

JUOMAPAKKAUKSEN ELINKAARITAR- KASTELU

Case: NWB-Finland

Kuvailulehti

Tekijä(t) Orola, Anni	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika kevät 2018
	Sivumäärä 36	
Työn nimi Juomapakkauksen elinkaaritarkastelu Case: NWB-Finland		
Koulutusohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, onko NWB-Finland yrityksen uudenlainen Bag-in-Box -juomapakkaus hiilijalanjäljeltään pienempi verrattuna vastaaviin markkinoilta löytyviin PET-muovisiin pakkauksiin. Opinnäytetyössä vertailtiin myös pakkausten ulkomittojen viemiä tilavuuksia. Lisäksi kokoon taitellun NWB-Finlandin pakkauksen tilavuutta verrattiin muiden pakkausten tilavuuteen jäteastiassa. Pakkausten massoja vertailtiin jätekuljetuksessa. Pakkausta verrattiin 6 x 0,5 litran nestepakkaukseen, 6 x 1,5 litran nestepakkaukseen sekä 5,1 litran juomakanisteriin.</p> <p>Tutkimus suoritettiin tekemällä juomapakkauksista elinkaariarvioinnit GaBi 8.5 -ohjelmalla. Tiedot prosesseihin saatiin pääosin GaBin sisältämistä tietokannoista. Tulokset saatiin CML 2001 Jan. 2016 -menetelmää käyttäen vaikutuskategoriana Global Warming Potentialia. Muut vertailut suoritettiin käsin mittaamalla ja laskemalla. Kaikki tulokset laskettiin tuhannen litran pakkaustilavuutta kohden.</p> <p>Vertailussa selvisi, että NWB-Finlandin juomapakkaus oli hiilijalanjäljeltään pienin, ja se vei vähiten tilaa jäteastiassa. Kokonaisena NWB-Finlandin tilavuus oli toiseksi pienin. Pakkaus oli massaltaan suurin verrattaessa PET-juomapakkauksiin.</p> <p>Elinkaariarvioinnin tulokset sisältävät kuitenkin paljon epävarmuuksia, koska se tehtiin niin yleisellä tasolla. Juomapakkausten kierrätystä ei otettu lainkaan huomioon, koska yritys pyrkii kansainvälisille markkinoille, minkä vuoksi kierrätyskäytännöt vaihtelevat laajasti. Vaikka PET-pullojen valmistus sijoitettiin arvioinnissa Suomeen, siinä ei ole otettu huomioon, että pullot kierrätetään täällä yleensä suljetussa kierrossa uusiksi PET-pulloiksi.</p>		
Avainsanat elinkaariarviointi, pakkausmateriaalit, juomapakkaus		

Description

Author(s) Orola, Anni	Type of publication Bachelor's thesis	Published spring 2018
	Number of pages 36	
Title of publication Life cycle assessment of beverage package Case NWB-Finland Oy		
Degree programme Energy and environmental engineering		
Abstract <p>The goal of this thesis was to compare NWB-Finland's Bag-in-Box beverage package to three different PET bottle packages to find out if it was the most ecological option. The PET bottle packages used in comparison were 6 x 0,5 liter beverage package, 6 x 1,5 liter beverage package and 5,1 liter beverage canister. The categories of the comparison were carbon footprint, volume of the package, volume of the package in a trash can and mass of the empty package.</p> <p>The carbon footprint was calculated by conducting a life cycle assessment with GaBi 8.5 programme. The data for the processes was mainly from the databases included in GaBi. The results were calculated using CML 2001 Jan. 2016 method and Global Warming Potential as impact category. Other comparisons were made measuring and calculating manually. All the results were calculated per 1000 liters.</p> <p>The result of the comparison was that the carbon footprint of NWB-Finland's beverage package was the smallest. It was also possible to fold it in a small volume so it required less space in a trash can to other beverage packages. When comparing the volumes of the beverage packages, NWB-Finland's package was the second smallest. It was also the largest package by mass.</p> <p>The results of the life cycle assessment contain a lot of uncertainties, because it was made at such a general level. The recycling of the beverage packages was left out from the assessment, because the company aims at international markets and recycling methods vary a lot in different countries. In Finland PET bottles are usually recycled in closed loop to new PET bottles, but in this assessment, they were made from virgin plastic even though production was in Finland.</p>		
Keywords Life Cycle Assessment, Packaging Materials, Beverage Package		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PAKKAUSMATERIAALIT.....	3
2.1	Muovi.....	3
2.1.1	Muovipakkaukset	3
2.1.2	Muovijätteen kierrätys	4
2.1.3	Muovin ympäristövaikutukset	5
2.2	Aaltopahvi.....	5
2.2.1	Aaltopahvipakkaukset	5
2.2.2	Aaltopahvin kierrätys	7
2.2.3	Aaltopahvin ympäristövaikutukset	7
3	ELINKAARIMALLINNUS.....	8
3.1	Elinkaariarviointi	8
3.2	ISO14040 ja ISO 14044:2006 -standardit	9
3.2.1	Elinkaariarvioinnin vaiheet.....	9
3.2.2	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	9
3.2.3	Inventaarioanalyysi.....	11
3.2.4	Vaikutusarviointi	12
3.2.5	Tulosten tulkinta.....	13
3.3	Ohjelmistot ja tietokannat	14
3.4	Esimerkkejä juomapakkausten elinkaaritutkimuksista	15
4	JUOMAPAKKAUSTEN ELINKAARIMALLINNUS JA TULOKSET	16
4.1	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely	16
4.2	Inventaarioanalyysi	18
4.2.1	Bag-in-Box	18
4.2.2	6 x 0,5 litran pakkaus.....	21
4.2.3	6 x 1,5 litran pakkaus.....	23
4.2.4	5,1 litran pakkaus.....	26
4.3	Elinkaarimallinnuksen tulokset.....	28
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA EPÄVARMUUSANALYYSI	31
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	37

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos, ympäristön roskaantuminen ja maapallon resurssien väheneminen vaativat yrityksiä viemään tuotteidensa suunnittelua ympäristöystävällisempään suuntaan. Kuluttajista on tullut ympäristötietoisempia, ja ostopäätöstä määrittävät yhä useammin tuotteen ympäristövaikutukset sen ulkonäön ja hinnan ohella. Lisääntyvä tietoisuus esimerkiksi valtamerten muovijätteestä, jätepyörteistä ja mikromuovin vaaroista on saanut monet vähentämään muovinkäyttöään.

Yritykset ovat lähteneet luomaan uusia ympäristöystävällisempiä ja vähämuovisempia tuotevaihtoehtoja. Monet myös viherpesevät brändejään, vaikka tuotteiden ympäristövaikutuksista ei ole olemassa tutkimustietoa. Ekologinen tuotekehitys vaatiikin tiivistä yhteistyötä tuotesuunnittelijoiden ja ympäristöalan ammattilaisten, kuten elinkaariasiantuntijoiden, välillä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia NWB-Finlandin Bag-in-Box -pakkauksen ympäristövaikutuksia ja verrata sitä muihin juomapakkauksiin. Bag-in-Box -juomapakkausta verrattiin kolmeen erilaiseen markkinoilla olevaan PET-muoviseen nestepakkaukseen. Vertailupakkaukset olivat 6 x 0,5 litran pakkaus, 6 x 1,5 litran pakkaus ja 5,1 litran pakkaus. Pakkausten hiilijalanjälki laskettiin tekemällä elinkaarimallinnus GaBi 8.5 -ohjelmalla käyttäen CML 2001 Jan. 2016 -menetelmää. Elinkaariarviointi oli laajuudeltaan cradle-to-gate eli valmistuksesta tehtaan portille asti. Lisäksi huomioon otettiin pakkausten kuljetus tehtaalta kauppaan, koska haluttiin nähdä, kuinka paljon NWB-Finlandin pakkauksen muotoilu vaikutti sen hiilijalanjälkeen kuljetuksessa. Ulos vertailusta jätettiin pakkausten kierrätys ja käyttövaihe. Muita vertailukohteita olivat: pakkauksen ulkomittojen tilavuus, pakkauksen viemä tilavuus jätekuljetuksessa sekä tyhjän pakkauksen massa.

NWB-Finland on vuonna 2016 Lahdessa perustettu liikkeenjohdon konsultointiyritys. Käytännössä tämä tarkoittaa pakkausten suunnittelua, suojausta ja lisensointia. Yrityksen palkkalistoilla on tällä hetkellä yksi henkilö, mutta se työllistää kolme muuta ostopalveluna. NWB-Finlandin tavoitteena on kehittää uusia pakkausratkaisuja kansainvälisille markkinoille vähentäen juomapakkausten ympäristöongelmia.

Työn teoriaosuudessa perehdytään muoviin ja pahviin pakkausmateriaaleina sekä niiden valmistusprosesseihin ja ympäristövaikutuksiin. Lisäksi siinä tutustutaan elinkaariarvioin-

nin perusteisiin ja arviointimenettelyä ohjaaviin ISO-standardeihin. Teoriaosuudessa esitellään myös erilaisia elinkaarimallinnusohjelmia sekä niiden sisältämiä tietokantoja ja arviointimenetelmiä. Tutkimusosuudessa määritellään opinnäytetyössä tehdyn elinkaariarvioinnin tavoitteet ja soveltamisala. Siinä esitellään vertailtavien pakkausten tekniset tiedot, elinkaarimallinnuksessa käytetyt prosessikaaviot ja käytettyjen prosessien spesifisyys.

Elinkaariarviointi perustui lähinnä suurelta osin pakkauksissa käytetyille materiaaleille. Bag-in-Box pakkauksen materiaalitiedot saatiin NWB-Finlandilta. Muiden pakkausten tiedot kerättiin pakkausten sisältämistä kierrätystä ohjaavista merkinnöistä. Muita selvitettäviä asioita olivat pakkausten tilavuusominaisuudet ja massa jätteenä sekä logistinen tehokkuus. Näihin liittyvät tiedot saatiin NWB-Finlandilta sekä Foodie.fi -sivustolta ja ne varmistettiin vielä itse mittaamalla ja punnitsemalla.

Tärkeimmät työssä käytetyt lähteet ovat GaBi 8.5 -elinkaarimallinnusohjelma sekä Euroopan komission julkaisema ILCD-käsikirja. GaBia voidaan pitää luotettavana lähteenä, koska se on yksi käytetyimmistä elinkaarimallinnusohjelmista ympäri maailmaa. Lisäksi sen tietokannat ovat ajantasaisia, koska niitä päivitetään jatkuvasti. ILCD-käsikirja perustuu kansainvälisille elinkaariarviointia ohjaaville ISO-standardeille, joten sen käyttäminen laajasti on perusteltua. Muut työssä käytetyt lähteet ovat suurimmalta osin virallisia suomalaisia tai kansainvälisiä tiedontuottajia.

2 PAKKAUSMATERIAALIT

2.1 Muovi

2.1.1 Muovipakkaukset

Muovi on yleistermi synteettisille tai osittain synteettisille polymeereistä koostuville materiaaleille (Plastics Europe 2018). Muovit voidaan jakaa ominaisuuksiltaan kesto- ja kertamuoveihin. Kertamuoveja ei voi sulattaa ja muovata uudelleen toisin kuin kestumuoveja. (Muoviteollisuus Ry 2018a.)

Muovi on hyvä pakkausmateriaali, koska se on materiaalina joustava, vahva, kevyt, stabiili, läpäisemätön ja se on helppo steriloida. Sen käyttö elintarvikepakkauksissa vähentää ruokahävikkiä ja ehkäisee ruokamyrkytyksiä (Plastics Europe 2018). Muovin ympäristöjäljän jälki on suhteellisen pieni, eikä se myöskään reagoi helposti orgaanisten aineiden kanssa. Se on myös materiaalina edullista. (Andrady 2015, 126.)

Yleisimpiä pakkauksissa käytettäviä muoveja ovat PET, PP ja PE. PET, eli polyeteenitereftalaatti, on kiteistä tai amorfista kestumuovia. Sitä käytetään erityisesti virvoitusjuomapulloissa sekä muussa pakkausteollisuudessa. PP eli polypropeeni on propeenista valmistettu termoplastinen muovi (Selke 2015, 116, 131-132). Se on hyvin vastustuskykyinen liuottimille, emäksille ja hapoille. Polypropeenista valmistetaan erimerkiksi muovikalvoja. (Muoviteollisuus Ry 2018b.)

PE eli polyeteeni on yksi halvimmista ja yksinkertaisimmista muoveista. PE-muovit jaotellaan niiden tiheyden mukaan. (Muoviteollisuus Ry 2010b.) HDPE eli korkeatiheyksinen polyeteeni on toiseksi käytetyin pakkausmuovi. HDPE on joustava ja iskunkestävä muovityyppi. Se on ominaisuuksiltaan samea, kova ja kestävä. HDPE-muovia käytetään esimerkiksi mehupulloissa ja kalvona muropusseissa. LDPE eli matalatiheyksinen polyeteeni on kaikista käytetyin pakkausmuovi. Se on kirkasta, joustavaa, ja sitä on helppo prosessoida. (Selke 2015, 102-103, 107-109.) Pinnaltaan LDPE on vahamainen. (Muoviteollisuus Ry 2018b.) Eniten LDPE-muovista valmistetaan kalvoja (Selke 2015, 103), joita käytetään esimerkiksi vihannes-, juures- ja leipäpusseissa (Muoviteollisuus Ry 2018b). Molemmat polyeteenilaadut ovat hyvin kemiallisesti kestäviä sekä hajuttomia ja mauttomia. (Muoviteollisuus Ry 2018b.)

Muovipakkauksia voidaan tehdä eri valmistusmenetelmin. Muovikalvoja valmistetaan puhalluskalvoekstruusiolla, jossa renkaan muotoisen suuttimen läpi puristetaan sulaa muovia. Puhalletun ilman vaikutuksesta muovi paisuu ohutseinäiseksi letkuksi, jota on mahdollista työstää eteenpäin. PET-pullon valmistusprosessissa granulaatista, eli muovirakeesta, tehdään ensin ulkonäöltään koeputkea muistuttava preformi ruiskuvalumenetelmällä. Ruiskuvalussa sula muovi ruiskutetaan paineella muottiin, jolloin se jähmettyy muotin muotoiseksi. Sen jälkeen preformi sulatetaan ja puhalletaan muotin reunoille kevyellä paineella venytyspuhallusmuovausmenetelmällä. Erilaisia pulloja ja kanistereita voidaan valmistaa myös HDPE-muovista puhallusmuovausmenetelmällä, jolloin sula muovi pakotetaan ulkoisen muotin mukaisiin mittoihin. (Muoviteollisuus Ry 2018d.)

