

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma
Kandidaatintyö

**MUOVITUOTTEIDEN KORVAAMINEN KARTONKITUOT-
TEILLA URHEILUTAPAHTUMASSA**

**The replacement of plastic products with cardboard products at
a sporting event**

Työn tarkastaja: Tutkijatohtori, TkT Kaisa Grönman
Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Sanni Väisänen

Lappeenrannassa 27.5.2020

Olivia Kuronen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT
LUT School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Olivia Kuronen

Muovituotteiden korvaaminen kartonkituotteilla urheilutapahtumassa

Kandidaatintyö

2020

41 sivua, 6 taulukkoa ja 6 liitettä

Työn tarkastaja: Tutkijatohtori, TkT Kaisa Grönman
Työn ohjaaja: Tutkijatohtori, TkT Sanni Väisänen

Hakusanat: muovin korvaaminen, hiilijalanjälki, elinkaari
Keywords: plastic replacement, carbon footprint, life cycle

Tämän työn tavoitteena on selvittää, miten muovituotteiden korvaaminen kartonkituotteilla vaikuttaa urheilutapahtuman hiilijalanjälkeen. Kirjallisuuskatsauksella selvitetään muovien ja kartongin perusominaisuuksia materiaaleina, sekä mitä vaikutuksia muovituotteiden korvaamisella voi olla ympäristöön. Empiirisessä osassa muovituotteiden korvaamisen vaikutusta hiilijalanjälkeen esitellään case-tarkasteluna valitulle urheilutapahtumalle. Työssä tehdään selvitys vertailtavien tuotteiden hiilijalanjäljistä ja niiden eroista käyttämällä laskennan perustana tuotteisiin liittyviä valmiita tutkimuksia. Tuotteiden hiilijalanjälki syntyy suurimmalta osin niiden valmistamisesta, minkä seurauksena kartonkituotteiden ilmastoalämmitävä vaikutus on pienempi kuin muovituotteiden. Tuotteen kierrätettävyydellä sekä ihmisten kierrätyskäyttäytymisellä on suora vaikutus tuotteen aiheuttamaan kokonaispäästömäärään. Kierrätettävyyden vuoksi tarkemman lopputuloksen saaminen potentiaalisesta hiilijalanjäljen pienemisestä, vaatii elinkaaren rajauksen laajentamista käytettävästä tuotteesta tuotteen materiaalin elinkaareen. Urheilutapahtumassa tehtävällä tiedotuksella voidaan kasvattaa ihmisiä toimimaan kiertotaloutta edistävällä tavalla.

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO	4
1 JOHDANTO	5
2 MUOVIN KORVAAMINEN ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA.....	7
2.1 Muovi pakkausmateriaalina	7
2.2 Kartonki elintarvikepakkauksissa	8
2.3 Muovituotteiden korvaaminen ja sen vaikutukset.....	10
3 TUOTTEIDEN HIILIJALANJÄLKI URHEILUTAPAHTUMASSA	13
3.1 Kausi 2019	15
3.1.1 PET-pullojen hiilijalanjälki	15
3.1.2 Kartonkikuppien (PE) hiilijalanjälki	17
3.2 Kausi 2020	18
3.2.1 Kartonkikuppien (PE green) hiilijalanjälki	19
4 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI.....	22
4.1 Tuotemuutosten vaikutus hiilijalanjälkeen	22
4.2 Laskennan epävarmuustekijät	23
5 POHDINTA URHEILUTAPAHTUMAN TUOTEMUUTOKSESTA.....	27
5.1 Katsojien vaikutus tuotteiden hiilipäästöihin	27
5.2 Muovikuppien merkitys otteluiden hiilijalanjälkeen	28
5.3 Muovin määrän väheneminen	29
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	30
LÄHTEET	32
LIITTEET	36
Liite 1. Muovipullojen hiilijalanjälki.....	36
Liite 2. Kartonkikuppien (2 PE green) hiilijalanjälki	38
Liite 3. Kartonkikupin (PE) hiilijalanjälki	38
Liite 4. Kartonkikupin (PE green) hiilijalanjälki	39
Liite 5. Muovin määrän väheneminen	40
Liite 6. Kierrätysasteen vaikutus kartonkikupin hiilijalanjälkeen	41

LYHENNELUETTELO

CO ₂ ekv	hiilidioksidiekvivalentti
EG	öljynjaloste (ethylene glycol)
EU	Euroopan Unioni
GWP	Global Warming Potential
IPV	Imatran Pallo-Veikot
HD-PE	suuritiheyspolyeteeni (high density polyethylene)
LD-PE	pientiheyspolyeteeni (low density polyethylene)
LCA	elinkaarimallinnus (Life Cycle Assessment)
LCIA	Life Cycle Impact Assesment
PE	polyeteeni
PET	polyetyleenitereftalaatti
PP	polypropeeni
PTA	öljynjaloste (Purified Terephthalic Acid)
SBS	valkosellu (solid bleached sulphate)
VTT	Teknologian tutkimuskeskus

1 JOHDANTO

Muovit ovat osa jokapäiväistä elämäämme, ja niitä on kaikkialla. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia. Muovien jätehuolto sekä kierrätys eivät ole kehittyneet samassa tahdissa muovin kulutuksen kanssa. Tämä on johtanut siihen, että meillä on globaalisti heikko, epätasainen ja koordinoimaton muovipolitiikka. (Dauvergne 2018, 22.) Koska muovien jätehuolto kehittyneissä maissa, kuten Suomessa, on taloudellisesti kallista, käytettyjä muoveja vietäisiin enemmän kehittyviin maihin, kuten Kiinaan, missä niitä koskeva jätehuoltolainsäädäntö sekä kierrätysstandardit eivät ole yhtä tiukkoja. Muun muassa heikon jätehuoltosysteemin vuoksi muoveja päätyy luontoon tai kaatopaikoille ja sieltä edelleen vesistöihin ja meriin. (Huang et al. 2020, 1.) Luontoon päätyessään muovi muuttuu ympäristöongelmaksi huonon hajoamisensa vuoksi. Hajoaminen voi kestää satoja vuosia, mutta senkin jälkeen muovi säilyy edelleen mikromuovina, jonka kaikkia ympäristö- ja terveysvaikutuksia ei vielä edes tunneta. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 8, 105.)

Kiinan suljettua ovensa kierrätysmuovin vastaanottajamaana vuonna 2018, on muun muassa Euroopan maiden täytynyt alkaa pohtimaan aiheuttamansa muovijätteen kohtaloa. Siinä missä muovijäte on aiemmin kuljetettu Kiinaan, pitää sen loppuelinkaari ja siihen liittyvät asiat käsitellä nyt paikallisesti. Samalla tuontikielto on nostanut mediassa maailmanlaajuisen keskustelun muovista ja sen kielteisistä ympäristövaikutuksista. (Huang et al. 2020, 2.) Muovisaasteiden määrään heränneinä ihmiset haluavatkin nyt vähentää muovin käyttöä ja ovat alkaneet vaatia sen kieltämistä kokonaan. Näin muovi on muuttunut epämiellyttäväksi materiaaliksi ja sen korvaaminen muilla materiaaleilla rinnastetaan ekotekoon. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 10, 35.)

Kuluttajien trendejä mukailleen eri alojen tuottajat ja yritykset pyrkivät vastaamaan ihmisten toiveisiin tuomalla markkinoille uusia muoveja korvaavia tuotteita ja materiaaleja. Muovia voidaan korvata esimerkiksi puupohjaisilla tuotteilla, kuten paperilla ja kartongilla. Öljyn fossiilisuuden vuoksi myös kasvipohjaisen muovin valmistus pakkausmateriaaleiksi kiinnostaa. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 11-12, 24.)

Tässä kandidaatintyössä keskitytään muovituotteiden korvaamiseen kartonkituotteilla. Työn tavoitteena on selvittää, miten muovituotteiden korvaaminen kartonkituotteilla vaikuttaa urheilutapahtuman hiilijalanjälkeen. Keskeisimpinä tutkimuskysymyksinä on selvittää muovituotteiden korvaamisen kannalta oleellisten tekijöiden muodostama hiilijalanjälki sekä selvittää, minkälaisen muutoksen kartonkituotteisiin siirtyminen siinä aiheuttaa. Korvattavia tuotteita ovat muovipullot sekä -kupit, jotka vaihdetaan kartongista valmistettuihin kuppeihin. Samalla työssä lasketaan tuotemuutoksista aiheutuva muovin määrän väheneminen. Työn teettäjänä toimii Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy. Tutkimus tehdään vertailevana case-tarkasteluna Imatran Pallo-Veikkojen (IPV) Superperesis-kausien 2019 ja 2020 välillä. Kirjallisuuskatsauksen avulla hankitaan tarvittavaa tietoa yleisesti, laskennan perusteiksi sekä tulosten kriittisen arvioinnin pohjaksi.

Ensimmäisenä työssä on teoriaosuus, jossa perehdytään muoviin sekä kartonkiin materiaaleina ja esitellään, millaisia vaikutuksia muovituotteiden korvaamisella voi olla. Tämän jälkeen siirrytään case-tarkasteluun ja luodaan kokonaiskuva superperesis-kausista 2019 ja 2020, sekä niissä tapahtuvista tuotemuutoksista. Tarkastelua rajataan siten, että hiilijalanjäljet kattavat vain muovituotteiden korvaamisen ja siitä oleellisesti aiheutuvat muutokset. Tuotteita vertailtaessa keskitytään vain käsiteltävän tuotteen elinkaareen. Tällöin jätetään siis huomiotta materiaalin mahdollinen kierto muiksi tuotteiksi ja sen aiheuttamat päästöt. Myöskään tuotteiden sisältämiä elintarvikkeita ei huomioida. Lopuksi vertaillaan tuloksia ja pohditaan, millaisia vaikutuksia muovituotteiden korvaaminen kartonkituotteilla hiilijalanjälkeen aiheuttaa sekä millaisia epävarmuustekijöitä laskentaan liittyy. Yhteenvedossa kootaan tutkimuksen tärkeimmät tulokset sekä esitetään johtopäätöksiä.

2 MUOVIN KORVAAMINEN ELINTARVIKEPAKKAUKSISSA

Tässä kappaleessa avataan enemmän sitä, mitä muovituotteiden korvaaminen tarkoittaa. Ensin käsitellään muovia ja kartonkia materiaaleina ja esitellään materiaalien valmistusta sekä niistä saatavia työn kannalta oleellisia tuotteita. Tämän jälkeen tarkastellaan laajemmin, miksi muovin korvaaminen on noussut aikamme suureksi kysymykseksi ja mitä muovituotteiden korvaamisesta voi seurata. Etenkin pohditaan sitä, millaisia ympäristövaikutuksia muovipakkausten korvaamisella voi olla.

2.1 Muovi pakkausmateriaalina

Muovi on seos, joka koostuu suurikokoisesta polymeeristä, jota voidaan virtauksen, eli paineen ja lämpötilan, avulla muokata sen valmistusvaiheessa. Polymeeri taas on monesta monomeeristä, eli orgaanisista ketjumolekyyleistä koostuva yhdiste, jonka pituus, haarautuneisuus, monomeerien määrä ja keskinäinen järjestys vaikuttavat sen ominaisuuksiin. Polymeerin lisäksi muoviseoksen joukkoon lisätään aineita, joilla voidaan yksilöidä valmistettavan tuotteen laatua, kuten kuumuudenkestoa. Muovituotteet voidaan jakaa polymeerirakenteensa perusteella kesto- ja kertamuoveihin. Kestomuovien polymeerirakenteessa on heikkoja sidoksia, jonka vuoksi ne ovat muokattavia sekä sulatettavissa ja käytettävissä uudelleen. Käyttömäärien ja hinnan perusteella muovit jaetaan karkeasti kolmeen eri kategoriaan: valtamuoveihin, teknisisiin muoveihin ja erikoismuoveihin. Tässä työssä käsiteltävät muovit ovat valtamuoveja, niin sanottuja kuluttajamuoveja, ja rakenteeltaan kuuluvat kestmuovien piiriin. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 39-44.)

