



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Lari Virtaniemi

Viherkaton hiilijalanjälki

Tekniikan yksikkö
2024

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Lari Virtaniemi
Opinnäytetyön nimi	Viherkaton hiilijalanjälki
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	33 + 2 liitettä
Ohjaaja	Asseri Laitinen

Viherkattojen elinkaaresta ja hiilijalanjäljestä on Suomessa vielä vähän tutkimustietoa. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää kotimaisen maksaruohomaton ja sillä rakennetun viherkaton hiilijalanjälki. Tavoitteena on löytää suurimmat päästöjen lähteet, tunnistaa ne ja pohtia kestävämpiä ratkaisuja niille. Opinnäytetyötä varten tehdyt laskelmat ja niihin liittyvä tiedonhankinta toimivat pohjana yrityksen viralliselle ympäristöselosteelle.

Opinnäytetyön laskelmiin tarvittavien tietojen keräämisessä lähteinä on käytetty yrityksen elinkaariarviointi- ja ympäristöseloste-ohjelmistoa, julkisia EPD-raportteja, tuotteiden verifioimattomia LCA-laskelmia sekä ohjelmistojen tietokantojen päästötietoja. Tavoitteena oli selvittää viherkaton hiilijalanjälki neliometriä kohden.

EG-Tradingin viherkattorakenteen hiilidioksidipäästöt olivat 7,22 kg CO₂e/m². Sempergreenin erilaisen viherkattorakenteen päästöt olivat 11,4 kg CO₂e/m². Viherkatoista tarvitaan lisää paikallista tutkimustietoa, sillä erilaiset ilmastot vaikeuttavat tulosten tasapuolista vertailua. Opinnäytetyössä saatujen tulosten ja kirjallisuuden perusteella viherkattojen rakenne olisi hyvä pitää kevyenä, käyttää mahdollisimman paljon kierrätettävää materiaalia ja välttää korkeapäästöisiä muovimateriaaleja.

Avainsanat	viherkatot, hiilijalanjälki, ympäristöselosteet, elinkaariarviointi, rakentaminen
------------	---

ABSTRACT

Author	Lari Virtaniemi
Title	The carbon footprint of a green roof
Year	2024
Language	Finnish
Pages	33 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Asseri Laitinen

There is still little research information available on the life cycle and carbon footprint of green roofs in Finland. Purpose of this thesis is to find out the carbon footprint of the domestic sedum mat and the green roof built with it. Target is to find the biggest sources of emissions, identify them and consider what could be more sustainable solutions. Calculations made for the thesis and the related data acquisition serve as a basis for the company's official environmental report.

The company's life cycle assessment and environmental statement software, public EPD reports and unverified LCA calculations of products, together with emission data from software databases, have been used as sources for collecting the data needed for the thesis calculations. The goal was to find out the carbon footprint of the green roof per square meter.

The carbon dioxide emissions of EG-Trading's green roof structure were 7,22 kg CO₂e/m². The emissions of Sempergreen's different green roof structure were 11,4 kg CO₂e/m². More local research data on green roofs is needed, as different climates make it difficult to compare the results fairly. Based on the results obtained in the thesis and the literature, it would be good to keep the structure of green roofs light, use as much recyclable material as possible and avoid high-emission plastic materials.

Keywords	green roofs, carbon footprint, environmental product declarations, life cycle assessment, construction
----------	--

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

JOHDANTO	5
1.1 Kerabit Oy	5
1.2 EG-Trading Oy	6
2 VIHERKATOT JA NIIDEN RAKENNE	7
3 ELINKAARILASKENTA	10
3.1 Viherkattojen LCA-laskelmia kirjallisuudesta.....	10
3.2 Hiilikädenjälki	13
3.3 Laskelman tarkoitus ja tavoitteet	14
4 LASKELMAN TOTEUTUS	15
4.1 Raaka-aineet (moduuli A1)	16
4.2 Kuljetukset (moduulit A2 ja A4)	20
4.3 Valmistus (moduuli A3)	21
4.4 Moduulit, joita ei huomioida	21
5 TULOKSET	23
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	29
LÄHTEET	31
LIITTEET	34

JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä selvitetään Suomessa valmistetun maksaruohomaton ja sillä valmistetun viherkaton hiilijalanjälki ja sen elinkaari. Työssä tarkastellaan loivien kattojen ratkaisua ja rakennetta. Viherkatoista löytyy vielä varsin vähän tutkimuksia etenkin Pohjoismaissa. Työ perustuu EG-Trading Oy:n viherkaton hiilijalanjälkilaskentaan, ja tarkastelussa on myös ulkomainen Sempergreenin (2024) tuote. Rakenteiden ollessa erilaiset tasapuolinen vertailu ei ollut mahdollista. Hiilijalanjälkilaskenta kattaa rakenteet vedeneristeestä ylöspäin ja perustuu neliömetrin osuuteen.

Työssä on käytetty mahdollisuuksien mukaan valmiita EPD-raportteja (Environmental Product Declarations) ja hyödynnetty niiden päästökertoimia. Tuotteiden ja materiaalien kuljetusmatkoja on selvitetty toimittajilta mahdollisimman tarkan tuloksen saavuttamiseksi. Mikäli päästökertoimia ei ole löytynyt EPD-raporteista, on käytetty Ecoinvent-tietokannan arvoja. Laskenta suoritettiin One Click LCA -ohjelmistolla.

1.1 Kerabit Oy

Kerabit Oy on osa Nordic Waterproofing Groupia, joka on yksi Euroopan johtavista vedeneristystuotteiden ja -palveluiden toimittajista (Kerabit n.d.a.). Nordic Waterproofing Group on listattu Tukholman pörssin Mid Cap segmenttiin. Kerabit Oy:n juuret ovat Lemminkäinen-konsernissa, jossa liiketoiminta alkoi jo vuonna 1910.

Vuodesta 2011 vuoteen 2023 asti Nordic Waterproofing nimellä toiminut Kerabit Oy on nykyisin yhdeksän eri yrityksen rypäs. Se tarjoaa kokonaisurakat sekä uudis- että korjausrakentamiseen. Kerabit Oy valmistaa ja myy kotimaiset bitumikatto- ja vedeneristystuotteet, rakentaa kaiken tyyppiset katot, toteuttaa pihakannet ja tekee siltojen vedeneristykset. Tuote- ja palvelukokonaisuudesta löytyy myös viherkatot, kattoelementit, julkisivut, aurinkosähköjärjestelmät, lattiapinnoitteet, kattohuolto ja katto remontit (Kerabit n.d.a.).

1.2 EG-Trading Oy

EG-Trading Oy on vuonna 1989 perustettu viheralan tuotteiden maahantuonti- ja jälleenmyyntiliike (EG-Trading 2020). Yhtiön päävarasto ja toimisto sijaitsee Tammisaassa ja noutovarasto Vihdin Nummelassa. EG-Trading on erikoistunut luonnonmukaiseen ympäristö- ja viherrakentamiseen ja viljelee palosertifioitua maksaruohomattoa viherkatoille. Nordic Green Roof -maksaruohomattoa viljellään ja kasvatetaan Tammisaassa kotimaisilla lajikkeilla.

Yhtiöltä löytyy lisäksi ratkaisuja myös mm. eroosion hallintaan, uusille kasvatusalueille, maantuentaan, maa- ja vesirakentamiseen, tierakentamiseen ja lasten leikkialueille. EG-Trading maahantuo ja jälleenmyy esimerkiksi saksalaisen ZinCon viherkattotuotteita. EG-Trading kuuluu nykyisin Kerabit-konserniin.

