



PUSSISUODATTIMIEN HIILIJALANJÄLKI

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Ympäristötekniikan kandidaatintyö

2022

Atso Härkönen

Tarkastaja: TkT Sanni Väisänen

Ohjaaja: TkL Simo Hammo

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Lut School of Energy systems

Ympäristötekniikka

Atso Härkönen

Pussisuodattimien hiilijalanjälki

Ympäristötekniikan kandidaatintyö

2022

28 sivua, 8 kuvaa ja 3 liitettä

Tarkastaja: TkT Sanni Väisänen

Ohjaaja: TkL Simo Hammo

Avainsanat: Hiilijalanjälki, ilmastonmuutos, hiilidioksidipäästöt, kasvihuonekaasut

Tämä kandidaatintyö käsittelee Leanfil pussisuodattimen hiilijalanjälkeä. Työ toteutetaan hiilijalanjälkilaskentana ja tuloksissa vertaillaan kolmen erilaisen suodattimen päästöjä, joista kaksi muuta ovat yleisesti käytössä olevia suodattimia. Työ sisältää teoriaosuuden sekä työn taustaa käsitteleviä asioita, kuten ilmastonmuutosta sekä hiilidioksidipäästöjä. Lisäksi tuloksien esitystapana käytetään esimerkkinä LUT-yliopiston vuosittaista suodatintarvetta. Eniten huomiota kiinnitettiin materiaalien välisiin eroihin, ja niiden aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin.

Tuloksista oli nähtävissä, että uusi innovaatio on perinteisiä suodattimia ympäristöystävällisempi varsinkin materiaalien osalta. Yhden Leanfil suodattimen päästöt olivat 3.5 kgCO₂ -ekv/a, kun taas perinteisten suodattimien päästöt olivat noin 4.5–6 kgCO₂ -ekv/a per suodattin. LUT-yliopiston kokoisessa rakennuksessa muovi- tai teräsrunkoisten suodattimien korvaaminen Leanfil suodattimilla vähentäisi päästöjä 1000–2500 kgCO₂ -ekv/a.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Environmental Technology

Atso Härkönen

The carbon footprint of air filters

Bachelor's thesis

2022

28 pages, 8 figures and 3 appendices

Examiner: Associate Professor Sanni Väisänen

Instructor: Laboratory Engineer Simo Hammo

Keywords: Carbon footprint, climate change, CO₂ emissions, greenhouse gas emissions

This bachelor's thesis aims to calculate the carbon footprint of air filters. Study concentrates on beginning of air filter's life cycle. Calculation covers filters' production, materials, and transportation from factory to LUT-university, which is this study's example user of air filters. Study includes theory sections about ventilation and carbon footprint calculations and used standards. Calculations are based on CO₂ factors and weights of materials, with some exclusions. Calculations were done by comparing three different type of air filters, based on their frame materials. Rest of the air filters' life cycle emissions are calculated in another study.

Leanfil filter produces emissions around 3.5 kg CO₂-eq. Filters with plastic frames produces 4.5 kg CO₂-eq and steel framed filters around 6 kg CO₂-eq per filter. Results came out to show that innovation reduces CO₂ emissions 1 to 2.5 kg CO₂-eq per air filter. LUT-university's yearly filter usage is about 1000 filters. So, that is about 1000-2500 kg CO₂-eq.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Yksiköt

a	vuosi
CO ₂ -ekv	hiilidioksidiekvivalentti
g	gramma
kg	kilogramma
km	kilometri
kWh	kilowattitunti
t	tonni

Lyhenteet

kpl	kappalemäärä
LNG	nesteytetty maakaasu

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Symboli- ja lyhenneluettelo

1. Johdanto.....	6
1.1. Työn taustaa	6
1.2. Työn tarkoitus	6
1.3. Työn tavoitteet	7
2. Ilmanvaihto sekä vertailtava suodatinlaitteisto	8
2.1. Koneellinen ilmanvaihto	8
2.2. Erilaiset pussisuodatintyypit	8
2.3. Uusi innovaatio	9
3. Hiilijalanjälki	10
3.1. Rajaukset	10
3.2. Materiaalit	11
3.3. Tuotanto	12
3.4. Kuljetus	12
4. Tulokset	14
4.1. Teräsrunkoisen suodattimen päästöt	14
4.2. Muovirunkoisen suodattimen päästöt	16
4.3. Leanfil suodattimen päästöt	17
4.4. Case LUT – pussisuodattimien vertailu	19
5. Johtopäätökset	22
6. Yhteenveto.....	23
Lähteet	24

Liitteet

Liite 1. Päästökertoimet.

Liite 2. Hiilijalanjäljen muodostuminen.

Liite 3. Suodattimien hiilijalanjälki ja hiilijalanjälki – Case LUT

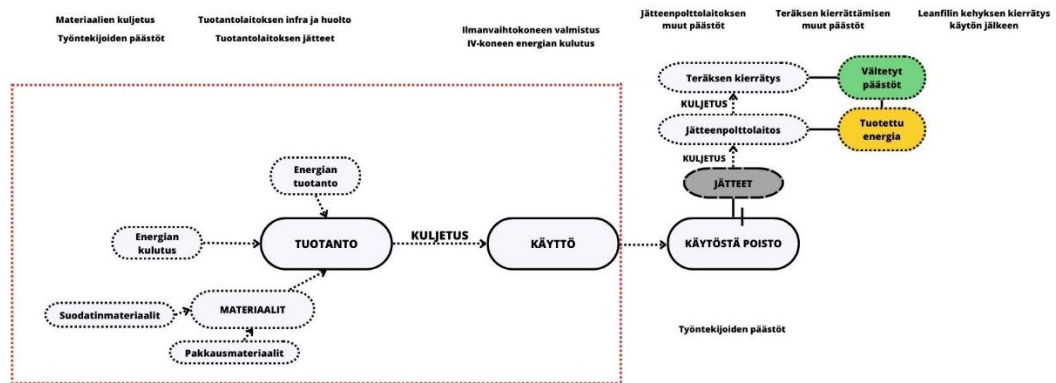
1. Johdanto

1.1. Työn taustaa

Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen jokapäiväisessä arjessa on osa kohti hiilineutraalia elämää suunnatessa. Jokainen rakennus, siihen liittyvä kone, tässä tapauksessa ilmanvaihto, vaikuttavat jollakin tapaa hiilidioksidipäästöihin, yleensä aina nostaten päästöjä. Ilmanvaihtokoneiden sisällä olevat pussisuodattimet ovatkin oiva tapa vähentää hiilidioksidipäästöjä rakennuksen käyttöänsä aikana.