Materiaalina muovi on kestävä, muokattavaa, kevyttä sekä suhteellisen helppoa ja halpaa valmistaa. Useinmiten muovi valmistetaan fossiilisista raaka-aineista jalostamalla öljyä. Tällä hetkellä koko maailman muovintarpeen kattamiseen tarvitaan noin neljä prosenttia öljyntuotannon kokonaismäärästä. Öljyn lisäksi muovia voidaan valmistaa myös biopohjaisista raaka-aineista, jolloin sitä kutsutaan biomuoviksi. Biomuoviksi lasketaan muovi, jossa vähintään 20 % siitä on valmistettu kasvi- tai eläinpohjaisesta raaka-aineesta. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 10, 39-44, 115.)

Työssä käsiteltäviä muovituotteita ovat muovipullot, muovikupit sekä kartonkikuppien muovipäälysteet. Näiden valmistuksen kannalta oleelliset muovit ovat polyeteeni (PE), polyetyleenitereftalaatti (PET) sekä polypropeeni (PP). Polyeteeni saadaan valmistettua jalostamalla ensin raakaöljy teollisuusbensiiniksi ja pilkkomalla se edelleen etyyliksi. Etyylin polykondensaatioreaktioilla voidaan luoda ominaisuuksiltaan kolme erilaista PE-muovia, joiden erot syntyvät niiden erilaisista tiheyksistä. (Plasticseurope 2020.) Pientiheyspolyeteeni PE-LD:tä, joka on pehmeää ja ohuena kalvona läpinäkyvää, käytetään paljon pakkauskalvojen ja esimerkiksi nestepakkauskartonkien päälysteiden valmistukseen (Järvinen 2016, 97). Suurtiheyspolyeteeniä PE-HD taas käytetään pullonkorkkien valmistukseen (Amienyo et al. 2013, 79).

Muovipullojen valmistukseen käytetään PET-muovia, joka on kestävä, vettä imemätöntä ja kirkasta (Järvinen 2016, 90-91). PET polymeroidaan kahdesta öljynjalosteesta PTA:sta ja EG:sta amorfiseksi granulaateiksi ja edelleen pullorakeiksi polykondensaatiolla. Lopuksi pullot muotoillaan injektio puhallusmuovauksen avulla ensin pulloaihioksi ja sitten pulloiksi. (Chen et al. 2016, 668.) Muovipullojen etiketit voidaan tehdä polypropeenista (Amienyo et al. 2013, 79). Esimerkiksi PET-pulloista voidaan tehdä myös biopohjaisia versioita, joissa joko vain toinen tai molemmat komponentit, PTA ja EG, valmistettaisiin tällöin kasvipohjaisesti (Chen et al. 2016, 668).

Polypropeeni on ominaisuuksiltaan hyvin samankaltainen kuin HD-PE. Sitä käytetään monipuolisesti erilaisiin pakkauksiin, kalvoihin, kuituihin, autoteollisuuden tarpeisiin ja myös siitä voidaan valmistaa muovipullon korkkeja. (Järvinen 2016, 98-99.) Polypropeenista saadaan nimensä mukaan propeenista polymeroimalla. Propeeni taas saadaan öljyn jalostuksen ja maakaasun prosessoinnin seurauksena. (Plasticseurope 2014, 3.)

2.2 Kartonki elintarvikepakkauksissa

Muovien korvaamiselle on olemassa lukuisia vaihtoehtoja, joista puupohjaiset biotuotteet ja tässä työssä käsiteltävä kartonki, ovat yksi vaihtoehto. Paperi- ja kartonki ovat laajasti käytössä monissa pakkauksissa ja melkein 50 % valmistetuista paperi- ja kartonkituotteista me-

nee pakkaustarkoitukseen. Kartonki valmistetaan kuten paperi puupohjaisesta sellusta. Keskeisin ero on, että kartonki on paksumpaa ja sisältää enemmän sellukerroksia, jolloin myös sen tiheys on paperia suurempi. Kartongin valmistusprosessin tärkeimmät vaiheet ovat puuaineksen keitto selluksi, valkaisu, paperilaadun mekaaninen muovaus paperiarkeiksi ja loppukäsittely. Loppukäsittelyn aikana voidaan vaikuttaa syntyvän tuotteen ulkonäköön, lujuuteen sekä suojaominaisuuksiin. (Deshwal et al. 2019, 4392.)

Kartonkituotteen suojaominaisuuksiin vaikutetaan niin sanotuilla barrier-, eli estokerroksilla. Estokerrokset ovat usein muovivalmisteisia ohuita kalvoja, jotka asetetaan kartongin pintaan. Päälystekerroksilla kartongille saadaan ominaisuuksia kuten kestävyys nesteitä, rasvoja tai lämpöä vastaan. Estokerrosten pääidea on estää molekyylien liikkuminen pakattavan tuotteen ja ympäristön, sekä tuotteen ja pakkauksen välillä. Estokerroksia käytetään esimerkiksi elintarvikepakkausissa, jolloin niillä voidaan parantaa pakattavan elintarvikkeen säilyvyyttä. Kertakäyttöisissä kartonkikupeissa kerros estää juoman vuotamisen kuitumateriaalin läpi. Erilaisia muovikerroksia voidaan lisäksi yhdistää, jolloin puhutaan laminaattikalvoista. Vaihtoehtoisesti estokerroksia voidaan valmistaa myös metalleista, kuten alumiinista. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 53-57.)

Tässä työssä tarkastelussa ovat kartonkiset kertakäyttökupit. Yleisesti kertakäyttökupit valmistetaan valkosellusta (SBS) tehdystä kartongista. Elintarvikkeiden kanssa kosketuksessa olevat kartonkituotteet tulee aina valmistaa ensikuidusta. Ensikuitu eli neitseellinen kuitu tarkoittaa suoraan puusta saatavaa kuitua. Kierrätetystä paperista ja kartongista saatavaa uusiokuitua ei voida käyttää elintarviketuotepakkausissa, sillä sen mukana elintarvikkeeseen voi päästä esimerkiksi sanomalehtipaperien painomusteiden mineraalikuituja. Mineraalikuidut ovat terveydelle haitallisia ja toimivat karsinogeneeninä aiheuttaen kertymistä elimistöön ja syöpäriskejä. (Deshwal et al. 2019, 4399.) Muuten paperi voidaan kierrättää sellumateriaalina 6-7 kertaa, ennen kuin sellun kuidut muuttuvat liian lyhyiksi (Villanueva & Wenzel 2007, S36). Kun kartonkikuppiin on lisätty estokerros, paperin selluloosakuitujen ja muovikerroksen väliin tulee vahva sidos ja tuotteen kierrätyksestä tulee vaikeaa, vaikka molemmat materiaalit yksinään ovatkin kierrätettäviä (Foteinis 2020, 2).

2.3 Muovituotteiden korvaaminen ja sen vaikutukset

Muoviin liittyy lukuisia ympäristökysymyksiä, jotka liittyvät muovin myrkyllisyyteen, muovattavuuteen, säilymiseen luonnossa sekä hajoamiseen ja hajoamistuotteiden kokoon. Muovit voivat säilyä luonnossa satoja vuosia. Hajotessaankin muovi hajoaa halkaisijaltaan viiden millimetrin mittaisiksi mikromuoveiksi ja edelleen nanomuoveiksi, joiden koko on alle 100 nanometriä. Nämä mikro- ja nanopartikkelit voivat sekä imeä itseensä että vapauttaa orgaanisia epäpuhtauksia. Ne voivat kertyä luontoon ja etenkin merien koralleihin sekä eläimiin, kuten kaloihin ja lintuihin, ja päätyä siten myös ihmiseen. Muovipartikkeleita on löydetty jopa vesijohtovedestä. Huolestuttavan muovista tekee se, ettei sen mahdollisesti terveydelle haitallisia vaikutuksia tunneta. (Dauvergne 2018, 23-24.)

Näkyvä osa muovikeskustelua on merten muoviroska. Onkin arvioitu, että noin puolet Euroopan rannoilta löytyvistä tuotteista on kertakäyttömuoveja. (Foteinis 2020, 4.) Muovituotteet ovat nousseet keskusteluun myös sen vuoksi, että Kiina kielsi kierrätysmuovien tuonnin maahansa vuonna 2018. Tämän jälkeen monien maiden on täytynyt uudelleen miettiä suhdettaan muoviin. (Huang et al. 2020, 1.) Myös Euroopan Unionin samaan aikaan julkaisemat muovistrategia sekä vuoden myöhemmin julkaistu kertakäyttömuovien kieltodirektiivi, joka tulee astumaan voimaan vuonna 2021, lisäävät trendiä korvata muovia. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 134-138.)

Kun ihmiset ovat heränneet muoviroskan määrään ja ongelmiin, he haluavat nyt vähentää muovin käyttöä ja ovat alkaneet vaatia sen kieltämistä kokonaan (Kohvakka & Lehtinen 2019, 10). Vaikka Euroopassakin on jo tehty toimia muoviongelmiin ratkaisemiseksi, EU:n päättäjiä on silti arvosteltu hitaudestaan toimia poliittisessa päätöksenteossa kertakäyttötuotteiden, kuten kartonkikuppien kohdalla, ja keskittyvän kestävyudessa enemmän taloudelliseen ulottuvuuteen kuin ekologiseen, ympäristöä suojelemaan puoleen. Tämän takia teollisuus onkin ollut se, joka on tarttunut toimeen ympäristöasioiden ja kansan mielipiteen tukemisessa. (Foteinis 2020, 7.)

Tuotteiden ympäristövaikutuksia mitataan yleisimmin erilaisilla elinkaarimallinnuksilla (LCA) sekä hiili- ja vesijalanjäljillä (Kohvakka & Lehtinen 2019, 82). LCA-mallinnuksessa tuotteen ympäristövaikutuksia käsitellään mallinnuksen kolmannessa vaiheessa eli vaikutusarvioinnissa (LCIA) (ISO14040: 2006, 8). Siinä ympäristövaikutuksia tarkastellaan eri vaikutuskategorioissa, joita voivat olla esimerkiksi happamoituminen, ilmaston lämpenemispotentiaali, ekotoksisuus, rehevöityminen, maankäyttö, fotokemiallisen otsonin muodostuminen ja stratosfäärin otsonikato sekä veden käyttö (Hauschild 2015, 5-6). LCA-mallinnus ei kuitenkaan anna laajamittaista kuvaa tuotteen kaikista ympäristövaikutuksista, jos laskentaa rajataan tutkijan tai tutkimuksen teettäjän toiveiden mukaisesti. Tällöin tuotteesta voi saada ympäristön kannalta liian positiivisen kuvan ja rajoitetut laskelmat muuttavat mahdollisten ympäristöongelmien mittasuhteita. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 81-94.)

Jos muovi korvataan biotuotteilla, hyvä puoli on, että silloin ei käytetä fossiilista öljyä. Täytyy kuitenkin keskittyä siihen, mistä korvaava biomateriaali saadaan. Jos bioraaka-aine joudutaan tuottamaan erikseen, tulee pohtia, viekö biomateriaalin kasvattaminen esimerkiksi peltotilaa muilta kasveilta. Jos bioraaka-aineen kasvattamiseksi luodaan kokonaan uutta kasvatusta se voi tarkoittaa maanmuokkausta ja sitä kautta päästöjä. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 116-121.) Lisäksi metsien raivaus viljelymaaksi vapauttaa puustoon sitoutuneen hiilivaraston (Väisänen 2014, 31) voimistaen ilmaston lämpenemistä. Samalla voidaan aiheuttaa muutoksia biodiversiteettiin ja saada tilanteesta riippuen aikaan eroosiota tai rehevöitymistä. Jos bioraaka-aine kuitenkin saadaan esimerkiksi jätteistä ja sivuvirroista, on se selvästi positiivinen ympäristöratkaisu. Korvattaessa muovia muilla tuotteilla voidaan myös menettää monia muovin hyviä ominaisuuksia, kuten kestävyys ja keveys. Biomuovituotteen mekaaniset ominaisuudet voivat tällöin olla heikompia. Tuotteen korvaaminen toisella materiaalilla lisää myös usein tuotteeseen tarvittavaa materiaalimäärää. (Kohvakka & Lehtinen 2019, 116-121.)