2.1.2 Muovijätteen kierrätys

Muovijäte voidaan kierrättää, polttaa tai loppusijoittaa kaatopaikalle. Nykyään kaikki muoviladut olisi teknisesti helppo kierrättää PVC-muovia ja monikerrosmuoveja lukuun ottamatta. PVC-muovi sisältää ympäristölle haitallisia aineita, jotka vaikeuttavat kierrätystä. Monikerrosmuovit taas sisältävät eri muovilajeista syntyviä kerroksia, jotka on nykymenetelmin vaikea erottaa toisistaan. Tulevaisuudessa tekniikan kehittyessä tällaisetkin muovit ovat luultavasti kierrätettävissä. (World Economy Forum and Ellen MacArthur Foundation 2017, 28-29.)

Suomessa muovisia kuluttajapakkauksia on kierrätetty vuodesta 2016 lähtien tuottajavastuun nojalla (Suomen Uusiomuovi Oy 2017). Aikaisemmin kierrätettiin vain pantillisia PET-pulloja. Kierrätysjärjestelmään kuuluvista pulloista yli 90 % palautetaan (Suomen Palautuspakkaus Oy 2018). Pullo kierrätetään, joko uusiksi pulloiksi tai esimerkiksi fleecenkankaaksi (Suomen Uusiomuovi Oy 2018). Suurin osa muovipakkauksista menee silti edelleen polttoon ja sitä kautta energiaksi. Suomessa muovipakkausjätettä ei saa enää loppusijoittaa kaatopaikalle. (Suomen Uusiomuovi Oy 2017.)

Muualla maailmassa jätehuoltojärjestelmät eivät ole yleensä yhtä kehittyneitä kuin Suomessa. Vain noin 14 % koko maapallon muovipakkauksista kerätään kierrätystä varten. PET-pulloista kerätään noin puolet, mutta niistä vain 7% kierrätetään suljetussa kierrossa uusiksi pulloiksi. Muovipakkauksista 40 % loppusijoitetaan kaatopaikalle ja 32% päätyy luontoon. Kahdeksankymmentä prosenttia luontoon vuotaneesta muovista on peräisin Aasian maista. (Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company 2016, 17, 27, 33.)

2.1.3 Muovien ympäristövaikutukset

Monien muovien pääraaka-aine on öljy, joka on uusiutumaton luonnonvara (Muoviteollisuus Ry 2018c). Maaöljyvarojen ehtyessä öljyä joudutaan hankkimaan koko ajan yhä haastavammilla tavoilla, kuten tuottamalla sitä öljyhiekasta tai öljyliuskeesta. Tämä pahentaa huomattavasti öljyntuotannon ympäristövaikutuksia. Öljyhiekasta tuotetun öljyn hiilijalanjälki on noin kolminkertainen verrattuna perinteisellä tavalla pumpattuun öljyyn. (Andrews 2008.) Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että nykyään kehitetään yhä enemmän biopohjaisia muoveja ja muoviteollisuuden osuus koko maailman öljynkulutuksesta on hyvin pieni (Muoviteollisuus Oy 2018c).

Luontoon päätyessään muovi hajoaa vähitellen pienemmiksi osiksi, jota kutsutaan mikromuoviksi. Maahan heitetty muovijäte päätyy helposti vesistöihin, joissa se aiheuttaa pahoja ympäristöongelmia. Valtamerissä muovi muodostaa suuria jätelauttoja merissä sijaitsevien pyörteiden kohdalle. (Andrady 2015, 305, 310.) Muovipakkauksen täydellinen hajoaminen meriympäristössä voi kestää satoja vuosia (Hamaide 2014, 35). Lisäksi mikromuovia syntyy ja päätyy vesistöön pestessä polymeerikuiduista, kuten fleece-kankaasta, valmistettuja vaatteita. Myös osa kosmetiikasta sisältää mikromuovia. Monet merieläimet ja kalat syövät vahingossa muovia ja kuolevat nälkään sen tukkiessa niiden ruuansulatuselimistön. (Andrady 2015, 305-309.)

Pahimmillaan muovin sisältämät myrkyt voivat kulkeutuvat ravintoketjussa ihmiseen asti. Huolta aiheuttavat erityisesti pysyvät orgaaniset yhdisteet, jotka konsentroituvat merivedestä muoviin. (Andrady 2015, 305-309.) Niin sanotut POP-yhdisteet ovat erittäin myrkyllisiä, pysyviä ja kertyvät eliöihin. Ne ovat useimmiten rasvaliukoisia ja rikastuvat ravintoketjun huippua kohti mentäessä. Osa POP-yhdisteistä on yhteydessä kehitys- ja lisääntymishäiriöihin, joita on havaittu eläimissä. Yhdisteet voivat vaikuttaa myös ihmiseen samalla tavalla. (Suomen ympäristökeskus 2018.)

2.2 Aaltopahvi

2.2.1 Aaltopahvipakkaukset

Aaltopahvi on kuljetuspakkauskartonkia, jota käytetään esimerkiksi monenlaisissa kuljetuspakkauksissa (Suomen Metsäyhdistys 2018). Se muodostuu aaltomaisesti taivutetusta yhden tai kahden pintakartongin väliin liimatusta kartonkikerroksesta. Aaltokerroksia voi olla yksi tai useampi. Aallotuskartonki liittyy pintakartongit yhteen pitäen ne samalla tietyllä

etäisyyden päässä toisistaan. Tämä luo painoonsa nähden erittäin vahvan ja jäykän rakenteen. (Suomen Aaltopahviyhdistys Ry 2018.)

Yksipuoleisessa aaltopahvissa on vain yksi aalto, joka on liimattu yhteen pintakartonkiin. Sitä käytetään usein esimerkiksi huonekaluteollisuuden pakkauksissa. Yksiaaltoinen aaltopahvi on tehty kahdesta pintakartongista ja yhdestä aallosta. Se on yleisin pahvipakkausmateriaali. Lisäksi on olemassa myös kaksi- ja kolmiaaltoisia pahveja, joissa pintakartonkien ja suorien pahvikerrosten väliin on liimattu kaksi tai kolme aaltoa. Useimmat aallot lujittavat pakkauksen rakennetta sekä parantavat suojausominaisuuksia. (Suomen Aaltopahviyhdistys Ry 2018)

Aaltopahvit jaotellaan paksuuden mukaan: Mikroaaltopahveiksi lasketaan noin 0,8 mm paksuiset G- & N-aallot sekä noin 1,0 mm:n paksuinen F-aalto. Mikroaaltopahvilla on erittäin hyvät painatusominaisuudet sekä stanssausominaisuudet. Stanssauksella tarkoitetaan menetelmää, jossa leikataan ja tehdään taivutuksia aaltopahviarkkiin levyyn tai runkoon kiinnitetyillä terillä. Mikroaaltopahvia käytetään pienissä koteloidissa sekä laminoitavissa tuotteissa. Miniaaltopahviksi lasketaan noin 1,5 mm:n paksuinen E-aalto. Myös miniaaltopahvilla on hyvät painatusominaisuudet, ja se on jäykkä molempiin suuntiin. Sen pinoamisominaisuudet ovat heikompia kuin paksummilla aalloilla. Käyttökohteita ovat pienet kotelot sekä laminoitavat tuotteet. B-hienoaalto on noin 3 mm paksu, ja sillä on suhteellisen hyvä pinoamislujuus sekä hyvät stanssaus- ja painatusominaisuudet. Karkean C-aallon paksuus on noin 4 mm. Sitä käytetään usein kuljetuspakkauksissa hyvän pinoamislujuuden ja vankan rakenteen vuoksi. (Suomen aaltopahviyhdistys Ry 2018.)

Aaltopahvin pintakartonkeja on kahdenlaisia: kraftlainereita ja testlainereita. Kraftlainerit valmistetaan pääosin neitseellisestä sulfaattisellusta. Testlainerit valmistetaan suurimmaksi osaksi uusiokuidusta. Kraftlaineri on laadultaan testlaineria laadukkaampaa, mutta parhaat kierrätyspahvista valmistetut testlainerit ovat lähes kraftlainerin tasoa. Myös aallotuskartonkia on ensi- ja uusiokuituista. Neitseellinen aallotuskartonki tehdään lehtipuumassasta, joka tekee aallotuskartongista erittäin litistys- ja puristuslujaa. (Suomen aaltopahviyhdistys Ry 2018.)

Aaltopahvi valmistetaan liukuhihnamaisella aaltopahvikoneella. Koneeseen syötetään samaan aikaan kolme arkkia pahvia eli kaksi pintakartonkia ja yksi aallotuskartonkia varten. Keskimäinen, eli aallotuskartonki, aallotetaan painamalla se kuumien urteisten metalli-

rullien läpi. Tämän jälkeen arkeille levitetään tärkkelystä, jolla ne liimataan toisiinsa. Lopuksi aaltopahvi painatetaan sekä leikataan, taitellaan ja liimataan valmiiksi laatikoksi. (FEFCO 2018c.)

Painatus on tärkeä osa aaltopahvipakkausten ulkoasua. Aaltopahvia voi painattaa neljällä eri menetelmällä. Fleksopaino on yleisin aaltopahvin painatusmenetelmä. Painovärit ovat vesiliukoisia eivätkä sisällä haitallisia raskasmetallipigmentejä. Silkkipainossa painoväri pakotetaan aaltopahville nailon- tai polyesterikankaan läpi. Näin kuvasta tulee valokuvaomainen. Offset-painomenetelmällä tehdään vaativia sävykuvapainatuksia. Se tehdään pääasiassa esipainatuksena, koska paksua aaltopahvia ei voi painaa suoraan pahvin taivuttamista vaativassa painokoneessa. Tällä hetkellä voimakkaimmin kehittyvä painomenetelmä on digipainatus. (Suomen Aaltopahviyhdistys Ry 2018.)

2.2.2 Aaltopahvin kierrätys

Suomessa aaltopahvijätteen hyötykäyttöaste on korkea, eli jopa 99% pahvista kierrätetään tai käytetään energiantuotannossa. Noin 90% pahvista kierrätetään materiaaliksi. Sitä käytetään yleensä hylsykartonkien raaka-aineena. Länsi-Euroopassa aaltopahvi taas kierrätetään uudeksi pahviksi. (Suomen Aaltopahviyhdistys Ry 2018.) FEFCO:n tutkimuksen mukaan 82% Euroopassa valmistetusta aaltopahvista on tehty kierrätysmateriaalista. Käytetty neitseellinen puu on usein sahateollisuuden sivuvirtana syntynyttä sahajauhoa. (FEFCO 2015.) Aaltopahvi on myös täysin kiertotalouden periaatteiden mukaista, koska sitä voi kierrättää suljetussa kierrossa (FEFCO 2018b).

2.2.3 Aaltopahvin ympäristövaikutukset

Aaltopahvin pääraaka-aine puu on uusiutuva luonnonvara (Suomen Aaltopahviyhdistys Ry 2018). Suomessa puu saadaan PEFC- tai FSC-sertifioiduista kestävän metsätalouden mukaisesti hoidetuista metsistä (Metsäkeskus 2018). Puukuidusta valmistetut tuotteet voidaan kierrättää useasti ja elinkaaren lopussa käyttää energiantuotannossa polttamalla (Suomen Aaltopahviyhdistys Ry 2018). Lisäksi puu sitoo hiiltä itseensä (FEFCO 2018a). Luontoon päätyessään aaltopahvi hajoaa 2-3 kuukaudessa riippuen sen käsittelytavasta. Aaltorakenteen vuoksi aaltopahvista saadaan lujaa jo pienillä ainemäärillä. Tehtailla syntyvä hylky-materiaali voidaan kierrättää uudeksi aaltopahviksi. (Suomen Aaltopahviyhdistys Ry 2018.)

3 ELINKAARIMALLINNUS

3.1 Elinkaariarviointi

Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA) tarkoittaa menetelmää, jolla analysoidaan ja arvioidaan tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia (Klöpffer & Grahl 2014, 1). Elinkaarella tarkoitetaan tuotteen vaiheita alkutuotannosta loppusijoitukseen (Antikainen 2010, 11). Täydellinen elinkaari kattaa raaka-aineiden hankkimisen energianlähteistä alkaen, kuljetukset, väli- ja lopputuotteiden valmistuksen, käyttövaiheen sekä tuotteen loppusijoituksen ja/tai kierrättämisen (Klöpffer & Grahl 2014, 2).

Elinkaariarviointeja tehdään tuotekehityksen ja parannuksen tueksi sekä tukemaan strategista suunnittelua, julkista päätöksentekoa ja markkinointia (European Commission 2010,1). Yleensä elinkaariarviointia aletaan rakentaa lopputuotteesta alkutuotantoon päin. Elinkaaren eri vaiheista rakennetaan kuvaaja, joka muodostuu erilaisista prosesseista, kuljetuksista, energiantuotannoista, sivutuotteista sekä niiden suhteista toisiinsa. (Klöpffer & Grahl 2014, 2, 11.)

Elinkaariarviointeja voidaan tehdä eri laajuuksilla. Täyttä elinkaariarviointia kutsutaan termillä cradle-to-grave. Tällöin tuotteen elinkaari arvioidaan syntymästä loppusijoitukseen asti. Cradle-to-gate tarkoittaa arviointia, jossa otetaan huomioon tuotteen ympäristövaikutukset syntymästä siihen, kun se lähtee tehtaan portista ulos. Lisäksi on olemassa vielä cradle-to-cradle, jota voidaan käyttää silloin, kun tuote kierrätetään jätteeksi päädyttyään uudeksi tuotteeksi. Gate-to-gate tarkoittaa, että arvioidaan vain yhtä osuutta tuotteen elinkaareissa. (European Commission 2010, 96.)