1.2. Työn tarkoitus

Tämän kandidaatintyön tarkoitus on laskea hiilijalanjälki Leanfil Oy:n lanseeraamalle pussisuodatintyypille, ja selvittää millaisia mahdollisuuksia uusi innovaatio voisi tuoda rakennusten käytönaikaisen hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Ympäristöystävällisempi pussisuodatin tarjoaisi vaihtoehdon vähentää päästöjä jokaisessa suodattimen elinkaaren vaiheessa, jonka pussisuodatin yleensä kulkee. Työ on ensimmäinen, jossa pyritään selvittämään suoraan hiilijalanjälki kyseiselle tuotteelle. Tämä työ käsittelee tuotteen elinkaaren alkuosaa, joka käsittää reitin tuotannosta käyttökohteeseen. Tämän työn lisäksi toteutetaan toinen erillinen työ, joka koskee tuotteen elinkaaren loppuosaa.



Kuva 1. Elinkaarimallinnus ja työn rajaukset. Kuvan lähde: Atso Härkönen.

1.3. Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää mahdollisimman tarkka hiilijalanjälki pussisuodattimelle, minkä avulla tulevaisuudessa olisi entistä helpompi ottaa huomioon ilmanvaihdosta aiheutuvat päästöt rakennuksen hiilidioksidipäästöjä tarkastellessa. Myös muita ympäristövaikutuksia, kuten rahdin sekä kierrätykseen joutuvien materiaalien hiilidioksidipäästöjä pyritään selvittämään. Työ toteutetaan hiilijalanjälkilaskentana, jossa pyritään huomioimaan koko tuotteen elinkaaren alkuosa. Vertailukohtana laskennassa käytetään kolmea erityyppistä suodatinta. Työn tuloksia on tarkoitus käyttää jatkossa selvitetessä pussisuodattimien mahdollisuuksista rakennuksen hiilijalanjälkeä tarkkailtaessa.

2. Ilmanvaihto sekä vertailtava suodatinlaitteisto

2.1. Koneellinen ilmanvaihto

Jokaisessa rakennuksessa on olemassa jonkinlainen ilmanvaihto. Yleensä koneellinen, varsinkin suuremmissa rakennuksissa, kuten esimerkiksi tässä työssä esimerkkikohteena olevassa LUT-yliopistossa. LUT-yliopiston ilmanvaihto toteutetaan tulo- ja poistoilmanvaihtona, joka tarkoittaa, että tuloilma on ulkoilmaa, joka syötetään sisään rakennukseen. Poistoilma taas tarkoittaa rakennuksen sisältä poistuvaa ilmaa.

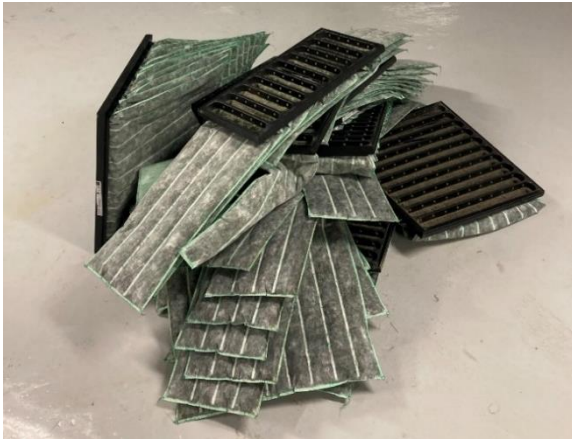
Sekä tulo- että poistoilmanvaihtokanavissa on tarpeellista olla välissä suodattimet, jotta ulkoilman epäpuhtaudet eivät pääse sisään rakennukseen, ja taas toisaalta sisäilman epäpuhtaudet eivät pääse takaisin ulkoilmaan. Ilmanvaihtokoneissa on siis paikat sekä tulo- että poistopuolella suodattimille, jotka keräävät näitä epäpuhtauksia talteen. [Cervi. 2022.]

2.2. Erilaiset pussisuodatintyypit

Pussisuodattimien päällimmäinen tarkoitus on poistaa epäpuhtauksia ilmasta, mutta siten, että raikas ja puhdas ilma pääsee rakennukseen ja rakennuksesta pois. Suodattimia vaihdetaan säännöllisesti, jotta rakennuksen ilmastointi toimisi sille tarkoitettulla tavalla. Tässä työssä tarkastellaan erilaisten suodatinratkaisujen ympäristövaikutuksia. Kaikki vertailussa käytettävät suodattimet ovat toiminnaltaan identtisiä eikä niiden välisiä eroja toimintaan huomioida tässä työssä. Alla on esitelty esimerkkejä laskennassa huomioiduista suodattimista. [Camfil. 2022.]



Kuva 2. Leanfil suodatin, pussiosa on asennettu kehyksen läpi. Kuvan lähde: Atso Härkönen.



Kuva 3. Muovirunkoinen perinteisiä pussisuodattimilla. Kuvan lähde: Atso Härkönen.

2.3. Uusi innovaatio

Työkaluja ilmastonmuutoksen hidastamiseksi on olemassa jo paljon, mutta uusia innovaatioita sekä työkaluja päästöjen vähentämiseksi tarvitaan. Tässä työssä on tarkoitus esittää Leanfil Oy:n kehittämän suodatintyyppin mahdollisuuksia päästöjen vähentämiseksi, sekä antaa laskettua dataa työn tilaajalle heidän tuotteestaan. Leanfil Oy:n kehittämä suodatintyyppi perustuu uudelleen käytettävään kehykseen. Pussisuodattimien materiaalin vaihdolla sekä uudelleen käytettävällä kehyksellä oletetaan olevan mahdollisuuksia vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöihin alentavasti, ja kyseessä on toimenpide, jolla olisi pitkän aikavälin mahdollisuus vaikuttaa.

3. Hiilijalanjälki

Hiilijalanjälki toimii työkaluna erinomaisesti, kun jonkin palvelun, tuotteen, yrityksen, organisaation tai vaikkapa henkilön ilmaston kuormittamista. Yleisiä päästöjä, joita vertaillaan ovat mm. hiilidioksidipäästöt, typpioksiduuli, metaani sekä erilaiset f-kaasut eli fluoratut kasvihuonekaasut. Tässä työssä keskitytään siis pussisuodattimen hiilijalanjäljen laskentaan, jonka avulla jatkossa on mahdollista selvittää mm. vaikutuksia rakennuksen käytönaikaisen hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Hiilijalanjälkilaskenta keskittyy hiilidioksidipäästöihin, joiden osuus kaikista kasvihuonekaasupäästöistä on noin 80%. [Halonen. 2022. 3.]