Suomessa muovin korvaajaksi ehdotetaan puuta ja siitä valmistetaan jo nyt tuotteita, joilla muovia voidaan korvata (Stora Enso 2019). Myös puun sisältämän ligniinin ja sen mahdollisten sovellusten suhteen ollaan toiveikkaita. Ligniiniä syntyy sellunkeiton sivutuotteena ja sitä poltetaan yleensä energiaksi sen korkean lämpöarvon vuoksi. (Aalto-yliopisto 2018.) Puu onkin Suomessa hyvä materiaali sen runsauden vuoksi. Jos ligniini käytetään energian

tuotannon sijaan materiaalina, saadaan puuraaka-aineen hyötyastetta kasvatettua ja tällöin ei esimerkiksi tarvitse tehdä poikkeuksia jo olemassa olevaan metsänhoitoon tai maankäyttöön.

Tutkimuksissa on osoitettu, että muovien korvaaminen biomuoveilla vähentää tuotteen hiilijalanjälkeä sekä fossiilisten polttoaineiden kulutusta (Gironi & Piemento 2011, 463; Chen et al. 2016, 667). Korvaavilla tuotteilla voi kuitenkin olla muita haitallisia vaikutuksia. Journal of Cleaner production lehdessä julkaistussa artikkelissa (Chen et al. 2016, 667) verrataan PET-pulloja biomassapohjaisiin PET-pulloihin. Siinä pienemmän hiilijalanjäljen omistava bioPET-pullo aiheuttaa enemmän ekotoksisuutta sekä otsonikatoa. Samalla mainitaan, että raaka-aineesta riippuen biomassan esikäsittelyllä voi olla suurempia vaikutuksia esimerkiksi lannoitteiden käytön aiheuttamien päästöjen tai kemiallisten aineiden ja energian tarpeen vuoksi, joita tarvitaan kasvien lignoselluloosasisidosten katkaisemiseen. Biomuoveja ei myöskään voida kierrättää materiaalina, kuten normaalia muovia, mikä ei tällöin edistä kiertotalouden ajatusta (Kohvakka & Lehtinen 2019, 121).

3 TUOTTEIDEN HIILIJALANJÄLKI URHEILUTAPAHTUMASSA

Superpesis on Suomessa pelattavan pesäpallolajin korkein sarjataso. Sarjassa pelaa 14 joukkuetta ja Imatralla Ukonniemen stadionilla sarjan otteluita pelataan kaudessa yhteensä 15 kappaletta. Yhdessä ottelussa kävijämäärä on noin 1300 katsojaa. Pesäpallo-otteluissa katsojilla on mahdollisuus ostaa erilaisia pelieväitä, kuten virvoitusjuomia, kahvia ja makkaraa. (Valkeapää, haastattelu 20.2.2020). Niiden tarjoiluun on olemassa useita vaihtoehtoisia tarjoilupakkauksia ja -astioita, joita kutsutaan tästä edespäin tuotteiksi.

Vuonna 2019 Imatran peleissä eväiden myyntiin käytössä olivat seuraavat tuotteet: PET-muovista valmistettu muovipullo, polypropeenista valmistettu muovikuppi sekä kartonkikuppi, jonka sisäpuoli on päällystetty polypropeenilla. Muovipullot olivat käytössä virvoitusjuomien tarjoiluun. Muovilaseja oli tarjolla asiakkaille, jotka eivät halunneet nauttia juomaansa suoraan pullosta, vaan kaatoivat sen ennemmin muovilasiin. Kartonkikuppeja taas käytettiin kahvin, virvoitusjuomien sekä makkaran tarjoiluun. (Valkeapää, haastattelu 20.2.2020).

Vuonna 2020 pelieväiden myyntiin tullaan käyttämään ainoastaan kahta erityyppistä kartonkikuppia, jotka poikkeavat toisistaan kokonsa sekä erilaisen pinnoituksensa takia. Isompia 0,5 litran kuppeja käytetään kylmäjuomien tarjoiluun ja ne on päällystetty kaksipuoleisesti PE green -päällysteellä. Pienempiä 0,28 litran kartonkikuppeja käytetään kuumajuomille sekä makkaran tarjoiluun, ja niissä PE green -päällyste lisätään ainoastaan kupin sisäpintaan. PE green on Stora Enson kehittämä uusiutuvasta, kasvipohjaisesta materiaalista valmistettu polyeteeni, jolla kartongin pinta saadaan nesteitä pitäväksi. PE green -päällysteellä kartonkituotteista saadaan kokonaan kasvipohjaisia ja kierrätettäviä. (Stora Enso, 2020.)

Tämän case-tarkastelun tavoitteena on verrata kahden todellisen IPV:n Imatralla pelattavan Superpesis-kauden (kaudet 2019 ja 2020) evästarjoiluihin käytettyjä tuotteita ja tuotteiden synnyttämiä hiilijalanjälkiä. Vertailun toiminnalliset yksiköt ovat:

- 3000 kerta-annosta juotavaa 0,5 litran tarjoiluastioissa 8 asteen lämpötilassa
- 15 000 kerta-annosta 0,28 litran kartonkikupeissa

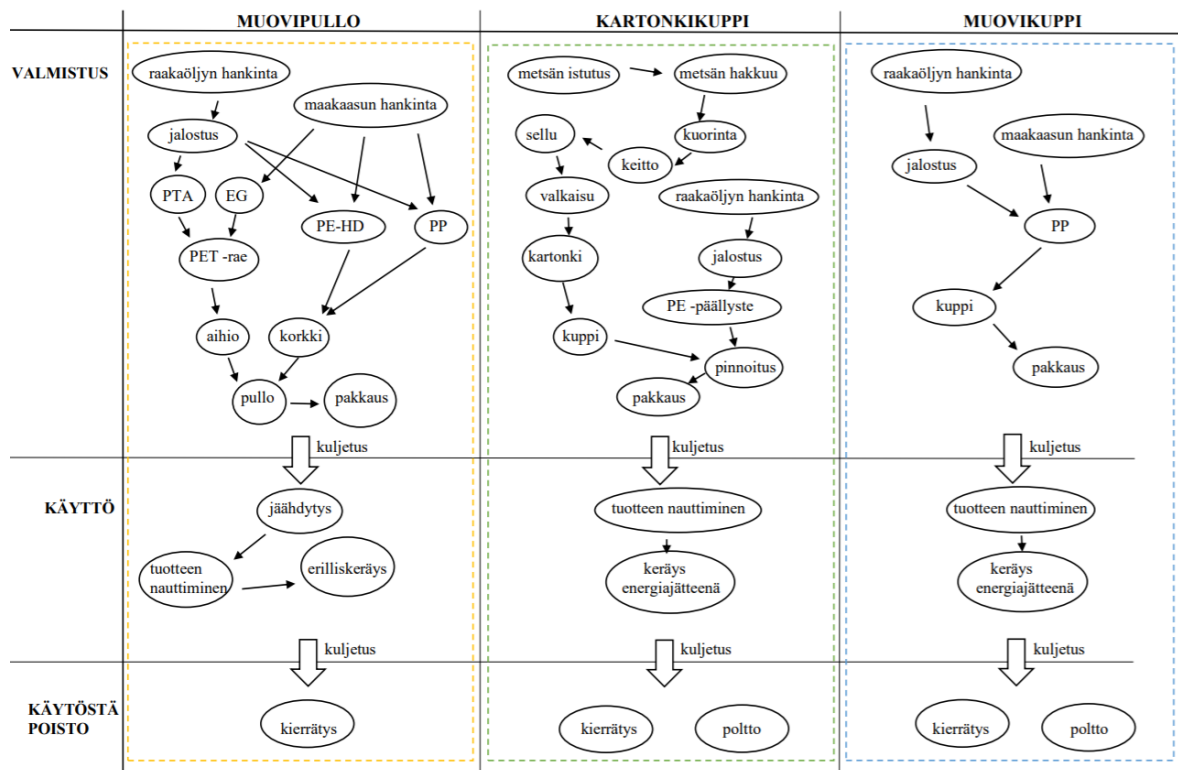
Case-tarkastelu tehdään mukaillen elinkaariarvioinnin periaatteita. Elinkaariarvioinnin avulla voidaan arvioida tuotteen tai palvelun aiheuttamia potentiaalisia ympäristövaikutuksia. Täydellinen elinkaaren arviointi koostuu tuotteen läpikäymistä erilaisista peräkkäisistä vaiheista raaka-aineiden ja materiaalien hankinnasta aina lopulliseen käytöstä poistoon asti. Mallinnusta voidaan tehdä myös soveltaen ja yksinkertaistetummin, jolloin keskitytään rajatumpaan osaan elinkaarta tai sen ympäristövaikutuksia. (ISO 14040: 2006, 8.)

Tässä työssä tutkitaan tuotteiden koko elinkaarta ja niistä saaduissa tuloksissa tarkastellaan hiilidioksidipäästöjen, eli hiilijalanjäljen, suuruutta. Työssä esiteltävistä arvoista osa laskeaan itse ja osa poimitaan eri tutkijoiden aiemmin tekemistä mallinnoista, jotka parhaiten vastaavat työssä tarkasteltavia olosuhteita. LCA-mallinnuksen standardin mukaan eri elinkaariarviointien tai elinkaari-inventaarioselvitysten tuloksia saa vertailla ainoastaan, mikäli arviointien asiayhteydet ja olettamukset ovat samoja (ISO 14040: 2006, 10). Näin ollen tutkimusta ei voida pitää oikeana tai tieteellisenä elinkaarimallinnuksena, vaan suuntaa antavana selvityksenä.

Osa tuotteista, eli muovipullot ja uudet kartonkituotteet, on valmistettu materiaaleista, joille on olemassa toimiva kierrätysmalli. Näissä tuotteiden materiaalit voivat kiertää uusiksi tuotteiksi useaan kertaan, ennen niiden elinkaaren loppua. Työssä rajataan tarkastelu kuitenkin niin, että keskitytään vain tuotteiden raaka-aineiden hankintaan, valmistukseen, käyttöön ja käytöstä poistoon, jolloin materiaalien kiertoa käsiteltävän tuotteen elinkaaren jälkeen muina tuotteina ei enää huomioida. Tuotteen kierrättäminen otetaan mukaan laskemalla, kuinka paljon sen sisältämän materiaalin kierrättäminen korvaa neitseellistä raaka-ainemateriaalia ja sen valmistuksen tarpeita. Työssä rajataan pois myös tuotteiden mahdollisesti sisältämien tarjoiltavien elintarvikkeiden elinkaaret. Toisin sanoen esimerkiksi virvoitusjuomien valmistus- ja kuljetuspäästöt jätetään huomioimatta. Poikkeuksena tarkastellaan kuitenkin virvoitusjuomatuotteen jäädytystä, koska se liittyy oleellisesti tuotemuutoksen aiheuttamaan hiilijalanjälkeen. Kaikki tuotteiden hiilijalanjälkilaskut on esitetty liitteissä.

3.1 Kausi 2019

Superpesis kaudella 2019 virvoitusjuomia myytiin 3000 puolen litran PET-pulloa. PE-päällystettyjen kartonkipohjaisten kertakäyttökuppien kulutus oli keskimäärin 15 000 kappaletta ja kokonaan muovista tehtyjä mukeja oli käytössä tuhat kappaletta. Alla olevassa kuvassa on esitetty työssä tarkasteltavat tuotteet ja systeemirajat. Systeemiraja kertoo, mitkä elinkaaren osat otetaan mukaan tarkasteluun (Gironi, Piemento 2010, 460).



