänen, A., Kuuva, M., Valkama, J. & Kaipainen, J. (2004). *Ympäristökysymykset ja elinkaariajattelu. Lähestymistapoja sähkö- ja elektroniikkateollisuudelle*. Helsinki: Teknologiateollisuus ry

EPD International AB. (2018). Product Category Rules (PCR). PCR Detail. Packaging (under development). Haettu 3.8.2018 osoitteesta <https://www.environdec.com/PCR/Detail/?Pcr=13818>

Eriksson, E., Karlsson, P-E., Hallberg, L. & Jelse, K. (2010). Carbon Footprint of Cartons in Europe – Carbon Footprint methodology and biogenic carbon sequestration. Swedish Environmental Research Institute IVL. IVL Report B1924. Haettu 11.1.2019 osoitteesta <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b75c7/1445517446481/B1924.pdf>

Fazer. (2018). Fazer Vuoksen Riisipiirakka 9 kpl/330 g. Haettu 2.12.2018 osoitteesta <https://www.fazer.fi/tuotteet-ja-asiakaspalvelu/3520/fazer-vuoksen-riisipiirakka-9-kpl330-g/>

Hartikainen, H., Katajajuuri, J-M. & Pulkkinen, H. (2011). Elintarvikkeiden hiilijalanjälkien laskenta ja viestintä. Climate Communication I -hankkeen

loppuraportti. Jokioinen: MTT. Haettu 15.12.2018 osoitteesta <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti22.pdf>

Hänen, J. & Järvi-Kääriäinen, T. (2007). Pakkauslinjan- ja koneen valinta. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. & Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 182–192.

Helén, H., Järvi-Kääriäinen, T., Laiho, E. & Ollila, M. (2007). Polymeereihin perustuvat pakkausmateriaalit. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. & Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 84–101.

Harju-Eloranta, P., Hiltunen, M., Järvi-Kääriäinen, T. & Karhuketo, H. (2007). Yhdistelmäateriaalit. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. &

Hinttu, A., Järvi-Kääriäinen, T., Laiho, E., Ollila, M. & Salmisalo, M. (2007). Muovien tärkeimmät työstömenetelmät. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. & Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 102–116.

Huhtanen, J. (2013.) Hehku-, energiansäästö- vai led-lamppu? Blogijulkaisu 12.8.2013. Haettu 13.12.2018 osoitteesta <http://ilmastotoh-tori.blogspot.com/2013/08/hehku-energiansaasto-vai-led-lamppu.html>

Hägglom-Ahnger, U. & Komulainen, P. (2005). *Paperin ja kartongin valmistus*. Opetushallitus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

Ilmatieteenlaitos. (2017). Lämmityspotentiaali. Ilmakehä-ABC. Haettu 26.5.2018 osoitteesta <http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc/L%C3%A4mmityspotentiaali>

Industrieverband Klebstoffe e.V. (n.d.). Typical "Product Carbon Footprint" (PCF)-Values for Industrial Adhesives. Haettu 11.1.2019 osoitteesta. [https://www.klebstoffe.com/fileadmin/redaktion/ivk/Product\\_Carbon\\_Footprint\\_engl\\_www.pdf](https://www.klebstoffe.com/fileadmin/redaktion/ivk/Product_Carbon_Footprint_engl_www.pdf)

ISO/TS 14067 (2013). Kasvihuonekaasut. Tuotteiden hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen laskemista ja viestimistä koskevat vaatimukset ja ohjeet. Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Järvi-Kääriäinen, T. (2002). Pakkauskoneet- ja laitteet. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T. & Leppänen-Turkula, A. (toim.) *Pakkaaminen: perustiedot pakkausista ja pakkaamisesta*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2002, 78–97.

Katajajuuri, J. & Ollila, M. (2007). Pakkaamisen merkitys. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. & Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 13–23.



Karhuketo, H., Seppälä, M., Törn, T. & Viluksela, P. (2004). *Paperin ja kartongin jalostus*. Opetushallitus.

Karjalainen, P. (2013). The carbon footprint of the Finnish beverage industry for years 2000–2012 as calculated with CCaLC. Pro gradu-tutkielma. Environmental Change and Policy. Helsingin yliopisto. Haettu 16.1.2019 osoitteesta <http://www.panimo-liitto.fi/app/uploads/2014/01/The-carbon-footprint-of-the-Finnish-beverage-industry-for-years-2000-2012-as-calculated-with-CCaLC.pdf>

Kokko, J. (2012). *Hiilijalanjälkiselvitys ja siihen käytettävän ohjelmiston valinta*. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Haettu 4.4.2018 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42330/Kokko\\_Jussi.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/42330/Kokko_Jussi.pdf?sequence=1)