Tarkoitus on vertailla jo olemassa olevia pussisuodatinratkaisuja sekä Leanfil Oy:n kehittämän pussisuodatintyyppin hiilijalanjälkiä. Vertailussa käytetään elinkaariarviointia ja siihen liittyy erilaisia standardeja. Elinkaariajatteluun ja -mallinnukseen käytettäviä standardeja ovat ISO 14040 ja ISO 14044. Erikseen tuotteen hiilijalanjäljen laskentaa määrittelevä standardi on ISO 14067. [Halonen. 2022. 4.]

Laskennassa käytettäviä päästökertoimia niin materiaaleille, kuin kuljetusmuodoille on esitelty aina teorian ja laskennan yhteydessä. Kuljetusmuotojen päästökertoimia on käytetty VTT:n Lipaston tietokannoista (VTT:n Lipasto. 2016.) Materiaalien päästökertoimien lähteitä on esitelty laskennassa päästökertoimia käytettäessä.

Hiilijalanjälkeä laskettaessa tulokset, eli elinkaaren hiilidioksidipäästöt ilmoitetaan yleensä yksikössä [kg CO₂ -ekv], joka siis tarkoittaa käytännössä tuotteen elinkaaren aikaisien päästöjen aiheuttamaa ilmaston kuormittumista. [Halonen. 2022. 5.]

3.1. Rajaukset

Laskentaan liittyviä rajoituksia ja oletuksia on ollut käytössä tässä työssä. Laskentaan sisällytetään tuotantoenergia, kuljetukset sekä suodatinmateriaalit. Esimerkiksi tuotantolaitoksen

infra, huolto sekä jätteet jätetään huomioitta. Käytönaikaisia päästöjä tuotteessa ei juurikaan ole, ja tämän työn laskenta rajoittuu vain tuotantoon, materiaaleihin sekä tuotteen käyttöön-
oton vaiheeseen. (Kuva 1.) Laskennassa esitetään yhden suodattimen sekä LUT-yliopiston vuosittaisen suodatintarpeen, 1010 kappaleen, aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. 1010 suodatinta koostuu 505 suodattimesta, jotka vaihdetaan kahdesti vuodessa, jolloin uusia suodattimia kuluu vuodessa edellä mainittu 1010 kappaletta. Suodattimien koko on oletettu vakio-
kokoinen 592x592 millimetrinen suodatin, joita on LUT-yliopiston tiloissa siis 505 kappaletta paikoillaan koko ajan.

3.2. Materiaalit

Materiaaleissa huomioidaan kaikki suodattimen materiaalit, mutta tiettyjä oletuksia on tehty. Materiaalien osuutta laskettaessa on käytetty eri lähteistä saatuja päästökertoimia ja niiden sekä suodatinosien painojen avulla on saatu laskettua suodattimien osien tuottamisesta aiheutuneet hiilidioksidipäästöt. Perinteisen suodattimen vaatima tiivistenuha oletetaan olevan muovia, vaikka nauhassa on myös liimapinta. Perinteiset suodattimet pakataan pahvilaatikoihin siten, että kaksi suodatinta pakataan yhteen pahvilaatikkoon. Materiaaleissa on jätetty huomioitta mm. pienet määrät teippiä pahvilaatikoiden kyljessä sekä mahdolliset materiaalien lisäkulut kuljetuksiin liittyen. [Leanfil. 2022.]

Työhön tarvittavien suodatinosien ja pakkausmateriaalien painoja sai Leanfil Oy:ltä (Leanfil. 2022.) Materiaalien laskennassa huomioitiin Leanfil suodattimien irrotettavat kehykset, sekä pakkausmateriaalien tarve saatujen tietojen perusteella. Pussisuodattimen kangasmateriaalin oletettiin olevan samaa kaikissa suodatintyypeissä, vaikka tuotteiden välisiä eroavaisuuksia on. Lisäksi esimerkiksi alumiininen kehys on oletettu olevan lähes 100 % kierrätettyä materiaalia. Perinteisen suodattimen metallikehyksen kierrätysprosentti oletettiin olevan noin 50 %, joka on lähellä globaalin mittakaavan kierrätysastetta. Nämä kierrätysosuudet eivät ole aina täysin samat, joten on mahdollista, että esimerkiksi yksittäisten tuotteiden hiilijalanjäljissä on välillä eroja. Laskennassa käytettyjä päästökertoimia on esitetty liitteessä 1.

3.3. Tuotanto

Tuotannon osuudessa huomioidaan tuotantolaitoksen energialähteet. Tuotantolaitoksen infra, huolto ja jätteet jätetään huomioitta. Tuotannossa huomioidaan tuotantolaitoksen kohdemaan, tässä tapauksessa Liettuan, energiatase (Liettuan ministeriö. 2015.) Lisäksi oletuksena on käytetty keskikokoisen tuotantolaitoksen E-lukua, eli energiankulutusta per neliometri (Mikko Mäkitalo. 2016.) Lisäksi huomioidaan suodattimen valmistukseen tarvittava tila sekä tuotantovolyymi. Energiataseelle laskettiin keskiarvo eri energiamuotojen päästökertoimista, näitä olivat mm. maakaasu, nesteytetty maakaasu, öljy sekä uusiutuvat energialähteet. Laskennassa nesteytetyn maakaasun päästökerroin oletettiin hiukan pienemmäksi kuin maakaasun. Tällä tavoin saadaan laskettua tuotantoenergian päästöt ja tämä yhdistettynä tuotantovolyymiin saatiin selville tuotantoenergian päästöt per suodatin. Tuotantoenergian osuus on pieni koko suodattimen hiilijalanjäljestä, jolloin tehtiin oletus, että vertailtavien suodatintyyppien tuotantoenergian tarve, ja siten myös päästöt ovat suunnilleen samat.

3.4. Kuljetus

Kuljetukseen oletetaan käytettävän kaikkien matkojen ajan jakelukuorma-autoa, jolle saatiin päästökerroin VTT:n lipaston tietokannasta (VTT:n Lipasto. 2016.) Leanfil suodattimen kuljetukseen huomioidaan myös Suomenlahden ylitys autolautalla. Kuljetusmääriin vaikuttaa tarvittava tilan määrä. Esimerkiksi Leanfil suodattimen kuljetuksen päästöt on huomioitu vain puolikkaaksi, sillä vuoden suodattimet mahtuvat puolikkaaseen jakelautolliseen. Perinteiset suodattimet vievät tilaa noin 2.5 kuorman verran per vuosi. Kuljetuksessa käytettävä infra ja sen huoltaminen sekä EURO-lavojen käyttö ja kuluminen on jätetty laskennan ulkopuolelle.

