

## Tulenkestävien tuotteiden tuotannon elinkaariarviointi

Ympäristövaikutusarviointi tehtiin SimaPro-ohjelmalla Ecoinvent 3.8 -tietokantoineen. Vaikutusarviointimenettelyä oli ReCiPe 2016 Midpoint, joka laskee haluttujen keskipisteindikaattorien arvot. Laskenta keskittyi hiilijalanjälkeen, mutta tarkasteltiin myös joitakin muita indikaattoreita. Kahden 'reseptituotteen' vertailu tarkoilla koostumuksilla laskettiin. Tuloksissa näkyy kierrätysmateriaalin käytön vaikutus hiilijalanjälkeen. Lisäksi mallinnettiin raaka-aineiden sekä maa- ja merikuljetusten ympäristövaikutukset.

**Lähtötiedot:** Elinkaariarvioinnin käyttötarkoitus on tuottaa yrityksen omaan käyttöön tietoa tuotannon ympäristövaikutuksista ja kierrätysmateriaalin käytön vaikutuksista. Tutkittava järjestelmä sisältää noin 30 tuotetta, jotka kattavat yli 95 % vuosituotannosta, joka oli 18 000 tonnia tuotteita.

Tuotannosta saatiin vuosilta 2020-2021 raaka-ainemäärät tonneina, kuljetustiedot, hyödykkeet, pakkaustarvikkeet, sivutuotteet ja jätteet sekä tuotteiden jako tuoteryhmiin. Vuosituotannon toiminnallinen yksikkö on yksi tonni tulenkestäviä tuotteita sellaisina määrinä, kuin tuoteryhmiä valmistettiin vuonna 2021. Raaka-aineissa on kuusi kotimaista kierrätysmateriaalia, joilla korvataan neitseellisiä ulkomaisia raaka-aineita.

**Mallinnus:** Elinkaariarvioinnin rajana oli 'kehdosta tehtaan portille'. Vuosituotannon ja kahden 'reseptituotteen' elinkaariarviointi tehtiin myös 'portilta portille' ja laskettiin pelkkien raaka-aineiden hiilijalanjälki tonnia kohti ja kuljetusten hiilijalanjälki tonnikilometriä kohti.

Raaka-aineet, polttoaineet, pakkausmateriaalit, prosessivesi, sivutuotteet, lämpö, sähkö ja jätteet allokoitiin eri tuotteille. 'Reseptituotteet', joista toisessa neitseellistä materiaalia oli korvattu yli 80 % suomalaisella kierrätysraaka-aineella, mallinnettiin tarkkojen tuotereseptien mukaan. Raaka-aineet kuljetetaan bulkkilaiva- ja rekka-autokuljetuksena. Raaka-aineiden kuljetusmäärät mallinnettiin kuljetusmatkojen, -välien ja rahdattujen tonnien perusteella.

Raaka-aineiden valmistuksen keskeisiä mallinnettavia prosesseja ovat louhinnan, murskauksen, jauhatuksen ja seulunnan sekä lämpökäsittelyjen käyttämä energia ja polttoaineet. Luonnonraaka-aineilla, joita ei tarvitse lämpökäsitellä (kuten maasälpä, kvartsi jne.), hiilijalanjälki on hyvin pieni. Kierrätysraaka-aineet mallinnettiin Ecoinvent-tietokannan terästeollisuuden kierrätystiilien pohjalta.

**Tulokset:** Vuosituotannon ympäristövaikutukset 'kehdosta portille' tonnia kohti tuotteita ovat seuraavat:

hiilijalanjälki (ilmastonlämpenemispotentiaali): 498 kgCO<sub>2eq</sub>,  
pienhiukkasten muodostumispotentiaali: 0,848 kgPM<sub>2.5eq</sub>,  
mineraalisten raaka-aineiden vähenemispotentiaali: 15 kgCu<sub>eq</sub>,  
fossiilisten raaka-aineiden vähenemispotentiaali: 115 kg oil<sub>eq</sub> ja  
vedenkulutuspotentiaali: 3,9 m<sup>3</sup>.

