

Saukkoriipi Salla

# **YMPÄRISTÖLUOKITUSJÄRJESTELMÄT RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLJEN OHJAUSKEINONA**

Ympäristöluokitusjärjestelmien vaikutus  
asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen

Diplomityö  
Rakennustekniikka  
Jukka Puhto  
Ari Ahonen  
Huhtikuu 2022

# TIIVISTELMÄ

Salla Saukkoriipi: Ympäristöluokitusjärjestelmät rakennuksen hiilijalanjäljen ohjauskeinona  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Vastuuohjaaja: Tekniikan tohtori Jukka Puhto  
Tarkastaja: Industry professori Ari Ahonen  
Huhtikuu 2022

---

Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arvioinnin muuttuessa pakolliseksi ja sitä koskevien raja-arvojen voimaan astumisen lähestyessä monet Suomessa rakennusalalla toimivat ovat pohtineet miten rakennushankkeita tulee ohjata, jotta ne täyttävät tulevat vaatimukset. Samaan aikaan ympäristöluokitusjärjestelmien käyttäminen rakennusalalla on lähtenyt jyrkästi nousuun. Monilla on varmasti käynyt mielessä ajatus siitä voisiko ympäristöluokitusjärjestelmiä hyödyntää rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjausmenetelminä tuleviin hiilijalanjäljen raja-arvoihin pyrittäessä. Tutkimus koostuu kirjallisuusselvityksestä ja määrällisestä tutkimuksesta. Tutkimuksessa tarkastellaan neljän Suomessa yleisimmin käytössä olevien ympäristöluokitusjärjestelmien LEEDin, BREEAMin, RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän ja Joutsenmerkin kriteeristöjä rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamisen näkökulmasta. Kirjallisuusselvityksen ensimmäisessä osassa tutustutaan rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen syntymiseen ja todentamiseen. Toisessa osassa tarkastellaan ympäristöluokitusjärjestelmien kriteerien rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen ohjausmenetelmiä, sekä hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien painotusta ympäristöluokitusjärjestelmän pisteytyksessä.

Tutkimuksen määrällisessä osiossa selvitetään hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien vaikutus case-kohteen hiilijalanjälkeen. Tämä toteutettiin laskemalla kunkin ympäristöluokitusjärjestelmän hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien vaatimusten täyttämiseksi vaadittavien muutosten vaikutus tavanomaisesti rakennetun betonirunkoisen asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että kaikissa ympäristöluokitusjärjestelmissä rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki oli huomioitu jossain määrin. Sen painotus oli kuitenkin vähäistä. Ympäristöluokitusjärjestelmien rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaus perustui pitkälti energiankulutuksen ohjaamiseen. Ainoastaan RTS-ympäristöluokitusjärjestelmässä ja LEEDissä oli kriteerit, joissa vaadittiin rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämistä. Näissä molemmissa kriteeri kuitenkin täyttyi jo energiankulutuskriteerin vaatimukset täyttämällä. Rakennuksen materiaalien aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä ohjattiin myös vain kahdessa neljästä tarkasteltavasta ympäristöluokitusjärjestelmästä: Joutsenmerkissä ja RTS-ympäristöluokitusjärjestelmässä. Näissäkin saavutettu hiilijalanjälkisäästö oli vähäistä.

Suurin saavutettu elinkaaren hiilijalanjäljen säästöprosentti oli 30 %, jonka saavutti LEED ympäristöluokitusjärjestelmän hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien mukaan muokattu case-kohde. LEEDin case-kohteessa kuitenkin tuotevaiheen hiilijalanjälki oli myös vertailun suurin.

Tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että rakennusalla nykyään käytössä olevat ympäristöluokitusjärjestelmien rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjausmenetelmät ovat aika vähäiset eivätkä ne saavuta kovin suuria säästöjä rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljessä. Ne painottuvat liikaa rakennuksen energiankulutuksen ohjaamiseen ja sivuttavat tuotevaiheen hiilijalanjäljen tärkeiden. Mikäli rakennusalalla halutaan saavuttaa asetetut hiilineutraaliuustavoitteet asetettuihin määräaikoihin mennessä, tulee rakennusalalla löytää nykyisiä ympäristöluokitusjärjestelmiä tehokkaampia menetelmiä rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamiseen.