Leanfil suodattimen matkaksi, Liettuasta LUT-yliopistolle, on saatu 801 kilometriä maantiejaa sekä 87 kilometriä merirahtia. (Heikki Pöri. 2022.) Perinteisen suodattimen matka kulkee pääkaupunkiseudulta LUT-yliopistolle. Oletuksena, että perinteinen suodatin tulee välivarastosta eikä tarkkaa matkaa ole saatavilla, todellisuudessa perinteiset suodattimet kulkevat pitemmän matkan. Todellisuutta pienemmäksi oletettua maantiejaa kertyy noin 250

kilometriä. Kuljetukseen oletetaan käytettävän jakelukuorma-autoa, jolle saatiin päästökerroin VTT:n Lipastosta.

4. Tulokset

Vertailtaessa suodattimien elinkaaren alkuosan päästöjä laskentaan sisällytettiin tuotantoenergian päästöt, suodatinmateriaalien ja pakkausmateriaalien päästöt sekä kuljetukset tuotannosta käyttökohteeseen.

4.1. Teräsrunkoisen suodattimen päästöt

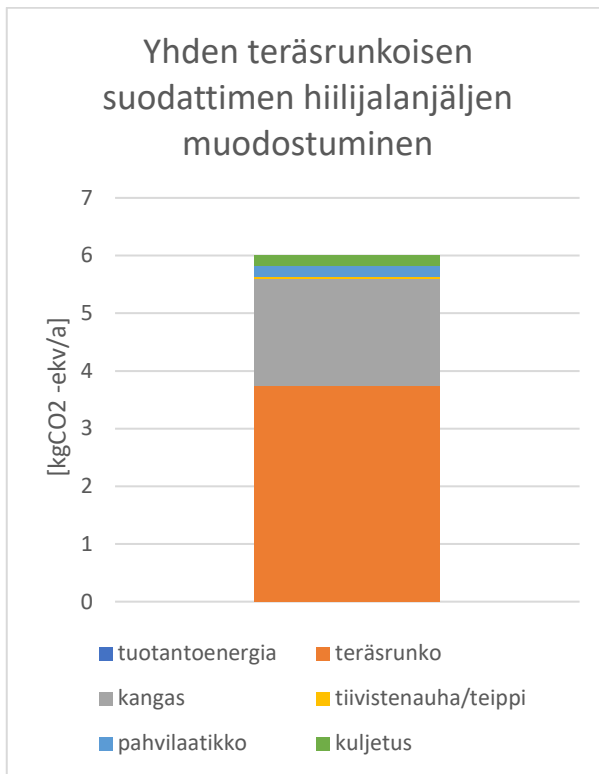
Tuotantoenergian päästöjä laskiessa työkaluina toimivat hyvin tuotantolaitoksen energiamuodot, tuotantovolyymi sekä tuotantolaitoksen E-luku. Tässä tapauksessa huomioitiin 2–3 neliömetrin tila suodattimen tuotantoa kohti. Energiatase löytyi tuotantomaan ministeriön diaesityksestä (Liettuan ministeriö. 2015). Energiamuotojen päästökertoimista laskettiin energiatasetta vastaava keskiarvo, joka oli tässä tapauksessa noin 0.17 kgCO₂ / kWh. Tuotantolaitokseksi oletettiin keskikokoinen tuotantolaitos, jonka E-luku on 146 kWh /m² vuodessa (Mäkitalo. 2016.) Tuotantoenergian päästöt per suodatin on noin 0.006 kgCO₂ -ekv. Tuotantoenergian päästöt ovat kokonaisuuteen nähden pienet ja ne oletettiin siis jokaiselle suodatintyypille samoiksi.

Materiaalien päästöjä laskettaessa huomioitiin suodatinosien painot sekä jokaisen osan materiaalille etsityn päästökertoimen avulla laskettiin hiilidioksidipäästöt. Esimerkiksi teräsrunkoisen suodattimen runko painaa 2.106 kg ja teräksen päästökerroin on 1.85 kgCO₂ -ekv tuotettua kiloa kohden. Esimerkiksi Suomessa tuotetun kierrätysteräksen päästökerroin voi olla pienempikin. (McKinsey&Co. 2020.) Joten yhden teräsrunгон materiaalin päästöt ovat noin 3.73 kgCO₂ -ekv. Sen jälkeen 0.85 kg painoisen lasikuituisen suodatinkankaan osa, jolle päästökerroin on 2.2 kgCO₂ -ekv tuotettua kiloa kohden. (Renewable carbon. 2019.) Tästä tulee kankaalle päästöiksi 1.87 kgCO₂ -ekv. Perinteiset suodattimet vaativat myös tiivistenauhan, joka oletettiin olevan muovia, jonka päästökerroin on 2.6 kgCO₂ -ekv tuotettua kiloa kohden (Woodly. 2021.) ja painoa sillä on noin 10 g per suodatin. Tiivistenauhan materiaalista päästöjä syntyi noin 0.026 kgCO₂ -ekv. Viimeisenä huomioidaan pakkausmateriaali eli pahvilaatikot. Yksi pahvilaatikko painaa 0.646 kg ja siihen mahtuu siis kaksi

perinteistä suodatinta, joten yhden pahvilaatikon päästöt jaetaan kahta suodatinta kohden. Pahvilaatikon päästökerroin on noin 0.6 kgCO₂ -ekv tuotettua kiloa kohden. (Consumer Ecology. 2022.) Joten yhtä suodatinta kohti syntyvät pahvilaatikon päästöt ovat noin 0.19 kgCO₂ -ekv. Näistä syntyy teräsrunkoisen suodattimen materiaalien päästöt, jotka ovat yhteensä noin 5.819 kgCO₂ -ekv per suodatin.

Tuotantoenergian ja materiaalien päästöihin lisätään vielä kuljetuksen aiheuttamat päästöt, jotka koostuivat jakelukuorma-auton päästökertoimesta sekä matkasta tuotannosta kohteeseen. Kokonaisrahtien määrästä otettiin huomioon vain yhden suodattimen osuus matkasta ja kerrottiin tämä päästökertoimella, 298 g/km ja kuljetuskilometreillä, 250 kilometriä. Yhden suodattimen kuljetuspäästöt ovat noin 0.188 kgCO₂ -ekv.