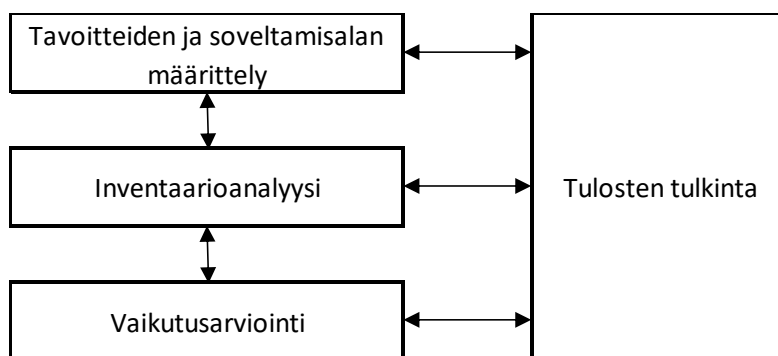
Euroopan komission (2016) mukaan elinkaariarviointi tarjoaa parhaan viitekehityksen tällä hetkellä saatavilla olevien tuotteiden arviointiin. Vaikka elinkaariarviointia pidetään luotettavana menetelmänä, siinä esiintyy epätarkkuuksia arvioinnissa tehtävien rajausten ja oletusten vuoksi (Koponen 2016). Yleensä esimerkiksi prosesseihin liittyvät tiedot eivät ole tarkkoja vaan keskiarvoon perustuvia. Lisäksi paikkaan sidottuja tietoja on vaikea löytää, jolloin on käytettävä jonkin muun alueen spesifejä tietoja. (Simonen 2014, 9.) Pitkäikäisten tuotteiden todellisia ympäristövaikutuksia on vaikea arvioida, koska on mahdotonta ennustaa, millainen jätehuoltojärjestelmä on esimerkiksi viidenkymmenen vuoden päästä (Klöpffer & Grahl 2014, 35). Elinkaariarvioinnissa pyritään arvioimaan jokaisen tuotantovaiheen

kaikkia vaikutuksia ympäristöön, mutta usein se keskittyy vain tiettyihin vaikutuksiin kuten kasvihuonekaasupäästöihin (Koponen 2016). Arviointia tehdessä tulisi kuitenkin ottaa huomioon kaikki ympäristövaikutuskategoriat (Simonen 2014, 9). Myöskään esimerkiksi tuotteen sosiaalisia vaikutuksia ei lasketa mukaan (European Commission 2010, 95).

3.2 ISO14040 ja ISO 14044:2006 -standardit

3.2.1 Elinkaariarvioinnin vaiheet

Elinkaariarvioinnin tueksi on kehitetty kansainväliset ISO14040 ja ISO 14044:2006 -standardit (European Commission 2010, 1). Niiden mukaan arvioinnin tulee sisältää neljä vaihetta (kuvio 1.): tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta. Kaikki vaiheet ovat iteratiivisia eli kaksisuuntaisia prosesseja eli aiempiin vaiheisiin voi aina palata takaisin niiden lähtökohtien tarkastamiseksi. (Antikainen 2010.)



KUVIO 1. Elinkaariarvioinnin vaiheet

3.2.2 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Tavoitteiden määrittely on elinkaariarvioinnin ensimmäinen vaihe. Se määrittelee arvioinnin tarkoituksen ja kohdeyleisön sekä luo pohjan soveltamisalan määrittelylle. Tavoitteita määrittellessä tulee ottaa huomioon useita asioita. Tärkein asia on tulosten ja tuotteiden aiotut käyttökohteet. Myös metodien, oletusten ja vaikutusten kattavuuden aiheuttamat rajoitteet tulee ottaa huomioon kuten myös tutkimuksen tekemisen syyt ja päätöksentekokonteksti. Lisäksi tulee miettiä tuotteiden ja tulosten kohdeyleisöä. Vertailevat tutkimukset tulee julkaista suurelle yleisölle selkeässä muodossa, joka estää mahdollisuudet tulkita tulok-

sia väärin. Huomioon tulee ottaa myös tutkimuksen teettäjä ja muut siihen vaikuttavat toimijat. Päätöksentekokonteksti voi olla tuote-, strategia- tai kirjanpitosoaa. (European Commission 2010, 29, 38-43.)

Soveltamisalan määrittelyssä elinkaariarvioinnin kohde eli tuote tai systeemi määritellään tarkasti. Tärkein osa soveltamisalan määrittelyä on johtaa vaatimukset metodologiasta, raportoinnin laadusta ja arvioinnista yhtäpitäviksi tutkimuksen tavoitteiden kanssa. Tätä tehdessä seuraavat asiat tulee kuvailla tai määrittellä selkeästi:

- tuotetyypit linjassa niiden aiottuihin käyttötarkoituksiin
- tutkittu systeemi tai prosessi ja sen toiminnot, toiminnallinen yksikkö ja referenssi-virrat
- inventaarioanalyysimallinnuksen viitekehys sekä monitoiminnallisten prosessien ja tuotteiden käsittely
- järjestelmän rajat, valmiusvaatimukset ja liittyvät rajaussäännöt
- katettavat vaikutusarvioinnin vaikutuskategoriat sekä tarkkojen vaikutusarvioinnin metodien valinta käytettäväksi ja sisällytettäväksi datan normalisoinnissa ja painotusten joukossa
- muut inventaarioanalyysin datan laatuvaatimukset koskien teknologisia, maantieteellisiä ja aikaan liittyviä edustavuuden- ja soveltuvuuden tasoja
- vaaditun datan ja tiedon tyypit, laatu ja lähteet sekä erityisesti vaadittu tarkkuus ja sallittujen epävarmuuksien maksimimäärä
- eri järjestelmien vertailun erityisvaatimukset
- kriittisten arviointitarpeiden tunnistaminen ja tulosten raportoinnin suunnittelu. (European Commission 2010, 51.)

Elinkaariarvioinnin oleellisimpia käsitteitä on toiminnallinen yksikkö. Se on vertailuyksikkö, jonka suhteen panos- ja tuotostiedot määritetään. Se on siis tarkasteltavan tuotejärjestelmän tuotosten tai toiminnallisten tuotosten suorituskyvyn mittayksikkö. Esimerkkinä 1 kg jotain tuotetta tai yksi tietty toiminto voi olla toiminnallinen yksikkö. (Antikainen 2010, 17.) Vertailua tehdessä toiminnalliseksi yksiköksi voi valita esimerkiksi 1000 litraa

nestettä. Tällöin vertailun kohteet voivat olla esimerkiksi kaksi tuhatta puolen litran uudestaan käytettävää lasipulloa, tuhat yhden litran kertakäyttöistä pahvista juomapakkausta ja viisi sataa kahden litran kertakäyttöistä PET-pulloa. (Klöpffer & Grahl 2014, 3.)

3.2.3 Inventaarioanalyysi

Inventaarioanalyysin aikana tapahtuu varsinainen tiedonkeräys ja järjestelmän mallintaminen. Tämä tehdään linjassa tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn kanssa. Inventaarioanalyysin tulokset ovat sitä seuraavan vaikutusarvioinnin syöte ja sen tulokset antavat palautetta soveltamisalan määrittelyn asetuksista, jotka usein kaipaavat mukauttamista. Inventaarioanalyysiin kuuluu seuraavien tietojen kerääminen: perusvirrat eli resurssit, päästöt ja maankäyttö, tuotevirrat eli tuotteet ja palvelut sekä jätevirrat. (European Commission 2010, 153-154.)

Inventaarioanalyysiin kuuluu monia vaiheita. Järjestelmän vaatimat prosessit tulee tunnistaa mallinnusperiaatteen valintaa varten. Myös raakatiedon, tiedon sekä sekundäärilähteiden tiedonkeräys on suunniteltava. Muokattavissa olevan järjestelmän yksikköprosessin inventaariotiedot täytyy kerätä prosesseja varten. Geneeristä inventaarioanalyysitietoa täytyy kehittää tarpeen mukaan varsinkin, jos keskimääräistä tai spesifiä tietoa ei ole saatavilla. Täydentävää taustatietoa tulee hankkia yksikköprosessin tai inventaarioanalyysin tulosdatasetin muodossa. Inventaarioanalyysin tietoja on mahdollista muuttaa keskiarvoisemmiksi prosesseissa tai tuotteissa sisältäen kehitystuotannon, tarjonnan ja kysynnän sekoitukset. Järjestelmä täytyy mallintaa yhdistämällä ja skaalaamalla datasetit, jotta järjestelmä saadaan näyttämään valittu toiminnallinen yksikkö oikein. Monitoiminnalliset prosessit tulee ratkaista järjestelmässä käyttämällä haitanjaollista tai seurausvaikutuksellista mallintamista. Lopuksi lasketaan inventaarioanalyysin tulokset laskemalla yhteen kaikkien prosessien panokset ja tuotokset järjestelmän rajoissa. (European Commission 2010, 153-154.)

Inventaarioanalyysin kaksi päämallinnusperiaatetta ovat haitanjaollinen ja seurausvaikutuksellinen mallinnus. Haitanjaollinen elinkaarimalli esittää sen oikeaa, tiettyä ennustettua tai keskimääräistä toimitusketjua sekä tuotteen käytönaikaista ja käyttöiän lopun arvoketjua. Seurausvaikutuksellinen elinkaarimalli esittää geneeristä toimitusketjua niin kuin sen on teoreettisesti oletettu vaikuttavan analysoitavaan päätökseen. (European Commission 2010, 70-71.) Haitanjaollinen malli kuvaa siis pysyvää tilaa ja seurausvaikutuksellinen muutosta (Antikainen 2010, 32).

3.2.4 Vaikutusarviointi

Vaikutusarviointi kokoaa yhteen inventaariodatan tukemaan tulosten tulkintaa. (European Commission 2010, 108-109). Sen ensimmäinen vaihe on inventaaritietojen luokittelu ja karakterisointi. Luokittelussa inventaariotiedot kiinnitetään yhteen tai useampaan vaikutusluokkaan. Karakterisointi tarkoittaa haitallisuuden perusteella tehtävää yhteen vaikutusluokkaan vaikuttavien päästöjen yhteismitallistamista, eli esimerkiksi kaikista kasvihuonekaasuista, kuten hiilidioksidista ja metaanista, muodostetaan CO₂-ekvivalentti. Tulos on mahdollista esittää yhdellä numeroarvolla vaikutusluokkaa kohden, kun päästöt kerrotaan niiden karakterisointikertoimilla ja lasketaan yhteen. (Antikainen 2010, 25.) Myös normalisointia ja painotusta voidaan käyttää tukemaan tätä pidemmälle. Samalla vaikutusarviointia tarvitaan asettamaan kvantitatiiviset rajaussäännöt merkityksettömien prosessien ja perusvirtojen ulos rajaamiseksi. Vaikutusarvioinnin voi tehdä keskipistemennettelyllä, jolloin otetaan huomioon yksi tai useampi seuraavista vaikutusluokista:

- ilmastonmuutos
- otsonikato
- humaanitoksisuus
- hengitysvaikutukset
- ionisoiva säteily
- fotokemiallinen otsonin muodostuminen
- happamoituminen
- rehevöityminen,
- ekotoksisuus
- maankäyttö
- luonnonvarojen ehtyminen.

Loppupistemennettelyllä arviointia tehdessä vaikutukset jaetaan seuraaviin suojeltaviin kohteisiin:

- ihmisten terveys

- luonnonympäristö
- luonnonvarat. (European Commission 2010, 108-109.)

Näistä keskipistemallinnusta pidetään luotettavampana menettelynä, koska varsinkin aikaisemmin loppupistemallinnukset eivät ole olleet läpinäkyviä esimerkiksi eri vaikutusluokkien painotuksissa. Uudemmissa malleissa, joissa molemmat lähestymistavat on yhdistetty, kertoimet on dokumentoitu läpinäkyvästi. (Antikainen 2010, 24-25.)

Normalisointi ja painotus ovat vapaaehtoisia vaiheita vaikutusarvioinnissa. Normalisointi on karakterisointituloksen suurempaan kokonaisuuteen eli suuremman alueen karakterisointi tulokseen suhteuttamista. Tämä kertoo, minkä kokoinen merkitys vaikutuksella on suuremmissa kontekstissa. Esimerkiksi ilmastonmuutosvaikutuskategorian tulos voidaan jakaa koko maailman tai Euroopan hiilidioksidipäästöillä. Painotus tarkoittaa kaikkien vaikutusluokkien normalisoitujen tulosten yhdistämistä yhdeksi vaikutusindikaattoriksi. (Antikainen 2010, 25-26.)

3.2.5 Tulosten tulkinta

Tulostentulkintavaiheella on kaksi päätarkoitusta. Tulosten tulkinta palvelee elinkaariarvioinnin iteratiivisten vaiheiden aikana ohjaten työtä parantamaan inventaarioanalyysin mallia, jotta se kohtaisi tutkimuksen tavoitteet. Jos elinkaariarvioinnin iteratiiviset vaiheet ovat aikaan saaneet lopullisen inventaarioanalyysin mallin ja tulokset (erityisesti vertailevissa LCA-tutkimuksissa), tulkintavaihe palvelee johtopäätösten johtamisessa. Tulkintavaiheessa elinkaariarvioinnin tulokset arvioidaan, jotta voidaan vastata tavoitteiden määrittelyssä asetettuihin kysymyksiin. (European Commission 2010, 285.) Lisäksi arvioidaan tulosten täydellisyyttä, herkkyyttä sekä johdonmukaisuutta. Tulosten luotettavuutta tarkastellaan myös ottaen huomioon tehdyt rajoitukset ja käytetyistä menetelmistä johtuvat seuraukset. Näitä tarkistuksia täydentävät vielä epävarmuusanalyysi ja lähtötietojen laadun analyysi. (Antikainen 2010.) Vertailevassa tutkimuksessa vaiheen lopputuloksen pitäisi olla johtopäätökset tai suositukset, jotka kunnioittavat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä asetettuja aikomuksia ja ehtoja (European Commission 2010, 285).