Koskinen, I. (2013). *Rasvankestävät paperit ja kartongit*. Tutkimusraportti. Kemiantekniikan osasto, kuitu- ja paperitekniikan laboratorio. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Haettu 16.5.2018 osoitteesta [http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88734/Kandi\\_ida\\_koskinen\\_200113.pdf%3Bjsessionid=F48F48F3B67D963AC03E88D97B0C4904?sequence=1](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/88734/Kandi_ida_koskinen_200113.pdf%3Bjsessionid=F48F48F3B67D963AC03E88D97B0C4904?sequence=1)

Kuittinen, M. & Linkosalmi, L. (2013). Puurakennusten hiilijalanjälki. Haettu 23.1.2019 osoitteesta <https://docplayer.fi/8116803-Puurakennusten-hiilijalanjalki-matti-kuittinen-lauri-linkosalmi.html>

K-Rauta. (2019). Rakennuspuutavara. Sahattu 22x100 VI. Haettu 23.1.2019 osoitteesta <https://www.k-rauta.fi/rautakauppa/sahattu-22x100-vi>

Leppänen-Turkula, A., Ollila, M. & Järvi-Kääriäinen, T. (2007). Pakkaus. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. & Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 9–12.

Leppänen-Turkula, A. & Riste, H. (2007). Pakkausten uudelleenkäyttö, kierrätys ja hyötykäyttö. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. & Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 275–280.

Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 159–169.

Loikkanen, T., Mälkki, H., Virtanen, Y., Katajajuuri, J., Seppälä, J., Leivonen, J. & Reinikainen, A. (1999). *Elinkaariarviointi yritysten ja viranomaisien ympäristönhallinnan päätöksenteon tukena - nykytila ja kehittämistarpeet*. Teknologiakatsaus 68/99. Helsinki: Teknologian kehittämiskeskus.

Luonnonvarakeskus LUKE. (2015). Foodchain-hankkeen esittely. Haettu 4.9.2018 osoitteesta <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/www/Hankkeet/Foodchain/Esittely>

LKW WALTER. (n.d.). Rekkakuljetusten kalusto. Haettu 11.1.2019 osoitteesta <http://www.lkw-walter.fi/fi/asiakas/rekkakuljetukset/kalusto>

Mansikkamäki, S. (2002). Pakkauspaperit, paperisäkit, hylsy, kuituvalokset. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. & Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 138–149.

Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. (1999). *Muovitekniikan perusteet*. Helsinki: Opetushallitus.

Meiseri, A. (2010). *Tuotteen hiilijalanjälki ja sen laskenta*. Opinnäytetyö. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. Haettu 19.2.2018 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15020/Meiseri\\_Anni.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15020/Meiseri_Anni.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Muoviyhdistys. (2016). Tietoa muovista: osa 2 – Valtamuovit. Haettu 25.4.2018 osoitteesta <http://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/15/osa-2-valtamuovit/>

Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. & Dahlbo, H. (2008). Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. Suomen ympäristökeskus. Haettu osoitteesta 17.1.2019 [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39792/SY-KEra\\_28\\_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39792/SY-KEra_28_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Paltakari, K. (2007). Kuitupohjaiset pakkausmateriaalit ja niiden keskeiset ominaisuudet. Teoksessa Järvi-Kääriäinen, T., Ollila, M. & Lindén, M. (toim.) *Toimiva pakkaus*. Helsinki: Pakkausteknologia-PTR 2007, 129–137.

PAS 2050:2011. (2011). Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. BSI British Standards Institution. Haettu 12.2.2018 osoitteesta <http://shop.bsigroup.com/upload/shop/download/pas/pas2050.pdf>

PAS 2050. (2008). Guide to PAS 2050 – How to assess the carbon footprint of goods and services. BSO British Standards. Haettu 30.7.2018 osoitteesta [https://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/hall/publications/PAS2050\\_Guide.pdf](https://aggie-horticulture.tamu.edu/faculty/hall/publications/PAS2050_Guide.pdf)

PlasticsEurope. 2018. Eco-profiles. Haettu 10.12.2018 osoitteesta <https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles>

Pohjola, T. (2011). Tulikiven tulisijojen hiilijalanjäljet. Teoksessa Virtanen, A. & Rohweder, L (toim.) *Ilmastomuutos käytännössä. Hillinnän ja sopeutumisen keinoja*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press, 339–340.