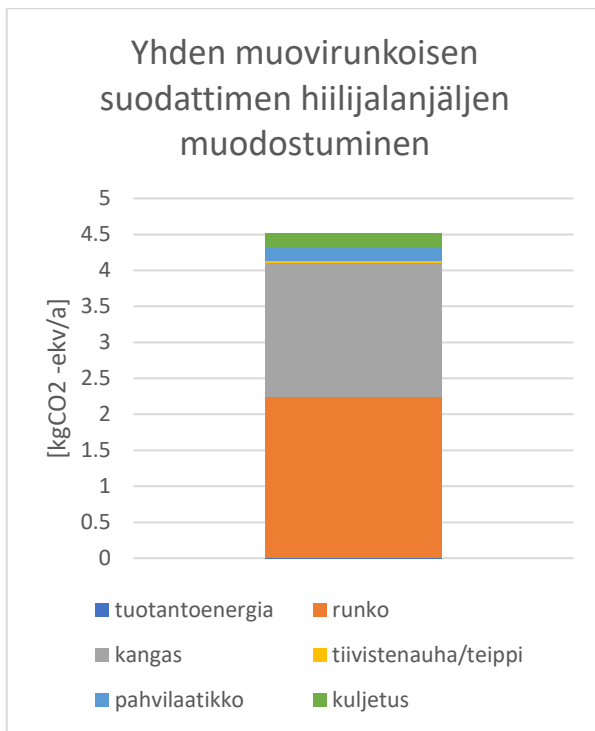
Tuotantoenergian, materiaalien sekä kuljetuksen päästöt yhteenlaskettuna teräsrunkoiselle suodattimelle ovat noin 6 kgCO₂ -ekv. Jokaisen päästölähteen osuudet sekä lukuarvot ovat nähtävissä kuvassa 4, sekä liitteessä 2.



Kuva 1. Yhden teräsrunkoisen suodattimen päästöt.

4.2. Muovirunkoisen suodattimen päästöt

Samaan tapaan laskettiin päästöt myös muovirunkoiselle suodattimelle. Tuotantoenergian osuus oletettiin samaksi eli myös muovirunkoisen suodattimen tuotantoenergian päästöt ovat noin 0.006 kgCO₂ -ekv per suodatin. Materiaalien päästökertoimet olivat samoja, joita käytettiin jo teräsrunkoisen suodattimen päästöjen laskuissa. Muovirungon paino on 0.858 kg, ja muovin päästökerroin on 2.6 kgCO₂ -ekv tuotettua kiloa kohden. Tästä saatiin yhdelle muovirungolle päästöiksi noin 2.23 kgCO₂ -ekv. Muovikehyksen tulokseen voisi tulla muutoksia, jos tarkka muovin päästökerroin olisi tiedossa. Laskennassa käytetty kerroin on keskiarvolukema, mutta esimerkiksi kierrätetyn muovin päästökerroin olisi jonkin verran pienempi. Muut materiaalit laskettiin samaan tapaan kuin teräsrunkoisen suodattimen päästöjä laskettaessa. Muovirunkoisen suodattimen materiaalien päästöt ovat yhteensä noin 4.32 kgCO₂ -ekv per suodatin. Kuljetusmatka oletettiin perinteisille suodattimille samaksi, joten yhden muovirunkoisen suodattimen kuljetuksen päästöt olivat noin 0.188 kgCO₂ -ekv. Kokonaisuudessaan muovirunkoisen suodattimen päästöt ovat noin 4.5 kgCO₂ -ekv. Muovirunkoisen suodattimen hiilijalanjälkeä esitettynä myös lukuarvoin liitteessä 2 ja kuvassa 5.



Kuva 2. Yhden muovirunkoisen suodattimen päästöt.

4.3. Leanfil suodattimen päästöt

Leanfil suodattimen päästöjä laskettaessa huomioitiin poikkeava suodattimen rakenne, johon kuuluu mm. irrotettava kehys sekä elastinen nauha, joka mahdollistaa tiiviin asentamisen ilman erillisiä tiivistenauhuja. Myös pakkausmateriaaleja pystytään säästämään Leanfil suodattimen avulla. Kuljetuskilometrit ovat myös poikkeavat perinteisiin suodattimiin verrattuna. Leanfil suodattimen hiilijalanjälki esitettynä kuvassa 6 sekä liitteessä 2, josta löytyvät myös jokaisen osa-alueen lukuarvot.

Tuotantoenergian osuus oletettiin siis samaksi kaikille suodatintyypeille. Eli myös Leanfil suodattimen tuotantoenergian päästöt ovat noin. 0.006 kgCO₂-ekv per suodatin.

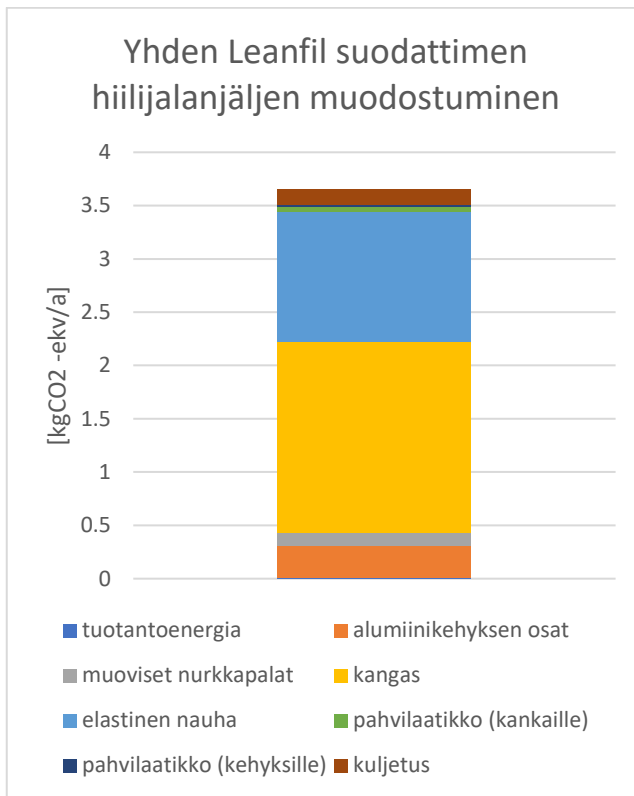
Materiaalien osuus Leanfil suodattimen päästöistä oli noin 3.5 kgCO₂-ekv per suodatin. Alumiinikehyksen osien painot ovat 0.597 kg alumiinia sekä 0.048 kg muovia.