3.3 Ohjelmistot ja tietokannat

Elinkaariarvioinnin voi tehdä käsin laskemalla, matriisilaskennan kautta käyttäen hyödyksi esimerkiksi Microsoft Exceliä tai erilaisilla mallinnusohjelmilla. Mallinnusohjelmat helpottavat arvioinnin tekemistä, koska niillä on valmiiksi laajoja tietokantoja eri materiaali-
virtojen ja prosessien ympäristövaikutuksista. Lisäksi ohjelmien avulla on helppo tuottaa aiheeseen liittyvää analyysia ja visuaalisia kuvaajia. Ohjelmat soveltuvat esimerkiksi mallintamiseen, laskentaa ja tulosten arviointiin. Ohjelmistoja on olemassa yli 40 ja niistä 35 on englanninkielisiä. Monet ohjelmista sisältävät yhden tai useampia ulkopuolisia tietokantoja. Tunnetuimpia ohjelmia ovat SimaPro, GaBi ja ilmainen Open LCA. (Antikainen 2010, 22-23)

Tällä hetkellä markkinoilla on ainakin 34 tietokantaa, joista suurin osa on englanninkielisiä. Niitä löytyy myös esimerkiksi saksaksi, ranskaksi ja japaniksi. (European Commission 2018.) Tietokantojen tiedollisen kattavuuden ja maksullisuuden perusteella ne voidaan jakaa kolmeen ryhmään: ilmaisiin kattaviin tietokantoihin, ilmaisiin yhteen alaan keskittyviin tietokantoihin sekä maksullisiin kattaviin tietokantoihin. (Antikainen 2010, 21.) Ilmaisia kattavia tietokantoja ovat esimerkiksi CMP LCA database (CMP 2018), European Reference Life Cycle Database (European Commission 2018) sekä U.S Life-Cycle Inventory Database (NREL 2013). Yhteen alaan keskittyviä ilmaisia tietokantoja ovat esimerkiksi Plastics Europe (Plastics Europe 2018), World Steel Association (World Steel Association 2018) ja FEFCO (FEFCO 2015). Sveitsiläinen Ecoinvent-tietokanta on kaikista käytetyin maksullinen kattava tietokanta. Se sisältää yli 13 300 datasettiä ja on sisällytettyinä useisiin elinkaari-mallinnusohjelmiin. (Ecoinvent 2018.)

Ohjelmistot sisältävät usein erilaisia vaikutusarviointimenetelmiä (Antikainen 2010, 28). Keskipistemallinnusta käyttäviä menetelmiä ovat esimerkiksi hollantilainen Leidenin yliopistossa kehitetty CML ja yhdysvaltalainen TRACI. Loppupistemallinnusta käyttävät hollantilainen Eco-Indicator99 ja ruotsalainen EPS. Hollantilainen ReCiPe ja sveitsiläinen IMPACT2002+ yhdistävät keski- ja loppupistemallinnuksen läpinäkyvällä tavalla. CML:n ja Eco-Indicator99:n pohjalta kehitetty ReCiPe on uusin päivitetty vaikutusarviointimenetelmä. CML menetelmää pidetään ensimmäisenä läpimurtona tieteellisten elinkaariarviontien kehityksessä. Se on myös yksi tunnetuimmista menetelmistä Euroopassa. (Antikainen 2010, 28)

3.4 Esimerkkejä juomapakkausten elinkaaritutkimuksista

Juomapakkauksista on tehty paljon erilaisia elinkaariarviointiin perustuvia tutkimuksia. Harvojen tutkimusten tulokset ovat kuitenkin saavilla maksuttomasti. Tutkimusten tulokset eivät ole yleensä lisäksi vertailukelpoisia keskenään elinkaariarvioinnissa tehtyjen erilaisten rajausten vuoksi. Esimerkiksi joissain tutkimuksissa keskitytään vain pakkausten elinkaarimallinnukseen, kun osassa tutkimuksista lasketaan mukaan myös elintarvikkeen ympäristövaikutukset.

Andradyn (2015, 127) mukaan PET-pullon hiilijalanjälki on 0,34 kg CO₂ ekv litran pakkaustilavuutta kohden. Lasipullon hiilijalanjälki on 0,37 kg CO₂ ekv litran pakkaustilavuutta kohden. Tutkimuksen mukaan PET-pulloa pienempi hiilijalanjälki on alumiini- ja teräs tölkeillä sekä HDPE-muovista valmistetulla pullolla. Alumiinitölkin hiilijalanjälki on 0,05 kg CO₂ ekv, ja terästölkin hiilijalanjälki 0,18 kg CO₂. HDPE-pullon hiilijalanjälki on tutkimuksen mukaan 0,06 kg CO₂ ekv. Tutkimuksessa ei otettu huomioon pakkausten kieräytystä. Tulokset on johdettu tutkimuksesta Hammond & Jones (2008).

Amerikkalaisen konsulttiyrityksen tekemän tutkimuksen mukaan PET-pullon hiilijalanjälki on noin 1125 paunaa CO₂ ekvivalenttia 100 000 litraa virvoitusjuomaa kohden. (Franklin Associates 2009, AD1-13). SI-järjestelmään muunnettuna tämä tarkoittaa noin 0,172 kilogrammaa CO₂ ekvivalenttia litraa virvoitusjuomaa kohden. Tutkimus oli PET-pullo yhdistyksen rahoittama ja vertaisarvioima, joten sen puolueettomuudesta ei ole varmuutta.

Elintarvikepakkauksen osuus tuotteen ympäristövaikutuksista on 1-12%. Jos pakkaus sisältää vesipohjaista juomaa pakkauksen osuus voi olla pienempi, kuin itse elintarvikkeen osuus. (Grönman 2013, 90.)

Virvoitusjuomien ympäristövaikutuksia tutkineessa tutkimuksessa pakkauksen osuus ympäristövaikutuksista oli 59-77 %. Virvoitusjuoman aineiden osuus ympäristövaikutuksista oli 7-14%, ja juoman valmistus sekä pakkausvaihe 5-10 %. Kuljetusten osuus oli jopa 7% vaikutuksista. Tutkimuksessa otettiin huomioon myös juomien viilennys kaupassa, joka lisäsi hiilijalanjälkeä jopa 33 %. (Amienyo, Gujba, Stichnothe & Azapagic 2012, 90).

4 JUOMAPAKKAUSTEN ELINKAARIMALLINNUS JA TULOKSET

4.1 Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Tämän elinkaariarvioinnin teetti NWB-Finland Oy. Sen tavoitteena oli verrata yrityksen kolmen litran nestepakkausta vastaaviin PET-pulloihin. Verrattavat pakkaukset olivat NWB-FINLAND Oy:n kolmen litran Bag-in-Box eli BiB, 6 x 0,5 litran nestepakkaus, 6 x 1,5 litran nestepakkaus ja 5,1 litran vesikanisteri.

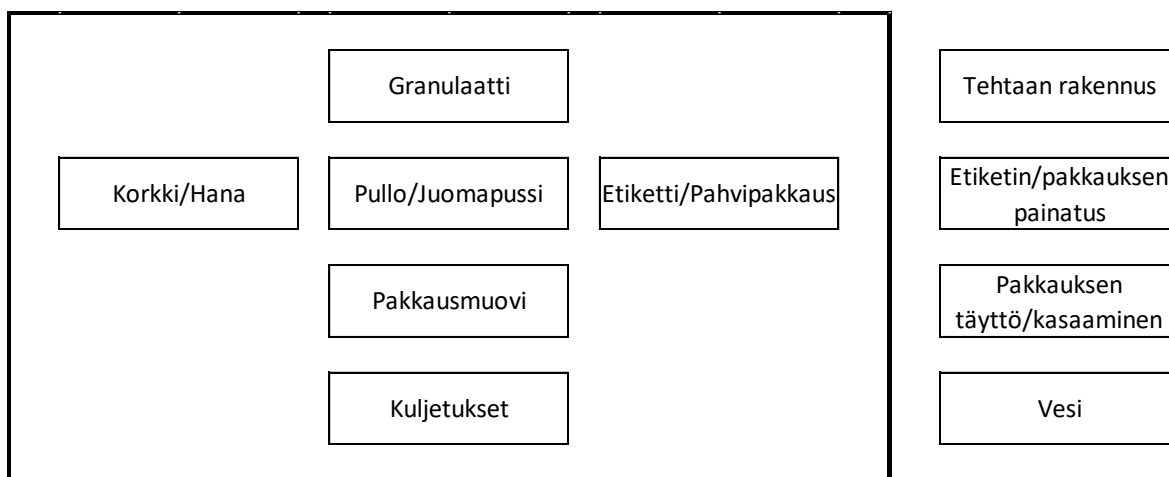
Pakkauksia verrattiin toisiinsa neljässä kategoriassa: pullojen valmistuksesta sekä kuljetuksesta syntyvät ilmastovaikutukset, pakkausten viemä tilavuus kokonaisina ja kasaan painettuina sekä tyhjien pakkausten massa. Ympäristövaikutusten mallintaminen tehtiin GaBi 8.5 ohjelmalla käyttäen CML 2001 Jan. 2016 -menetelmää. Vaikutuskategorioista otettiin huomioon vain hiilijalanjälki eli Global Warming Potential. Pakkausten viemää tilavuutta haluttiin verrata, koska NWB-Finlandin pakkaus on suunniteltu viemään mahdollisimman vähän tilaa kuljetettaessa ja kaupan hyllyssä. Se on suunniteltu viemään mahdollisimman vähän tilaa myös jäteastiassa sekä jäteautossa, jonka vuoksi sen tilavuutta kasaan taiteltuna verrattiin kokonaisiin PET-pulloihin. Suomessa yleisin jäteautotyyppi on pakkaava jäteauto eli autossa on puristin, joka puristaa jätteet kasaan (Liikenne- ja viestintäministeriö 2012, 21), jolloin pakkauksen massalla on enemmän merkitystä kuljetuksen aikana, kuin tilavuudella. Tämän vuoksi myös pakkausten massoja verrattiin keskenään.

Elinkaariarvioinnissa käytetyt arvot on saatu GaBin tietokannoissa olevia keskimääräisiä arvoja käyttäen PET-pullon valmistusprosessia lukuun ottamatta. PET-pullon valmistusprosessin venytyspuhallusmuovauksen energiankulutus on noin 0,3 kWh/kg riippuen pullon koosta (EUROMAP 2011, 8; Carbon Trust 2010, 17). GaBin tietokantoihin kuuluu sen oman lisäksi esimerkiksi Ecoinvent, FEFCO ja Plastics Europe. Arviointi on niin sanottua tuotetasoa ja sen tuloksia käytetään NWB-Finland Oy:n juomapakkauksen markkinoinnissa juomia valmistaville yrityksille sekä kuluttajille.

Elinkaariarviointi on laajuudeltaan cradle-to-gate eli syntymästä kauppaan asti, koska valmiin tuotteen kuljetuksesta syntyvät ympäristövaikutukset on haluttu myös huomioida. Sen sijaan tuotteen loppusijoitukseen tai kierrätykseen ei ole haluttu ottaa kantaa, koska yritys pyrkii kansainvälisille markkinoille, jolloin niistä syntyviä vaikutuksia on vaikea arvioida. Myös tuotteen käyttövaihe on jätetty pois.

Arvioinnin toiminnallinen yksikkö oli 1000 litran pakkaustilavuutta kohden. Vaikka tutkitut pakkaukset sisälsivät oikeasti vichy- tai kivennäisvettä, tässä elinkaarimallinnuksessa sisällöllä ei ollut merkitystä, koska haluttiin tutkia vain pakkauksen ympäristövaikutuksia sisältö ulos rajaten.

Elinkaariarviointia suunniteltaessa tehtiin rajauksia (kuva 2). Pois jätettiin tehtaiden rakennuksesta syntyvät vaikutukset. Ulos rajattiin myös etikettien ja pakkausten painatuksesta syntyvät vaikutukset sekä vaikutukset, jotka syntyivät pakkauksen täytöstä vedellä ja pakkauksen kasaamisesta tehtaalla. Lisäksi itse veden tai muun pakkausten sisältämän juoman ympäristövaikutukset rajattiin pois, koska niiden oletettiin olevan samat pakkauksesta riippumatta.



KUVIO 2. Elinkaarimallinnuksen sisällön rajaus

Suomen sisäisten tavarankuljetusten etäisyydet ja kuormausasteet saatiin Tilastokeskuksesta. Kuormausasteella tarkoitetaan kuorman painoa suhteessa kuorman kantavuuteen (Tilastokeskus 2018). Tilastokeskuksen (2016) mukaan vuonna 2016 keskimääräiset kuljetusetäisyydet ja kuormausasteet olivat seuraavat:

- juomat, virvoitusjuomat, oluet, viinit, alkoholit 175 km ja 61 %
- Tyhjät kontit, kuormalavat, rullakot, palautuspullot ja muut pakkausmateriaalit 101 km ja 27 %
- muovi- ja kumiteollisuuden raaka-aineet ja tuotteet 197 km ja 48 %
- paperi, kartonki, painotuotteet, muut tuotteet paperista ja kartongista 142 km ja 66 %.

4.2 Inventaarioanalyysi

4.2.1 Bag-in-Box

NWB Finland Oy:n BiB eli Bag-in-Box -pakkaus on kooltaan kolme litraa. Pakkauksen mitat ja painot on kuvattu taulukossa 1. Mitat saatiin pakkauksen piirustuksista ja painot punnitsemalla laboratoriovaa'alla pakkausmuovin painoa lukuun ottamatta, joka saatiin suoraan yritykseltä. Pakkaus on jaettu kahteen osaan ulkomittojen tilavuuden laskentaa varten. Pakkauksen muoto näkyy kuvassa 1.

TAULUKKO 1. NWB-Finlandin Bag-in-Box

BiB 3 litraa			
Pakkauksen osa	Suorakulmainen särmiö	Kolmisivuinen särmiö	
Korkeus (cm)	19,5	19,5	
Leveys (cm)	10,5	9,5	
Syvyys (cm)	15	15	
Tilavuus (cm ³)	3071,25	1389,375	
Ulkomittojen tilavuus yhteensä (cm ³)	4460,625		
Pahvin paino (g)	97,5		
Pussin paino (g)	19,7		
Hanan paino (g)	16,8		
Pakkausmuovin paino (g)	15		
Pakkauksen osa	Pahvi	Hana	Muovi
Litistetyn pakkauksen korkeus (cm)	22	5,4	33
Litistetyn pakkauksen leveys (cm)	15	4	26
Litistetyn pakkauksen syvyys (cm)	2	4	0,00013
Litistetyn pakkauksen tilavuus (cm ³)	660	84,8	0,1154
Litistetyn pakkauksen tilavuus yhteensä (cm ³)	744,91154		



KUVA 1. Bag-in-Box pakkauksen muoto

Ulkopakkaus on miniaaltopahvia. Siinä on 4-5 värillä tehty flexopainopainatus ja se on lakattu päältä. Painatusta tai lakkausta ei otettu huomioon tässä tarkastelussa. Pahvipakkauksen sisällä on juomapussi. Juomapussin ulkopuoli on 70 my paksuista PE-EVOH-PE -monikerrosmuovia. Tässä tarkastelussa se käsiteltiin pelkkänä PE-muovina, koska kerroksia ei ollut mahdollista erottamaan toisistaan punnitusta varten. Juomapussin sisäkalvo on 60 my paksuista LDPE-muovia. Pakkauksessa on hana, joka on tehty HDPE-muovista.