Kuva 1. Kaudella 2019 käytetyt tuotteet ja systeemirajat

3.1.1 PET-pullojen hiilijalanjälki

Muovipullojen valmistuksen päästöt on otettu Amienyo et al. (2013, 84) tekemästä ympäristövaikutusten elinkaariarvioinnista hiilipotetuille virvoitusjuomille. Tutkimus on tehty cradle to grave -tarkasteluna kattamaan koko virvoitusjuomatuotteen elinkaari, mukaan luettuna juoman valmistus. Tutkimuksessa käytetyn huolellisen erittelyn vuoksi siitä voidaan

kuitenkin helposti erottaa pelkän pullon valmistus ja sen aiheuttama hiilijalanjälki. Arvioinnissa tehtyjen oletusten mukaan pullot valmistetaan kokonaan neitseellisistä materiaaleista eikä mukana ole kierrätysmuovia. Itse pullo valmistetaan PET-muovista, korkit suuritiheyspolyetyylistä ja etiketit polypropeenista. Lisäksi valmistukseen on huomioitu sekundääriset pakkaukset, joita pullot vaativat, kun niitä varastoidaan ja kuljetetaan.

Virvoitusjuomien jäähditys toteutettiin vuonna 2019 kolmen kylmäkaapin avulla. Kylmäkaappien kulutukseksi arvioidaan tapahtumapaikalta saatujen tietojen pohjalta 148 kWh/a (Gigantti 2020). Jäähdytykseen käytettävän sähkö saadaan Imatran Seudun Sähkö Oy:lta, jonka tuottaman sähkön hiilijalanjälki 258 gCO₂/kWh (ISSOY, 2018).

Muovipullojen kuljetuspäästöt aiheutuvat sekä tuotteen kuljettamisesta kuluttajalle sekä kuluttajalta kierrätykseen. Virvoitusjuomien valmistus tapahtuu Iisalmessa Olvin tehtaalla, ja juomien kuljetus on toteutettu kauden aikana kahdella edestakaisella ajolla. Oletetaan laskennassa, että juomamäärä on jakautunut tasan molempien tuontikertojen välille. Kuljetuspäästöjen laskentaan on käytetty Teknologian tutkimuskeskus VTT:n LIPASTO -järjestelmän päästötietoja ja välimatkojen arviointiin Google Maps -sovellusta. Kuljetusmatkojen arviointi tehdään paikkojen välisen lyhimmän etäisyyden mukaan. Päästöjä laskiessa oletetaan ajotavaksi maantieajo sekä kulkuneuvoksi massaltaan 2,7 tonnia painava pakettiauto, jonka kuljetuskapasiteetti on 1,2 tonnia. Päästökertoimina käytetään EURO 6 luokan kertoimia diesel -polttoaineelle. (LIPASTO a 2016).

Lasketaan kuljetuksen päästöt niin, että tuotteita tuodessa päästöt jakautuvat sekä pulloille, että niiden sisältämälle juomalle. Saadusta päästömäärästä erotellaan sen jälkeen pulloihin kohdistuva päästöosuus, sillä tehdyn rajauksen mukaan virvoitusjuoman elinkaarta ei huomioida. Jos yksi 0,5 litran virvoitusjuomapullo painaa keskimäärin 0,527 kilogrammaa ja auton kyydissä on puolet kauden tuotteista, kuljetuskuorman massa tuotaessa on vähintään 791 kg. Kun tyhjät pullot viedään takaisin, vastaava kuorman paino on tällöin vähintään 4,1 kilogrammaa, kun oletetaan tyhjän pullon painavan 0,0274 kilogrammaa ja päästöt jakautuvat vain niiden kesken (Amienyo et al. 2013, 79.) Lasketaan päästöt syntyviksi siten, että ajoneuvon paino on tuonnin aikana maksimikantavuuden verran ja vienti tapahtuu auton

omapainon mukaisella kuormalla. Tällöin päästömäärä vastaa todennäköisimmin valittua kuljetusvälinettä. Kuljetuspäästöjen laskennan muodostumista on kuvattu taulukossa.

Taulukko 1. Muovipullojen kuljetuspäästöjen muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä

Etäisyys	330 km
Matkojen määrä	2 edestakaista matkaa
Kuorman massa tuodessa	vähintään 791 kg
Kuorman massa viedessä	vähintään 4,1 kg
Kuljetusväline	pakettiauto 2,7t ; kapasiteetti 1,2t
Päästöluokka	EURO 6

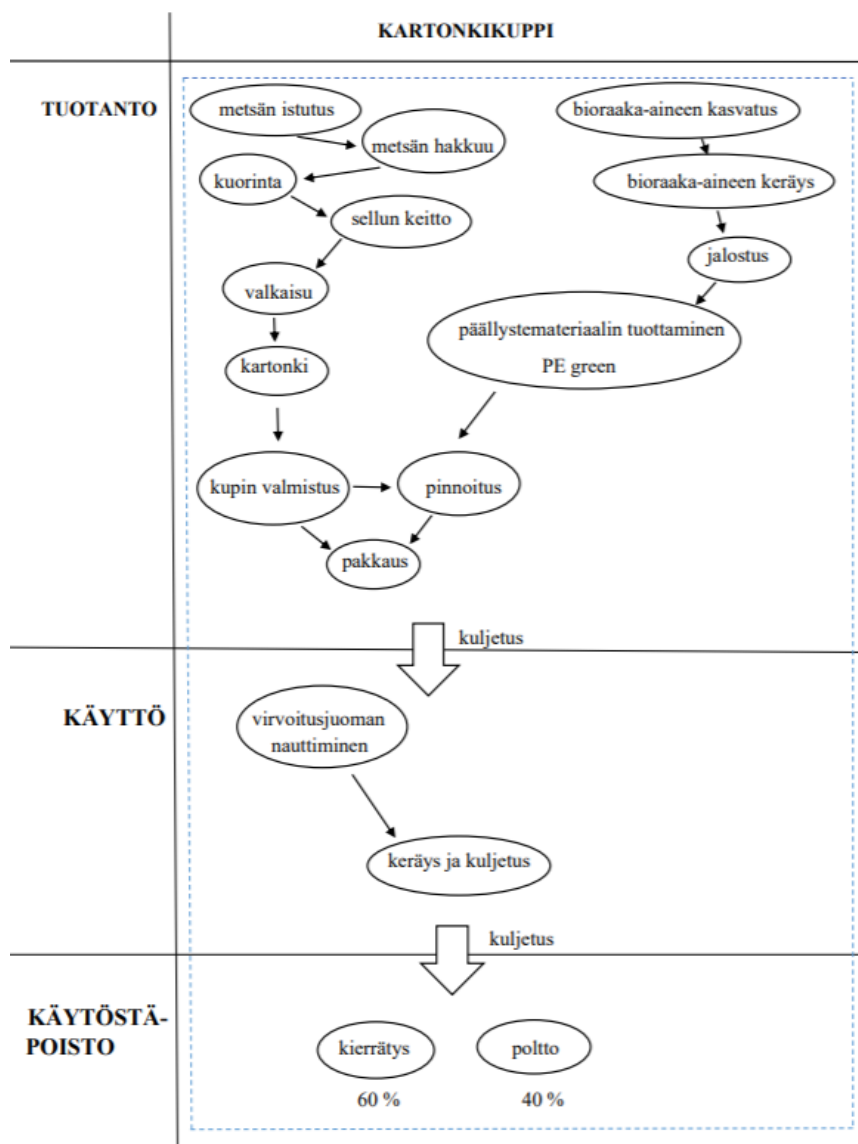
Muovipullojen kierrätys urheilutapahtumassa hoidettiin virvoitusjuomatuottajan toimesta, joten sitä ei voida tarkasti tietää. Muovipullojen kierrätysaste on kuitenkin Suomessa yleisesti korkea ja esimerkiksi pantillisista muovipulloista kierrätykseen palautetaan 93% (Järvinen 2016, 41). Muovipullojen kierrätyksen päästöinä käytetään Fausto Gironi and Vincenzo Piemonten (2010, 465) selvittämiä arvoja. Heidän mukaansa 1000 PET pullon kierrättäminen säästää 11,4 kg CO₂ ekvivalenttia, kun oletetaan että 90 % kierrätetystä materiaalista voidaan käyttää uudelleen. Laskennassa oletetaan, että kaikki myydyt 3000 pulloa palautuvat tuottajalle ja kierrätykseen.

3.1.2 Kartonkikuppien (PE) hiilijalanjälki

Kaudella 2019 käytössä olleista kartonkikupeista ei tunneta tuotteiden alkuperää. Siksi kartonkikuppien aiheuttaman hiilijalanjäljen arvo vuodelle 2019 perustuu VTT:n tekemään tutkimukseen, jonka mukaan yhden kartonkikupin hiilijalanjälki on 8-10 gCO₂ekv. Laskenta on tehty suomalaisille kartonkikupeille ja se kattaa niiden koko elinkaaren. Tutkimuksessa on laskettu tavallisen PE-päällystetyn kupin, joka kierrätetään Euroopan keskimääräisten kierrätyslukujen mukaan (30% kaatopaikalle, 34% poltetaan, 36% kierrätetään), hiilijalanjäljen olevan 8,1 grammaa hiilidioksidia. (VTT 2019, 5-6.)

3.2 Kausi 2020

Ottelukaudella 2020 kaikki superpesiksen tapahtumissa aiemmin käytetyt kartonki- ja muovikupit korvataan Stora Enson valmistamilla uusilla kokonaan biopohjaisilla kartonkikuppeilla. Kuvassa 2 nähdään vuonna 2020 käytettävien kartonkikuppien elinkaari ja laskennassa käytetyt systeimirajaukset. Kuppeja valmistetaan sama määrä kuin korvattavia tuotteita, jolloin suuria kuppeja on 3000 ja pienempiä 15 000 kappaletta.



Kuva 2. Hiilijalanjäljen muodostuminen ja systeimirajat 2020

3.2.1 Kartonkikuppien (PE green) hiilijalanjälki

Kartonkikuppien valmistuksesta syntyvien päästöjen arvoina käytetään Stora Ensolta saatuja cradle-to-gate hiilijalanjäljen arvoja. Cradle-to-gate tarkoittaa sitä, että tuotteen elinkaari on laskennassa rajattu loppumaan tuotantolaitoksen portille. Pienen kupin valmistuksesta aiheutuvat päästöt ovat tällöin Stora Enson mukaan 5,8 grammaa CO₂ ekvivalenttia. Isomman kupin ilmastovaikutus on laskettu skaalaamalla pienemmän kupin valmistuspäästöjä kupin painon mukaan. Ison kupin hiilijalanjälki on silloin 11,8 gCO₂ ekvivalenttia. (Kujanpää, sähköpostiviesti 13.3.2020.)

Uusien kuppien kartonki valmistetaan Stora Enson Imatran tehtaalla, josta valmis kartonkimateriaali viedään yhtiön Hämeenlinnan toimipisteelle, jossa se muotoillaan kupeiksi. Kuppien kuljetuspäästöt tapahtumapaikalle muodostuvat välille Hämeenlinna – Imatran stadion. Kuljetuksen oletetaan tapahtuvan yhtenä yhdensuuntaisena ajona siten, että samassa kuljetuksessa saapuvat sekä pienet että isot kupit. Päästöt kuppien välillä jaetaan niiden massojen suhteessa. Kartonkikuppien painot saadaan Spyros Foteinis (2020) julkaisemasta artikkelista, mistä pienen kupin painoksi julkaisun arvoista skaalaamalla saadaan noin 8 grammaa. Ison kupin painona voidaan pitää artikkelissa esitettyä 15 grammaa. (Foteinis 2020, 4). Pakkausmateriaaleja ei huomioida. Vertailtavuuden lisäämiseksi oletetaan myös kartonkikuppien kuljetusten tapahtuvan suorana ajona, lyhintä reittiä, 2,7 tonnia painavalla pakettiautolla ja 1,2 tonnin kuljetuskapasiteetilla (LIPASTO a 2016).