Pulkkinen, H., Hartikainen, H. & Katajajuuri, J. (2011). *Elintarvikkeiden hiilijalanjäljen laskenta ja viestintä*. Climate Communication I -hankkeen loppuraportti. MTT raportti 22. Haettu 14.1.2018 osoitteesta <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti22.pdf>

Pyroll. (2018). Leipomotuotteet. Haettu 2.12.2018 osoitteesta <https://www.pyroll.com/packaging/ratkaisut/elintarvikkeet/leivonta/>

Pyroll. (2018). Valmisruoka. Haettu 2.12.2018 osoitteesta <https://www.pyroll.com/packaging/ratkaisut/elintarvikkeet/valmisruoka/>

Raisio. (2018). Mitä hiilijalanjälkimerkki kertoo. Haettu 15.12.2018 osoitteesta [https://www.raisio.com/fi\\_FI/hiilijalanjalkimerkki](https://www.raisio.com/fi_FI/hiilijalanjalkimerkki)

Ruosteenoja, K. (2011). Miten ja miksi ilmasto muuttuu? Teoksessa Virtanen, A. & Rohweder, L (toim.) *Ilmastomuutos käytännössä. Hillinnän ja sopeutumisen keinoja*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press. 69–108.

Sallila energia. (2017). Sähkön alkuperä. Haettu 11.1.2019 osoitteesta <https://www.sallila.fi/sahkon-myynti/sahkon-alkupera/>

Seppälä, J. (2001). *Polymeeriteknologian perusteet*. Helsinki: Otatieto Oy.

Silvenius, F., Katajajuuri, J., Koivupuro, H., Nurmi, P., Virtanen, Y., Grönman, K. & Soukka, R. (2011). *Elintarvikkeiden pakkausvaihtoehtojen ympäristövaikutukset*. FuturepackEKO2010-hanke. MTT Raportti 14. Haettu 14.1.2018 osoitteesta <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti14a.pdf>

Springer Science. (2014). *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 1*. Haettu 16.1.2019 osoitteesta [https://books.google.fi/books?id=pLFBAAAQ-BAJ&pg=PA228&lpg=PA228&dq=wooden+secondary+packaging+carbon+footprint&source=bl&ots=gV\\_zypefEZ&sig=fw2fYByvVh7fUT-spocccW0JgnuI&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKEwj27PHMm-bfA-hUiaYKHf3\\_DjsQ6AEwBXoECAkQAQ#v=onepage&q=wooden%20secondary%20packaging%20carbon%20footprint&f=false](https://books.google.fi/books?id=pLFBAAAQ-BAJ&pg=PA228&lpg=PA228&dq=wooden+secondary+packaging+carbon+footprint&source=bl&ots=gV_zypefEZ&sig=fw2fYByvVh7fUT-spocccW0JgnuI&hl=fi&sa=X&ved=2ahUKEwj27PHMm-bfA-hUiaYKHf3_DjsQ6AEwBXoECAkQAQ#v=onepage&q=wooden%20secondary%20packaging%20carbon%20footprint&f=false)

Suomen ympäristökeskus. (2004). FINSKEN-projektin tuloksia. FINSKEN-hanke. Haettu 26.5.2018 osoitteesta <http://www.finessi.info/finsken/ajankoht fi.html>

Suomen ympäristökeskus. (2017). *Tietoa elinkaariarvioinnista (LCA) ja elinkaarielinikka- toimintamallista pk-yrityksille*. ToimintaMALLI yritysten elinkaarien ympäristövaikutusten kehittämiseksi (MALLI-Y)-hanke. Pdf-tiedosto. Haettu osoitteesta <http://www.syke.fi/download/no-name/%7B032490FA-19DF-4E5A-A40F-88E22B86DA20%7D/132057>

Suomen ympäristökeskus, Aalto-yliopisto, YTK & Ilmatieteen laitos. (2015). Sopimukset ohjaavat kansainvälistä ilmastopolitiikkaa. Haettu 28.5.2018 osoitteesta [https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/f65a78bb-dc8e-41a5-b09a-6fa36661880b/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikkaa\\_fi.html](https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/f65a78bb-dc8e-41a5-b09a-6fa36661880b/sopimukset-ohjaavat-kansainvalista-ilmastopolitiikkaa_fi.html)

Suomen ympäristökeskus, Aalto-yliopisto, YTK & Ilmatieteen laitos. (2017a). Kasvihuonekaasut lämmittävät. Haettu 21.3.2018 osoitteesta <http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/3a576a6e-bec5-44bc-a01d-11497ebdc441/kasvihuonekaasut-lammittavat.html>

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. (2015). *Ympäristöjohtamisen standardit*. Pdf-kalvosarja oppilaitoksille. Haettu 4.4.2018 osoitteesta [http://www.sfsedu.fi/files/225/SFSedu\\_Ymparistojohtamisen\\_standardit\\_ISO\\_14000\\_2015-01-05.pdf](http://www.sfsedu.fi/files/225/SFSedu_Ymparistojohtamisen_standardit_ISO_14000_2015-01-05.pdf)