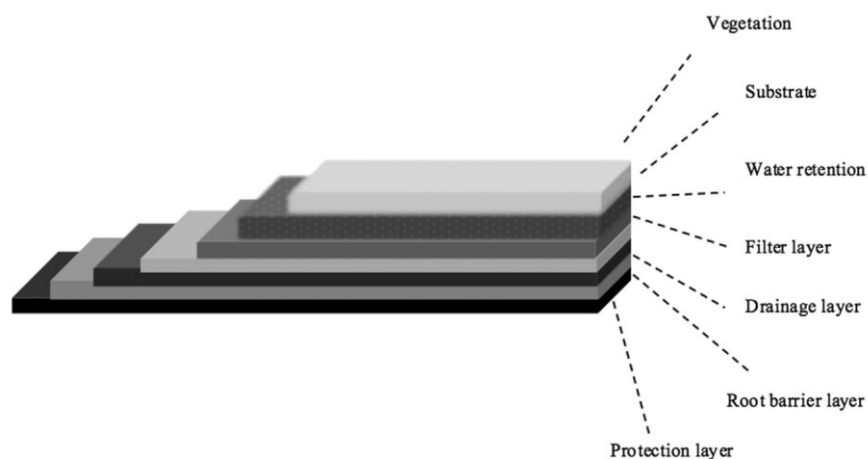
2 VIHHERKATOT JA NIIDEN RAKENNE

Viherkatot ovat kasvillisuudesta ja kasvillisuuden edellyttämistä rakenteista koostuvia kattoja (Veuro ja muut, 2012, s. 5). Edellytyksenä toimivan viherkaton perustamiselle on kattorakenteiden riittävä kantavuus ja riittävä vedeneristys. Yksinkertaisimmat viherkatot voivat koostua vain vesikatteesta ja sammal-jäkälä kasvillisuudesta (Chenani ja muut, 2014, s. 153). Avaintekijöinä viherkaton rakentamisessa ovat toimiva veden poistuminen katolta, juurisuoja, kasvualusta ja kasvit. Chenani ja muut (2014, s. 153–155) viittaavat Oberndorferiin ja muihin (2007) sekä Teemuskiin ja Manderiin (2009) todetessaan, että juurisuoja estää kasvien juurien tunkeutumisen rakennuksen rakenteisiin. Juurisuoja voi olla erillinen kerros vedeneristeen päällä tai se voi sisältyä katemateriaaliin. Viherkattojen eri kerroksien tarkoituksena on ohjata tai pidättää veden valumaa, säilyttää ravintoaineita ja tarjota alusta kasveille. Viherkattoja pidetään ratkaisuna moniin kaupunkien ongelmiin, kuten lämpösaarekeilmiöön, jossa kaupungin keskustassa lämpötila muodostuu korkeammaksi kuin ympäröivillä alueilla, ääni- ja ilmansaasteiden vähentämiseen, hulevesien hallintaan ja biodiversiteetin tukemiseen. Noin 325 miljoonaa ihmistä EU:n väestöstä elää kaupunkialueilla (Eurostat, 2023). Vuoteen 2050 mennessä Euroopan kaupunkiväestön osuuden ennustetaan nousevan hieman yli 80 %:iin. Kestävät kaupunkiympäristöt ovat siksi välttämättömiä kansalaisten hyvinvoinnille ja elämänlaadulle. Viherkatot ovat osaltaan luomassa tätä hyvinvointia ja elämänlaatua.

World Development Indicatorsin (WDI) mukaan vihreiden rakennusten EDGE-sertifiointeja oli vuonna 2021 Suomessa 280 152 m²:n lattiapinta-alan verran. Vuonna 2020 sama luku oli vielä 2174 m², joten kasvu on ollut nopeaa (The World Bank, 2023). World Green Building Council (WorldGBC, 2024) kehittää ja hallinnoi monia maailman rakennussertifiointeja, kuten LEEDia ja BREEAMia. Nämä sertifioinnit kannustavat hallituksia kunnianhimoisempaan strategiaan kestävän kehityksen näkökulmasta ja auttavat luomaan entistä vihreämpiä rakennusmääräyksiä ja säännöstelyä. Rakennussertifikaatit palkitsevat organisaatioita ja yrityksiä, jotka

rakentavat vihreämpiä rakennuksia. Viherkatot ovat vahvasti vaikuttamassa näiden kriteerien täyttymiseen rakentamisessa.

Viherkaton rakenne voi sisältää muutaman tai usean seuraavista kerroksista: juurisuoja, suojakerros, salaojitus-/vedenpidätyskerros, suodatinkerros, substraatti- ja kasvillisuuskerros (Kuva 1). Suojakerrosta käytetään estämään asennuksen aikaiset vahingot (Chenani ja muut, 2014, s. 154). Katon kaltevuus, sijainti, paikalliset sääolosuhteet ja saatavilla olevat kasvualustat voivat vaikuttaa materiaalivelehtöihin ja aiheuttaa rajoituksia viherkattojen suunnittelulle.



Kuva 1. Usein käytettyjä kerroksia viherkatoilla (Chenani ja muut, 2014, s. 154).

Rakenteita ylhäältä alaspäin tarkastellessa viherkattojen kerrokset ovat yleensä kasvillisuuskerros, kasvualusta, suodatin-, salaojitus- ja juurisuojakerros (Scolaro ja muut, 2022, s. 3–5). Laajalle levinnein kasvillisuuden tyyppi LCA-laskelmissa on maksaruohot eli suomumaksaruohot (Sedum). Tämä johtuu todennäköisesti sen vahvasta sopeutumiskyvystä.

Kasvualustan tehtävänä on tarjota vettä ja ravinteita kasveille ja edistää vedenpidätystä (Soulis ja muut, 2017) ja lämpötehoa (Zhao ja muut, 2014).

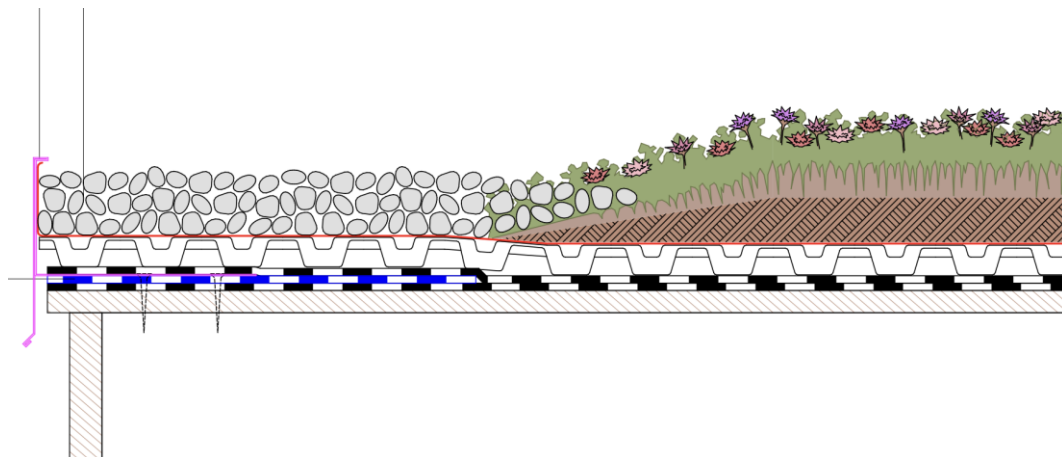
Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin EG-Tradingin Nordic Green Roof maksaruohoviherkaton rakennetta loiville 2–8 asteen katoille. EG-Tradingin tiedot ovat vuodelta 2022. Rakenne koostuu Fixodrain XD 20 kennosta, VH 1200 vedenpitomattosta, 40–50 mm kasvualustasta ja maksaruohomatosta (Kuva 2).

Nordic Green Roof® maksaruohoviherkatto rakenne 2-8° katoille



Kuva 2. Nordic Green Roof maksaruohoviherkaton rakenne (EG-Trading Oy, N.d.).

Opinnäytetyössä vertaillaan EG-Tradingin viherkaton hiilijalanjälkeä Sempergreenin viherkattoon. Sempergreenin vastaavassa rakenteessa vedeneristeestä ylöspäin Kerabit Oy käyttää seuraavaa ratkaisua: Platon DE 25 salaojittava ja vettä varastoiva levy, N2/KL2-luokan suodatinkangas, 50 mm:n kerros Kekkilän maksaruohokattomulta PLUS-multaa ja Sempergreen-maksaruohomatto kattokaltevuuksille 1:5–1:50 (Kuva 3).



Kuva 3. Sempergreen maksaruohokatto, pääty-/yläräystäsdetalji (Kerabit Oy, N.d.b).

3 ELINKAARILASKENTA

Life Cycle Assessment, LCA, on elinkaarianalyysi, jossa kerätään tietoja ja arvioidaan tuotteen ympäristövaikutuksia koko elinkaaren ajalta. Elinkaarianalyysi perustuu eurooppalaisiin standardeihin EN ISO 14040:2006 ja EN ISO 14044:2006 (SFS-EN ISO 14040:2006, SFS-EN ISO 14044:2006). Elinkaarilaskentaa käytetään myös ympäristöselosteen (EPD, Environmental Product Declaration) pohjana tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia arvioitaessa. EPD pohjautuu eurooppalaisiin standardeihin EN ISO 14025:2010 ja SFS-EN 15804:2012.

IPCC:n lokakuussa 2018 julkaisema erikoisraportti ”Global Warming of 1.5 °C” herätti päättäjät ja yritykset miettimään keinoja kasvihuonepäästöjensä vähentämiseksi. Yritykset ovat alkaneet teettää selvityksiä näiden keinojen löytämiseksi. LCA-raportointi on yksi väline selvityksien tekemiseksi. IPCC:n raportti vastaa Pariisin ilmastokokouksessa esitettyyn pyyntöön tarkastella alle 1.5 °C rajaamiseen liittyviä seikkoja. Maailman maat ovat Pariisin ilmastositoumuksessa sitoutuneet pitämään maapallon keskilämpötilan nousun selvästi alle kahdessa asteessa verrattuna esiteolliseen aikaan.