'Reseptituotteiden' hiilijalanjälki pienenee noin kolmasosaan kierrätysmateriaalia käytettäessä (taulukko 1). Muut lasketut indikaattorit pienenevät myös kierrätysraaka-ainetta käyttävässä tuotteessa.

**Taulukko 1.** 'Reseptituotteiden' elinkaariarvioinnin tulokset tonnia kohti tuotetta (kehdosta portille -malli)

| Ympäristövaikutusindikaattori                                      | Kierrätysmateriaali-<br>raaka-aine | Neitseellinen<br>raaka-aine |
|--|------------------------------------|-----------------------------|
| Hiilijalanjälki, kg CO <sub>2eq</sub>                              | 489,2                              | 1669,6                      |
| Pienhiukkasten muodostumis-<br>potentiaali, kg PM <sub>2.5eq</sub> | 0,6                                | 2,7                         |
| Mineraalisten raaka-aineiden<br>väheneminen, kg Cu <sub>eq</sub>   | 14,9                               | 91,2                        |
| Fossiilisten raaka-aineiden<br>väheneminen, kg oil <sub>eq</sub>   | 119,5                              | 529,1                       |
| Vedenkulutuspotentiaali, m <sup>3</sup>                            | 3,4                                | 10,6                        |

Ympäristövaikutusten arviointi portilta portille laskettiin vuosituotannon käyttämästä lämmöstä, sähköstä ja polttoaineista ja vuosituotannon päästöiksi saatiin **0,022–0,038 tCO<sub>2ekv</sub>/tonni tuotteita** riippuen laskennassa käytetyistä alkuarvoista. Sähkötuotannon päästöillä on huomattava vaikutus hiilijalanjälkeen.

'Reseptituotteiden' portilta portille -hiilijalanjälki on vastaavasti laskemalla kierrätysmateriaalia käyttävälle tuotteelle **0,0984–0,1160 tCO<sub>2ekv</sub>/tonni** ja neitseellistä raaka-ainetta käyttävälle **0,0650–0,0726 tCO<sub>2ekv</sub>/tonni**. Kierrätysraaka-aineen käsittelyssä käytetty polttoaine nostaa tässä tapauksessa kierrätysmateriaalin epäedullisemmaksi, koska neitseellistä raaka-ainetta ei tarvitse prosessoida samalla tavalla.

Mallinnettujen raaka-aineiden hiilijalanjälki laskettiin SimaPro-ohjelmalla tonnia kohti raaka-ainetta. Suurimmat hiilijalanjäljet tulevat oksidiraaka-aineille, joiden lämpökäsittelyssä muodostuu suoraan hiilidioksidia raaka-aineen hajoamistuotteena tai joita lämpökäsitellään tuotteen ominaisuuksien muuttamiseksi. Luonnonraaka-aineilla hiilijalanjälki on jopa alle 100 kgCO<sub>2ekv</sub>/tonni, kun lämpökäsitellyjä tarvitsevilla raaka-aineilla se on jopa 3000 kgCO<sub>2ekv</sub>/tonni (esim. valokaariuuneissa käsiteltävät Al-oksidit).

Maakuljetuksissa rekka-autojen päästöluokka ei vaikuta suuresti hiilijalanjälkeen mutta vaikuttaa paljon esim. pienhiukkasten muodostumispotentiaaliin ja alailmakehän otsonin muodostumiseen. Pienhiukkasten muodostumispotentiaaliin vaikuttaa myös maakuljetusten pituus. Rekka-autokuljetuksen hiilijalanjälki on 15–25-kertainen bulkkilaivakuljetukseen verrattuna.

**Johtopäätökset:** Käyttämällä kierrätettäviä raaka-aineita neitseellisten raaka-aineiden sijaan tuotteiden hiilijalanjälkeä voidaan pienentää ainakin 1/3–1/4-osaan. Muut vaikutusindikaattorit pienenevät usein myös. 'Portilta portille' -laskennan hiilijalanjälki on 1/13–1/23-osa 'kehdosta portille' -laskennan hiilijalanjälkeen verrattuna.