Tässä työssä arvioitu pakkaus on tarkoitettu vedelle, mutta yritys valmistaa juomapakkauksia myös muille juomille hieman erilaisella sisäpussin koostumuksella. Kuljetusta varten kaksi kolmen litran pakkausta laitetaan yhteen PE-kalvolla (kuva 4). PE-kalvo on paksuudeltaan 70 my ja painaa 30g.



KUVA 2. Kaksi NWB Finland Oy:n pakkausta yhteen liitettynä

Liitteessä 1. näkyy pakkauksen oletettu valmistusprosessi. Prosessikaavio perustuu oletuksiin, koska virallista tietoa pakkauksen valmistusprosesseista ja logistiikasta ei ollut saatavilla. Pakkausprosessin tiedot on saatu NWB-Finlandilta.

Pakkauksen pahviosa valmistetaan Suomessa. Prosessiksi valittiin EU:n keskimääräinen aaltopahvintuotanto, joka sisältää kaiken paperin tuotannosta alkaen. Hanaosat valmistetaan Ranskassa Alsacen alueella ja pussiosa voidaan valmistaa Alsacessa Ranskassa tai Heinolassa Suomessa. Tässä tarkastelussa molemmat osat valmistetaan Alsacessa. Hana valmistetaan HDPE-granulaatista. Granulaatti valmistetaan myös Keski-Euroopassa. Koska Euroopasta ei löytynyt keskimääräisiä tietoja kuljetusmatkoille ja kuormausasteille, käytettiin arvioinnissa Tilastokeskuksen Suomen keskimääräisiä tietoja. Nestepussi on valmistettu LDPE-kalvosta puhalluskalvo ekstruusiolla ja prosessin arvot ovat Euroopan keskimääräisiä.

Kuljetukset tapahtuvat Euro 6 -luokan 34-40 tonnin täysperävaunuyhdistelmällä. Tässä työssä oletettiin, että pakkauksen Ranskassa valmistettavat osat kuljetetaan osan matkasta rahtilaivalla. Itämeri on sisämeri, jonka rahtiliikenteessä käytetään pienempiä laivoja kuin valtameriliikenteessä, joten laivaksi on valittu kantavuudeltaan 1200-10000 tonninen ro-ro-alus. Aluksen iso painohaarukka tulee GaBin tietokannoista. Koska tarkkaa kuljetusreittiä oli vaikea arvioida, valittiin teoreettinen reitti, jossa osat kuljetetaan ensin täysperävaunuyhdistelmällä Saksan Travemüнден ja sieltä laivalla Itämeren poikki Helsinkiin.

Pakkaus kootaan paikan päällä vedenottamalla. Kaksi pakkausta liitetään yhteen LDPE-kalvolla, joka on valmistettu puhalluskalvoekstruusiolla. Prosessi on Euroopan alueen keskimääräinen. Tämän jälkeen pakkaus kuljetetaan kauppaan. Kuljetuksessa tehtaalta kauppaan ei otettu huomioon pakkauksen sisältämän nesteen massaa. Kuljetusmatkaksi valittiin Tilastokeskuksen vuoden 2016 Suomen keskimääräinen juomienkuljetusmatka ja täyttöasteeksi keskimääräinen pakkausmateriaalien, kuten palautuspullojen, kuljetuksen täyttöaste.

4.2.2 6 x 0,5 litran pakkaus

Vertailussa käytetyn 6 x 0,5 litran nestepakkauksen mitat on kuvattu taulukossa 2. Mitat on saatu Foodie.fi-internetsivuilta ja pakkauksen osat on punnittu laboratoriovaakalla. Pakkaus sisältää 3 litraa nestettä. Pullo on tehty PET-muovista ja korkki on HDPE-muovista. Pullon etiketti on paperia ja pakkauskalvo PP-muovia. PP-muovi on valmistettu puhalluskalvoekstruusiolla. Pakkaus näkyy kuvassa 3.

TAULUKKO 2. 6 x 0,5 litran pakkaus

6 x 0,5 litran pakkaus	
Korkeus (cm)	22,4
Leveys (cm)	19,5
Syvyys (cm)	13,5
Tilavuus (cm ³)	5 896,80
Pullon paino (g)	18,5
Korkin paino (g)	2,8
Etiketin paino (g)	0,9
Pakkausmuovin paino (g)	11,3
Litistetyn pullon korkeus (cm)	22,4
Litistetyn pullon leveys (cm)	8,5
Litistetyn pullon syvyys (cm)	2,5
Litistetyn pullon tilavuus (cm ³)	476



KUVA 3. 6 x 0,5 litran pakkaus

Liitteessä 2. näkyy GaBilla tehty prosessikaavio pakkauksen oletetusta valmistusprosessista. Prosessikaavio perustuu oletuksiin, koska virallista tietoa pakkauksen valmistusproesseista ja logistiikasta ei ollut saatavilla. Pakkausprosessiin vedenottamalla otettiin mallia opinnäytetyöstä Ali-Haapala & Ylikulju (2012). Oletettiin, että kaikki granulaatista alkaen valmistetaan Suomessa käyttäen Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa.

Pullo-osa valmistetaan neitseellisestä PET-granulaatista. Granulaatti ruiskuvaletaan ensin preformiksi, jonka jälkeen preformi kuljetetaan vedenpakkaamolle. Ruiskuvalusta ei löytynyt materiaalispesifejä tietoja, joten prosessi arvot ovat keskimääräisiä kaikille muoveille. Lisäksi prosessin tiedot on määritelty Saksassa tapahtuvalle prosessille, joten se ei ole yhtä tarkka kuin Suomelle spesifi prosessi. Suomen ja Saksan välillä ei todennäköisesti ole suurta eroa prosessin energiankulutuksessa ja ympäristövaikutuksissa varsinkin, kun sähköntuotantomix on Suomen keskimääräinen.

Vedenpakkaamolla preformista tehdään pullo venytyspuhallusmuovauksella. Venytyspuhallusmuovaukselle ei löytynyt prosessia GaBin tietokannoista, joten valittu arvo prosessin energiankulutukselle on useammasta kirjallisuuden lähteestä löytynyt keskimääräinen arvo

0,3 kWh/kg (EUROMAP 2011, 8; Carbon Trust 2010, 17). Pullo täytetään tämän jälkeen sekä siihen liitetään korkki ja etiketti. Korkki tehdään HDPE-granulaatista, joka kuljetetaan korkkitehtaalle ja ruiskuvaletaan korkiksi. Ruiskuvaluprosessi ei ole materiaalispesifi ja on määritetty Saksassa tapahtuvalle prosessille. Valmis korkki kuljetetaan vedenpakkaamoon. Etiketti valmistetaan LDPE-kalvosta muualla Suomessa ja sen painamista ei ole otettu huomioon tarkastelussa. muovikalvon valmistusprosessi on Euroopan keskimääräinen GaBin Plastics Europen tietokannasta.

Pullot pakataan kuuden pullon pakkauksiksi, jotka liitetään yhteen PP-muovikalvolla. Kalvo valmistetaan puhalluskalvoekstruusiolla muualla Suomessa. GaBin Plastics Europen tietokannoista saatu prosessi on Euroopan keskimääräinen.

Lopuksi pakkaus kuljetetaan kauppaan. Pakkauksen ja sen osien kuljetustavaksi on valittu Euro 6 -luokan 34-40 tonnin täysperävaunuyhdistelmä. Polttoaine on EU:n alueella käytettävää keskimääräistä dieseliä. Kuljetuksessa tehtaalta kauppaan ei otettu huomioon pakkauksen sisältämän nesteen massaa. Kuljetusmatkaksi valittiin Tilastokeskuksen vuoden 2016 Suomen keskimääräinen juomienkuljetusmatka ja täyttöasteeksi keskimääräinen pakkausmateriaalien, kuten palautuspullojen, kuljetuksen täyttöaste.

4.2.3 6 x 1,5 litran pakkaus

Toinen vertailussa käytetty pakkaustyyppi on 6 x 1,5 litran pakkaus. Sen mitat ja painot on kuvattu taulukossa 3. Mitat on saatu Foodie.fi-internetsivulta ja pakkauksen osat on punnittu laboratoriovaivalla. Sen sisältämä veden määrä on 9 litraa. Pakkaus koostuu PET-pullostista, LDPE-muovista tehdystä etiketistä sekä HDPE-muovikorkista. Pakkauksen muovikalvo on tehty PP-muovista. Kalvot on valmistettu puhalluskalvoekstruusiolla ja korkki ruiskuvalumenetelmällä. Pakkaus näkyy kuvassa 4.

TAULUKKO 3. 6 x 1,5 litran PET

6 x 1,5 litran pakkaus	
Korkeus (cm)	33
Leveys (cm)	19
Syvyys (cm)	28
Tilavuus (cm ³)	17 556
Pullon paino (g)	32,6
Korkin paino (g)	2,4
Etiketin paino (g)	1,1

Pakkausmuovin paino (g)	21
Litistetyn pullon korkeus (cm)	33
Litistetyn pullon leveys (cm)	12
Litistetyn pullon syvyys (cm)	2,5
Litistetyn pullon tilavuus (cm ³)	990



KUVA 4. 6 x 1,5 litran pakkaus

Liitteessä 3. näkyy GaBilla tehty prosessikaavio vichypakkauksen oletetusta valmistusprosessista. Prosessikaavio perustuu oletuksiin, koska virallista tietoa pakkauksen valmistusprosesseista ja logistiikasta ei ollut saatavilla. Pakkausprosessiin vedenottamalla otettiin mallia opinnäytetyöstä Ali-Haapala & Ylikulju (2012). Oletettiin, että kaikki granulaatista alkaen valmistetaan Suomessa käyttäen Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa.

Pullo-osa valmistetaan neitseellisestä PET-granulaatista. Granulaatti ruiskuvaletaan ensin preformiksi, jonka jälkeen preformi kuljetetaan vedenpakkaamolle. Ruiskuvalusta ei löytynyt materiaalispesifejä tietoja, joten prosessin arvot ovat keskimääräisiä kaikille muoveille. Lisäksi prosessin tiedot on määritelty Saksassa tapahtuvalle prosessille, joten se ei ole yhtä tarkka kuin Suomelle ominainen prosessi. Suomen ja Saksan välillä ruiskuvaluprosessin

energiankulutuksessa ja ympäristövaikutuksissa ei luultavasti ole suurta eroa varsinkin, kun valittu sähköntuotantomix on kuitenkin Suomen keskimääräinen.

Vedenpakkaamalla preformista tehdään pullo venytyspuhallusmuovauksella. Venytyspuhallusmuovaukselle ei löytynyt prosessia GaBin tietokannoista, joten valittu arvo prosessin energiankulutukselle on useammasta kirjallisuuden lähteestä löytynyt keskimääräinen arvo 0,3 kWh/kg (EUROMAP 2011, 8; Carbon Trust 2010, 17). Pullo täytetään tämän jälkeen sekä siihen liitetään korkki ja etiketti. Korkki tehdään HDPE-granulaatista, joka kuljetetaan korkkitehtaalalle ja ruiskuvaletaan korkiksi. Ruiskuvaluprosessi ei ole materiaalispesifi ja on määritetty Saksassa tapahtuvalle prosessille. Valmis korkki kuljetetaan vedenpakkaamoon. Etiketti valmistetaan paperista ja sen painamista ei ole otettu huomioon tarkastelussa. Ohjelmasta ei löytynyt erillistä prosessia etikettipaperille, joten paperiksi on valittu keskimääräinen Euroopan Unionin alueella valmistettu graafinen paperi. Paperin valmistuksen hiilijalanjälki on niin pieni, että tämä ei todennäköisesti vaikuta suuresti tulokseen.

Pullot pakataan kuuden pullon pakkauksiksi, jotka liitetään yhteen PP-muovikalvolla. Kalvo valmistetaan puhalluskalvoekstruusiolla muualla Suomessa. GaBin Plastics Europan tietokannoista saatu prosessi on Euroopan keskimääräinen.

Lopuksi pakkaus kuljetetaan kauppaan. Pakkauksen ja sen osien kuljetustavaksi on valittu Euro 6 -luokan 34-40 tonnin täysperävaunuyhdistelmä. Polttoaine on Euroopan Unionin alueella käytettävää keskimääräistä dieseliä. Kuljetuksessa tehtaalta kauppaan ei otettu huomioon pakkauksen sisältämän nesteen massaa. Kuljetusmatkaksi valittiin Tilastokeskuksen vuoden 2016 Suomen keskimääräinen juomienkuljetusmatka ja täyttöasteeksi keskimääräinen pakkausmateriaalien, kuten palautuspullojen, kuljetuksen täyttöaste.

4.2.4 5,1 litran pakkaus

Kolmas vertailupakkaus on 5,1 litran nestekanisteri. Sen mitat ja painot on kuvattu taulukossa 4. Pullo on valmistettu PET-muovista ja korkki sekä kahva HDPE-muovista. Etiketti on paperia. Pakkaus näkyy kuvassa 5.

TAULUKKO 4. 5,1 litran PET

PET 5,1 litraa	
Korkeus (cm)	32,5
Leveys (cm)	15
Syvyys (cm)	15
Tilavuus (cm ³)	7 312,50
Pullon paino (g)	78
Korkin paino (g)	12
Etiketin paino (g)	0,5
Litistetyn pullon korkeus (cm)	32,5
Litistetyn pullon leveys (cm)	24
Litistetyn pullon syvyys (cm)	6
Litistetyn pullon tilavuus (cm ³)	4680



KUVA 5. 5,1 litran kanisteri

Liitteessä 4. näkyy GaBilla tehty prosessikaavio pakkauksen oletetusta valmistusprosessista. Prosessikaavio perustuu oletuksiin, koska virallista tietoa pakkauksen valmistusprosessista ja logistiikasta ei ollut saatavilla. Pakkausprosessiin vedenottamalla otettiin mallia opinnäytetyöstä Ali-Haapala & Ylikulju (2012). Oletettiin, että kaikki granulaatista alkaen valmistetaan Suomessa käyttäen Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa.