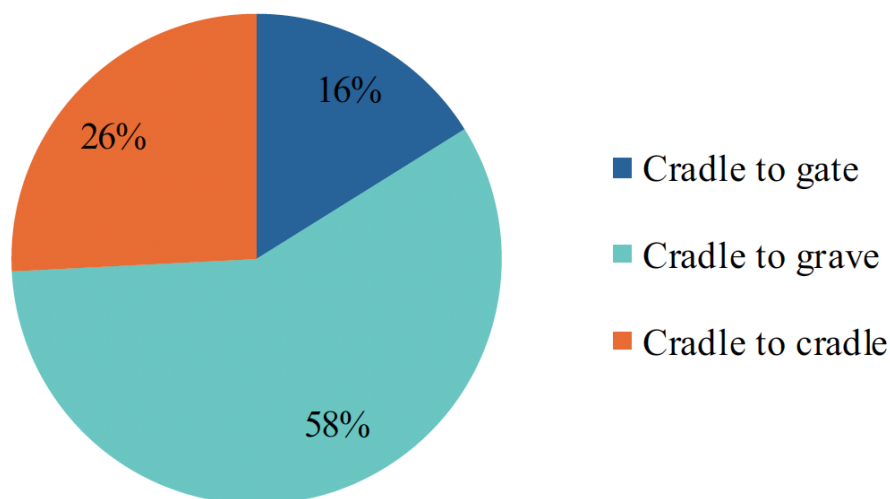
Elinkaariarviointiselvitys koostuu neljästä eri vaiheesta. ISO 14040 standardin mukaisia vaiheita ovat tavoitteiden ja soveltumisanalyysi, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta (Suomen Standardisoimisliitto, 2006).

3.1 Viherkattojen LCA-laskelmia kirjallisuudesta

Kirjallisuudessa LCA-laskelmissa keskitytään analysoimaan viherkattoja globaalista näkökulmasta tutkien eri aikakausia ja vertaillen niiden julkaisusijainteja. Niissä keskitytään myös tutkimusten eri tavoitteisiin, rajauksiin, luettelointiin ja eroihin (Shafique ja muut, 2020).

Scolaro ja Ghisi (2022) analysoivat 52:ta eri LCA-tutkimusta. 16 % tutkimuksista sisälsi systeimirajat Cradle-to-gate, joka pitää sisällään materiaalien hankinnan, kuljetukset ja valmistuksen. 58 % tutkimuksista käsitti vaiheet Cradle-to-grave,

jossa otettiin huomioon aiempien vaiheiden lisäksi myös käytön ja jätehuollon päästöt. 26 % tutkituista raporteista otti huomioon kaikki vaiheet, Cradle-to-cradle, jossa myös materiaalien uusiokäyttö huomioidaan (Kuva 3).



Kuva 4. LCA-tutkimusten jakautuminen systeimirajojen mukaan (Scolaro & Ghisi, 2022).

Artikkelissa pyrittiin selventämään kuusi eri kohtaa viherkattojen LCA-tutkimuksissa. Näitä ovat: (1) mitä materiaaleja ja rakenteellisia kerroksia tutkimuksissa on käytetty, (2) mitä prosesseja oli otettu huomioon elinkaaren vaiheissa, (3) minkälaisia kattoja on jo vertailtu viherkattojen kanssa LCA-laskelmissa, (4) mihin toimenpiteisiin on ryhdytty viherkattojen ympäristövaikutusten vähentämiseksi, (5) mitä menetelmiä käytettiin viherkattojen taloudellisen kannattavuuden arviointiin niiden käyttöänsä aikana ja mitkä tällaisten analyysien tarkoitukset olivat, ja (6) mitkä LCA-laskelmat sisälsivät yleisiä käsityksiä viherkatoista. (Scolaro & Ghisi, 2022.)

Kasvualustat viherkatoilla koostuvat yleensä orgaanisista, huokoisista aineista ja kevyistä mineraaleista, kuten lapilli, hohkakivi, zeoliitti, perliitti ja paisutettu savi. Kasvualustan materiaaleilla on tärkeä rooli viherkaton ympäristövaikutuksissa, ja esimerkiksi paisutetulla savella on suuri potentiaalinen vaikutus, vaikka sitä käytetään

tettäisiin pieninä painoprosentteina. Myös kompostointiprosessin ympäristövaikutukset ovat korkeat prosessissa vapautuvien kaasujen vuoksi. Kierrätetyt rakennusmateriaalit tai teollisuuden sivutuotteet, kuten murskattu tiili ja pohjatuhka löytyvät joistakin LCA-laskelmista. Nämä voivat pienentää kasvualustan ympäristövaikutuksia, sillä niiden ensisijaisen valmistustarkoituksen päästöjä ei oteta huomioon. Materiaalien murskaamiseen käytettävä sähkö on kuitenkin otettava huomioon. (Scolaro & Ghisi, 2022.)

Suodatinkerroksen tarkoituksena on estää hiukkasten valuminen ja salaojakerroksen tukkeutuminen. Lähes kaikissa artikkeleissa, jotka sisälsivät suodatinkerroksen, oli käytetty polyeteeniä tai polypropeeniä. Tällaiset materiaalit ovat kevyitä ja kestäviä, mutta niiden tuotanto vaatii paljon energiaa ja vapauttaa myrkyllisiä aineita ilmaan. Artikkelin mukaan ympäristöystävällisempiä tuotteita on tutkittava enemmän. (Scolaro & Ghisi, 2022.)

Salaojakerroksen tulee säilyttää vettä kasvillisuudella, varmistaa ylimääräisen veden poistuminen ja varmistaa, että alusta ja juuret pysyvät ilmavina. Useimmissa viherkattojen LCA-tutkimuksissa tämä kerros tehtiin polyeteenistä, polystyreenistä tai polypropeenista, niin kuin suodatinkerroskin. Yhtenä vaihtoehtoisena materiaalina vedenpoistokerroksessa pidettiin käytetyistä renkaista valmistettua kierrätyskumia. (Scolaro & Ghisi, 2022.)

Viherkaton juurisuojauksessa käytettäviä materiaaleja olivat polyeteeni, polypropeeni, bitumikermi ja PVC-kalvot. Tutkimuksessa todettiin, että polyeteenistä valmistetulla katon eristeellä oli pienemmät päästövaikutukset kuin PVC:llä. (Scolaro & Ghisi, 2022.)

Vedenpidätyskerroksen tehtävänä on hallita valumista, sekä antaa alustalle ja kasvillisuudelle vettä. Kerroksen materiaali tutkimuksissa vaihteli ja tuotteina oli käytetty polymeeri- ja kierrätystekstiilikuituja, kivivillaa, paisutettua perliittiä, polyeteeniä ja PVC:tä. (Scolaro & Ghisi, 2022.)

Katon eristyksellä on tutkimuksen mukaan suurimpia vaikutuksia useissa eri kategorioissa, ja betonista valetuissa katoissa ympäristövaikutukset ovat suurimmat. Yksinkertaisimmilla viherkattorakenteilla on kuitenkin mahdollisuuksia vähentää ympäristövaikutuksia. (Scolaro & Ghisi, 2022.) Viherkattojen valmistukseen vaaditaan enemmän materiaaleja, kuin perinteisten kattojen, mutta ne tarjoavat elinkaarensa aikana useita ympäristö- ja sosiaalisia etuja kaupunkielämälle (Scolaro & Ghisi, 2022).

3.2 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjälki toimii ilmastonmuutoksen hillintäpotentiaalin indikaattorina ja kuvaa kasvihuonepäästöjen vähennystä käyttäjän toiminnassa, kun käyttäjä korvaa perusratkaisun tarjotulla ratkaisulla (Pajula ja muut, 2021).

Tämä LCA-laskentaan pohjautuva mittari kuvaa käyttäjän toiminnan myönteisiä ympäristövaikutuksia ja auttaa yrityksiä ohjaamaan toimintaansa ekologisesti kestävämpään suuntaan tarjoamalla vähähiilisiä ratkaisuja. Yritykset voivat kasvattaa oman toimintansa hiilikädenjälkeä esimerkiksi materiaalien ja energian tehokkaammalla käytöllä, ei-toivottujen materiaalien korvaamisella tai välttämällä, jätteen vähentämisellä, käyttöiän pidentämisellä ja uudelleenkäytöllä. Scolaro ja Ghisi (2022, s. 5) kirjoittavat, että vain 26 % arvioituista laskelmista käsittelee uudelleenkäyttöön ja kierrätykseen liittyviä vaikutuksia, eli cradle-to-cradle lähestymistapaa. Tämä johtuu todennäköisesti tietojen puuttumisesta. Viherkattojen energiatehokkuutta vertaillessa tuloksiin vaikuttaa paikallinen ilmasto. Tästä syystä tutkimuksissa on keskityttävä paikallisen tiedon keräämiseen ja vertailuun, eikä pohjattava sitä yleiseen tietoon. Paikallisen tiedon puute vaikeutti käytön aikaisen energiakulutuksen muutoksen arviointia tässä työssä ja viherkaton hiilikädenjäljen arviointi perustuu pääasiassa kirjallisuuteen.

Viheralueiden ja asumisen tarjoama hiilidioksidin sitominen ja varastointi, ovat saaneet vähemmän huomiota tieteellisessä kirjallisuudessa (Kinnunen ja muut,

2022, s. 1). Kinnunen ja muut (2022, s. 5) kertovat, että hiilen sitominen ja varastointi voi viherkatoilla olla vertailukelpoinen yksityisten pihojen ja puutarhojen kanssa. Viherkatoilta puuttuu kuitenkin usein substraatteja ja puumaisia kasveja, jotka sitoisivat hiiltä pidempään.