Taulukko 2. Kartonkikuppien tuonnin kuljetuspäästöjen muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä

Matka	Hämeenlinna – Imatra
Etäisyys	260 km
Matkojen määrä	1 yhdensuuntainen matka
Kuorman massa tuodessa	vähintään 165 kg
Kuljetusväline	pakettiauto 2,7t ; kapasiteetti 1,2t
Päästöluokka	EURO 6

Vaikka laskennassa ei huomioida itse virvoitusjuoman valmistamista, sen jäähditys liittyy oleellisesti muovituotteiden korvaamisella aiheutuviin muutoksiin, joten se on huomioitava laskennassa. Periaatteessa juoman jäähdytykseen tarvittavan energiamäärän tulisi olla sama molempina vuosina. Kaudella 2019 käytetyt kylmäkaapit ovat kuitenkin olleet toiminnassa joka päivä jäähdytystarpeesta riippumatta, joten siksi päästöt ovat isommat. Lasketaan juoman todellinen energiantarve olettamalla virvoitusjuoman käyttäytyvän jäähdytettäessä veden lailla, jolloin sen ominaislämpökapasiteetti on sama kuin veden. Oletetaan, että juoma jäähdytetään huoneen lämmöstä (20 celsiusta) vertailulämpötilaan 8 celsiusastetta. Siten saadaan jäähdytykseen tarvittava energiamäärä ja oletetaan jäähdytyksen tapahtuvan samalla Imatran Seudun Sähköllä kuin vuonna 2019 (ISSOY 2018).

Uusien kartonkikuppien myötä siirrytään myös uuteen kierrätystoimintamalliin. Kaudella 2020 kartonkituotteet tullaan erilliskeräämään, jolloin tapahtumissa on asiakkaille kahdenlaisia keräyspisteitä, toiset kuivajätteelle ja toiset kartongille. Jätteiden keräyksen jakaminen vähentää kuivajätteen määrää, mutta ei jätteen kokonaismäärää. Itse asiassa muovikupit ovat sen verran kevyitä, että tuotemuutoksen seurauksena jätteen kokonaismassa tulee jopa kasvamaan. Jätteiden käsittely toteutetaan siten, että kuivajäte viedään Etelä-Karjalan Jätehuollon toimipisteelle, jossa se paalataan ja viedään täysperävaunurekka-autolla jatkokäsiteltäväksi ja poltettavaksi pääasiassa lämmöntuotantoon Riihimäen Waste Solutionin ekojalostamolle. Erilliskerätyt kartonkituotteet sen sijaan viedään ensin väliaikaissäilytykseen Etelä-Karjalan jätehuollon Imatran toimipisteelle Papinniemeen, jossa myös se paalataan ja varastoidaan. Valmiit kartonkijätepaalit viedään täysperärekka-autolla Stora Enson varkauden tehtaalle, jossa ne käsitellään ja niistä tehdään uusia kartonkituotteita. Paalauksen energiantarvetta tai päästöjä ei lasketa mukaan, koska tietoja ei ollut saatavilla tämän työn tekoaikana.

Kuljetuspäästöjen muodostuminen on esitetty alla olevassa taulukossa. Jätteiden kuljetus väliaikaissäilytykseen tapahtuu jäteautolla, jonka tyhjäpaino on 11-12 tonnia ja maksimipaino 22 tonnia. Oletetaan kapasiteetiksi siten 10 tonnia. Polttoaineena laskennassa käytetään dieselä ja autojen kulutustiedot on saatu asiakkaalta (Ilvonen, sähköpostiviesti 28.8.2020; LI-PASTO b 2016). Kun jätteitä kuljetetaan käsittelylaitoksille, oletetaan että kuljetusajoneuvot ovat täysiä, jolloin tapahtuman jättemäärästä aiheutuvat kuljettamisen päästöt tekevät vain

pienen osan näistä kokonaiskuljetuspäästöistä. Täysperävaunuyhdistelmän massaksi oletetaan 60t ja kapasiteetiksi 40t (LIPASTO c 2016).

Toinen kuljetuspäästöihin liittyvä rajausta liittyy kartonkituotteiden kierrätyksen rajoitteisiin: Kun kartonki kierrätetään, sen tulee olla puhdasta eikä se saa sisältää elintarvikejäämiä (EKJH 2019). Koska kartonkikuppeja käytetään myös makkaran tarjoiluun, osa kupeista tulee todennäköisesti sisältämään epätoivottuja elintarvikejäämiä esimerkiksi makkaran kanssa nautittavien kastikkeiden muodossa. Myös se, kuinka hyvin asiakkaat toteuttavat kierrätysohjeistuksia vaikuttaa syntyvien jätejakeiden määrään. Oletetaan, että kartonki-keräykseen soveltuvia kuppeja on pienistä kupeista 60 %, jolloin 40 % kerätään kuivajätteenä, mikä näkyy kuljetuskuormien massassa ja sitä myötä kierrätysmatkojen päästöissä. Oletetaan, että kaikki isot kupit voidaan kierrättää kartonkina.

Taulukko 3. Kartonkikuppien kierrätyskuljetusten päästöjen muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä

	Kartonkituotteet	Kuivajäte
Matka	Imatra – Papinniemi – Varkaus	Imatra – Lappeenranta - Riihimäki
Etäisyys	5 + 170 km	40 + 240 km
Matkojen määrä	1 yhdensuuntainen	29 edestakaista
Tuotteiden kuorma	117 kg	45 kg
Kuljetusväline	jäteauto (22t/10t) + täysperävaunuyhdistelmä (60t/40t)	jäteauto (22t/10t) + täysperävaunuyhdistelmä (60t/40t)

Viimeisenä lasketaan kartonkituotteiden kierrätyksen ja loppukäytön päästöt. Lasketaan ne aikaisemman oletuksen mukaan siten, että kaikki isot kartonkikupit kierrätetään yhdessä 60 % osuuden pienistä kupeista kanssa. Laskenta tehdään käyttäen Hillman et al. (2015, 10) keräämiä arvoja paperin ja kartongin kierrätykselle. Heidän mukaansa yhden paperi- ja kartonkisellukilon valmistaminen neitseellisestä raaka-aineesta aiheuttaa päästöjä 1,1 kilogrammaa CO₂ ekvivalenttia. Vastaava määrä kierrätysraaka-aineesta valmistettuna aiheuttaa 0,7 kiloa.

4 TULOKSET JA NIIDEN ARVIOINTI

Tässä osiossa esitellään ensin case-tarkastelussa saadut tulokset ja selitetään niitä. Tämän jälkeen pohditaan omana kokonaisuutenaan case-tarkastelulla saatujen tulosten oikeellisuutta epävarmuustekijöiden avulla.

4.1 Tuotemuutosten vaikutus hiilijalanjälkeen

Case-tarkastelussa saadut hiilijalanjälkien arvot tuotteille sekä niiden muodostuminen toiminnallista yksikköä kohden on esitetty alla olevissa taulukoissa (taulukot 4 ja 5). Taulukoista voidaan nähdä, että tällä laskennalla saatujen tulosten pohjalta sekä virvoitusjuomien tarjoilemisen muuttaminen muovipulloista kasvipohjaisiin kartonkikuppeihin, sekä tavallisten kartonkikuppien korvaaminen kasvipohjaisilla kartonkikupeilla vähentävät molemmat otteluissa syntyvän hiilijalanjäljen määrää.

Muovipullojen korvaaminen kokonaan kasvipohjaisilla kartonkikupeilla vähentää hiilijalanjälkeä noin 310 kg. Tämä vastaa samaa asiaa, kuin ajaisi henkilöautolla Suomen päästä päähen ja takaisin. Öljypohjaista muovia sisältävien kuppien korvaaminen vastaavilla kasvipohjaisilla taas vähentää hiilijalanjälkeä noin 26 kg. Tämä vastaa sitä, kuin ajaisi samaisella henkilöautolla Imatralta Helsinkiin. (LIPSASTO d 2016).

Taulukko 4. 3000 kerta-annosta juotavaa 0,5 litran tarjoiluastiassa hiilijalanjälki

	Muovipullo (PET) [kgCO ₂ ekv]	Kartonkikuppi (2 PE green) [kgCO ₂ ekv]
Valmistus	261	35,4
Jäähdytys	114	4,3
Kuljetukset (tuonti + vienti)	1,2	12,8 + 1,1
Kierrätys	-34,2	-18
Yhteensä	342,7	35,6

Taulukko 5. 15000 kerta-annosta 0,28 litran tarjoiluastiassa hiilijalanjälki

	Kartonkikuppi (PE) [kgCO ₂ ekv]	Kartonkikuppi (PE green) [kgCO ₂ ekv]
Valmistus	-	87
Kuljetus (tuonti + vienti)	-	34,0 + 4,0
Kierrätys	-	-28,8
Yhteensä	122	96,3

Molempien taulukoiden arvoista nähdään, että suurimmat päästöt syntyvät tuotteen valmistuksen kohdalla. Tärkein ero laskennassa näkyy muovipullojen sekä kartonkituotteiden valmistuksen hiilijalanjäljessä. Samoin kartonkikuppien kierrätyksellä saadaan suhteessa suurempi hyöty kuin muovipullojen kierrätyksellä. Molempien uusien kartonkikuppien kohdalla syntyneiden kuljetuspäästöjen suuruus aiheuttaa yllättävän suuren osan elinkaaren päästöistä. Nämä selittyvät kuitenkin laskennassa tehdyillä oletuksilla kuljetusajoneuvoista ja niiden kuormista, sekä kartonkituotteiden keveydellä.

Taulukossa 5 vuonna 2019 käytössä olleiden kartonkikuppien hiilijalanjälkeä ei voitu jakaa eri elinkaaren vaiheisiin, johtuen laskennassa käytetystä lähteestä. Lähteenä käytetyssä arvossa kartonkikupille on ilmoitettu vain hiilijalanjäljen kokonaisarvo. Jos kokonaispäästömäärä jaettaisiin taulukon mukaisiin vaiheisiin, saataisiin eri kartonkikuppien välille vertailukelpoisempi tulos. Samalla toisen kartonkikupin arvot perustuisivat kuitenkin epävarmoihin oletuksiin, mikä vähentäisi vertailun luotettavuutta.

4.2 Laskennan epävarmuustekijät

Laskettaessa tuotteiden hiilijalanjälkiä, laskentaan kohdistui monia epävarmuustekijöitä, joista tärkeimpiä ovat se, että kaikkia työssä käytettyjä arvoja ei laskettu itse, vaan niitä poimittiin eri tutkijoiden tekemistä laskelmista ja tutkimuksista. Toinen yhtä tärkeä epävarmuustekijä ovat laskennassa tehdyt lukuisat oletukset puuttuvien tai epätarkkojen tietojen

vuoksi. Lisäksi materiaalien kierrätyksen hyvityksistä julkaistut arvot vaikuttavat syntyneeseen lopputulokseen. Yleisesti kannattaa kiinnittää huomioita siihen, että kauteen 2019 ja siinä käytettyihin tuotteisiin liittyvät lähtötiedot olivat vajavaisia.

Kun lainataan arvoja muista, työn ulkopuolisten tutkijoiden tekemistä raporteista, virheitä syntyy siinä, että raporteja ei ole laskettu samoissa olosuhteissa tai samoilla rajauksilla kuin, mitä tässä työssä on käytetty. Esimerkiksi raaka-aineiden hankinta ja kuljetusmatkat, materiaalien ja tuotteiden tuotantoprosessit sekä niissä käytetyt energialähteet voivat vaihdella maittain hyvinkin paljon. Samoin tekevät kierrätystottumukset. Tämän lisäksi laskentatavat ja mallinnusohjelmat, laskennassa huomioidut päästöt sekä niiden yhteismitallistaminen käyttäen eri GWP (global warming potential) -arvoja eroavat toisistaan. Tiedot voivat myös olla vanhentuneita.