Avainsanat: ympäristöluokitusjärjestelmä, ympäristöluokituksen kriteeristö, kestävä kehitys, vähähiilinen rakentaminen, rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki, hiilijalanjäljen ohjaus, hiilijalanjäljen raja-arvot, ympäristöministeriön arviointimenetelmä, LEED, BREEAM, RTS-ympäristöluokitus, Joutsenmerkki

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

# ABSTRACT

Salla Saukkoriipi: Environmental rating systems as a tool to manage the carbon footprint of buildings

Master's Thesis

Tampere University

Degree Program in Civil Engineering

Responsible Supervisor: Doctor of technology Jukka Puhto

Examiner: Industry Professor Ari Ahonen

April 2022

---

As the assessment of carbon footprint for buildings is soon becoming mandatory in Finland and as a result national limit values for the carbon footprint for buildings are being set, many in Finland have begun to consider how the management of building projects should change so that new buildings are able to achieve these set goals. At the same time the use of environmental rating systems is growing rapidly in the construction sector. Many have been wondering if environmental rating systems could be used to manage building projects to meet the approaching carbon footprint goals.

The study consists of a literature review and a quantitative study. The study examines the criteria of the four most used environmental rating systems in Finland: LEED, BREEAM, RTS and Joutsenmerkki from the perspective of managing the carbon footprint of a building's life cycle. The first part of the literature review introduces what the carbon footprint of a building consists of and how it can be measured and managed. The second part examines the criteria of the environmental rating systems on what methods they use to manage the carbon footprint of a building and how the criteria managing the carbon footprint of a building is weighted in the scoring of the environmental rating system.

The quantitative part of the study examines the effect the environmental rating system's criteria managing the carbon footprint of a building has on the carbon footprint of a building. This was executed by modifying a conventionally constructed concrete apartment building to meet the requirements of the environmental rating systems criteria governing the carbon footprint of a building and then calculating the difference made in the carbon footprint of the building.

The study revealed that the carbon footprint of the building's life cycle had been taken into account to some extent in all environmental rating systems. However, its emphasis was low. The management of the life cycle carbon footprint of the environmental rating systems was largely based on the management of energy consumption of the buildings. Only the RTS environmental rating system and LEED had criteria that required a reduction in the life cycle carbon footprint of the building. In both of these, however, the criteria were already met by meeting the requirements of the energy consumption criteria. Greenhouse gas emissions from building materials were also managed in only two of the four environmental rating systems under consideration: Joutsenmerkki and the RTS environmental rating system. The achieved savings in the carbon emissions resulting from the building materials were not significant in either.

Based on the study, it can be stated that the lifecycle carbon footprint management methods currently used in the environmental rating systems for construction industry are insufficient and do not achieve significant savings in the lifecycle carbon footprint of the building. The rating systems place too much emphasis on managing a building's energy consumption and ignore the importance of the carbon emissions resulting from the materials being used to construct the building. If the construction industry is to achieve the set carbon neutrality targets by the set deadlines, the construction industry must find more efficient methods for managing the life cycle carbon footprint of buildings, than the ones introduced in the currently used environmental rating systems.

Keywords: environmental rating system, environmental rating criteria, sustainable development, low carbon construction, life cycle carbon footprint of a building, carbon footprint management, carbon footprint limit values, Ministry of the Environment assessment method, LEED, BREEAM, RTS environmental classification, Joutsenmerkki

# ALKUSANAT

Diplomityö on tehty A-Insinöörit Rakennuttaminen Oy:lle osana ympäristövastuullisuuden tavoitteiden toteuttamista ja kehittämistä. Työn ohjaajana A-Insinööreiltä toimi tekniikan tohtori Liisa Jäätvuori. Tampereen Yliopiston puolelta työn vastuuhjaajana toimi tekniikan tohtori Jukka Puhto sekä toisena tarkastajana industry professori Ari Ahonen.

Iso kiitos etenkin Liisalle mielenkiintoisen ja ajankohtaisen tutkimusaiheen kehittämisestä ja työn ohjaamisesta, sekä koulun ohjaajille tuesta ja opastuksesta työn saattamisessa maaliin tiukassa aikataulussa. Kiitos myös esimiehelleni Jarkko Koskipalolle sekä muille työkavereille joustavuudesta töiden suhteen, mahdollistaen viimeisten opintojen suorittamisen ja diplomityön kirjoittamisen töiden ohessa. Kiitos myös perheelle ja ystäville tuesta ja ymmärryksestä kirjoitusprosessin aikana.