3.3 Laskelman tarkoitus ja tavoitteet

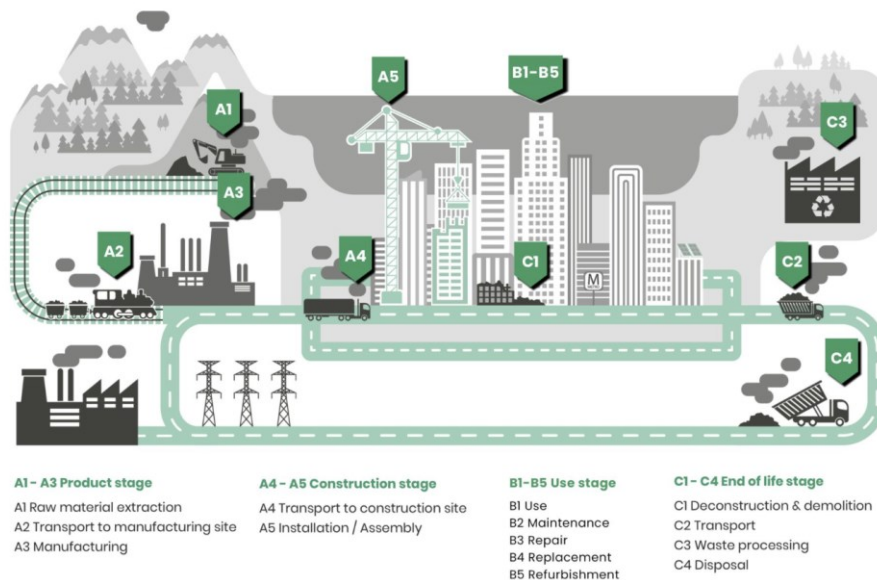
Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä suomalaisen EG-Tradingin valmistaman maksaruohokaton LCA-, eli elinkaarilaskenta ja tarkastella myös ulkomaisen Sempergreenin vastaavaa tuotetta. Rakenteiden ollessa erilaisia suoranainen vertailu tuotteiden kesken ei ole kuitenkaan mahdollista. Työssä keskitytään erityisesti kokonaisrakenteiden hiilijalanjälkien tarkasteluun. LCA-laskennassa selvitettiin viherkaton valmistuksessa ja rakentamisessa syntyviä ympäristövaikutuksia. Laskennassa tarkasteltiin neliömetrin osaa viherkatosta. Tarkoituksena oli selvittää suurimpia ympäristövaikutusten aiheuttajia ja pohtia keinoja vähentää niitä. Tuloksia vertailtiin Sempergreenin LCA-raporttiin vuodelta 2022 (liitteet 3–5).

4 LASKELMAN TOTEUTUS

Laskelma suoritettiin One Click LCA -ohjelmistolla Ecoinventin tietokantoja käyttäen. Ohjelmistolla etsittiin sopivia päästötietoja viherkaton eri materiaaleille, energian käytölle ja kuljetuksille. Toteutuksessa hyödynnettiin mahdollisuuksien mukaan tuotteiden valmiita EPD-raportteja ja yritysten tekemiä omia ympäristöprofiileja, joiden avulla päästötiedot tarkentuivat yleisistä arvoista. Kuljetukset perustuvat selvityksessä saatuihin tietoihin tai mittatyökalujen avulla laskettuihin arvioihin kuljetusmatkasta.

Kasvualustan rakennetta, koostumusta ja valmistusta koskeva tieto salattiin tässä opinnäytetyössä EG-Tradingin toiveesta, koska tiedot ovat yrityssalaisuuksia ja levitessään voivat vahingoittaa yrityksen toimintaa. Opinnäytetyössä viitataan rakenteen, koostumuksen ja valmistuksen osalta salattuihin liitteisiin. Myös Sempergreenin toimittaman vastaavan tuotteen ympäristöprofiilista ei ole mahdollista selvittää tarkkaa rakennetta, koostumusta tai valmistukseen liittyviä tietoja. Laskelmassa otettiin huomioon rakentamisen elinkaaren ajan hiilidioksidipäästöt kategorioissa A1-A4, jotka on määritelty kuvassa 5.

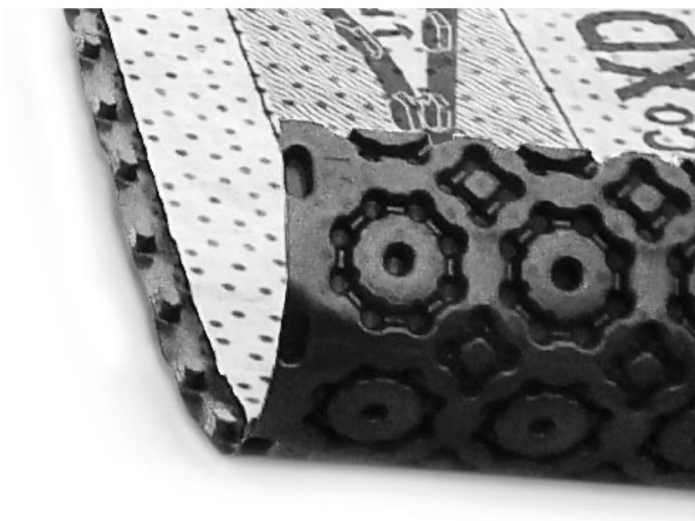
Sources of embodied carbon across the construction lifecycle



Kuva 5. Elinkaarilaskennan moduulijaottelu EN15804-standardin mukaan. Tässä työssä huomioidaan moduulit A1-A4. (One Click LCA Ltd.).

4.1 Raaka-aineet (moduuli A1)

Raaka-aineiden osalta EG-Tradingin maksaruohomaton koostumus on salassa pidettävää aineistoa (Liite 1), eikä sitä julkaista tässä opinnäytetyössä valmistajan toivomuksesta. Rakenteen muiden materiaalien osalta tiedot perustuvat tuotteiden tietolomakkeisiin. EG-Tradingin Nordic Green Roof maksaruohoviherkaton rakenteessa alimmaisena oleva ZinCon Fixodrain XD 20 (Kuva 6) koostuu pääosin polyeteenistä, PE (ZinCo, n.d.). Fixodrain XD 20:n päästökertoimen määrittämiseksi One Click LCA:ssa käytettiin rakeistetun polyetyleenin (HDPE) ja suulakepuristetun muovin virtoja.



Kuva 6. Fixodrain XD 20 -tuotekuva (ZinCo, n.d.).

VH1200-vedenpitomatto (Kuva 7) koostuu 60 % synteettisistä kuiduista, kuten polyesteri ja polypropyleeni (Nordic Green Roof VH1200 -vedenpitomatto, 2023). 40 % tuotteesta on orgaanisia kuituja, kuten puuvillaa, pellavaa ja villaa. Tuote koostuu kierrätyskangasmateriaalien toisesta lajittelusta. Tarkemman jaottelutiedon puuttuessa synteettisten ja orgaanisten kuitujen osuudet merkittiin tasaosuuksin kategorioidensa sisällä laskennassa. Vedenpitomatto on lämpökäsitelty ja tuotetaan ilman kemikaaleja. Puuvillalle, pellavalle ja villalle ei löytynyt Ecoinventin tietokannasta kierrätetyn materiaalin päästökerrointa ja laskussa käytettiin ns. neutraalisia arvoja. Päästökertoimet olivat maailman markkina-arvoja, jotka perustuvat koko maailmasta kerättyjen tietojen keskiarvoon.

Synteettisten kuitujen osalta polyesterissä päästökertoimena käytettiin Danosan EPD-raportin arvoa kierrätetylle polyesteri-geotekstiilille Espanjassa (Danosa EPD, Environdec, 2023). EPD:n GWP-arvo eli ilmastonlämpenemispotentiaali on 0,74 kg CO₂e / kg. Polypropyleenikuidun päästökertoimena käytettiin One Click LCA:n datapistettä 100 % kierrätetylle polypropyleenikuidulle, jota käytetään Suomessa esimerkiksi sementin vahvistuksena. Tuotteen ilmastonlämpenemispotentiaali on 1,56 kg CO₂e / kg.



Kuva 7. Nordic Green Roof™ VH1200 -vedenpitomatto. (EG-Trading Oy, n.d.)

Sempergreen-maksaruohokaton rakenteen raaka-aineina ovat Platon DE 25 (kuva 8) vettä varastoivissa ja salaojittavissa levyissä HDPE eli korkeatiheyksinen polyeteeni. Tuotteen nimellispaino on 950 g/m² ja se toimitetaan 1,33 x 2,22 m:n levyinä. Platon DE 25:lle ei ollut saatavilla EPD-raporttia, josta tarkat päästötiedot olisivat löytyneet. Parhaiten tuotetta kuvasivat tietokannasta löytynyt Plastic European päästökerroin korkeatiheyksiselle rakeistetulle polyeteenille, yhdistettynä suulakepuristetun muovikalvon tavanomaiseen prosessiin Euroopassa. Yhdessä nämä tuottivat 2,08 kgCO₂e/kg päästöt (One Click LCA).