Pullo-osa valmistetaan neitseellisestä PET-granulaatista. Granulaatti ruiskuvaletaan ensin preformiksi, jonka jälkeen preformi kuljetetaan vedenpakkaamolle. Ruiskuvalusta ei löytynyt materiaalispesifejä tietoja, joten prosessi arvot ovat keskimääräisiä kaikille muoveille. Lisäksi prosessin tiedot on määritelty Saksassa tapahtuvalle prosessille, joten se ei ole yhtä tarkka kuin Suomelle spesifi prosessi. Kahden Euroopan maan välillä ei luultavasti ole suurta eroa prosessin energiankulutuksessa ja ympäristövaikutuksissa varsinkin, kun valittu sähköntuotantomix on Suomen keskimääräinen.

Vedenpakkaamalla preformista tehdään pullo venytyspuhallusmuovauksella. Venytyspuhallusmuovaukselle ei löytynyt prosessia GaBin tietokannoista, joten valittu arvo prosessin energiankulutukselle on useammasta kirjallisuuden lähteestä löytynyt keskimääräinen arvo 0,3 kWh/kg (EUROMAP 2011, 8; Carbon Trust 2010, 17). Pullo täytetään tämän jälkeen sekä siihen liitetään korkki ja etiketti. Korkki tehdään HDPE-granulaatista, joka kuljetetaan korkkitehtaalalle ja ruiskuvaletaan korkiksi. Ruiskuvaluprosessi ei ole materiaalispesifi ja se on määritetty Saksassa tapahtuvalle prosessille. Valmis korkki kuljetetaan vedenpakkaamoon. Etiketti valmistetaan paperista ja sen painamista ei ole otettu huomioon tarkastelussa. Ohjelmasta ei löytynyt erillistä prosessia etikettipaperille, joten paperiksi on valittu keskimääräinen EU:n alueella valmistettu graafinen paperi. Paperin valmistuksen hiilijalanjälki on niin pieni, että tämä ei luultavasti vaikuta kovin paljon tulokseen.

Lopuksi pakkaus kuljetetaan kauppaan. Pakkauksen ja sen osien kuljetustavaksi on valittu Euro 6 -luokan 34-40 tonnin täysperävaunuyhdistelmä. Polttoaine on Euroopan Unionin alueella käytettävää keskimääräistä dieseliä. Kuljetuksessa tehtaalta kauppaan ei otettu huomioon pakkauksen sisältämän nesteen massaa. Kuljetusmatkaksi valittiin Tilastokeskuksen vuoden 2016 Suomen keskimääräinen juomienkuljetusmatka ja täyttöasteeksi keskimääräinen pakkausmateriaalien, kuten palautuspullojen, kuljetuksen täyttöaste.

4.3 Elinkaarimallinnuksen tulokset

Vaikutusarvioinnin tarkat tulokset prosesseittain on kuvattu liitteissä 5-8. Elinkaarimallintamalla saadut juomapakkausten hiilijalanjäljet olivat seuraavat:

- BiB -pakkaus 44,4 kg CO₂-ekv /1000 litran pakkaustilavuus
- 6 x 0,5 litran pakkaus 146 kg CO₂-ekv /1000 litran pakkaustilavuus
- 6 x 1,5 litran pakkaus 85,0 kg CO₂-ekv /1000 litran pakkaustilavuus
- 5,1 litran pakkaus 55,2 kg CO₂-ekv /1000 litran pakkaustilavuus.

Tuloksia vertaillen selvisi, että Bag-in-Box pakkaus oli hiilijalanjäljeltään pienin. 5,1 litran juomakanisterin hiilijalanjälki oli 24 % suurempi, kuin BiB-pakkauksen. 6 x 1,5 litran pakkauksen hiilijalanjälki oli 91 % ja 6 x 0,5 litran pakkauksen 230 % suurempi, kuin NWB-Finlandin juomapakkauksen. Jos NWB-Finlandin juomapakkauksen pussiosa valmistettaisiin Heinolassa, joka oli toinen mahdollinen valmistuspaikka Ranskan sijaan, olisi sen hiilijalanjälki noin kaksi prosenttiyksikköä pienempi. Saatujen tulosten suhteuttamiseksi esimerkiksi 7,95 kg CO₂-ekv vastaa viidenkymmenen kilometrin ajoa bensiinikäyttöisellä henkilöautolla (WWF 2017).

NWB-Finlandin juomapakkauksen pientä hiilijalanjälkeä selittää se, että pahvin tuotannon hiilijalanjälki on paljon pienempi, kuin muovin tuotannon. Esimerkiksi PET-granulaatin muovaaminen pulloksi vaatii useampia prosesseja, jotka kuluttavat paljon energiaa. Lisäksi jo pelkän PET-granulaatin valmistus muodostaa suuren osan hiilijalanjäljestä. Esimerkiksi 5,1 litran pakkauksen PET-granulaatin valmistuksen hiilijalanjälki oli noin 43 CO₂ -ekv. Vastaavasti BiB-pakkauksen pääraaka-aineen pahvin koko valmistusprosessin hiilijalanjälki oli noin 4,2 CO₂ -ekv. Vaikka myös Bag-in-Box -pakkaus sisälsi muovia, sen määrä oli suhteessa paljon vähäisempi kuin PET-pakkauksissa.

NWB-Finlandin juomapakkauksen kaikkien kuljetusten osuus hiilijalanjäljestä polttoaineineen oli 6,9 %. Jos pakkauksen juomapussi valmistettaisiin Heinolassa Ranskan sijaan olisi kuljetusten osuus noin kaksi prosenttiyksikköä pienempi. Kaikkien LDPE-kalvojen valmistuksen osuus oli 63 % ja HDPE-granulaatin valmistus 19 % Bag-in-Box pakkauksen hiilijalanjäljestä. Aaltopahvikuoren valmistuksen osuus oli vain 10 %.

6 x 0,5 litran pakkauksen hiilijalanjäljestä 1,7 % tuli kuljetuksista polttoaineineen. PET-granulaatin valmistuksen osuus oli 71 % ja HDPE-granulaatin 5,8 %. PP-kalvon osuus hiilijalanjäljestä oli 8,4 %. PET-preformin ruiskuvalun osuus oli 9,9 %.

6 x 1,5 litran pakkauksen kaikkien kuljetusten osuus polttoaineineen hiilijalanjäljestä oli 1,6 %. PET-granulaatin osuus oli 72 % ja HDPE-granulaatin 2,8 %. LDPE-kalvon osuus hiilijalanjäljestä oli 2,0 % ja PP-kalvon 8,9 %. PET-preformin ruiskuvalun osuus oli 10 %.

5,1 litran juomakanisterin kaikkien kuljetusten osuus polttoaineineen hiilijalanjäljestä oli 1,6 %. PET-granulaatin osuus oli 78 % ja HDPE-granulaatin 6,4 %. PET-preformin ruiskuvalun osuus oli 11 %.

Juomapakkausten suurimmat ympäristövaikutukset tulivat LDPE-kalvon sekä PET- ja HDPE-granulaattien valmistuksesta. Lisäksi PET-preformin ruiskuvalulla oli suuri hiilijalanjälki, koska käsiteltävän muovin määrä oli suurempi muihin ruiskuvaluprosesseihin verrattuna. Toisin kuin voisi kuvitella yksittäisten kuljetusten osuus hiilijalanjäljestä oli muuten pieni. BiB-pakkauksen kuljetusten osuus oli verrattain suuri PET-pakkauksiin nähden.

Pakkausten viemät tilavuudet laskettiin, jotta ne voitiin ottaa huomioon elinkaariarvioinnissa pakkauksia kuljetettaessa tehtaalta kauppaan. Pakkausten ulkomittojen tilavuudet olivat:

- BiB 1 486 860 cm³/1000 litran pakkaustilavuus
- 6 x 1,5 litran pakkaus 1 950 647 cm³/1000 litran pakkaustilavuus
- 6 x 0,5 litran pakkaus 1 965 814 cm³/1000 litran pakkaustilavuus
- 5,1 litran pakkaus 1 433 835 cm³/1000 litran pakkaustilavuus.

Vähiten tilaa vei 5,1 litran juomakanisteri, jonka viemä tilavuus oli 96 % NWB-Finlandin juomapakkauksesta. Molempien sekä 6 x 1,5 litran pakkauksen, että 6 x 0,5 litran pakkauksen kuljetustilavuus oli noin 32 % BiB-pakkauksen tilavuutta suurempi.

Tehtaalta kauppaan tehtävien kuljetusten hiilijalanjälkiä polttoaineineen verrattiin keskenään, koska haluttiin tietää, kuinka paljon NWB-Finlandin pakkauksen ekologinen muotoilu vaikutti hiilijalanjälkeen. Eri pakkausten ulkomittojen viemien tilavuuksien erot kuljetuksen aikana huomioitiin säätämällä kuljetusmatkojen pituuksia suhteessa niihin. Verrokipakkausten ulkomittojen prosentuaaliset erot laskettiin BiB-pakkaukseen nähden ja

kuljetusmatkoja lyhennettiin tai pidennettiin samassa suhteessa. Tulokset laskettiin tyhjien pakkausten massojen perusteella. Kuljetusten hiilijalanjäljet olivat seuraavat:

- BiB 0,87 kg CO₂-ekv /1000 litran pakkaustilavuus
- 6 x 0,5 litran pakkaus 1,3 kg CO₂-ekv /1000 litran pakkaustilavuus
- 6 x 1,5 litran pakkaus 0,69 kg CO₂-ekv /1000 litran pakkaustilavuus
- 5,1 litran pakkaus 0,23 kg CO₂-ekv /1000 litran pakkaustilavuus.

Näitä tuloksia arvioidessa täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että vaikka tilavuus otettiin huomioon pidentyneinä kuljetusmatkoina, GaBi laskee tulokset massan mukaan, joka hieman vääristää BiB-pakkauksen tulosta sen suhteellisen suuren massan vuoksi. Oikeasti NWB-Finlandin pakkauksen hiilijalanjäljen, kuljetettaessa tehtaalta kauppaan, kuuluisi olla vain hieman suurempi kuin 5,1 litran pakkauksen.

NWB-Finlandin pakkauksen etuna on sen pieni tilavuus jäteastiassa kasaan taiteltuna. Tuhannen litran pakkaustilavuutta kohden pakkauksen saa taiteltua jopa 248 201 cm³ tilavuuteen. Vastaavasti PET-pullot heitetään yleensä jäteastiaan kokonaisina, koska niitä on vaikea litistää käsin. Näin ollen BiB vie huomattavasti vähemmän tilaa jäteastiassa verrokkipakkauksiin verrattuna. 5,1 litran pakkaus vie 480 % suuremman tilan tuhannen litran pakkaustilavuutta kohden kuin kokoon taiteltu Bag-in-Box -pakkaus. Sekä 6 x 1,5 litran pakkaus, että 6 x 0,5 litran pakkaus vievät 690 % suuremman tilan, kuin NWB-Finlandin juomapakkaus.

Jos PET-muoviset pakkaukset kuitenkin päätyvät jäteastiaan, Suomessa jäteautoissa on yleensä puristimet, joiden avulla myös pullot saadaan litistettyä pienemmiksi. Tällöin massa vaikuttaa enemmän kuljetuksen aikaisiin ympäristövaikutuksiin. Pakkausten massat ovat seuraavat:

- BiB 49 666 g /1000 litran pakkaustilavuus
- 6 x 1,5 litran pakkaus 26 400 g /1000 litran pakkaustilavuus
- 6 x 0,5 litran pakkaus 48 166 g /1000 litran pakkaustilavuus
- 5,1 litran pakkaus 17 745 g/1000 litran pakkaustilavuus

BiB oli massaltaan suurin. 5,1 litran juomakanisteri oli 36 % sen massasta. 6 x 1,5 litran pakkauksen massa oli 53 % BiB:n massasta ja 6 x 0,5 litran pakkaus oli 97 %.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA EPÄVARMUUSANALYYSI

Opinnäytetyössä tehtiin vertaileva elinkaariarviointi, jossa NWB-Finlandin uudentyyppistä Bag-in-Box -juomapakkausta verrattiin kolmeen erilaiseen markkinoilla olevaan PET-muoviseen nestepakkaukseen. Vertailupakkaukset olivat 6 x 0,5 litran pakkaus, 6 x 1,5 litran pakkaus ja 5,1 litran pakkaus. Ympäristövaikutuksista keskityttiin hiilijalanjälkeen. Muita vertailukohteita olivat: pakkauksen ulkomittojen tilavuus, pakkauksen viemä tilavuus jätekuljetuksessa sekä tyhjän pakkauksen massa.

Elinkaariarvioinnin perusteella voidaan sanoa, että NWB-Finlandin juomapakkaus on hiilijalanjäljeltään parempi vastaaviin PET-juomapakkauksiin verrattuna. Se vie myös toiseksi vähiten tilaa kuljetettaessa tehtaalta kauppaan, jonka vuoksi kuljetusmatkojen määrä on pienempi osaan vertailun PET-pakkauksiin verrattuna. Oikein taiteltuna pakkaus vie myös vähemmän tilaa jäteastiassa varsinkin, kun pulloja harvemmin vaivaudutaan litistämään pienemmiksi. Bag-in-Box -pakkauksen käyttö PET-pullon sijaan pienentää jäteastian tyhjennysväliä maissa, joissa jätehuolto ei ole yhtä kehittynyttä. Suomessa jäteautoissa on puristimet, jolloin pakkauksen massalla on enemmän vaikutusta tyhjennysajon ympäristövaikutuksiin kuin tilavuudella.

Opinnäytetyön tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua varauksella, koska siinä esiintyy monia epävarmuuksia. Kaikki käytetyt prosessit ovat keskimääräisiä eivätkä ne ole Suomen maa-kohtaisia. Myös kaikki kuljetusmatkat ovat teoreettisia keskimääräisiä kuljetusmatkoja eikä ole varmuutta, missä päin maailmaa esimerkiksi granulaatit oikeasti valmistetaan. PET-pulloista tehdyt ympäristövaikutusten arvioinnit ovat puhtaasti teoreettisia, koska valmistajilta ei saatu prosesseihin tai kuljetusmatkoihin liittyviä tietoja. Voidaan kuitenkin sanoa, että keskimääräiset tiedot ovat tässä vertailussa riittäviä PET-pakkausten osalta, koska niitä käytetään vain vertailukohtana eikä esimerkiksi kyseisten pakkausten tuotekehityksessä ekologisempaan suuntaan.