Tampereella, 27.04.2022

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta .....	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset .....	3
1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn toteutus .....	4
2. RAKENNUKSEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN SYNTYMINEN .....	5
2.1 Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki .....	5
2.2 Rakennuksen elinkaari .....	6
2.3 Rakennusmateriaalien päästöt .....	10
2.4 Rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen päästöt .....	14
3. UUDEN ASUINKERROSTALON ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN OHJAAMINEN .....	19
3.1 Rakennuksen hiilijalanjäljen ohjausmenetelmät .....	19
3.2 Rakennuksen hiilijalanjäljen todentamismenetelmät .....	20
3.3 Rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaava lainsäädäntö ja standardointi ...	22
3.4 Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmä uusille rakennuksille .....	25
4. RAKENNUSALAN YMPÄRISTÖLUOKITUSJÄRJESTELMIEN HIILIJALANJÄLJEN OHJAUSMENETELMÄT .....	32
4.1 Rakennushankkeiden ympäristöluokitusprosessi .....	32
4.2 LEED .....	33
4.3 BREEAM .....	35
4.4 RTS-ympäristöluokitus .....	38
4.5 Joutsenmerkki .....	41
5. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	44
6. TULOKSET .....	46
6.1 Case kohteen perustason hiilijalanjälki .....	46
6.2 LEED .....	47
6.3 BREEAM .....	48
6.4 RTS-ympäristöluokitus .....	50
6.5 Joutsenmerkki .....	50
6.6 Tulosten analysointi .....	51
6.7 Tulosten luotettavuuden ja merkittävyyden arviointi .....	54
7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUS .....	56
7.1 Yhteenveto ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjäljen ohjausmenetelmistä .....	56

7.2	Jatkotutkimus.....	58
LÄHTEET.....		60

# KÄSITELUETTELO

<b>BREEAM</b>	Building Research Establishment's Environmental Assessment Method
<b>Hiilidioksidiekvivalentti</b>	Ilmastoja lämmittävien kaasujen vaikutuskerrointen mukaan hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> ) kilogrammoiksi muutettuna.
<b>Hiilijalanjälki</b>	Henkilön, prosessin tai tapahtuman yhteenlaskettuja suorita tai epäsuoria kasvihuonekaasupäästöjen määrä hiilidioksidiekvivalenttien painona
<b>Hiilikädenjälki</b>	Tuotteen tai palvelun positiiviset ilmastohyödyt muunnettuna hiilidioksidiekvivalenteiksi.
<b>Hyödynjakomenetelmä</b>	Yhdistetyssä sähkön ja lämmöntuotannossa toteutuneet polttoainekulutukset jaetaan kulutusten suhteessa sähkölle ja lämmölle.
<b>Kiertotalous</b>	Talouksmalli, jossa materiaaleihin sitoutunut arvo pyritään säilyttämään mahdollisimman pitkään.
<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi
<b>LEED</b>	Leadership in Energy and Environmental Design, Yhdysvaltalainen kansainvälisesti käytetty ympäristöluokitusjärjestelmä. Myöntäjä U.S. Green Building Council
<b>Ostoenergia</b>	Rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva energiankulutus, joka hankitaan rakennuksen tontin ulkopuolelta.
<b>RTS</b>	Suomen oloihin luotu ympäristöluokitusjärjestelmä, joka pohjautuu eurooppalaisiin standardeihin ja alan yleisiin kansallisiin käytäntöihin.

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennettu ympäristö on erottamaton osa ihmisten elinympäristöä. Se on myös yhdessä rakentamisen kanssa yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajista sekä Suomessa että koko maailmassa. Rakennetun ympäristön ja rakennusalan osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä on noin 40 % ja kansallisesta energiankulutuksesta myös arviolta 40 %. (Rakennusteollisuus RT 2022a)

Rakennusalan kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on nostettu yhdeksi merkittävimmäksi teemaksi Suomen pyrkimyksessä asetettuihin hiilineutraaliustavoitteisiin. Päästöjen vähentäminen kuitenkin vaatii päästöjen mittaamista ja todentamista, jotta voidaan varmistua siitä, että päästövähennyksiin pyrkivät toimenpiteet vievät kohti suunniteltua tavoitetta. (Ympäristöministeriö 2019, s.11)

Ympäristöministeriö teetti vuonna 2017 Bionovalla selvityksen koskien rakennusalan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä. Tiekartassa arvioidaan eri toimenpiteitä ja niiden mahdollisia vaikutuksia rakennusalan kasvihuonekaasupäästöihin. Yksi tiekartan ehdotetuista toimenpiteistä on asettaa kansalliset raja-arvot rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen säätelemiseksi vuoteen 2025 mennessä. (Bionova Oy 2017 s.43)