Työssä lainattujen arvojen kohdalla on kuitenkin aina pyritty löytämään mahdollisimman hyvin Suomen oloja vastaavia, nykYTEKNOLOGIAN mukaisia arvoja ja usein lainatut tutkimukset onkin tehty Euroopassa liian suurien kulttuuri- ja teknologiaerojen välttämiseksi. Kokonaisuudessaan lainattuja arvoja käytettiin muovipullojen ja kaudella 2019 käytettyjen kartonkikuppien valmistuksessa, sekä laskettaessa materiaalien kierrätyspäästöjä. Uusien Stora Enson tuottamien kartonkikuppien valmistuksen kohdalla epävarmuus päästöjen oikeellisuudesta on pieni.

Laskennassa oletuksia tehtiin eniten kuljetuspäästöissä ajoneuvojen, käytettyjen polttoaineiden, välimatkojen, ajotapojen ja kuljetusten kuormien massojen valinnoissa sekä arvioinneissa. Esimerkiksi kuljetusmatkat eivät välttämättä todellisuudessa tapahdu suorasti kohteiden välillä ja tuotteiden kuljettaminen kuluttajalle voi tapahtua sen sijaan jakeluna. Tällöin käytetyn polttoaineen määrä voi moninkertaistua, mutta samalla kyydissä voi olla myös enemmän tuotteita, joihin päästöt kohdistuvat. Myöskään tuotteiden sekundääripakkauksia painoineen ei ole huomioitu kuormien massoissa. Jos kyydissä on otteeluihin tuotavien tuotteiden lisäksi muitakin tuotteita, tarvitaan laskemiseen myös erilainen kuljetusajoneuvo, sillä jos tarkkaa tietoa ei ole ollut saatavissa, on kuljetusvälineeksi tässä työssä valittu pakettiauto.

Eniten epävarmuutta kuljetuspäästöissä liittyy kaudella 2019 käytettyihin tuotteisiin, eli muovipulloihin ja kartonkikuppeihin. Lisäksi esimerkiksi kaudella 2019 käytössä olleiden kartonkikuppien kuljetuspäästöihin ei voitu vaikuttaa lainkaan, johtuen laskentaan käytetystä lähteestä. Uusien kartonkituotteiden kohdalla epävarmuus kuljetuspäästöjen suhteen voidaan arvioida muuhun laskentaan verrattuna melko pieneksi, sillä tarkat kuljetustiedot ja -ajoneuvot ovat hyvin selvillä.

Yksi oletus liittyy lisäksi kaudella 2020 syntyvän jätteen jae- sekä kokonaismäärään. Työssä on oletettu, että kuivajätettä muodostuu ainoastaan pienistä kartonkikupeista 40 % niiden määrästä. Loput kupit kierrätettäisiin tällöin kartonkina. Tähän vaikuttavat kuitenkin jätteenkierrätyksen päätyvien kuppien soveltuvuus jättejakeeksi, sekä tuotteita käyttävien asiakkaiden kyky ja halu toimia uusien kierrätysmallien mukaisesti.

Pohditaan sitten case-tarkastelun toiminnallista yksikköä. Toiminnallisen yksikön idea on mahdollistaa vertailtavuus eri vaihtoehtojen välillä (ISO 14040: 2006, 16). Tässä työssä käytetyt toiminnalliset yksiköt on aseteltu melko ympärilyöreästi. Molempien yksiköiden määritelmässä on tarkan litramäärän sijaan valittu vertailtavaksi termiksi ”kerta-annos”. Ensimmäisessä yksikössä tällä on merkitystä, sillä kerta-annoksen tilavuus muuttuu vertailtavien vaihtoehtojen välillä. Kaudella 2019 muovipullot sisältävät 0,5 litraa juotavaa. Sen sijaan kaudella 2020 0,5 litran kartonkikupit täytetään siten, että ne sisältävät vain 0,4 litraa juotavaa.

Nyt kun juoman valmistus on rajattu laskennan ulkopuolelle, sillä oletuksella, että juoman valmistamisesta syntyvät päästöt ovat samat vertailtavien kausien eri tarjoilumetodeista huolimatta, ero kerta-annoksessa näkyy vain jäähdytysenergian tarpeen laskennassa. Käytännössä kaudella 2020 juotavaa kuluu kuitenkin 300 litraa vähemmän, mikäli kertaostoksien määrä pysyy samana. Muutos heijastuu eteenpäin ketjussa esimerkiksi niin, että jäähdytysenergian tarve pienenee kausien välillä. Tässä tutkimuksessa se ei kuitenkaan aiheuta virhettä, sillä kyse on tapahtuman eikä tuotteiden hiilijalanjäljistä, minkä lisäksi tutkimuskysymys on esitetty niin, että jäähdytysenergian tarve otetaan huomioon. Jos itse jäähdytystapa muuttuu kausien välillä, se ei ole muovin korvaamisesta johtuvaa. Tämän vuoksi jäähdytykseen molemmilla kausilla voidaan käyttää samoja oletuksia.

Viimeinen virhetekijä ovat tuotteiden loppukäyttöihin liittyvät laskennat. Materiaalien kierrätyksen päästöarvot on kaikki otettu eri tutkimuksista, jolloin niiden vertaileminen sisältää useita mahdollisia virhelähteitä. Vanhojen kartonkikuppien kohdalla kierrätyksen arvoa ei voida erottaa muusta tutkimuksesta, jota työssä on lainattu, minkä lisäksi tutkimuksessa kierrätykselle on käytössä eri metodi, kuin todellisuudessa. Valmiissa tutkimuksessa kierrätyksen laskettiin tapahtuvan EU:n kierrätyskeskiarvojen mukaan, jolloin 30 % käytetyistä kuppeista päättyy kaatopaikalle, 34 % poltetaan, 36 % kierrätetään. Todellisessa tilanteessa kupit olisivat päättyneet Riihimäen ekojalostamolle, missä suuri osa niistä poltettaisiin eikä kaatopaikkasäilytystä tapahtuisi. Uusissa kartonkikupeissa materiaalin kierrätyspäästöissä taas on käytetty arvoa, joka kattaa sekä paperin että kartongin kierrätyksen. Arvon luotettavuutta on täten vaikea arvioida, minkä lisäksi se ei myöskään sisällä sitä, jos muovikalvo tulee kartonkikupeissa poistaa ennen muun materiaalin hyödyntämistä. Muovipullojen kohdalla kierrätysarvo on saatu suoraan PET-pulloihin liittyvästä tutkimuksesta, jolloin se voi olla lähimpänä oikeita kierrätystuloksia.

5 POHDINTA URHEILUTAPAHTUMAN TUOTEMUUTOKSESTA

Tässä osiossa pohditaan vielä hiukan syvemmin kausien 2019 ja 2020 välillä tapahtuvaa tuotemuutosta. Ensin tarkastellaan lisää jätteisiin liittyviä asioita ja arvioidaan ihmisten käyttämisen vaikutusta jätemääriin ja tätä kautta hiilijalanjälkilaskennan lopputuloksiin. Sitteen tarkastellaan case-tutkimuksen ulkopuolelle jääneiden 1000 muovikupin kohtaloa ja hiilijalanjälkeä. Viimeisenä lasketaan muovin määrän vähenemistä ja pohditaan sen merkitystä.

5.1 Katsojien vaikutus tuotteiden hiilipäästöihin

Kierrätys ja loppukäyttö aiheuttavat merkittävän osan tuotteen elinkaaren hiilidioksidipäästöistä ja kierrätyksellä voidaan vaikuttaa paljon siihen, miten iso tuotteen hiilijalanjälki lopulta on, oli kyse sitten muovi- tai kartonkituotteesta (Foteinis 2020, 1; VTT 2019, 6; Hillman et al. 2015, 50.) Esimerkiksi VTT:n raportin mukaan kartonkikupin hiilijalanjälki voitavallisen kartonkikupin kohdalla tippua 54 %, jos se Euroopan yleisten kierrätysstandardien sijaan kierrätetään 100 prosenttisesti (VTT 2019, 6). Yleisesti kartonkituotteen kierrättäminen on usein aina ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin kartonkituotteen polttaminen tai kaatopaikkasijoitus (Villanueva & Wenzel 2007, S45.)

Tässä työssä hiilijalanjälki on laskettu niin, että kaudella 2020 käytettyjen pienten kartonkikuppien kierrätysaste kartonkina on 60 %. Tutkitaan, miten ihmisten kierrätyskäyttäytyminen vaikuttaa tässä tilanteessa ja kuinka paljon kierrätysarvon kasvaminen tai väheneminen vaikuttaa pienten kartonkikuppien hiilijalanjälkeen. Vaikutukset kohdistuvat silloin sekä kuljetuspäästöihin, että materiaalikierrätykseen. Koska kuljetuspäästöt on jaettu massojen mukaan, kierrätysasteen muuttaminen muuttaa kartonkikeräykseen menevän massan määrää ja näin myös isojen kuppien päästöjä, mutta sitä ei ole käsitelty tässä.

Tuloksena nähdään, että kierrätyksellä tosiaan on vaikutusta kartonkikupin hiilijalanjälkeen, sillä kaikkien käytettyjen kuppien kierrättäminen vähentäisi sitä 25 %, siinä missä kierrätysasteen tippuminen taas nostaisi sitä. Tulokset on koottu alla olevaan taulukkoon. Kierrätyksen vaikutus hiilijalanjälkeen on tehty vertaamalla muutoksen aiheuttamaa hiilijalanjälkeä nykyiseen laskelmaan.

Taulukko 6. Kierrätyksen vaikutus pienen kartonkikupin hiilijalanjälkeen

Kierrätysaste	30 %	60 % (nykyhetki)	80 %	100 % (kaikki kierrätetään)
Kuljetuspäästöt [kgco2 ekv]	29,3 + 2,8	29,3 + 4,0	29,3 + 4,6	29,3 + 5,0
Kierrätys [kgco2 ekv]	-14,4	-28,8	-38,4	-48
Vaikutus kar- tonkikupin hii- lijalanjälkeen (%)	+13 %	0	-11 %	-25 %

Kierrätyksen vaikutusta arvioitaessa tulee kuitenkin muistaa, ettei kierrätys tässä tilanteessa ole aina pelkästään katsojan käsissä. Jos käytetty kartonkikuppi on likainen, ei sitä voida kuluttajan toiveesta huolimatta kierrättää kartonkina. Askel kohti 100 % kierrätystä olisi kehittää keino puhdistaa käytetyt kupit kierrätysprosessin yhteydessä. Toinen vaihtoehto olisi tarjoilla likaantumista aiheuttavat elintarvikkeet, kuten kartonkikupeissa tarjottavien makkaroiden kastikkeet, erillisessä tarjoiluastiassaan. Tämä kuitenkin lisäisi tarpeen kokonaan uudelle tuotteelle elinkaarineen, mikä tuskin olisi kestävä kehityksen tai kertakäyttökulttuurin vähentämisen kannalta järkevä ratkaisu. Joka tapauksessa, jos otteluiden kierrätysohjeistus toteutetaan hyvin, voidaan sillä lisätä katsojien kiinnostusta ja tietämystä kierrätystä kohtaan. Kaikki eivät esimerkiksi tiedosta sitä, että kartonkikeräykseen ei tule laittaa kontaminoitunutta materiaalia.