Kuva 8. Platon DE 25 tuotekuva (Kerabit Oy n.d.b).

Rakenteessa ylöspäin seuraavana tuleva N2/KL2-luokan BontexGeon Tiptex-suodatinkangas (kuva 9) valmistetaan polypropeenikuiduista neulasidonnalla ja mekaanista sidontaa täydennetään valmistusvaiheessa kuitujen lämpökäsittelyllä. Tuotteen komponenteista 98,7 % on polypropeenaa ja 1,3 % muita lisäaineita (taulukko 1). Suodatinkankaana voidaan käyttää useiden eri valmistajien tuotteita ja tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin yhtä esimerkkiä, josta löytyi hyvin tietoa.

Päästökerrointa neliölle määritettäessä käytettiin (BontexGeo EPD no. MD-21018-EN) valmista EPD-raporttia pohjana ja datapiste luotiin käsin One Click LCA-ohjelmaan. EPD:n pohjalta datapisteen päästökerroin oli 2340,0 kg CO₂e / ton. Tuotteen neliömetrille aiheutuvat päästöt määräytyivät seuraavalla kaavalla:

$N = Pt / 1000 * Mn$, jossa

N = neliöpäästöt (1)

Pt = päästöt tonnia kohden

Mn = tuotteen massa neliometriä kohden.

$$= 2340,0 \div 1000 \times 0,135 = 0,3159 \approx 0,32 \text{ kg/m}^2$$



Kuva 9. N2-luokan Tiptex-suodatinkangas (Geosynt, n.d.).

Taulukko 1. Tuotteen komponenttien %-osuudet. (suomentaen BontexGeo EPD no. MD-21018-EN)

Materiaali	Paino-% tuotteen loppupainosta
Polypropeeni, PP	98,7 %
Lisäaineet	1,3 %

Sempergreenin maksaruohokaton kasvualustana käytössä on Kekkilän maksaruohokattomulta PLUS. Tuote valmistetaan 100 % kotimaisista raaka-aineista. Maksaruohokattomullan päästökertoimet saatiin opinnäytetyöhön Kekkilän LCA-laskurista (liite 6). Kyseessä ei ole ulkopuolisen verifioima EPD, mutta laskelma antaa tuotteesta varmasti tarkemman kuvan, kuin mullan yleinen päästökerroin ohjelmassa.

Kekkilän maksaruohokattomulta PLUS painaa 1200 kg/m^3 , ja hiilidioksidipäästöt ovat LCA-laskurin tietojen mukaan $8,19 \text{ kg CO}_2\text{e} / \text{m}^3$. Maksaruohokattomultaa asennetaan viherkatoille 50 mm:n kerros (Nyberg, 2023). Tuotteen päästöt neliometriä kohden saadaan seuraavalla kaavalla:

$N = K_p \times N_s$, jossa

N = päästöt neliometriä kohden

K_p = päästöt kuutiota kohden

N_s = asennetun multakerroksen syvyys.

$$N = 8,19 \times 0,05 = 0,4095 \approx 0,41 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$$

4.2 Kuljetukset (moduulit A2 ja A4)

Kuljetusten määrittäminen raaka-aineiden osalta perustui mittatyökalujen käyttöön ja reitin arvioimiseen valmistusmaasta Suomeen ja EG-Tradingin tehtaallemme Tammissaareen. Euroopan maista kuljetettuihin raaka-aineisiin sisältyi oletettavia reittien osalta, sillä tarkempaa tietoa ei ollut saatavilla. Eurooppalaisten reittien

pohjana käytettiin esimerkiksi ison logistiikkayrityksen, DSV:n, tavallisimpia reittejä.

Kotimaisissa kuljetuksissa materiaalien osalta käytettiin keskimääräistä kuljetusmatkaa, joka oli 150 km. Myös valmiin tuotteen keskimääräinen kuljetusmatka oli sama 150 km. Laskennassa käytettyjen maksaruohomaton raaka-aineiden kuljetusmatkat on ilmoitettu liitteessä 2, joka päätettiin myös salata tässä opinnäytetyössä.

4.3 Valmistus (moduuli A3)

EG-Tradingin tehtaan päästöistä otettiin huomioon vuotuinen ostettu vesijohtovesi (200 m³) mutta tehtaan omista kaivoista hankittu vesi jätettiin huomioimatta (Malmi, 2023). Maksaruohomaton kasvatusta tapahtuu ulkona, eikä siten vaadi kasvamisensa lämmitettäviä tiloja. Materiaalien seulontaan käytettävän seulan vuotuinen energiankulutus (500 kWh) otettiin huomioon laskutoimituksessa.

Maksaruohon kasteluun käytettävien pumppujen energiankulutus vuodessa oli 5330 kWh, mutta se merkittiin nollopäästöisenä, koska yrityksen käyttämä sähkö oli alkuperätkin varmennettua 100 % uusiutuvaa sähköä.

Sempergreenin maksaruohomattojen valmistuksen energiankulutus perustuu yrityksen Environmental Profile-raportin päästötietoihin.

4.4 Moduulit, joita ei huomioida

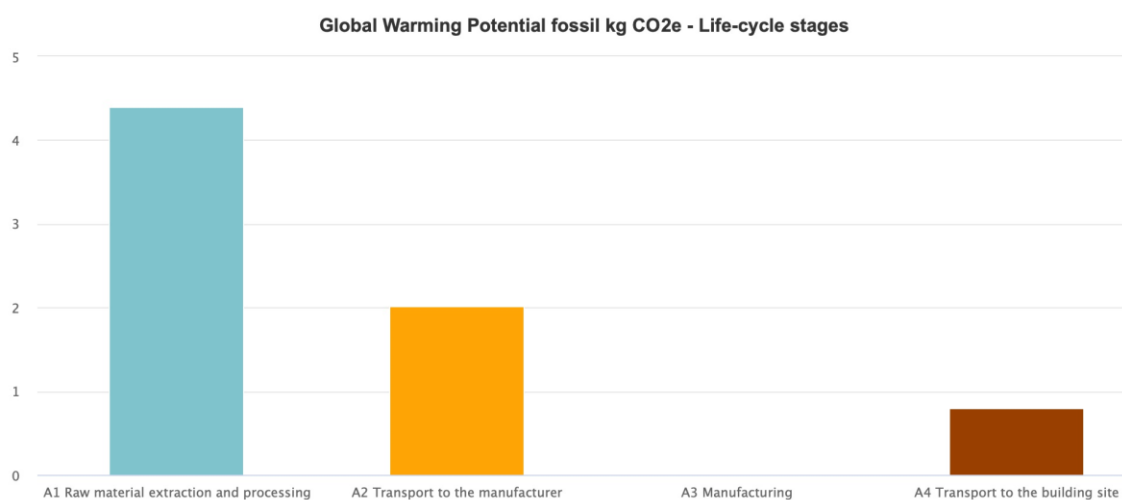
Kohteen energiankulutusta ei otettu huomioon tässä laskennassa. Maksaruohomaton, VH 1200 vedenpitomaton ja suodatinkankaalla varustetun Fixodrain XD 20 kennomaton asentamiseen ei tarvita sähkökäyttöisiä työkaluja tai muuta energiaa kuluttavia työmenetelmiä. Tuotteet asennetaan käsin kohteessa vedeneristeen päälle.

Sempergreenin vastaavan rakenteen asennus ei myöskään tarvitse energiaa kuluttavia työmenetelmiä, tai sähkökäyttöisiä työkaluja. Nostotyöstä mahdollisesti aiheutuva energiankulutus päätettiin rajata työstä molempien kohdalla pois.

LCA-laskennassa ei otettu huomioon myöskään viherkaton huoltotoimenpiteitä. Lannoitus tapahtuu viherkaton asennuksen jälkeen ja alkukastelu on tärkeää. Jatkossa kastelu täytyy järjestää ainoastaan erittäin pitkien kuivakausien aikana. Nämä toimenpiteet vaikuttavat viherkaton ympäristövaikutuksiin kokonaisuutena todella vähän ja ne päätettiin rajata laskennasta pois.

5 TULOKSET

Tässä opinnäytetyössä suoritetun elinkaarilaskennan perusteella EG-Tradingin viherkaton raaka-aineiden louhinta ja prosessointi tuottivat noin 4,4 kgCO₂e/m² päästöt. Tämä oli ylivoimaisesti suurin fossiilisten hiilidioksidipäästöjen (GWP-fossil) aiheuttaja kategorioissa. Toiseksi suurimmat päästöt aiheutuivat raaka-aineiden kuljetuksesta valmistajalle, noin 2,0 kg CO₂e neliometriä kohden. Kuljetukset työmaalle aiheuttivat noin 0,8 kg CO₂e päästöt neliometriä kohden valmistuksen päästöjen jäädessä lähes olemattomiin uusiutuvan sähkön ja vähäisen energiankulutuksen takia (kuva 10). Kokonaishiilidioksidipäästöt EG-Tradingin maksaruohokatolla olivat 7,22 kgCO₂e/m².