Raja-arvojen toteuttamisen edistämiseksi ympäristöministeriö julkaisi ensimmäisen lausuntopöytäkirjan Rakennusten vähähiilisyden arviointimenetelmästä vuonna 2019, jossa ohjeistetaan rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arvioimista. Arviointimenetelmän tarkoitus on toimia menetelmänä rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen todentamiseen ja täten toimia ensimmäisenä askeleena kohti raja-arvojen toteuttamista. Arviointimenetelmän lausuntopöytäkirjan julkaisun jälkeen arviointimenetelmää testattiin pilottihankkeissa vuonna 2020. Testausjakson ja sitä seuranneen lausuntokierroksen perusteella ympäristöministeriö julkaisi vuonna 2021 uuden luonnosversion arviointimenetelmästä, joka sisältää tarkennuksia ja parannuksia edelliseen versioon nähden. (Ympäristöministeriö 2021 s.5)

Tähän mennessä rakennusten ympäristövaikutusten ohjaaminen ja vähentäminen on ollut Suomessa suhteellisen vähäistä muilta osin kuin rakennusten energiatehokkuuden

ohjaamisen kannalta. Joissakin hankkeissa on kuitenkin haluttu tuoda kestävästä kehitystä ja ympäristöarvoja enemmän esille. Tämä on usein tapahtunut ympäristöluokitusjärjestelmiä hyödyntäen. (FIGBC 2018, s.3)

Suomessa on yleisesti käytössä neljä eri ympäristöluokitusjärjestelmää: LEED, BREEAM, RTS ja Joutsenmerkki. Näistä LEED ja BREEAM ovat kansainvälisiä ja RTS ja Joutsenmerkki ovat pohjoismaisia ympäristöluokitusjärjestelmiä. Suomessa on noin 272 LEED-sertifioitua rakennusta, 410 BREEAM-sertifioitua hanketta, yli 100 rekisteröityä RTS-hanketta ja 14 Joutsenmerkittyä rakennusta (Raksystems 2022). Ympäristöluokitusjärjestelmien yleinen pyrkimys on arvioida ja todentaa rakennushankkeiden kestävästä kehityksen mukaisia ominaisuuksia usean eri mittarin avulla. Yksi näistä mittareista on rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki. (FIGBC 2018, s.6)

Ympäristöluokitusjärjestelmien elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamisvaikutus on kuitenkin herättänyt keskustelua. Etenkin sitoutuneen hiilen, eli muun kuin käytöstä aiheutuvien päästöjen osalta. Etenkin kansainvälisiä BREEAM ja LEED ympäristöluokitusjärjestelmiä on kritisoitu siitä, että rakennusmateriaalien ja elinkaaren kokonaishiilijalanjäljen ohjaaminen on erittäin vähäistä ja perustuu pitkälti vapaaehtoiisiin pistekriteereihin. Tämän seurauksena etenkin matalammassa luokitusasteissa hiilijalanjäljen ohjaus jää kokonaan pois. (Amiri et al. 2021, s.10)

Tässä työssä pyritään syventymään ympäristöluokitusjärjestelmien elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaavuuteen ja selvittämään kuinka paljon luokitusjärjestelmien hiilijalanjälkeä ohjaavat kriteerit voivat mahdollisesti pienentää rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä. Tämän tutkimuksen avulla pyrimme myös selvittämään, onko nykyisistä ympäristöluokitusjärjestelmistä hyötyä uusien asuinkerrostalokohteiden hiilijalanjäljen ohjaamisessa tuleviin kansallisiin hiilijalanjäljen raja-arvoihin. Tieto on relevantti rakennusalalla uusien raja-arvojen tullessa voimaan. Rakennusten hiilijalanjäljen ohjaus ja mittaaminen ovat suhteellisen tuoreita asioita rakennusalalla minkä vuoksi raja-arvojen astuessa voimaan, on todennäköistä, että monet hakevat tukea ohjaukseen ympäristöluokitusjärjestelmistä. Tämän vuoksi on tärkeää selvittää mitkä ympäristöluokitusjärjestelmät tukevat rakennuksen hiilijalanjäljen ohjaamista ja siten raja-arvojen saavuttamista parhaiten.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on selvittää miten Suomessa yleisesti käytössä olevat ympäristöluokitusjärjestelmät ohjaavat asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeä ympäristöministeriön arviointimenetelmän ja tulevien raja-arvojen näkökulmasta. Työssä tarkastellaan neljää eri asuinkerrostaloille tarkoitettua ympäristöluokitusjärjestelmää: LEED v4.1 Residential Building Design and Construction, BREEAM New Construction Residential Fully Fitted, RTS-ympäristöluokitus asuinkiinteistöille ja Joutsenmerkki asuinkerrostaloille. Tutkimuksessa tarkastellaan ympäristöluokitusjärjestelmien kriteeristöjen vaatimuksia, saatavilla olevien pisteiden painottumista eri kriteereille, sekä kriteerien vaikutusta arvioitavan case-kohteen elinkaaren hiilijalanjälkeen. Laskenta suoritetaan One Click LCA laskentatyökalulla.