5.2 Muovikuppien merkitys otteluiden hiilijalanjälkeen

Case-vertailussa jätettiin tarkastelematta kokonaan kaudella 2019 käytössä olleet 1000 muovikuppia tiedonpuutteen ja tuotteiden vähäisen kokonaismäärän vuoksi. Tutkittaessa muovilaseja tuotteena voidaan kuitenkin olettaa, että ne valmistetaan polypropeenista. Plasticseuroven materiaalitietojen pohjalta tiedetään, että yhden polypropeeni kilogramman valmistaminen tuottaa 1,63 hiilidioksidiekvivalenttikiloa (Plasticseurope 2014, 4.) Jos oletetaan

muovin keskimääräiseksi painoksi 3,2 grammaa (Garrido & del Castillo 2007, 253), niin otteluissa käytettyjen kuppien materiaalipäästöt ovat noin 5,2 kilogrammaa.

Tämän jälkeen PP-hartsit tulevat edelleen muotoilla kupeiksi ja valmis tuote kuljettaa otteluihin. Koska muovikuppien alkuperää ei tunneta, on kuppien poistolla saatavaa todellista hiilijalanjäljen muutosta vaikea arvioida, puuttuvien kuljetuspäästöjen vuoksi. Garridon ja del Castillon tekemän tutkimuksen (2007, 256) mukaan pääosa polypropeenikupin ympäristövaikutuksista eri vaikutuskategorioissa, myös hiilipäästöissä, syntyy kuitenkin juuri PP:n ja kupin valmistamisesta, joten käytettyjen muovikuppien hiilipäästöt eivät todennäköisesti nouse kovin korkeiksi. Lisäksi jos mietitään muovikuppien loppukäyttöä polttamalla, saadaan siltäkin todennäköisesti pieni miinus hiilijalanjälkeen. Myöskään kuppien kuljetuspäästöt niiden pienen kokonaismäärän vuoksi ovat tuskin korkeita.

5.3 Muovin määrän väheneminen

Kiinnostava muutos ottelukausten välillä on muovin väheneminen. Yksi puolen litran virvoitusjuomapullo sisältää 27,4 grammaa muovia (Amienyo et al. 2013, 79.) Muovista valmistetun kertakäyttökupin muovimäärä saadaan suoraan sen painosta, jolloin se on 3,2 grammaa (Garrido & del Castillo 2007, 253.) Jos muovin vähenemisessä halutaan tarkastella öljypohjaisen muovin vähenemistä, voidaan lisäksi ottaa mukaan kartonkikuppien pinnoitteissa käytettävät muovit. Kartonkikupeissa kuppeihin laitettavat barrier-kerrokset valmistetaan yleensä matalatiheyksisestä polyeteenistä ja kerroksen paksuus on noin 8-18 g/m² (Kuusipalo 2008, s. 161). Jos kupin pinta-alaksi arvioidaan 0,018 m², niin siirtyminen Stora Enson uusiin kokonaan kasvipohjaisiin kuppeihin vähentää öljypohjaista muovia 2 - 4,7 kilogrammaa ottelukautta kohden. Kaiken kaikkiaan öljypohjainen muovi tulee vähenemään tuotemuutosten seurauksena noin 90 kg. Tarkka laskenta on esitetty liitteissä (Liite 5).

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn lähtökohtana oli selvittää, miten muovituotteiden korvaaminen kartonkituotteilla vaikuttaa urheilutapahtuman hiilijalanjälkeen. Tarkasteltavaksi urheilutapahtumaksi valittiin työn teettäjän toiveesta IPV:n Imatran superpesis-ottelut kausilla 2019-2020. Hiilijalanjälkien laskenta on rajattu ainoastaan tarkasteltaviin tuotteisiin, jolloin niiden mahdollisesti sisältämät elintarvikkeet eivät sisälly mukaan. Lisäksi työn laskentaa rajataan jättämällä huomiotta tarkastelun kohteena olevien muovi- ja kartonkituotteiden materiaalien mahdollinen kierto uusiksi tuotteiksi. Tavoitteena oli näin elinkaarimallinnuksen keinojen avulla selvittää, miten ja minkälaisen muutoksen muovituotteiden korvaaminen kartonkituotteilla urheilutapahtuman hiilijalanjälkeen aiheuttaa. Toisena tavoitteena laskettiin tuotemuutoksella saatava muovin määrän väheneminen.

Laskenta suoritettiin vertaamalla tuotteita kahden eri toiminnallisen yksikön avulla. Laskennan tuloksena voidaan todeta, että muovipullojen korvaaminen kartonkikuppeilla vähentää tapahtuman hiilijalanjälkeä 310 kilogrammaa. Kartonkikuppien välinen tarkastelu sen sijaan osoittaa hiilijalanjäljen vähenevän 26 kilogrammaa. Vähennys hiilijalanjäljessä aiheutuu suurimmaksi osaksi tuotteiden valmistusvaiheesta. Yhteensä öljypohjaisen muovin määrä vähenee noin 90 kg. Johtopäätöksenä tuloksista voidaan sanoa, että muovituotteiden korvaaminen kartonkituotteilla vähentää valitun urheilutapahtuman hiilijalanjälkeä sekä pienentää muovin kulutusta.

Tuotteiden kierrätettävyydellä sekä ottelun katsojilla on kuitenkin vaikutusta siihen, minkä suuruinen tuotemuutosten aiheuttama hiilijalanjäljen pieneneminen on. Näin ollen todellinen tulos tällä laskennalla voitaisiin nähdä vasta, kun tiedetään, kuinka kuluttajat reagoivat tuotemuutoksiin ja niiden seurauksena uusiin kierrätysmetodeihin urheilutapahtumassa. Kierrätettävyyteen vaikuttavat lisäksi käytettyjen tuotteiden puhtaus.

Case-tarkastelun avulla tärkeäksi havaittiin se, kuinka systeimirajauksella sekä erilaisilla oletuksilla voi olla merkittävä vaikutus hiilijalanjäljen laskentaan. Muun muassa laskennan pohjana käytettyjen lähdetutkimusten erilaisten lähtökohtien vuoksi voidaan saatua tulosta

siten pitää epävarmana. Tarkan tuloksen aikaansaamiseksi ottelukausille ja niissä käytettäville tuotteille tulisi tehdä standardin mukainen LCA-laskenta ja vertailu. Laskennan tekeminen vaatisi lisäksi tarkempaa selvitystä ja datan keruuta turhien oletusten vähentämiseksi. Tulevaisuudessa tutkimus kannattaisi viedä elinkaaren rajauksen osalta pidemmälle ja selvittää tuotteiden sijaan koko materiaalien elinkaari ja sen aiheuttamat päästöt. Vasta tällöin päästäisiin kokonaisvaltaiseen kuvaan muutoksen suuruudesta. Lisäksi muovituotteiden korvaamisen ympäristövaikutuksia kannattaisi tarkastella laajemmin myös muiden, kuin pelkän hiilijalanjäljen avulla ja huomioida esimerkiksi tuotantoon käytettävän primäärienergian sekä raaka-aineiden määrät.

LÄHTEET

Aalto-yliopisto. 2018. Ligniinin avulla eroon fossiilisista materiaaleista. [verkkojulkaisu]. [julkaistu: 12.9.2018]. Saatavissa: <https://www.aalto.fi/fi/uutiset/ligniinin-avulla-eroon-fossiilisista-materiaaleista>

Amienyo David et al. 2013. Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks. [tiedelehtiartikkeli]. Julkaisupaikka: The International Journal of Life Cycle Assessment 18, 77–92. [viitattu: 25.3.2020] Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/article/10.1007%2Fs11367-012-0459-y>

Chen Luyi, Pelton Rylie, Smith Timothy. 2016. Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. [tiedelehtiartikkeli]. Julkaisupaikka: Journal of Cleaner Production, Vol.137, p.667-676. [viitattu: 22.3.2020] saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0959652616309908?via%3Dihub#bib50>

Dauvergne Peter. 2018. Why is the global governance of plastic failing the oceans? [tiedelehtiartikkeli]. Julkaisupaikka: Global Environmental Change July 2018, Vol.51 pp.22-31. [viitattu: 22.3.2020] saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378017314140>

Deshwal Gaurav, Panjagari Narender, Alam Tanweer. 2019. An overview of paper and paperbased food packaging materials: health safety and environmental concerns. [tiedelehtiartikkeli]. Julkaisupaikka: Journal of Food Science and Technology Vol. 56(10), pp.4391-4403. [viitattu: 23.3.2020] Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/article/10.1007%2Fs13197-019-03950-z>

EKJH. 2019. Kartonki. [EKJH nettisivuilla]. [Viitattu: 20.5.2020]. Saatavissa: <https://www.ekjh.fi/index.php/kartonki-lajittelu/>

Foteinis Spyros. 2020. How small daily choices play a huge role in climate change: The disposable paper cup environmental bane. [e-artikkeli]. Julkaisupaikka: Journal of Cleaner Production vol. 255, 8. [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0959652620303413?via%3Dihub#bib20>

Garrido N, Alvarez del Castillo MD. 2007. Environmental Evaluation of Single-Use and Reusable Cups. [tiedelehtiartikkeli]. Julkaisupaikka: The International Journal of Life Cycle Assessment vol.12(4) 252-256. [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/content/pdf/10.1065/lca2007.05.334.pdf>

Gigantti. 2020. Electrolux jääkaappi. [nettisivusto]. [viitattu: 20.2.2020]. Saatavissa: <https://www.gigantti.fi/product/kodinkoneet/jaakaapit-ja-pakastimet/jaakaapit/ERF4115DOW/electrolux-jaakaappi-erf4115dow-185-4-cm>

Gironi Fausto, Vincenzo Piemonte. 2010. Life cycle assessment of polylactic acid and polyethylene terephthalate bottles for drinking water. [e-artikkeli]. Julkaisupaikka: Environmental Progress & Sustainable Energy, vol. 30(3), pp.459-468. [viitattu: 15.3.2020] Saatavissa: <https://aiche-onlinelibrary-wiley-com.ezproxy.cc.lut.fi/doi/full/10.1002/ep.10490>

Hillman Karl. et al. 2015. Climate Benefits of Material Recycling Inventory of Average Greenhouse Gas Emissions for Denmark, Norway and Sweden. 87. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:839864/FULLTEXT03.pdf>

Hauschild Michael, Toimittaja: Huijbregts Mark & SpringerLink. Julkaisija: Dordrecht: Springer Netherlands. 2015. Life Cycle Impact Assessment. [verkkokirja] Julkaisupaikka: Springer eBooks. [viitattu: 28.3.2020]. Saatavissa: <https://link-springer-com.ezproxy.cc.lut.fi/content/pdf/10.1007%2F978-94-017-9744-3.pdf>

Huang Qiao et al. 2020. 12. Modelling the global impact of China's ban on plastic waste imports. [e-artikkeli]. Julkaisussa: Resources, Conservation and Recycling 154. [viitattu:

20.3.2020]. Saatavissa: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0921344919305130?via%3Dihub>

Imatran Seudun Sähkö Oy. Sähkön alkuperä. [verkkosivu]. [viitattu: 2.3.2020] Saatavissa: <https://www.issoy.fi/konserni/ymparisto>

Järvinen Pasi. 2016. Muovien kierrätys ja hyötykäyttö Suomessa. Elina Saarinen. Porvoo: [söderkulla]: Muovifakta Oy. 127. ISBN: 978-952-93-7324-6

Kohvakka Johanna, Lehtinen Liisa. 2019. Hyvä, paha muovi – vähennä viisaasti. Helsinki: Minerva Kustannus Oy. 182. ISBN 978-952-312-812-5

Kuusipalo Jukka. 2008. Paper and Paperboard Converting. Helsinki: Paperi ja Puu Oy, 346. ISBN 978-952-5216-28-8

LIPASTO a. 2016. Pakettiauto. [verkkajulkaisu] päivitetty: 6.7.2017. [viitattu: 1.4.2020]. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kajakpienitie.htm>

LIPASTO b. 2016. Tunnusluvut. [verkkajulkaisu] päivitetty: 2.10.2017. [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tunnusluvut/tunnusluvuttie.htm>

LIPASTO c. 2016. Täysperävaunuyhdistelmä. [verkkajulkaisu] päivitetty: 6.7.2017. [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kavp60tie.htm>

LIPASTO d. 2016. Henkilöauto. [verkkajulkaisu] päivitetty: 6.7.2017. [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/henkiloliikenne/tieliikenne/henkiloautot/hakeskimaarin.htm>

Plasticseurope 2014. Eco-profiles; PP resin. Eco-profiles and Environmental Product Declarations of the European Plastics Manufacturers – Polypropylene (PP). 45. [verkkajulkaisu online-tietokannassa]. päivitetty: 2016. [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: https://www.plasticseurope.org/download_file/766/0

Plasticseurope 2020. Eco-profiles. [online-tietokanta]. [viitattu: 28.3.2020]. Saatavissa: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/eco-profiles>

SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. [verkkodokumentti] [viitattu: 1.4.2020] Saatavissa: <https://online-sfs-fi.ezproxy.cc.lut.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/1/12351.html.stx>

Stora Enso. 2019. Muovia korvaavia tuotteita, jotka kasvavat suomalaisesta metsästä. [verkkojulkaisu] [julkaistu: 30.7.2019]. [viitattu: 5.4.2020] Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/news/2019/7/products-that-come-from-the-finnish-forest>

Stora Enso. 2020. Päälysteratkaisut. [verkkojulkaisu Stora Enson sivuilla]. [viitattu: 15.5.2020]. Saatavissa: <https://www.storaenso.com/fi-fi/products/paperboard-materials/barrier-coatings>

Valkeapää Jani. 2020. Urheilutoimenjohtaja, IPV. Imatra. Tapaaminen/haastattelu. 20.2.2020.