Kuva 10. GWP päästöjen jakautuminen A1–A4-scopen välillä.

Raaka-aineiden päästöjä tarkemmin tarkastaessa pääasialliset päästöt syntyivät kasvatusalustan (1,71 kg CO₂e), VH 1200 vedenpitomaton (1,31 kg CO₂e) ja Fixodrain XD 20:n (0,71 kg CO₂e) valmistuksesta.

Tässä opinnäytetyössä suoritetun elinkaarilaskennan perusteella EG-Tradingin viherkaton suurin päästölähde oli A1-moduuli, joka aiheutti 60,9 % päästöistä (kuva 11).

Toiseksi suurimmat päästöt, 27,9 %, syntyivät A2-moduulista. 11,1 % päästöistä syntyi A4-moduulista eli kuljetuksesta työmaalle. Valmistuksen eli A3-moduulin päästöt jäivät olemattomiksi, 0,1 %.

Global Warming Potential fossil kg CO₂e - Life-cycle stages

- A1 Raw material extraction and processing - 60.9%
- A2 Transport to the manufacturer - 27.9%
- A3 Manufacturing - 0.1%
- A4 Transport to the building site - 11.1%

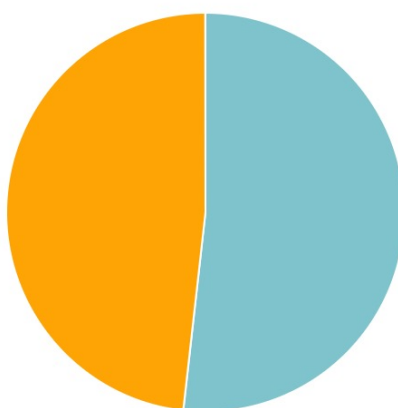


Kuva 11. EG-Tradingin maksaruohokato prosentuaalinen jakauma A1-A4 scopen välillä.

Sempergreenin maksaruohokaton tuloksia (kuva 12) tarkastaessa päästöt jakautuivat tasaisesti raaka-aineiden louhinnan ja prosessoinnin (51,8 %) sekä kuljetusten rakennustyömaalle kanssa (48,2 %). Päästöjen perustuessa Sempergreenin LCA-raporttiin yksityinen tietoaaineisto syötettiin One Click LCA -ohjelmaan materiaalien valmistuksen välilehdelle, scope A1–A3 -kohtaan. Valmistuksen ja materiaalien kuljetuksien tehtaalle ollessa laskettuna LCA-raportin tietoaaineiston sisään, ohjelma ei pystynyt erittelemään kuvaajissa kyseisiä tietoja. LCA-raportteihin pohjautuvat tietoaaineistot eivät näy tarkemmin eriteltyinä kuvaajissa.

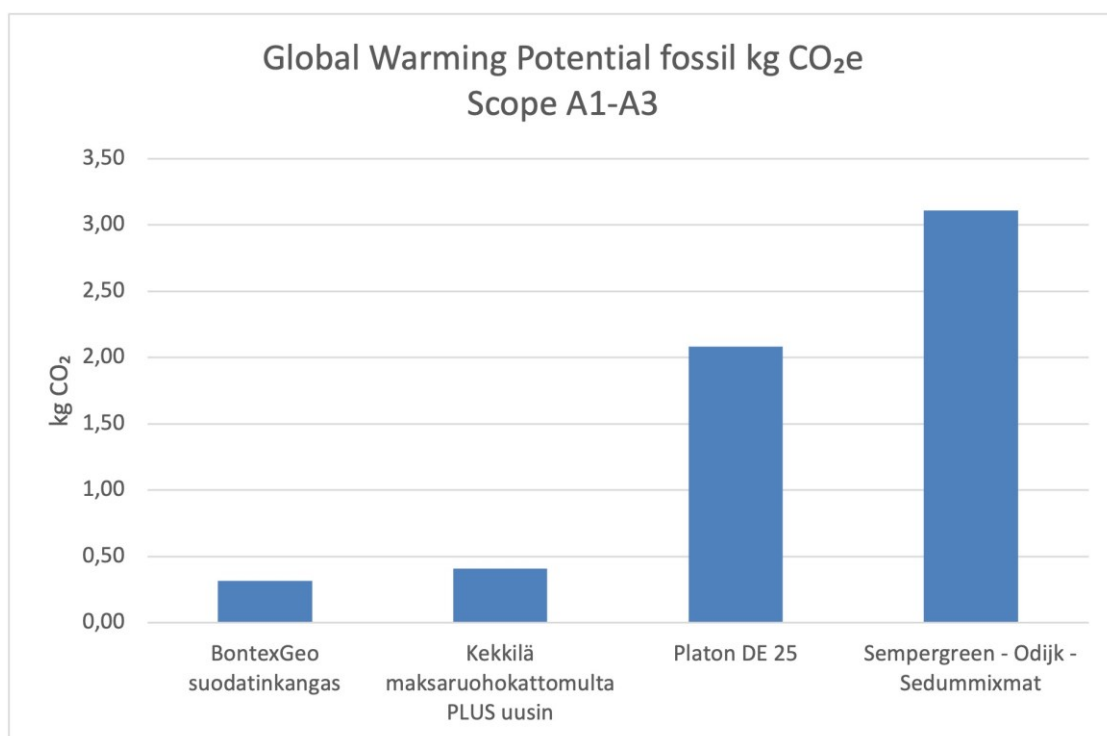
Global Warming Potential fossil kg CO₂e - Life-cycle stages

- A1 Raw material extraction and processing - 51.8%
- A4 Transport to the building site - 48.2%



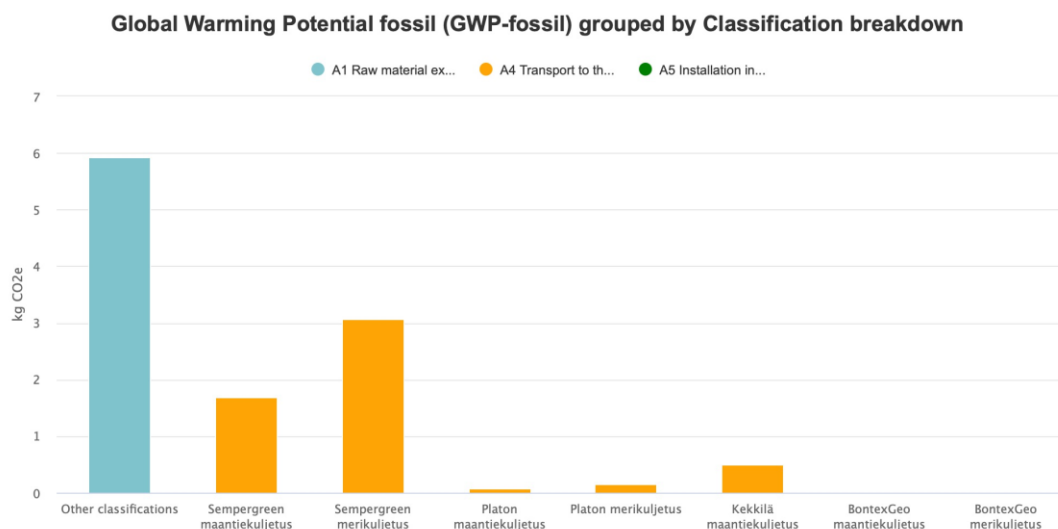
Kuva 12. Sempergreenin maksaruohokaton päästöjen jakautuminen, jossa A1 sisältää scopet A1–A3.

Sempergreenin viherkaton rakenteen materiaalien tarkempi päästöjakauma on esitetty kuvassa 13. Materiaalien (A1–A3) yhteispäästöt olivat 5,92 kg CO₂e, jossa maksaruohomaton osuus oli 3,11 kg CO₂e. Platon DE 25 salaojitus- ja vettä varastoivassa levyssä päästöt olivat eurooppalaisia tavanomaisia päästökertoimia käytettäessä arviolta 2,08 kg CO₂e. Kekkilän maksaruohokattomullassa päästöt olivat 0,41 kg CO₂e ja BontexGeo suodatinkankaassa 0,32 kg CO₂e/m².



Kuva 13. Sempergreen viherkattorakenteen päästöjakauma.

Kuljetuksia tarkastaessa Sempergreenin merikuljetus tuotti suurimmat päästöt, 3,07 kg CO₂e / m². Maantiekuljetukset tuottivat 1,69 kg CO₂e päästöt maksaruohokaton neliometriä kohden. Kekkilän maksaruohokattomullan kuljetuksen päästöt olivat 0,50 kg CO₂e / m² (kuva 14). Sempergreenin vastaavan maksaruohokaton rakenteen neliömetrin päästöt olivat 11,4 kg CO₂e/m².



Kuva 14. Sempergreenin maksaruohokaton kuljetuksien päästöjakauma.