Työn asetettujen tavoitteiden pohjalta keskeinen tutkimuskysymys on:

- Kuinka paljon Suomessa yleisimmin käytetyt rakennusalan ympäristöluokitusjärjestelmät ohjaavat rakennuksen hiilijalanjälkeä?

Päätutkimuskysymyksen tueksi on muodostettu täydentäviä tutkimuskysymyksiä, joiden avulla pyritään määrittämään ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjäljen ohjausmenetelmät suhteessa Suomen tuleviin maankäyttö- ja rakennuslakiin kirjattaviin hiilijalanjäljen raja-arvoihin. Täydentävät tutkimuskysymykset ovat:

- Miten ympäristöluokitusjärjestelmät ohjaavat rakennuksen hiilijalanjälkeä suhteessa ympäristöministeriön arviointimenetelmään?
- Miten ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjäljen ohjausvaikutusta voidaan parantaa tukemaan tulevien raja-arvojen saavuttamista?

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen laskennan rajauksena toimii ympäristöministeriön Rakennushankkeiden vähähiilisyyden arviointimenetelmän vuonna 2021 päivitetty lausuntoversio. Ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaiset hiilikädenjälkeen laskettavat ympäristöhyödyt rajataan tarkastelun ulkopuolelle. Tämä perustuu siihen, että hiilikädenjälki on menetelmän mukaan erillinen mittari, jota ei saa vähentää hiilijalanjäljestä. Rakennusalan päästöjä vähentäessä on tärkeää priorisoida päästöjen syntymisen minimointi ennen ympäristöhyötyjen huomioon ottamista. Tämän vuoksi tähän tarkasteluun sisällytetään ainoastaan rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki.

Tarkasteltaessa ympäristöluokitusjärjestelmien kriteerejä, asioiden mittaamista, todentamista ja valvomista ei ole otettu huomioon hiilijalanjälkeä ohjaavina kriteereinä. Nämä on rajattu pois sen vuoksi että vaikka mittaaminen ja valvominen on todettu lisäävän tietoisuutta, niiden ei voida taata vaikuttavan mittauksen tai valvonnan

kohteeseen. Samoin olosuhteiden optimoinnin vaikutus rajataan tarkastelun ulkopuolelle, sillä niiden vaikutusta rakennuksen elinkaaren lopullisiin päästöihin on hankala ennakoida ja arvioida määrällisesti käyttäjien käytöksen hankalan ennustettavuuden vuoksi. Tähän sisältyy kriteerit koskien rakennuksen sisäolosuhteiden kuten lämpötila- ja ilmanvaihtosäätelyiden optimoimista ja säätelyä. Hiilijalanjälkeä ohjaaviksi kriteereiksi ei myöskään tässä tarkastelussa ole otettu huomioon toimenpiteitä, joita Suomen lait ja määräykset velvoittavat rakennuksilta. Tämä sen vuoksi että ne täyttyvät tavanomaisessa rakentamisessa Suomessa. Kriteerejä, jotka voitiin toteuttaa usealla eri vaihtoehtoisella tavalla, joista vain osa oli hiilijalanjälkeä ohjaavia ei oteta myöskään huomioon tarkastelussa, sillä näistä kriteereistä on mahdollista saada pisteet ilman hiilijalanjälkeä ohjaavaa vaikutusta, eli kriteerin vaatimukset kyetään täyttämään ilman rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämistä.

### **1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn toteutus**

Tässä diplomityössä tullaan hyödyntämään sekä laadullisia että määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Työn teoriaosuus suoritetaan kirjallisuusselvityksenä. Teoriaosuuden tarkoituksena on taustoittaa rakentamisen ilmastovaikutusten syntymistä, todentamista ja laajuutta sekä ilmastovaikutusten sääntelyä ja ohjaamista. Teoriaosuudessa myös tutkitaan ympäristöluokitusten kriteeristöjä ja arvioidaan niiden rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaavuutta ympäristöministeriön arviointimenetelmän näkökulmasta.

Tutkimuksen määrällinen osuus suoritetaan laskennallisesti One Click LCA -laskentaohjelmaa hyödyntäen. Määrittämällä ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien laskennallisen vaikutuksen case-kohteen hiilijalanjälkeen, voidaan ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjäljen ohjaavuutta arvioida paremmin. Vaikutusten laskennallisella määrittämisellä mahdollistetaan myös ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien vaikutusten vertailu keskenään rakennuksen hiilijalanjäljen ohjaamisen näkökulmasta.