Alumiinikehyksen osat kiinnitetään toisiinsa muovisin nurkkapaloin. Kierrätysalumiinin päästökerroin on 0.5 kgCO₂ -ekv tuotettua kiloa kohden. (ClimateAction. 2022.) Tästä saadaan alumiiniosien päästöiksi 0.29 kgCO₂ -ekv per suodatin. Muovisten nurkkapalojen osuus yhden suodattimen päästöistä on noin 0.12 kgCO₂ -ekv. Kangasmateriaali oletettiin olevan päästökertoimeltaan sama, kuin perinteisissä ja Leanfil suodattimen kangasosan paino on 0.816 kg. Kangasosan päästöiksi saatiin lasikuidun päästökertoimen, 2.6 kgCO₂ -ekv, avulla 1.79 kgCO₂ -ekv. Leanfil suodattimen elastinen nauha painaa 0.096 kg ja sen materiaalin päästökerroin on noin 12.7 kgCO₂ -ekv tuotettua kiloa kohden. (Open CO₂. 2019.) Elastisen nauhan päästöt per suodatin ovat 1.22 kgCO₂ -ekv.

Pakkausmateriaalien eli pahvilaatikoiden määrät huomioitiin sekä suodatinkankaiden, että kehysten mukaan, sillä ne pakataan erikseen. Pahvilaatikon paino on 0.646 kg ja siihen mahtuu 8 suodatinkangasta tai vaihtoehtoisesti 20 kehystä. Pahvilaatikon päästökerroin on 0.6 kgCO₂ -ekv per tuotettu kilo. Pahvilaatikon päästöt per yksi kangas on noin 0.048 kgCO₂ -ekv ja pahvilaatikon päästöt per yksi kehys on noin 0.019 kgCO₂ -ekv.

Leanfil suodattimet tuotetaan Liettuassa, josta matkaa LUT-yliopistolle kertyy 801 kilometriä jakeluautolla sekä 87 kilometriä merirahtia Suomenlahden yli. Päästökerroin 298 g/km jakelukuorma-autolle on sama kuin perinteisillä, ja merirahdin kerroin on 82 g/tkm, joka tässä tapauksessa koskee 7 t painoista jakelukuorma-autoa. Näistä koostuu kuljetuspäästöjä Leanfil suodattimelle 0.146 kgCO₂ -ekv per suodatin.

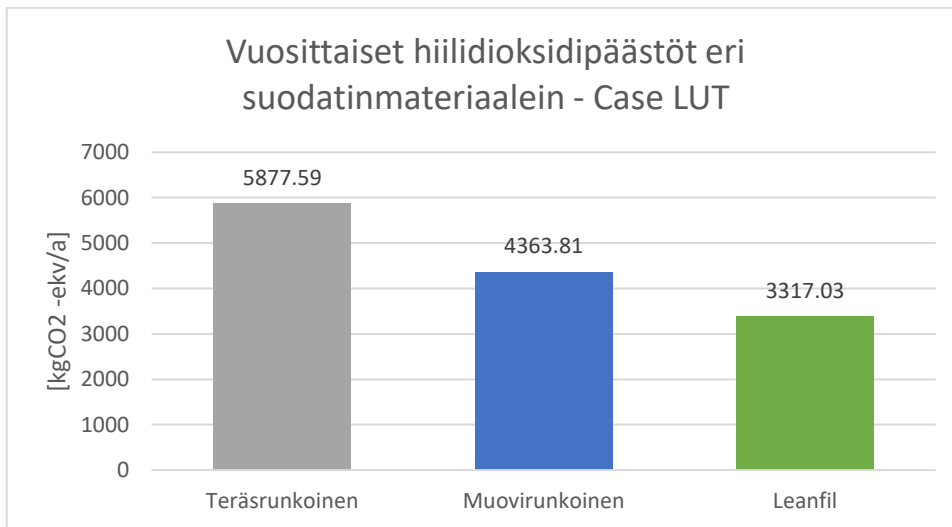
Yhteensä yhden Leanfil suodattimen päästöt huomioiden tuotantoenergian, materiaalit sekä kuljetuksen on noin 3.66 kgCO₂ -ekv. Eri päästölähteiden osuuksia Leanfil suodattimen päästöjen kokonaismäärästä on esitelty kuvassa 6.



Kuva 3. Yhden Leanfil suodattimen päästöt.

4.4. Case LUT – pussisuodattimien vertailu

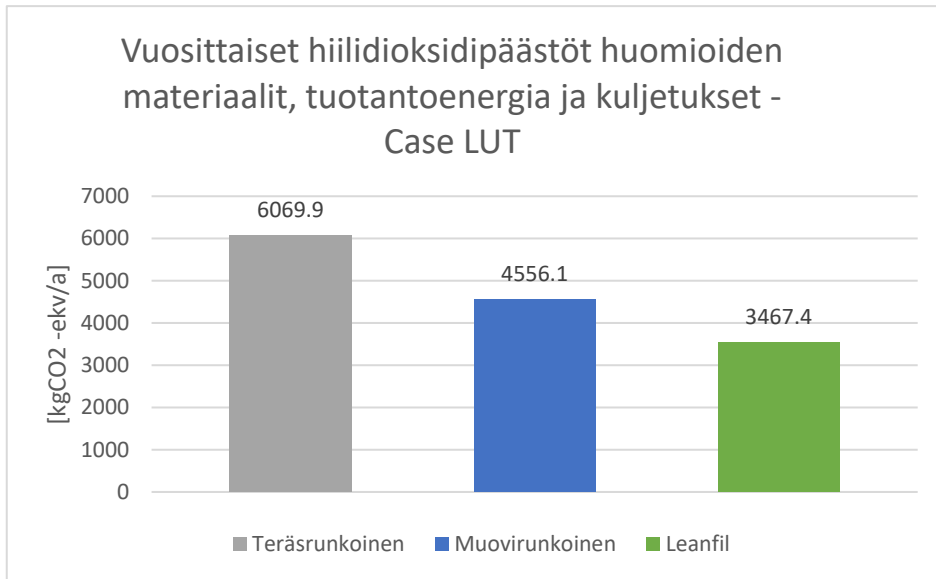
Metallirunkoisen suodattimen materiaalien päästöt vuositasolla ovat suunnilleen 5878 kg CO₂-ekv. Tähän on huomioitu LUT-yliopiston vuosittainen suodatintarve eli 1010 suodatinta. Vastaavasti muovirunkoisen suodattimen materiaalien päästöt ovat noin 4364 kg CO₂-ekv vuositasolla. LUT-yliopistossa suurin osa suodattimista on tällä hetkellä muovirunkoisia. Leanfil suodattimen materiaalien päästöt ovat noin 3317 kg CO₂-ekv vuositasolla. (Kuva 7.) Leanfil suodattimen etu perinteisiin suodattimiin verrattuna on kohteeseen jäävä kehys, johon pussiosan pystyy pujottamaan. Kehys on uudelleen käytettävä ja alumiinikehyksen oletetaan kestävän koko ilmanvaihtokoneen elinajan.