Chenani ja muut (2014) tarkastelevat artikkelissaan kahta eri viherkaton rakennetta. Ensimmäinen katoista on juurisuojattu polyeteenillä (LDPE) ja siinä on käytetty suodatin- ja suojakerroksissa kevyempiä materiaaleja sekä kierrätettyjä tekstiilikuituja. Substraattikerroksessa käytettiin paisutettua savea, murskattua tiiltä ja kompostia. Tämä rakenne tuotti tulosten mukaan 15,83 kg CO₂e päästöt rakennettua viherkaton neliometriä kohden.

Toisessa tarkastellussa rakenteessa juurisuojaus toteutettiin PVC:llä ja siinä käytettiin raskaampia suoja- ja suodatinmateriaaleja. Salaojakerros oli toteutettu neutraalisella polystyreenillä ja vedenpidätyskerroksessa oli käytetty kivivillaa. Substraatteina käytettiin kompostia, hiekkaa ja hohkakiveä. Tämä raskaampi rakenne tuotti peräti 22,13 kg CO₂e päästöt viherkaton neliometriä kohden.

Tässä opinnäytetyössä tarkastelussa olleet EG-Tradingin viherkattorakenne (7,22 kg CO₂e/m²) ja Sempergreenin hieman erilainen rakenne (11,4 kg CO₂e/m²) ovat samassa linjassa näiden tuloksien kanssa, sillä juurisuojaa rajattiin laskuista pois. Molempien rakenteiden osalta tarkastelusta rajattiin pois nostotöiden energiankulutus, maksaruohomaton asennuksen jälkeinen lannoitus ja kastelu. Näillä on kuitenkin vähäinen merkitys kokonaispäästöjen suhteen. Joidenkin tuotteiden materiaaleille ei löytynyt tietokannoista kierrätetyn materiaalin arvoa, kuten VH

1200-vedenpitomaton pellava ja puuvilla. Materiaalit merkittiin tietokannasta löytyvillä market for-arvoilla ja ne antavat riittävän tarkan keskiarvon päästöistä. Tämä kuitenkin osoittaa, että tutkimuksien ja selvityksien lisääntyessä päästään jatkossa tarkempiin tuloksiin päästöjen osalta.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Viherkattojen rakentamisen päästöjä arvioitaessa huomio kiinnittyi erityisesti erilaisten muovien valmistuksesta aiheutuviin päästöihin. Muoveja käytettiin molemmissa rakenteissa pääosin salaojitus-/vedenpidätyskerroksissa ja suodatinkerroksen materiaaleissa. Muovilajeina eniten käytettiin korkeatiheyksistä polyeteeniä (HDPE) ja polypropyleenia (PP). Ne synnyttivät merkittävät päästöt, vaikka osassa päästökertoimista pystyttiin huomioimaan materiaalin kierrätysaste. EG-Tradingin rakenteen osalta 60 % päästöistä tuli muoviin liitännäisistä tuotteista. Muovien käytön vähentämisellä olisi varmasti mahdollista vaikuttaa viherkattojen hiilidioksidipäästöihin merkittävästi. Orgaanisien aineiden käyttöä lisätessä olisi kuitenkin muistettava viherkaton rakenteen toimivuus. Esimerkiksi salaojitus- ja vedenpidätyskerroksien olisi toimittava koko viherkaton eliniän ajan ja materiaalien hajoamista ei saisi tapahtua. Muovilajeja sisältävien tuotteiden kierrätykseen tulisi siitä syystä panostaa entistä enemmän, tai etsiä ekologisempia kestäviä vaihtoehtoja.

Kuljetuksien osalta materiaalien olisi tietysti hyvä tulla läheltä, mutta mikäli toimitusmatka on pidempi, toimituserien olisi hyvä olla mahdollisimman suuria ja niiden tapahtua ekologisesti isoilla aluksilla merikuljetuksissa. Autolautalla tapahtuvan kuljetuksen päästöt ovat melkein 17 kertaa suuremmat kuljetettu tonnikipometriä kohden, verrattuna irtolastialukseen (One Click LCA Ltd.). Tämä kaikki vaikuttaa kuitenkin hyvin vähän päästöihin pienempiä määriä kuljetettaessa. Myös materiaalien pidempiaikainen varastoiminen tuo päästöjä ja kustannuksia. Kumi-
pyörillä materiaaleja liikuttaessa kilometrikohtaiset päästöt pienenevät myös, mitä enemmän kerralla kuljetetaan.

Suomessa viherkattojen ympäristövaikutuksista tarvitaan vielä paljon lisää paikallista tutkimustietoa. Viherkattojen vaikutuksista lämmöneristävyyteen on vielä varsin vähän tietoa. Ilmasto vaikuttaa oleellisesti viherkattojen hyötyihin ja tutki-

mustietoa ei voi perustaa muiden maantieteellisten sijaintien pohjalta. Myös viherkattorakenteen vaikutusta vesikaton elinikään tulisi tutkia Suomessa tarkemmin. Viherkaton materiaalien uusiokäyttö vaatii lisää tutkimusta globaalistikin, eikä paikallinen tieto ole tässäkään tapauksessa haitaksi. Etenkin muovia sisältävien materiaalien kierrättäminen olisi toivottavaa ja ekologista, koska päästöt niissä ovat suurimmat rakenteissa. Kierrätysmateriaalien käyttöä viherkaton eri rakenteissa olisi hyvä selvittää enemmän.

Rakennussertifikaattien määrittelemät säännökset ja rakennusmääräykset kannustavat jatkossakin rakennusalan yrityksiä etsimään kestävämpiä ratkaisuja kohteisiin. Lisääntyvä tutkimustieto ohjaa rakentamista koko ajan ekologisempaan suuntaan ja kannustaa toimijoita etsimään vähäpäästöisempiä ratkaisuja.

Tutkimusaineiston lisääntyessä myös ympäristövaikutusten tulosten arviointi tarkentuu ja saamme paremman kokonaiskuvan. Esimerkiksi EPD-raportit antavat luotettavaa tietoa tuotteiden ympäristövaikutuksista ja helpottavat kuluttajaa valitsemaan ekologisimman tuotteen avoimen tiedon lisääntyessä. On myös tärkeää, että yritykset pyrkivät pienentämään tuotteidensa ja palveluidensa hiilijalanjälkeä, sekä pyrkivät kasvattamaan omaa hiilikädenjälkeään.

Tutkimustulosteni ja kirjallisuuden perusteella viherkattojen rakenne olisi hyvä pitää kevyenä, käyttää mahdollisimman paljon kierrätettävää materiaalia ja välttää korkeapäästöisiä muovimateriaaleja. Tieteellisten hyötyjen lisäksi viherkatoilla on myös suuri merkitys kaupungeissa ihmisten viihtyvyyden ja hyvinvoinnin kannalta.

LÄHTEET

BontexGeo. (2021). EPD no. MD-21018-EN. Noudettu 1.11.2023 osoitteesta: <https://www.epddanmark.dk/media/fd2oiz3s/md-21018-en-bontexgeo.pdf>

Chenani, S., B., Lehvävirta, S. & Häkkinen, T. (2014). Life cycle assessment of layers of green roofs. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.070>

Danosa. (2023). EPD no. S-P-01897. Noudettu 11.5.2024 osoitteesta: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/de46eb3a-bdb9-4cb7-2566-08db259f9365/Data>

EG-Trading. (n.d.). Nordic Green Roof. Noudettu 19.9.2023 osoitteesta: https://www.eg-trading.fi/sites/default/files/Nordic%20Green%20Roof%20laaja%202019-compressed_0.pdf

EG-Trading Oy. (2020). Noudettu 19.9.2023 osoitteesta: <https://eg-trading.fi/content/eg-trading-oy>

Eurostat. (2023, huhtikuu). Sustainable cities and communities in the EU: overview and key trends. Noudettu 7.11.2023 osoitteesta: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=SDG_11_-_Sustainable_cities_and_communities#Sustainable_cities_and_communities_in_the_EU:_overview_and_key_trends

IPCC ilmastoraportti. (2018). Noudettu osoitteesta: <https://ym.fi/-/ipcc-ilmastolampenee-haluttavalla-vauhdilla>

Kerabit Oy. (Kerabit n.d.a). Noudettu 19.9.2023 osoitteesta <https://www.kerabit.fi>

Kerabit Oy (Kerabit n.d.b). Viherkatot – katosrakenteet. Noudettu 19.9.2023 osoitteesta: <https://tuotteet.kerabit.fi/tuotteet/ohjeet/rakennekuvat/viherkatot-katosrakenteet>

Kinnunen, A., Talvitie, I., Ottelin, J., Heinonen, J. & Junnila, S. (2022) Garbon sequestration and storage potential of urban residential environment. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104027>

Malmi, T. (2023). Sähköpostikeskustelu 2023. EG-Trading Oy.

Nordic Green Roof™. (n.d.). VH1200–vedenpitomatto. Noudettu 19.9.2023 osoitteesta: <https://www.eg-trading.fi/sites/default/files/Nordic%20Green%20Roof%20vh1200%20vedenpitomatto.pdf>

Nyberg, P. (2023). Kekkila–BVB, Vastuullisuuslaskuri, videokeskustelu.