## 2. RAKENNUKSEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN SYNTYMINEN

### 2.1 Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki

Rakennusalan ja rakennetun ympäristön negatiivisten ympäristövaikutusten mittaaminen on oleellinen osa niiden pienentämistä. Elinkaaren hiilijalanjälki kuvaa yksittäisen rakennuksen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen. Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arviointi on tämän vuoksi keskeinen työkalu rakennusten ekologisen kestävyuden arvioinnissa (Ahola & Liljeström 2018 s.4). Hiilijalanjäljen yksikkönä käytetään hiiliekvivalenttikiloja (kgCO<sub>2</sub>e). Hiiliekvivalenttikiloilla mitataan kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää kunkin kasvihuonekaasupäästön ilmaston lämmittämispotentiaalin avulla hiilidioksidikiloiksi muutettuna. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki arvioi kuinka paljon rakennuksen elinkaaren aikana ilmakehään vapautuvat kasvihuonekaasupäästöt lämmittävät ilmastoa, vastaavan ilmastoa lämmittävän vaikutuksen aiheuttavan hiilidioksidikilogrammamäärän avulla ilmoitettuna. (Ympäristöministeriö 2019b s.4)

Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arviointi on Suomen uudistuvan maankäyttö- ja rakennuslain yksi keskeisimmistä uusista asiakokonaisuuksista. Arvioinnin toteuttamiselle ja rakennusten elinkaarten hiilijalanjäljille pyritään asettamaan uudistetussa maankäyttö- ja rakennuslaissa selkeät arviointiohjeet ja raja-arvot. (Ympäristöministeriö 2019b s.4)

Rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkeä arvioidessa oleellista on tunnistaa isot päästötökijät, joiden vähennyspotentiaali on merkittävä. Tämä edesauttaa rakennushankkeen ohjaamista pienemmän hiilijalanjäljen saavuttamiseksi. Saavuttaakseen suuria säästöjä hiilijalanjäljessä, tulee rakennuksen hiilijalanjälkeä kuitenkin arvioida ja optimoida kokonaisvaltaisesti, jotta ei aiheuta kohdennetuilla toimenpiteillä lisääntyneitä päästöjä muilla osa-alueilla. (A-Insinöörit 2021, s. 13)

Elinkaaren hiilijalanjäljen arviointi on tärkeä aloittaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa hanketta, jotta vaikutuspotentiaali rakennuksen lopulliseen hiilijalanjälkeen on mahdollisimman suuri. Mitä vähemmän hankkeessa on jo lukkoon lyötyjä valintoja, sitä suuremmissa määrin hanketta voidaan ohjata kokonaisvaltaisesti pienempään hiilijalanjälkeen. On kuitenkin tärkeää päivittää elinkaaren hiilijalanjälkiarviota hankkeen edetessä ja todentaa rakennushankkeen päästöt myös lopullisten suunnitelmien ja

todellisen energiankulutuksen pohjalta, jotta rakennuksen todellinen hiilijalanjälki tulee mitattua. Tämä on tärkeää arvioinnin kehittämiseksi. (SFS-EN 15643:2021 s.23-24)

## 2.2 Rakennuksen elinkaari

Rakennuksen elinkaareen sisältyy kaikki vaiheet rakentamisesta purkuun. Tämä sisältää raaka-aineiden hankinnan, rakennustuotteiden valmistuksen, rakennusmateriaalien kuljetuksen työmaalle, rakentamisen, rakennuksen käytön, rakennuksen ylläpidon ja korjaukset, rakennuksen purkamisen sekä materiaalien kierrätyksen tai loppusijoituksen kaatopaikalle (kuva 1). Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä arvioitaessa rakennuksen elinkaari voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: (A) käyttöä edeltävä vaihe, (B) käytön aikainen vaihe ja (C) käytön jälkeinen vaihe. Käyttöä edeltävä vaihe jaetaan yleensä vielä kahteen erilliseen vaiheeseen: (A1-A3) tuotevaihe ja (A4-A5) rakentaminen. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä arvioidessa tulee myös ottaa huomioon (D) elinkaaren ulkopuolelle jäävät ympäristövaikutukset. Nämä voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia ympäristövaikutuksia. (Ympäristöministeriö 2019a s.14)



**Kuva 1.** Rakennuksen päästötekijät elinkaaren vaiheittain (muokattu Ympäristöministeriö 2019a s.14)

Rakennuksen elinkaaren vaiheen A1-A5 päästöt ovat ennen rakennuksen käyttöönottoa syntyvät päästöt. Ne koostuvat rakennukseen käytettävien materiaalien valmistuksesta sekä rakennuksen työmaatoiminnoista aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä (kuva 1).