Toisaalta arvioinnissa ei otettu huomioon myöskään sitä, että Suomessa PET-pullot kierrätetään suljetussa kierrossa uusiksi PET-pulloiksi, joka pienentää osaltaan pullojen valmistuksen hiilijalanjälkeä. NWB-Finlandin pakkaus taas sisältää monikerrosmuoveja, joita ei nykytekniikalla ole mahdollista kierrättää. Kierrätystä ei voitu ottaa tarkastelussa huomioon, koska yritys pyrkii kansainvälisille markkinoille ja jätehuolto vaihtelee maasta toiseen huomattavasti. Kansainvälisyys tuokin oman haasteensa opinnäytetyön tulosten hyödyntämiseen, koska tulokset eivät ole spesifejä millekään alueelle.

NWB-Finlandin juomapakkauksen hiilijalanjäljestä suurin osa koostui LDPE-muovikalvon valmistuksesta sekä kuljetuksista. Tuotteen päästessä markkinoille voisi miettiä, miten kuljetukset saataisiin järjestettyä tehokkaammin ja olisiko esimerkiksi Ranskasta tuotavat osat mahdollista valmistaa Suomessa tai muussa kohdemaassa. Myös muovin määrän vähentäminen tai muovin kokonaan poistaminen pakkauksesta voisi olla hyvä jatkotutkimusaihe. Olisi kannattavaa tutkia, olisiko esimerkiksi maitotölkkiä muistuttava ratkaisu mahdollinen myös vesipakkauksissa.

LÄHTEET

Ali-haapala, A. & Ylikulju T. 2012. Finn Spring Oy:n Härkänevän tehtaan tuotannon tehostaminen. [Viitattu 1.3.2018]. AMK-opinnäytetyö. Saatavissa:

<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205117806>

Amienyo, D., Gujba, H., Stichnothe, H. & Azapagic, A. 2012. Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks. The International Journal of Life Cycle Assessment Volume 18 Issue 1, 77-92. Springer-Verlag. [Viitattu 1.3.2018]. Saatavissa:

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-012-0459-y>

Andrady, A. L. 2015. Plastics and Environmental Sustainability. Hoboken, NJ: Wiley

Andrews, P. 2008. Energy Scarcity, Oil Depletion, and Environmental Accountability -Balancing Priorities in Time of Uncertainty. Environment Issue 51, 417-422. CCH Incorporated: Health & Human Resources. [Viitattu 3.4.2018] Saatavissa:

<https://search-proquest-com.aineistot.lamk.fi/docview/229847440?accountid=16407>

Antikainen R. 2010. Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 7/2010. [Viitattu 30.1.2018]. Saatavissa:

<http://hdl.handle.net/10138/39822>

Carbon Trust. 2010. Industrial Energy Efficiency Accelerator. [Viitattu 16.2.2018]. Saatavissa:

<https://www.carbontrust.com/media/206464/ctg019-plastic-bottle-blow-moulding-industrial-energy-efficiency.pdf>

CMP Center for Environmental Assessment of Product and Material Systems. 2018. About CMP LCA Database. [Viitattu 27.2.2018]. Saatavissa: <http://cpmdatabase.cpm.chalmers.se/AboutDatabase.htm>

Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company. 2016. The New Plastic Economy – Rethinking the future of plastics. World Economy Forum. [Viitattu 12.2.2018]. Saatavissa: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

European Commission. 2018. Resource Directory. [Viitattu 27.2.2017]. Saatavissa:

<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ResourceDirectory/faces/databases/databaseList.xhtml>

European Commission. 2018. European Life Cycle Database. [Viitattu 27.2.2018]. Saatavissa:

<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/index.xhtml;jsessionid=F1B137B704D235B164AA269C012ED524?stock=default>

- European Commission. 2016. European Platform on Life Cycle Assessment (LCA). [Viitattu 24.1.2018]. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/environment/ipp/lca.htm>
- European Commission. 2010. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. Institute for Environment and Sustainability.
- EUROMAP European Plastics and Rubber Machinery. 2011. Energy Efficiency: Plastics and Rubber Machines Well Placed. [Viitattu 16.2.2018]. Saatavissa: https://www.vdma.org/documents/105897/164524/kug_D_20120302_EURO-MAP_energy_efficiency_summary.pdf/c62a9f70-d7be-4bec-af0a-f6afd52b0e3d
- FEFCO European Federation of Corrugated Board Manufacturers. 2018a. Corrugated Board the Natural Choice. [Viitattu 14.2.2018]. Saatavissa: http://www.fefco.org/sites/default/files/documents/NaturalChoice_English_0.pdf
- FEFCO European Federation of Corrugated Board Manufacturers. 2018b. Circular by Nature. [Viitattu 14.2.2018]. Saatavissa: <http://www.fefco.org/circular-by-nature>
- FEFCO European Federation of Corrugated Board Manufacturers. 2018c. Production process of corrugated. [Viitattu 26.2.2018]. Saatavissa: <http://www.fefco.org/corrugated-packaging/production-process-corrugated>
- FEFCO European Federation of Corrugated Board Manufacturers. 2015. European Database for Corrugated Board Life Cycle Studies. [Viitattu 27.2.2018]. Saatavissa: <http://www.fefco.org/lca/introduction>
- Foodie.fi. 2018. Tuotteet. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavissa: <https://www.foodie.fi/products>
- Franklin Associates. 2009. Life Cycle Inventory (LCI) of Three Single-Serving Soft Drink Containers. [Viitattu 1.3.2018]. Saatavissa: <http://www.fal.com/projects.html>
- Grönman K. 2013. Importance of considering food waste in the development of sustainable food packaging systems. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-265-535-6>
- Hamaide T., Deterre R., Feller J-F. 2014. Environmental Impact of Polymers. Chemical Engineering Series. Wiley
- Klöppfer, W. & Grahl, B. 2014. Life Cycle Assessment (LCA). Wiley.

Koponen, K. 2016. Sopiiko elinkaariarviointi poliittisen päätöksen tueksi. VTT. [Viitattu 24.1.2018]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/Impulssi/Pages/Sopiiko-elinkaariarviointi-poliittisen-p%C3%A4%C3%A4t%C3%B6ksenteon-tueksi.aspx>

Metsäkeskus. 2018. Metsäsertifiointi. [Viitattu 3.4.2018]. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/metsasertifiointi>

Muoviteollisuus Ry. 2018a. Muovien luokitus. [Viitattu 8.2.2018]. Saatavissa: http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/muovien_luokitus

Muoviteollisuus Ry. 2018b. Muovisanasto. [Viitattu 8.2.2018]. Saatavissa: <http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto>

Muoviteollisuus Ry. 2018c. Muovit ovat monipuolinen materiaalityyppi. [Viitattu 3.4.2018]. Saatavissa: <http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit>

Muoviteollisuus Ry. 2018d. Muovien tuotantomenetelmät. [Viitattu 8.2.2018]. Saatavissa: <http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/tuotantomenetelmat>

NREL National Renewable Energy Laboratory. 2013. U.S. Life Cycle Inventory Database. [Viitattu 27.2.2018]. Saatavissa: <https://www.nrel.gov/lci>

Plastics Europe. 2018. Life Cycle Thinking. [Viitattu 27.2018]. Saatavissa: <http://www.plasticseurope.org/en/focus-areas/life-cycle-thinking>

Selke. 2015. Plastics Packaging.

Simonen, K. 2014. Life Cycle Assessment. Pocket Architecture: Technical Design Series. Routledge

Suomen Aaltopahviyhdistys Ry. 2018. Käyttäjän käsikirja. [Viitattu 14.2.2018.] Saatavissa: <https://www.aaltopahvi.fi/aaltopahvi>

Suomen Metsäyhdistys. 2018. Kartonki ja pahvilajit (paperboard grades). [Viitattu 14.2.2018]. Saatavissa: <https://www.smy.fi/sanasto/kartonki-ja-pahvilajit-paperboard-grades>

Suomen Palautuspakkaus Oy. 2018. Pantillinen järjestelmä. [Viitattu 12.2.2018]. Saatavissa: <https://www.palpa.fi/juomapakkausten-kierratys/pantillinen-jarjestelma>

Suomen Uusiomuovi Oy. 2018. Yritysesimerkki: Pramia Plastic Oy. [Viitattu 12.2.2018]. Saatavissa: http://www.uusiomuovi.fi/fin/muovi_kiertaa/yritysesimerkkeja/pramia_plastic

Suomen Uusiomuovi Oy. 2017. Aineisto toimittajille. [Viitattu 12.2.2018]. Saatavissa: http://www.uusiomuovi.fi/fin/suomen_uusiomuovi/medialle/tietopaketti_median_kayttoon

Suomen ympäristökeskus SYKE. 2018. Pysyvät orgaaniset yhdisteet (POP). [Viitattu 13.2.2018]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/pop>

Tilastokeskus. 2016. Keskimääräinen kuljetusmatka ja kuormausaste kotimaan liikenteessä tavaralajeittain vuonna 2016. [Viitattu 16.2.2018]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/kttav/2016/kttav_2016_2017-04-28_tau_010_fi.html

Tilastokeskus. 2018. Käsitteet ja määritelmät. [Viitattu 16.2.2018]. Saatavissa: <https://www.stat.fi/til/kttav/kas.html>

Liikenne- ja viestintäministeriö. 2012. Yhdyskuntajätteen logistiikka: Nykytilan ja toimintaympäristön selvitys. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 18/2012. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavissa: <http://valtioneuvosto.fi/julkaisut>

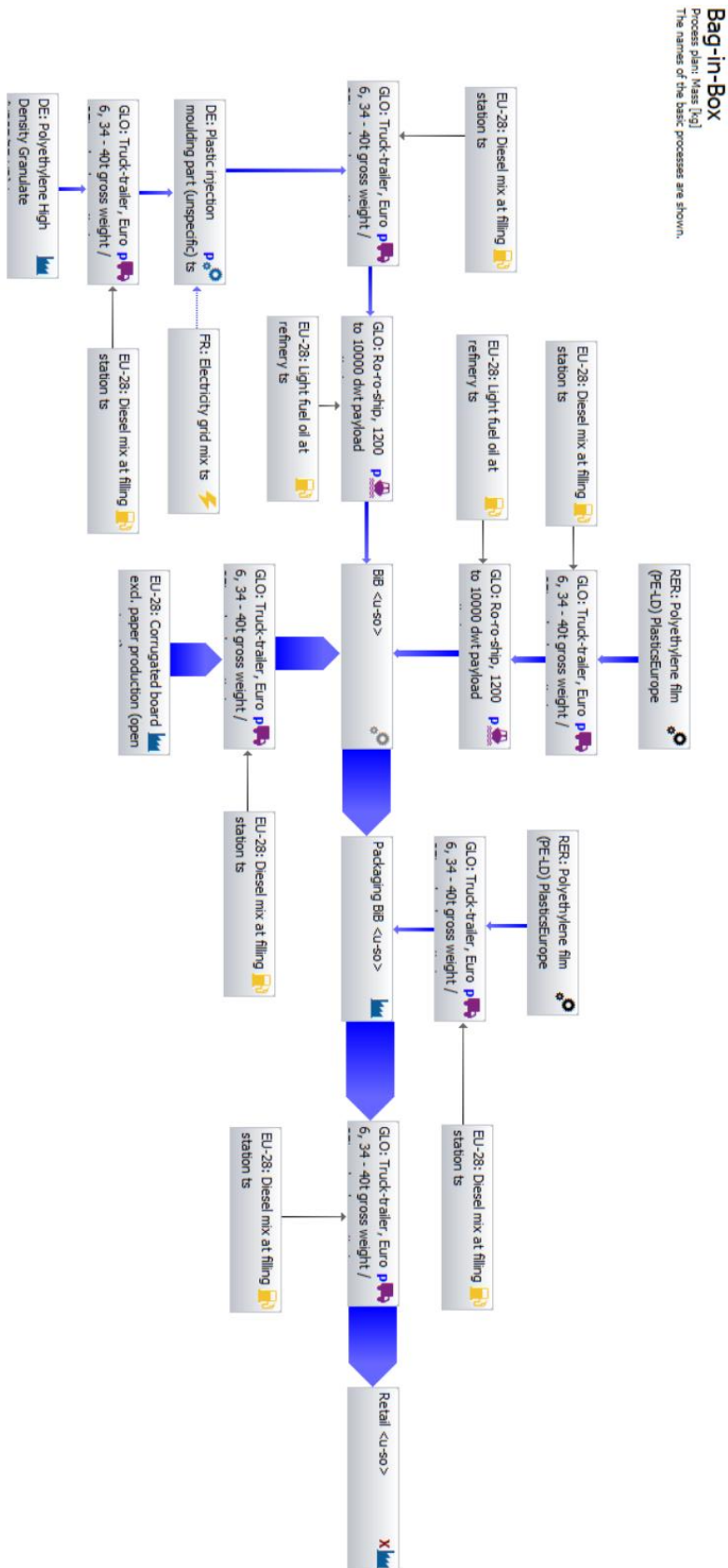
World Economy Forum and Ellen MacArthur Foundation. 2017. The New Plastic Economy – Catalysing action. [Viitattu 12.2.2018]. Saatavissa: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>

World Steel Association. 2018. Life Cycle Thinking. [Viitattu 27.2.2018]. Saatavissa: <https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/life-cycle-thinking.html>