One Click LCA Ltd. (n.d.). Elinkaariarviointiohjelmisto. Www-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/fi/> [Viitattu 24.8.2023].

Pajula, T., Vatanen, S., Behm, K., Grönman, K., Lakanen, L., Kasurinen, H. & Soukka, R. (2021). Carbon handprint guide: V. 2.0 Applicable for environmental handprint. Noudettu 12.9.2023 osoitteesta: https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2021/Carbon_handprint_guide_2021.pdf

Platon DE 25 tuotekuva. (Kerabit n.d.). Ruutukaappaus. Noudettu 1.11.2023 osoitteesta: <https://tuotteet.kerabit.fi/tuotteet/viherkatot-ja-kannet/viherkattotuotteet/2-viherkaton-salaojitus-ja-vetta-varastoivat-kerrokset/1061/platon-de-25>

Scolaro, T.P & Ghisi, E. (2022). Science of the Total Environment, Life cycle assessment of green roofs: A literature review of layers materials and purposes. <https://www.sciencedirect.com/journal/science-of-the-total-environment>

Sempergreen. (2024). About us. Noudettu 9.1.2024 osoitteesta: <https://www.sempergreen.com/en/about-us/about-sempergreen>

Sempergreen maksaruohokatto. (2020). Pääty-/yläräystäsdetalji. Kuvakaappaus 8.11.2023 osoitteesta: https://tuotteet.kerabit.fi/Download/25137/YP-DET157_Maksaruohokatto_katosrakenteet_multa_päätäräystä.pdf

Shafique, M., Azam, A., Rafiq, M., Ateeq, M. & Luo, X. (2020) Journal of Cleaner Production: An overview of a life cycle assessment of green roofs. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119471>

Suomen Standardisoimisliitto (2006). Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. (SFS-EN ISO 14040:2006).

Soulis, K.X., Valiantzas, J.D., Ntoulas, N., Kargas, G. & Nektarios, P.A. (2017). Simulation of green roof runoff under different substrate depths and vegetation covers by coupling a simple conceptual and a physically based hydrological model. J. Environ. Manag. 200, s. 434–445. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.012>.

The World Bank. (2023). Green Building Certification Data. Noudettu 11.5.2024 osoitteesta: <https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0064630/Green-Building-Certification-Data>

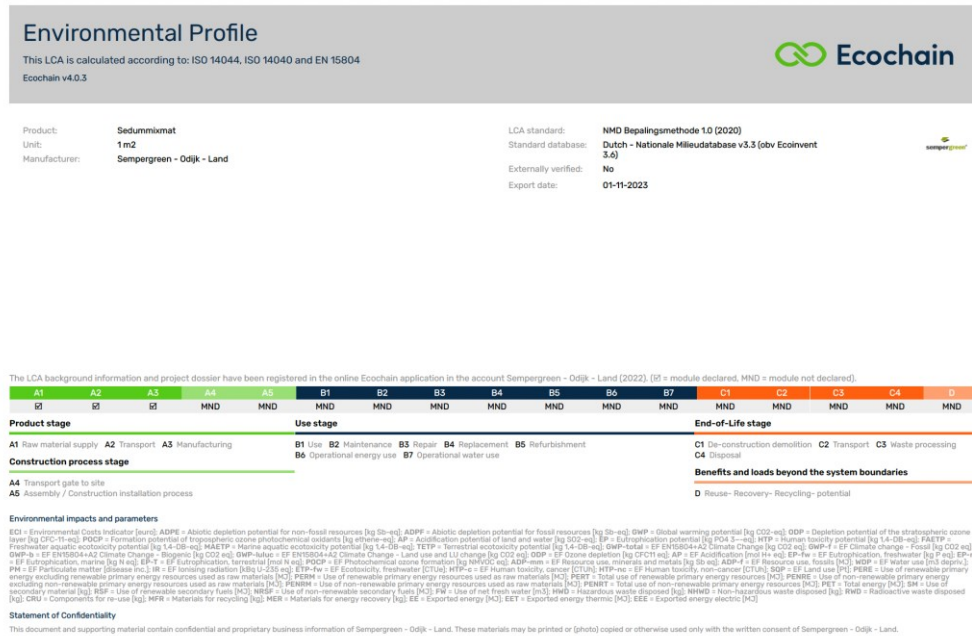
Veuro, S., Mesimäki, M. & Lehvävirta, S. (2012). Esiselvitys viherkattojen elinkaarianalyysistä ja kestävästä rakennusratkaisuista. Noudettu 31.8.2023 osoitteesta: <https://helda.helsinki.fi/items/d08516da-8ba8-4eae-a4be-f6f5f25ccee0>

World Green Building Council. (2024). Noudettu 1.6.2024 osoitteesta: <https://worldgbc.org/sustainable-building-certifications/>

Zhao, M., Tabares-Velasco, P.C., Srebric, J., Komarneni, S. & Berghage, R. (2014). Effects of plant and substrate selection on thermal performance of green roofs during the summer. Build. Environ. 78, 199–211. <https://doi.org/10.1016/j.build-env.2014.02.011>.

Zinco. (N.d.a). Green Roof with Fixodrain XD 20. Noudettu 19.9.2023 osoitteesta: <https://zinco-greenroof.com/press-release/green-roof-fixodrain>

LIITTEET




Liite 3. Sempergreen Environmental Profile 1/3.

Results

Liite 4. Sempergreen Environmental Profile 2/3.

Resource use	Unit	A1	A2	A3	A1-A3	Total
PERE	MJ	5.90E+1	4.79E-2	1.72E+0	6.08E+1	6.08E+1
PERM	MJ	0	0	0	0	0
PERT	MJ	5.90E+1	4.79E-2	1.72E+0	6.08E+1	6.08E+1
PENRE	MJ	2.28E+1	4.21E+0	1.30E+1	4.00E+1	4.00E+1
PENRM	MJ	0	0	0	0	0
PENRT	MJ	2.28E+1	4.21E+0	1.30E+1	4.00E+1	4.00E+1
PET	MJ	8.18E+1	4.26E+0	1.47E+1	1.01E+2	1.01E+2
SM	kg	0	0	0	0	0
RSF	MJ	0	0	0	0	0
NRSF	MJ	0	0	0	0	0
FW	m3	1.81E-1	4.63E-4	3.98E-3	1.85E-1	1.85E-1
Output flows and waste categories	Unit	A1	A2	A3	A1-A3	Total
HWD	kg	4.16E-5	9.57E-6	4.19E-5	9.30E-5	9.30E-5
NHWD	kg	3.81E-1	2.34E-1	1.36E-1	7.51E-1	7.51E-1
RWD	kg	7.47E-5	2.61E-5	7.74E-5	1.78E-4	1.78E-4
CRU	kg	0	0	0	0	0
MFR	kg	0	0	0	0	0
MER	kg	0	0	0	0	0
EE	MJ	0	0	0	0	0
EET	MJ	0	0	0	0	0
EEE	MJ	0	0	0	0	0



Ecochain Technologies BV
H.J.E. Wenckebachweg 123, 1096 AM Amsterdam, The Netherlands
<https://www.ecochain.com>
+31 20 3035 777

Liite 5. Sempergreen Environmental Profile 3/3.

Name of recipe	Environmental shadow costs (M€)	€ 0.16	€ 0.16	€ 4.00	€ 0.05	€ 9.00	€ 0.03	€ 0.09	€ 30.00	€ 0.00	€ 2.00	€ 0.06	€ 0.00
Maksarohokattomulta PLUS	ABIOD DEPL	ABIOD DEPL FUEL	ACIDIFICATION	CO2	EUTROPHICATION	FRESHWATER TOX	HUMAN TOXICITY	OZONE	SALTWATER TOX	SMOG	SOIL TOXICITY	WATER	
Lifecycle stage	Total cost (€)	kg Sb	kg Sb	kg SO2	kg CO2	kg PO4 3-	kg 1,4 DB	kg CFC11	kg 1,4 DB	kg C2H4	kg 1,4 DB	m3	
Extraction	€ 0.36	0.008	0.016	0.017	3.685	0.003	0.112	0.570	0.000	237.589	0.001	0.005	0.011
Inbound logistics	€ 0.56	0.032	0.034	0.015	4.340	0.002	0.060	1.891	0.000	768.480	0.001	0.009	0.004
Production	€ 0.02	0.000	0.001	0.001	0.164	0.000	0.002	0.063	0.000	9.293	0.000	0.000	0.000
Use & End-of-Life	€ 1.79	0.000	0.000	0.000	35.827	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Landscape restoration	€ 0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Packaging	€ 0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Outbound logistics	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!
Total (Cradle to Customer)	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!	#PUUTTUI!
Total (Cradle to Gate)	€ 0.94	0.041	0.051	0.032	8.189	0.005	0.174	2.524	0.000	1015.362	0.002	0.014	0.015

Liite 6. Kekkilä-BVB LCA-laskuri (P. Nyberg, 2023).