Villanueva Alejandro, Henrik Wenzel. 2007. Paper waste – Recycling, incineration or landfilling? A review of existing life cycle assessments. [e-artikkeli] Julkaisussa: Waste Management Vol. 27(8), pp. S29-S46. [viitattu: 1.4.2020] saatavissa: <https://www-science-direct-com.ezproxy.cc.lut.fi/science/article/pii/S0956053X07000712?via%3Dihub>

VTT. 2019. Taking a closer look at paper cups for coffee. [verkkojulkaisu]. [viitattu: 13.3.2020]. Saatavissa: <https://www.huhtamaki.com/globalassets/global/highlights/responsibility/taking-a-closer-look-at-paper-cups-for-coffee.pdf>

Väisänen Sanni. 2014. Greenhouse gas emissions from peat and biomass-derived fuels, electricity and heat - Estimation of various production chains by using LCA methodology. Väitöskirja, yhteenveto-osa. LUT yliopisto. Lappeenranta. [viitattu: 20.5.2020]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-265-557-8>

LIITTEET

MUOVIPULLOT			
valmistus			
määrä	3000,00	kpl	
hiilijalanjälki pelkkä pullo	87,00	gCO2ekv	lähde: Amienyo et al. 2013
yht	261000,00	g	
	261,00	kg	
jäähdytys			
kylmäkaappien määrä	3,00		
energiankulutus	148,00	kWh/a	lähde: Gigantti 2020
tuotetun sähkön päästöt	258,38	g/kWh	lähde: ISSOY 2018
päästöjä	114720,72	g	
	114,72	kg	
kuljetus			
iisalmi -> imatra	330,00	km	lähde: Google maps
edestakaisia matkoja	2,00		
	täysi	tyhjä	
pakettiauto 2,7t/1,2t EURO 6	180,00	149,00	gCO2ekv/km
			lähde: LIPASTO a. 2016
päästöt	118800,00	98340,00	g
	118,80	98,34	kg
	yht	217,14	kg
yhden pullon massa	2,74	g	lähde: Amienyo et al. 2013
pullot + juomat paino yht.	1508,22	kg	
pullot + juomat paino yht. per matka	754,11	kg	
pullojen massa per matka	4,11	kg	
pullojen osuus kuormasta per matka	0,01		
pullojen osuus päästöistä	1,18	kg	
kierrätys			
	-11,40	kgCO2/1000 pulloa	lähde: Gironi & Piemonte 2010
	-34,20	kgCO2	
yht		342,70	kg

Liite 1. Muovipullojen hiilijalanjälki

KARTONKIKUPIT**valmistus**

määrä	3000,00 kpl	
hiilijalanjälki	11,80 gCO ₂ ekv	lähde: Kujanpää, sähköpostiviesti 13.3.2020
	35400,0	
yht	0 g	
	35,40 kg	

kuljetus paikalle

hämeenlinna -> imatra	260,00 km	lähde: Google maps
matkoja	1,00	
	täysi tyhjä	
pakettiauto 2,7t/1,2t EURO 6	180,00 149,00	gCO ₂ ekv/km lähde: LIPASTO a. 2016
isojen kuppien osuus kuormasta	0,27	
	12763,6	
päästöt	4 g	
	12,76 kg	

jäähdytys

Q=c*m*dt		
c	4,19 kJ/kg	
m	1200,00 kg	
dt	12,00	
	60278,4	
Q	0 kJ	
	60,28 MJ	
	16,74 kWh	
päästöt	258,38 g/kWh	lähde: ISSOY2018
	4326,31 g	
	4,33 kg	

kuljetus kierrätykseen

stadion-papinniemi	5,00 km	lähde: Google maps
matkoja	1,00	
		lähde: Ilvonen, sähköpostiviesti 28.2.2020
kulutus	0,45 l/km	
päästö fossiilinen diesel	2660,00 g/l	lähde: LIPASTO b. 2016
päästö yht	2301,92 g	
isojen kuppien osuus	0,38	
päästöt kupeille	885,36 g	

		0,89 kg	
papinniemi -> varkaus matkoja	170,00 km		lähde: Google maps
isojen kuppien massa	45,00 kg		
täysperävaunun yhdistelmä EURO 6	60t/40t	täysi tyhjä	lähde: LIPASTO c. 2016
	1193,00	781,00 gCO2 ekv/km	
päästöjä syntyy	202810,00		gCO2 ekv
päästö per kg	5,07		gCO2 ekv
päästö per kupit	228,16		g
	0,23		kg
	1,11		kg
kuljetus yhteensä siis	13,88 kg		
kierrätys			
kierrätyksen "säästö"	-0,40 aalia	kg/kg materi-	lähde: Hillman et al. 2015
säästö	-18,00 kg		
yht	35,60 kg		

Liite 2. Kartonkikuppien (2 PE green) hiilijalanjälki

kartonkikuppi			
määrä	15000,00		
hiilijalanjälki	8,10	gCO2ekv	lähde: Kujanpää, sähköposti 13.3.2020
yht	121500,00	g	
	121,50	kg	

Liite 3. Kartonkikupin (PE) hiilijalanjälki

kartonkikuppi			
valmistus pieni 0,28l			
määrä	15000,00		
hiilijalanjälki	5,80	gCO2ekv	lähde: Kujanpää, sähköposti 13.3.2020
yht	87000,00	g	
	87,00	kg	

kuljetus paikalle			
hämeenlinna -> imatra	260,00	km	lähde: Google maps
matkoja	1,00		
	täysi	tyhjä	lähde: LIPASTO a. 2016
pakettiauto 2,7t/1,2t EURO 6	180,00	149,00	gCO2ekv/km
pienien kuppien osuus kuormasta	0,73		
päästöt	34036,36	g	
	34,04	kg	
kuljetus pois			
stadion-papinniemi	5,00	km	lähde: Google maps
matkoja	1,00		
			lähde: Ilvonen, sähköpostiviesti
kulutus	0,45	l/km	28.2.2020
päästö fossiilinen diesel	2660,00	g/l	lähde: LIPASTO b.2016
pikkukuppien osuus massasta	0,62		
päästö yht	3683,08	g	
	3,68	kg	
papinniemi -> varkaus	170,00	km	lähde: Google maps
matkoja	1,00		
kuorman massa	72,00	kg	
	täysi	tyhjä	lähde: LIPASTO c. 2016
täysperävaunuyhdistelmä 60t/40t			
EURO 6	1193,00	781,00	gCO2 ekv/km
päästöjä syntyy	202810,00		gCO2 ekv
päästö per kg	5,07		gCO2 ekv
päästö per pikkukupit	365,06		g
	0,37		kg
	4,05		
kuljetus yhteensä siis	38,08		
kierrätys			
		kg/kg materi-	
kierrätyksen "säästö"	-0,40	aalia	lähde: Hillman et al. 2015
säästö	-28,80	kg	
yht	96,28	kg	

Liite 4. Kartonkikupin (PE green) hiilijalanjälki

muovin määrä			
	2019,00	2020,00	
muovipullot	3000,00	0,00	
kartonkikupit	15000,00	0,00	
muovikuppi	1000,00	0,00	
stora kupit pieni	0,00	15000,00	
stora kupit suuri	0,00	4000,00	
muovipullo massa	27,40	g	lähde: Amienyo et al. 2013
muovia	27,40	g	
säästö	82,20	kg	
muovikuppi massa	3,20	g	lähde: Garrido & del Castillo 2007
muovia	3,20	g	
säästö	3,20	kg	
kartonkikuppi (PE)			
halkaisija pohja	0,055	m	lähde: laskettu itse
halkaisija katto	0,074	m	lähde: laskettu itse
pohjan ala	0,002	m ²	
katon ala	0,004	m ²	
korkeus	0,085	m	
tilavuus	0,000	m ³	
vaipan ala	0,017	m ²	
muovia per pinta-ala	8-18	g/m ²	lähde: Kuusipalo 2008, 161
muovia per kuppi min	0,14	g	
muovia per kuppi max	0,31		
muovia yht min	139,41	g	
muovia yht max	313,68	g	
yht	0,14	kg	
yht	0,31	kg	
muovin kokonaismäärä min		85,54	kg
muovin kokonaismäärä max		85,71	kg

Liite 5. Muovin määrän väheneminen

kuivajätteen kierrätyspäästöt			
pienen kartonkikupin massa	8,00	g	lähde: Foteinis 2020
ison kartonkikupin massa	15,00	g	lähde: Foteinis 2020

isoja kuppeja	3000,00	kpl			
pieniä kuppeja	15000,00	kpl			
kuljetuspäästöt					
pienten kuppien kierrätysaste	1,00	0,80	0,60	0,30	
	12000,00	96000,00	72000,00	36000,00	
pienten kuppien massaosuus kuormasta	0,73	0,68	0,62	0,44	
stadion-papinniemi	5,00	km			lähde: Google Maps
matkoja	1,00				
kulutus	0,45	l/km			lähde: Ilvonen, sähköposti- viesti 28.2.2020
päästö fossiilinen diesel	2660,00	g/l			lähde: LIPASTO b.2016
päästö yht	4352,73	4074,89	3683,08	2660,00	
	4,35	4,07	3,68	2,66	
papinniemi -> varkaus	170,00	km			lähde: Google maps
matkoja	1,00				
kuorman massa	120,00	96,00	72,00	36,00	
	täysi	tyhjä			lähde: LIPASTO c. 2016
täysperävaunuyhdistelmä 60t/40t EURO 6	1193,00	781,00	gCO2 ekv/km		
päästöjä syntyy	202810,00		gCO2 ekv		
päästö per kg	5,07		gCO2 ekv		
päästö per kg	5,07				g
päästö per pikkukuppien osuus	608,43	486,74	365,06	182,53	kg
kuljetuspäästöt yht	4,96	4,56	4,05	2,84	
kierrätys					
kierrätyksen "säästö"	-0,40	kgCO2/kg materiaalia			lähde: Hillman et al. 2015
	-48,00	-38,40	-28,80	-14,40	
päästöt yht.	78,00	87,20	96,28	109,48	
kierrätysasteen vaikutus päästöihin (%)	-0,23	-0,10	0,00	0,12	

Liite 6. Kierrätysasteen vaikutus kartonkikupin hiilijalanjälkeen