Kuva 4. Materiaalien hiilidioksidipäästöt, 1010 suodatinta.

Kun otetaan huomioon tuotanto sekä kuljetukset, niin huomataan niiden lisäävän hiukan eroa perinteisten suodattimien sekä Leanfil suodattimen välille. Tämä johtuu Leanfil suodattimen pakkauksien tuomasta edusta, minkä takia kuljetusmäärät ovat pienempiä. Sama määrä Leanfil suodattimia voidaan pakata jopa 5 kertaa pienempään määrään pahvilaatikoita. Huomioitavaa on myös se, että kuljetuskilometrit perinteisille suodattimille rajoittuvat vain eteläisen Suomen sisälle. Todellinen kuljetuskilometrien määrä niiden suhteen on isompi, kun ne tuodaan jostain päin Eurooppaa tai muualta Suomesta tuotantolaitoksilta ensin mahdolliseen välivarastointiin.

Tuloksista on nähtävissä, että vuositasolla LUT-yliopiston kokoinenkin toimija voisi säästää pussisuodattimien elinkaaren alkuvaiheessa 1–2.5 t hiilidioksidipäästöjä vuosittain. Leanfil suodattimen päästöt vuositasolla ovat n. 3.5 t CO₂-ekv, kun perinteiset suodattimet aiheuttavat päästöjä n. 4.5–6 t CO₂-ekv/a. (Kuva 8.)



Kuva 5. Tuotantoenergian, materiaalien sekä kuljetuksen hiilidioksidipäästöt, 1010 suodatinta.

5. Johtopäätökset

Kuten tulokset osoittavat, Leanfil suodattimen päästöt ovat pienemmät kuin perinteisillä, muovi- ja teräsrunkoisilla suodattimilla. Suurin ero syntyy juuri kehyksestä, joka on kevyempi ja irrotettavissa. Yksittäisen alumiinikehyksen käyttöaika on ainakin 15 vuotta, jolloin sinä aikana esimerkiksi teräksisiä suodatinrunkoja menisi hukkaan 30, yhtä alumiinista kehystä kohden. Laskennassa huomiota herätti myös kuljetuksen osuuden pienehkö vaikutus. Lisäksi Leanfil suodattimen elastisen nauhan osuus hiilijalanjäljestä oli yllättävän suuri. Tuloksiin on huomioitu kehyksen osuus, mutta todellisuudessa kehyksen osuuden voisi päästöissä jakaa koko ilmanvaihtokoneen eliniän mittaiseksi. Kun tämä otettaisiin huomioon olisi vuosittaiset kehyksen materiaalipäästöt hyvin vähäiset. Käytännössä tämä tarkoittaisi kehyksen päästöjen jakautumista jopa 35 vuodelle. Tämä päästöjen jakaminen ilmanvaihtokoneen eliniän ajalle tarkoittaisi laskennassa Leanfil suodattimen päästöjen pienentymistä vielä noin 0,29 kgCO₂ -ekv per suodatin.

Perinteisten suodattimien päästötiedot varsinkin kuljetuksien osalta ovat hieman vajavaiset, sillä tarkkoja kuljetusmatkoja tai tiettyä tuotantomaatakaan ei ole tiedossa. Materiaalilaskennassa saadut erot ovat jo huomattavia, sillä Suomen mittakaavassa teräsuodattimien vaihtaminen Leanfil suodattimeen säästäisi teräksen määrää jopa 2 miljoonaa kiloa, ja pelkkiä materiaalipäästöjä yli 3.5 miljoonaa kiloa hiilidioksidipäästöjä vuodessa. Tämä määrä päästöjä vastaa 350:n keskivertosuomalaisen vuosittaista hiilijalanjälkeä. (Sitra. 2018). Tuloksia tarkailtaessa on huomioitava, että laskentaan liittyy paljon rajoituksia, kuten esimerkiksi tuotantoenergian oletus samaksi jokaiselle suodattimelle. Lisäksi materiaalien päästökertoimet ovat keskiarvoollisia lukuja, jolloin todellisuudessa mm. materiaalien laatu sekä kierrätysaste voivat poiketa laskennassa käytetyistä arvoista. Myös eriävät kuljetusmatkat vaikuttavat hiilijalanjäljen suuruuteen.

6. Yhteenveto

Leanfil suodatin osoittautui ympäristöystävällisemmäksi tarkkailtaessa elinkaaren alkupäätä. Laskenta osoitti, että irrotettava kehys säästää materiaaleissa, mutta myös Leanfil tuotteesta löytyi yllättävä päästöjen aiheuttaja, sillä polyesteristä tai vastaavasta materiaalista valmistettu pussiosan kaulus nostaa myös Leanfil suodattimen päästöjä. Kuitenkin on selvää, että tämä kehysratkaisu osoittautui toimivaksi, ja sillä saatiin aikaan vaikutusta myös kuljetuspäästöissä, sillä materiaaleja tarvitsee toimittaa vähemmän ja pelkkien pussiosien pakkaaminen on tilaa säästävää. Oletus on, että myös jätteistä sekä niiden kierrätyksestä aiheutuvat päästöt osoittaisivat uuden innovaation olevan ympäristöystävällisempi koko elinkaaren päästöt huomioiden.

Tässä työssä huomioidut tekijät, tuotantoenergia, kuljetukset ja tärkeimpänä materiaalit osoittivat jo mahdollisuuksia vähentää suodattimien päästöjä. On huomioitava, että tässä työssä ei ole huomioitu jätteitä tai jätteenkäsittelyn aiheuttamia päästöjä. Kokonaisuudessaan suodattimien hiilijalanjälkilaskenta toteutettiin kahtena työnä. Ja elinkaaren loppuosa toteutetaan erillisenä työnä, jonka tekijä on Tomi Kaartinen ja kandidaatintyön nimi on Pussisuodattimien hiilijalanjälki sekä yrityksen hiilikädenjälki: Case Leanfil Oy.