Vaihe A1 sisältää rakennusmateriaalien raaka-aineiden hankinnan, uudelleenkäytettävien tuotteiden käsittelyn ja kierrätettyjen materiaalien hyödyntämisen raaka-aineena sekä niistä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt (Hernandez et al. 2019). Rakennuksen materiaaleina otetaan huomioon rakennuksen osat ja kiintokalusteet mutta ei huonekaluja tai käyttäjien laitteita. Rakennustuotteiden

tarkka rajausta vaihtelee rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arviointimenetelmien välillä. (FIGBC 2022) Vaiheeseen A1 kuuluu myös materiaalien hankintaan kuluva energian tuotannon ja energian talteenoton aiheuttamat päästöt (Hernandez et al. 2019, s.221).

Vaiheeseen A2 kuuluu rakennusmateriaalien valmistusvaiheen kuljetuksista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Vaihe sisältää sekä kuljetukset raaka-aineiden hankintapaikoista tehtaille sekä tehtaiden sisäiset ja väliset kuljetukset. (Hernandez et al. 2019, s.221)

Vaihe A3 sisältää rakennusmateriaalien valmistusprosessista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Tämä koostuu suurimmaksi osaksi tehtaiden suorista päästöistä sekä tehtaiden energiakulutuksen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä. Vaiheeseen A3 sisällytetään myös rakennusmateriaalien mahdollisen paketoinnin valmistuksesta aiheutuvat päästöt. (Hernandez et al. 2019, s.221)

Elinkaaren vaiheeseen A4 kuuluu rakennustuotteiden, maa-aineksen ja koneiden kuljetuksesta työmaalle sekä sieltä pois aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt sekä mahdollisesti kuljetukseen sisältyvän hävikin päästöt. Kuljetuksen päästöt muodostuvat pääsääntöisesti kuljetukseen kuluva polttoaineen kasvihuonekaasupäästöistä. (Hernandez et al. 2019, s.221)

A5 vaiheeseen kuuluu rakennuksen työmaahan kuuluvat toiminnot ja niistä aiheutuvat päästöt. Työmaatoimintoihin kuuluu ainakin työmaan sisäiset kuljetukset, työkoneiden ja laitteiden käyttö, varastoinnit, energiankäyttö, jätehuolto ja väliaikaiset rakenteet kuten valumuotit ja suojamateriaalit, tuotteiden asennukset ja työmaalla aiheutuva hävikki. Työmaatoimintojen päästöissä ei kuitenkaan huomioida työmaalaitteiden ja koneiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä. (Hernandez et al. 2019, s. 221)

Käyttövaiheeseen B1-B7 sisältyy kaikki rakennuksen käytön aikana syntyvät kasvihuonekaasupäästöt. Vaiheeseen B1 Käyttö sisältyy rakennustuotteiden käytöstä aiheutuvat päästöt kuten kylmäainevuodot ja muut laitteiden tai materiaalien mahdolliset suorat kasvihuonekaasupäästöt ilmakehään. (Hernandez et al. 2019, s.221-222)

B2 Kunnossapito sisältää rakennuksen huollosta ja kunnossapidosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Tämä sisältää siivoukseen käytettävät tuotantopanokset, niiden kuljetuksen ja jätehuollon, sekä muiden ennakoitujen ylläpito- ja huoltotoimiin kuuluvien toimenpiteiden kuten huoltomaalauksen ja ulkoalueiden hoidon aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. (Hernandez et al. 2019, s.222)

B3 korjaus sisältyy rikkoutuneiden, ei ennalta vaihdettavaksi suunniteltujen rakennusosien korjaamisesta tai vaihdosta, osien kuljetuksesta, korjaus- tai

vaihtotoimenpiteestä ja syntyvän jätteen käsittelystä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. B4 osien vaihtoon kuuluu vastaavasti ennalta suunnitellut rakennusosien vaihdot niiden teknisiin käyttöihin perustuen. Tähän kuuluu tyypillisesti ilmanvaihtokoneiden osien uusimista, ikkunoiden vaihtamista sekä aurinkopaneelien ja kattopäällysteiden uusimista. Vaihdossa viitataan vain toiminnallisesti vastaaviin osiin vaihtamisesta. Mikäli osan käyttötarkoitus muuttuu oleellisesti vaihdon myötä, on kyseessä B5 vaiheeseen kuuluva muuntaminen. (Hernandez et al. 2019, s.222)