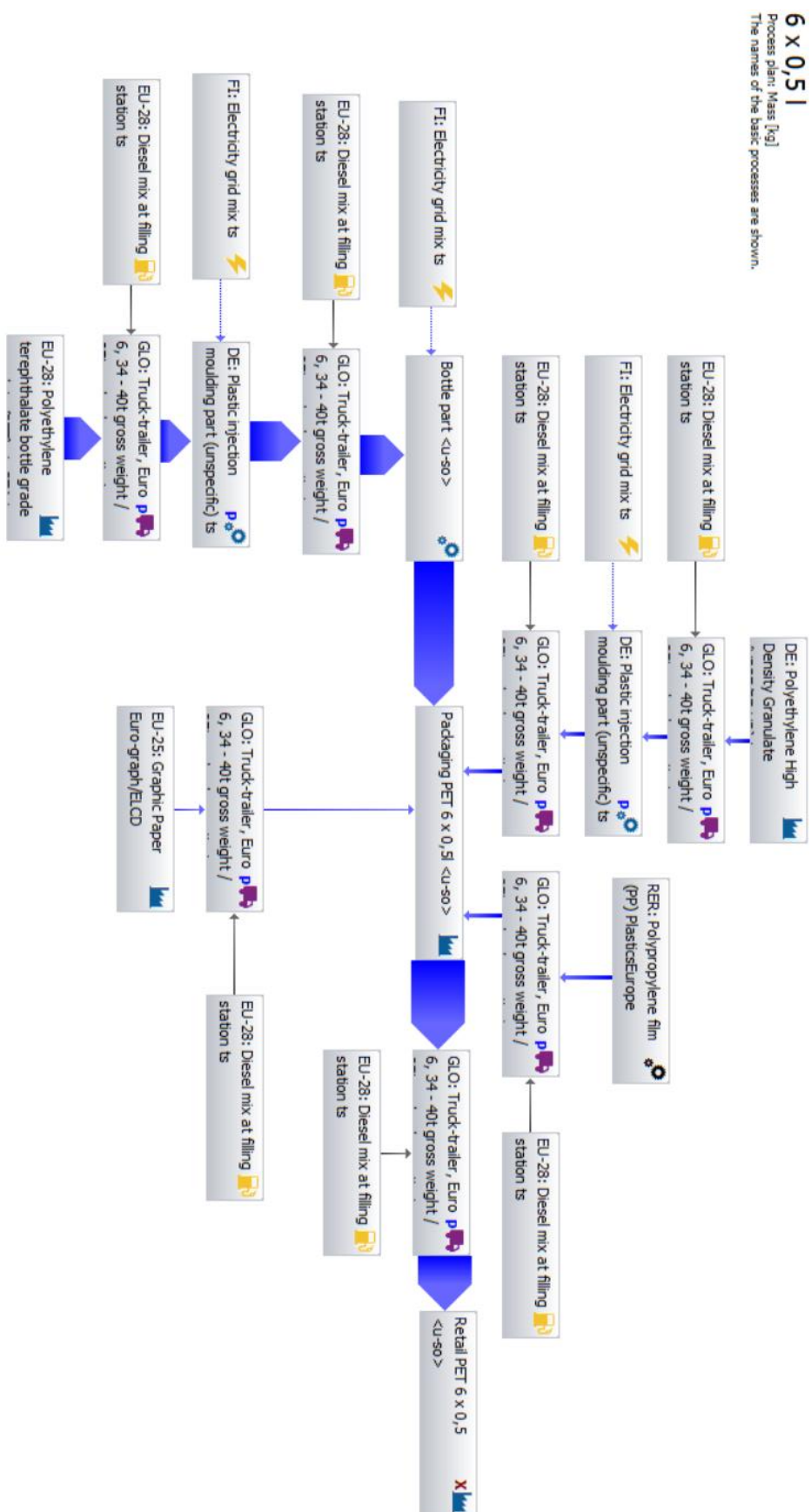
WWF Finland. 2017. Laskentaperusteet. [Viitattu 22.2.2018]. Saatavissa: <http://www.ilmastolaskuri.fi/fi/calculation-basis?country=2&year=10746>

LIITTEET

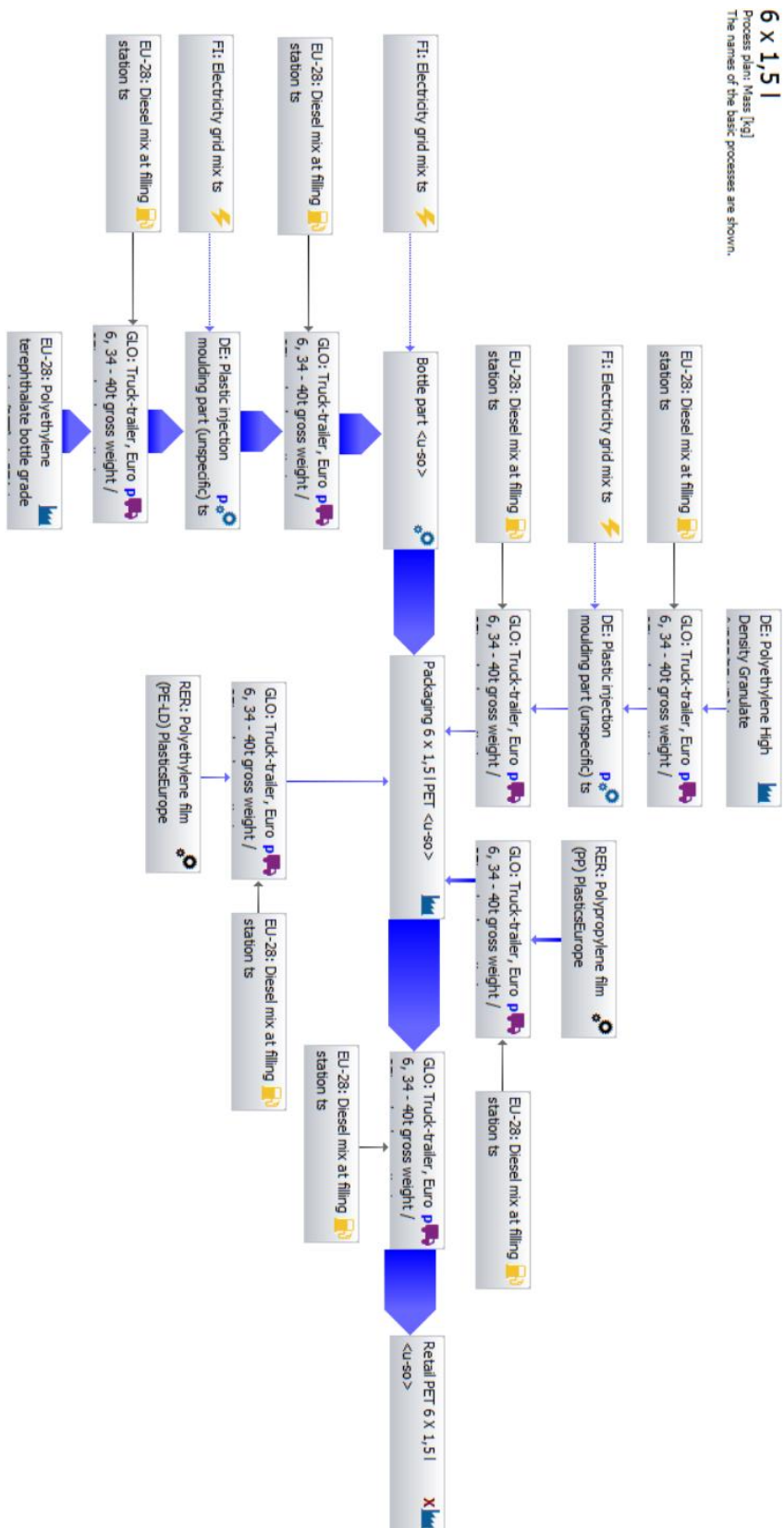
Liite 1. Bag-in-Box pakkauksen elinkaarimallinnuksen prosessikaavio



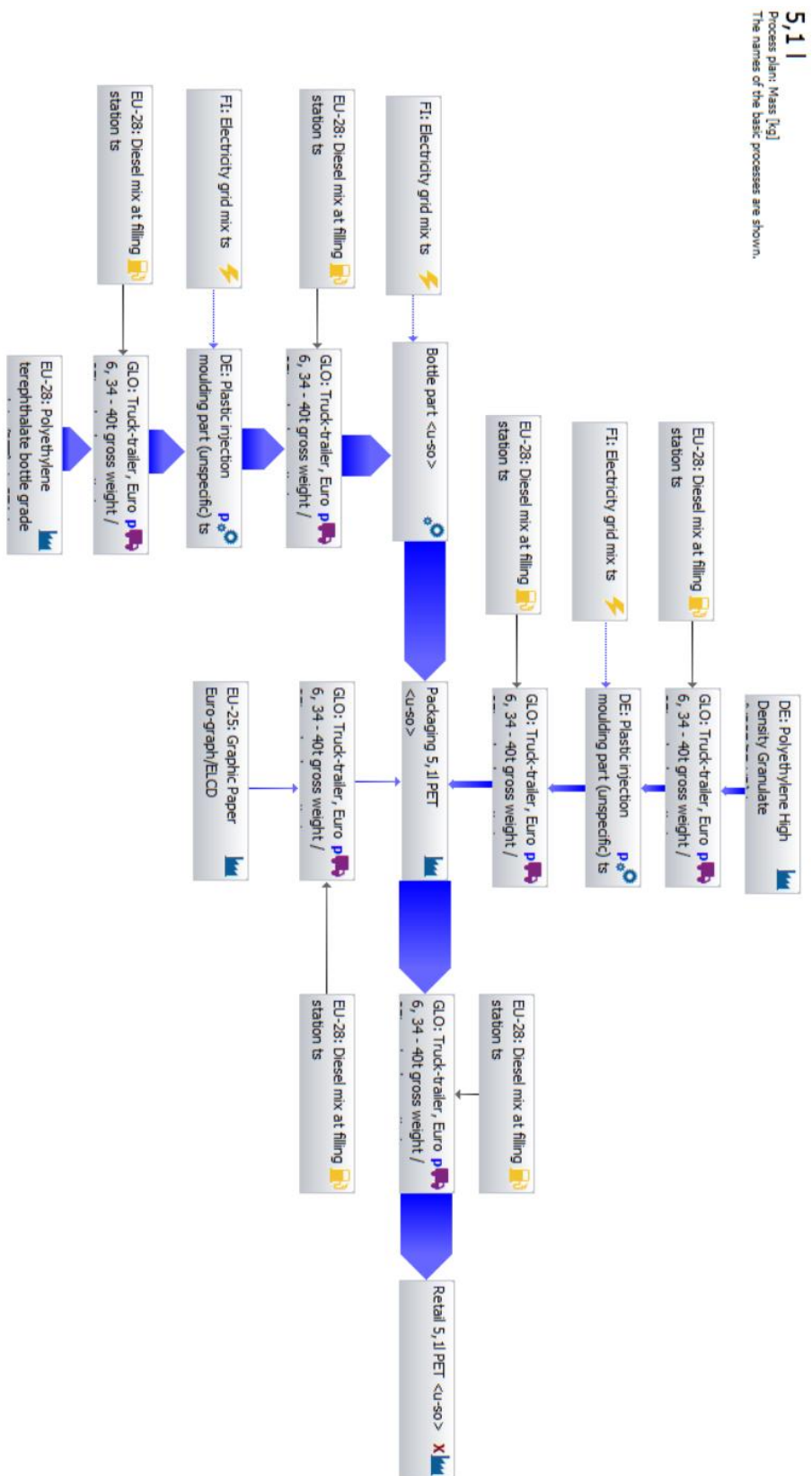
Liite 2. 6 x 0,5 litran pakkauksen elinkaarimallinnuksen prosessikaavio



Liite 3. 6 x 1,5 litran pakkauksen elinkaarimallinnuksen prosessikaavio



Liite 4. 5,1 litran pakkauksen elinkaarimallinnuksen prosessikaavio



Liite 5. Bag-in-Box vaikutusarvioinnin tulokset

Bag-in-Box	
	CML2001 - Jan. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2 eq.]
DE: Polyethylene High Density Granulate (HDPE/PE-HD) ts	8,46
EU-28: Corrugated board excl. paper production (open paper input), average composition (2015) ts/FEFCO <p-agg>	4,23
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,0838
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,046440321
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,039603929
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,02397066
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,007368531
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,006450045
EU-28: Light fuel oil at refinery ts	0,045422697
EU-28: Light fuel oil at refinery ts	0,05326352
FR: Electricity grid mix ts	0,575836789
GLO: Ro-ro-ship, 1200 to 10000 dwt payload capacity ts <u-so>	0,387088163
GLO: Ro-ro-ship, 1200 to 10000 dwt payload capacity ts <u-so>	0,330105642
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,389954018
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,45726751
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,826723536
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,235706448
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,063509376
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,072553112
RER: Polyethylene film (PE-LD) PlasticsEurope	15,96199471
RER: Polyethylene film (PE-LD) PlasticsEurope	12,15380308
Total	44,4

Liite 6. 6 x 0,5 litran vaikutusarvioinnin tulokset

6 x 0,5 l	
	CML2001 - Jan. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2 eq.]
DE: Polyethylene High Density Granulate (HDPE/PE-HD) ts	8,46
EU-25: Graphic Paper Euro-graph/ELCD	-0,221
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,116330805
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,04773033
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,00722405
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,004859034
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,001327606
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,048684937
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,007368531
EU-28: Polyethylene terephthalate bottle grade granulate (PET) via PTA ts	104,171839
FI: Electricity grid mix ts	14,46431891
FI: Electricity grid mix ts	2,189194214
FI: Electricity grid mix ts	2,351850957
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	1,147622353
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,469969385
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,071130501
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,013054511
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,04784373
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,072553112
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,479368773
RER: Polypropylene film (PP) PlasticsEurope	12,2100566
Total	146

Liite 7. 6 x 1,5 litran pakkauksen vaikutusarvioinnin tulokset

6 x 1,5 l	
	CML2001 - Jan. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2 eq.]
DE: Polyethylene High Density Granulate (HDPE/PE-HD) ts	2,42
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,0281
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,002064014
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,000946007
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,063210892
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,003010021
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,028655398
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,002105295
EU-28: Polyethylene terephthalate bottle grade granulate (PET) via PTA ts	61,31435569
FI: Electricity grid mix ts	8,513533054
FI: Electricity grid mix ts	0,625484061
FI: Electricity grid mix ts	1,384272635
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,623585753
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,020323
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,009314709
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,029637709
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,276618617
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,282150989
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,02072946
RER: Polyethylene film (PE-LD) PlasticsEurope	1,782557785
RER: Polypropylene film (PP) PlasticsEurope	7,563751876
Total	85

Liite 8. 5,1 litran pakkauksen vaikutusarvioinnin tulokset

5,1 litran pakkaus	
	CML2001 - Jan. 2016, Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2 eq.]
DE: Polyethylene High Density Granulate (HDPE/PE-HD) ts	3,55
EU-25: Graphic Paper Euro-graph/ELCD	-0,12
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,03277239
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,00072311
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,019729903
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,00303537
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,003096077
EU-28: Diesel mix at filling station ts	0,020124501
EU-28: Polyethylene terephthalate bottle grade granulate (PET) via PTA ts	43,06067674
FI: Electricity grid mix ts	5,978999382
FI: Electricity grid mix ts	0,919846059
FI: Electricity grid mix ts	0,972165748
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,323304964
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,029887303
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,194267471
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,007110428
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,198152821
GLO: Truck-trailer, Euro 6, 34 - 40t gross weight / 27t payload capacity ts <u-so>	0,030485049
Total	55,2