Lähteet

Camfil. 2021. Pussisuodattimet. [Verkkosivu.] [Viitattu: 18.10.2022]. Saatavilla: <https://www.camfil.com/fi-fi/tuotteet/yleisilmanvaihdon-suodattimet/pussisuodattimet>

Cervi. 2022. Koneellinen ilmanvaihto. [Verkkosivu.] [Viitattu: 25.11.2022]. Saatavilla: <https://www.cervi.fi/koneellinen-ilmanvaihto>

ClimateAction. 2022. Carbon footprint of recycled aluminium. [Verkkosivu]. [Viitattu: 29.10.2022]. Saatavilla: <https://www.climateaction.org/news/carbon-footprint-of-recycled-aluminium>

Consumer Ecology. 2022. Carbon footprint of a cardboard box. [Verkkosivu]. [Viitattu: 29.10.2022]. Saatavilla: <https://consumerecology.com/carbon-footprint-of-a-cardboard-box/>

DB Schenker. 2021. Kuljetuskalusto. [Verkkodokumentti]. [Viitattu: 2.11.2022]. Saatavilla: <https://www.dbschenker.com/resource/blob/525524/b2248dcc532cb075c3f3fd4fb549b851/kalusto--fi-fi--data.pdf>

Liettuan ministeriö. 2015. Energiasektori. [Verkkodokumentti]. [Viitattu: 20.10.2022]. Saatavilla: http://www.lsta.lt/files/seminarai/2015-04-09_Ryga/03.-ey-bus-2015-rokas-masiulis.pdf

Leanfil. 2022. Heikki Pörin haastattelu, sähköpostiviestikeskustelu. [Viitattu: 24.10.2022].

McKinsey&Co. 2020. Decarbonization challenge for steel. [Verkkosivu]. [Viitattu: 28.10.2022]. Saatavilla: <https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/decarbonization-challenge-for-steel>

Mikko Mäkitalo. 2016. Puurakenteisen teollisuushallin energiankäyttö. [Verkkodokumentti]. [Viitattu: 20.10.2022]. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/122037/Makitalo_Mikko.pdf?sequence=1

Open CO2. 2019. Polyesterin päästökerroin. [Verkkosivu]. [Viitattu: 24.10.2022]. Saatavilla: <https://www.openco2.net/fi/paastokertoimet/tuote/polyesteri-tekstiilikuidun-tuotanto/156>

Renewable carbon. 2019. Natural fibres show outstandingly low CO2 footprint compared to glass and mineral fibres. [Verkkosivu]. [Viitattu: 24.10.2022]. Saatavilla: <https://renewable-carbon.eu/news/natural-fibres-show-outstandingly-low-co2-footprint-compared-to-glass-and-mineral-fibres/>

Sitra. 2018. Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki. [Verkkosivu]. [Viitattu: 28.11.2022]. Saatavilla: <https://www.sitra.fi/artikkelit/keskivertosuomalaisen-hiilijalanjalki/>

Tilastokeskus. 2022. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2020. [Verkkosivu]. [Viitattu:]. Saatavilla: https://www.stat.fi/til/khki/2020/khki_2020_2021-12-16_kat_001_fi.html

Vilma Halonen. 2021. Hiilijalanjälki. [Kurssimateriaali] [Viitattu: 18.10.2022].

VTT:n Lipasto. 2016. Pieni jakelu kuorma-auto. [Verkkosivu]. [Viitattu: 18.10.2022]. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/kajakpienitie.htm>

Woodly. 2021. What is the carbon footprint of plastic. [Verkkosivu]. [Viitattu: 24.10.2022]. Saatavilla: https://woodly.com/carbon_neutrality/what-is-the-carbon-footprint-of-plastic/

WWF – ilmastolaskurin kertoimet. 2018. [Excel-tiedosto]. [Viitattu: 24.10.2022]. Saatavilla: https://wwf.fi/app/uploads/4/j/i/ey579ajsi040juq2dwzbsd/wwf_ilmastolaskuri_laskentaperusteet-2018.xlsx

Liite 1. Päästökertoimet.

Päästökertoimia	[kgCO ₂ ekv/kg]
teräs	1.85
muovi	2.6
alumiini	0.5
pahvi	0.6
suodatinkangas	2.2
polyesteri/sekotemateriaali	12.7

Liite 2. Hiilijalanjäljen muodostuminen.

Hiilijalanjäljen muodostuminen eri osa-aluein

<u>Leanfil</u>	[kgCO ₂ -ekv]
tuotantoenergia	0.00595
alumiinikehyksen osat	0.2985
muoviset nurkkapalat	0.1248
kangas	1.7952
elastinen nauha	1.2192
pahvilaatikko (kankaille)	0.04845
pahvilaatikko (kehyksille)	0.01938
kuljetus	0.146

<u>Muovirunkoinen</u>	[kgCO ₂ -ekv]
tuotantoenergia	0.00595
runko	2.2308
kangas	1.87
tiivistenauha/teippi	0.026
pahvilaatikko	0.1938
kuljetus	0.188

<u>Teräsrunkoinen</u>	[kgCO ₂ -ekv]
tuotantoenergia	0.00595
teräsrunko	3.7296
kangas	1.87
tiivistenauha/teippi	0.026
pahvilaatikko	0.1938
kuljetus	0.188

Liite 3. Suodattimien hiilijalanjälki ja hiilijalanjälki – Case LUT

Leanfil

	1 kpl [kgCO ₂ -ekv/a]	Case LUT [kgCO ₂ -ekv/a]
Tuotantoenergia	0.00595	6.016
Materiaalit	3.506	3317.03
Kuljetus	0.146	144.32
Yhteensä	3.65795	3467.4

Teräsrunkoinen

	1 kpl [kgCO ₂ -ekv/a]	Case LUT [kgCO ₂ -ekv/a]
Tuotantoenergia	0.00595	6.016
Materiaalit	5.819	5877.59
Kuljetus	0.188	186.25
Yhteensä	6.01295	6069.9

Muovirunkoinen

	1 kpl [kgCO ₂ -ekv/a]	Case LUT [kgCO ₂ -ekv/a]
Tuotantoenergia	0.00595	6.016
Materiaalit	4.321	4363.81
Kuljetus	0.188	186.25
Yhteensä	4.51495	4556.1