Säilä, A. (2017). Pakkaus on välttämätön hyvä – ei välttämätön paha. Suomen pakkausyhdistys ry. Haettu 26.4.2018 osoitteesta <https://www.arkti-setaromit.fi/binary/file/-/fid/3231>

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. (2017). Puoliperävaunulla varustettu yhdistelmä. LIPASTO yksikköpäästöt-tietokanta. Haettu 7.1.2019 osoitteesta <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kapptie.htm>

TeqNovo Inc. (2014). Heat Shrink Film Utility. Thickness and Weight Calculator. Haettu 11.1.2019 osoitteesta [http://www.shrinkguns.com/Film\\_thickness\\_utility.htm](http://www.shrinkguns.com/Film_thickness_utility.htm)

The Engineering ToolBox. (2009). Biomasses used as Fuel – Energy Content. Haettu 13.1.2019 osoitteesta [https://www.engineeringtoolbox.com/biofuel-energy-content-d\\_1356.html](https://www.engineeringtoolbox.com/biofuel-energy-content-d_1356.html)

Tilastokeskus. (2018a). Kasvihuonekaasuinventaario. Haettu 26.5.2018 osoitteesta <https://www.stat.fi/tup/khkinv/index.html>

Tilastokeskus. (2018b). Kasvihuonekaasut. Kasvihuonekaasupäästöt laskivat, silti päästökauppi ylittyi. Haettu 26.5.2018 osoitteesta [https://www.stat.fi/til/khki/2017/khki\\_2017\\_2018-05-24\\_tie\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-05-24_tie_001_fi.html)

- Tilastokeskus. (2018c). Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2017. Haettu 28.5.2018 osoitteesta [https://tilastokeskus.fi/til/khki/2017/khki\\_2017\\_2018-05-24\\_kat\\_001\\_fi.html](https://tilastokeskus.fi/til/khki/2017/khki_2017_2018-05-24_kat_001_fi.html)
- Tsiamis, D. & Castaldi, M. (2016). Determining accurate heating values of non-recycled plastics (nrp). Earth Engineering Center. City University of New York. Haettu 13.1.2019 osoitteesta <https://plastics.americanchemistry.com/Energy-Values-Non-Recycled-Plastics.pdf>
- UNFCCC. (2000). HFCs, refrigeration and air-conditioning: Minimising climate impact, maximising safety. Haettu 15.1.2019 osoitteesta [https://unfccc.int/files/methods/other\\_methodological\\_issues/interactions\\_with\\_ozone\\_layer/application/pdf/epeebroc.pdf](https://unfccc.int/files/methods/other_methodological_issues/interactions_with_ozone_layer/application/pdf/epeebroc.pdf)
- Virtanen, A. (2011a). Ilmasto- ja energiapoliittiset tavoitteet Suomessa, Euroopan Unionissa ja globaalisti. Teoksessa Virtanen, A. & Rohweder, L. (toim.) *Ilmastonmuutos käytännössä. Hillinnän ja sopeutumisen keinoja*. Helsinki: Guedeamus Helsinki University Press, 43–68.
- Virtanen, A. (2011b). Mitä ilmastonmuutos merkitsee ja mitä tulisi tehdä? Teoksessa Virtanen, A. & Rohweder, L. (toim.) *Ilmastonmuutos käytännössä. Hillinnän ja sopeutumisen keinoja*. Helsinki: Guedeamus Helsinki University Press, 19–42.
- Ympäristöministeriö. (2016a). Kioton pöytäkirja. Haettu 28.5.2018 osoitteesta [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Kansainvaliset\\_ilmastoneuvottelut/Kioton\\_poytakirja](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Kioton_poytakirja)
- Ympäristöministeriö. (2016b). Kasvihuonekaasupäästöjen seuranta ja raportointi. Haettu 28.5.2018 osoitteesta [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen\\_raportointi\\_ja\\_seuranta](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta)
- Ympäristöministeriö. (2016c). Euroopan unionin ilmastopolitiikka. Haettu 28.5.2018 osoitteesta [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Euroopan\\_unionin\\_ilmastopolitiikka](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Euroopan_unionin_ilmastopolitiikka)
- Ympäristöministeriö. (2017a). Pariisin ilmastopöytäkirja. Haettu 28.5.2018 osoitteesta [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Kansainvaliset\\_ilmastoneuvottelut/Pariisin\\_ilmastopoytakirja](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Pariisin_ilmastopoytakirja)
- Ympäristöministeriö. (2017b). Kansallinen ilmastopolitiikka. Haettu 28.5.2018 osoitteesta [http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Kansallinen\\_ilmastopolitiikka](http://www.ym.fi/fi-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansallinen_ilmastopolitiikka)