Käytön aikaisiin rakennusvaiheisiin luetaan myös B5 laajamittaiset korjaukset, joka sisältää rakennuksen merkittävästä korjaamisesta tai muuntamisesta, kuten peruskorjauksesta, tilaohjelman muutosta, rakennusvaipan muutoksesta tai rakennuksen energiaratkaisujen muutoksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Vaiheessa otetaan huomioon käytettyjen materiaalien, jätehuollon, kuljetusten, prosessien, mahdollisten työmaatoimintojen ja energiankulutuksen aiheuttamat päästöt. (Hernandez et al. 2019, s.222)

B6 energian käyttö sisältää kaiken rakennuksen käytönaikaisen energiankulutuksen, joka tuodaan rakennuksen ulkopuolelta ja jota käytetään rakennuksessa lämmitykseen, lämpimän käyttöveden tuottamiseen, ilmanvaihtoon, jäähdytykseen, valaistukseen tai rakennusautomaatioon (Hernandez et al. 2019, s.222). Käyttäjälaitteiden energiankulutuksen huomioon ottaminen rakennuksen energiankäytössä riippuu arviointimenetelmästä. Käyttäjälaitteiden energiankulutus jätetään monesti laskennan rajauksen ulkopuolelle sen hankalan ennustettavuuden vuoksi. (FIGBC 2022)

Vaiheeseen B7 veden käyttö kuuluu rakennuksen tontilla käytettävän puhtaan veden tuotannosta ja kohteessa syntyvän jäteveden käsittelystä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt rakennuksen käytön ajalta. Puhtaan veden kulutukseen lasketaan myös pihojen ja mahdollisten viherrakenteiden kasteluun kuluva vesi. (Hernandez et al. 2019, s.222)

Elinkaaren loppuvaiheeseen C1-C4 kuuluu rakennuksen purkamisesta, purettujen materiaalien kuljetuksesta, purkujätteen käsittelystä ja purkujätteen loppusijoituksesta aiheutuvat päästöt. Vaiheeseen C1 sisältyy purkamisen työmaatoiminnoista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Tämä sisältää työmaan energiakäytön, purkamiseen tarvittavien työkoneiden ja laitteiden käyttö ja kuljetus työmaalle, työmaan sisäiset kuljetukset, jätehuolto ja väliaikaiset rakenteet kuten suojamateriaalit. (Hernandez et al. 2019, s.222-223)

Vaiheeseen C2 kuuluu purkujätteen kuljetus pois työmaalta joko uudelleenkäyttöä varten tai loppusijoitukseen. Vaiheeseen otetaan huomioon kaikki kuljetukset sisältäen

kuljetukset mahdollisiin välivarastointikohteisiin ja niistä eteenpäin. (Hernandez et al. 2019, s.223)

C3 elinkaaren vaiheeseen kuuluu purkujätteen loppusijoituksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Tässä vaiheessa otetaan huomioon jätteen käsittelystä, jätteen valmistelusta johonkin käyttöön kuten energian tuotantoon ja jätteen loppusijoituksesta koituvat kasvihuonekaasupäästöt. (Hernandez et al. 2019, s.223)

Rakennuksen varsinaisen elinkaaren lisäksi on luotu moduuli D, jossa otetaan huomioon rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät, rakennuksesta aiheutuvat ympäristöhaitat ja -hyödyt (Hernandez et al. 2019, s.223). Moduulissa D voidaan ottaa huomioon esimerkiksi rakennuksessa käytettyjen materiaalien ja syntyneen hukkan uudelleenkäyttö ja kierrätys, rakennuspaikalla tuotettu ylijäämä energia, rakennukseen käytettävien materiaalien sitoma hiilidioksidi tai muut rakennuksen olemassaolosta tai rakentamisesta aiheutuvat ympäristöhaitat ja hyödyt, joita ei oteta huomioon varsinaisissa rakennuksen elinkaaren vaiheissa. (Ympäristöministeriö 2021a, s.28)

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen arviointia suorittaessa rakennuksen elinkaaresta arviointiin sisällytettävät vaiheet vaihtelevat menetelmittäin. Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmässä rakennuksen elinkaaren vaiheista sisällytetään vaiheet A1-A5, B4, B5 (erillisarvioina), B6, C1-C4 ja D. (Ympäristöministeriö 2021a, s.12-13)

Tähän asti tehtyjen tutkimusten perusteella eniten päästöjä syntyy rakennuksen käyttövaiheessa rakennuksen energiankulutuksesta (40-65 %) ja seuraavaksi eniten tuotevaiheessa rakennusmateriaalien tuottamisesta (29-53 %). Hiilijalanjäljen jakautumiseen vaikuttaa muun muassa käytettävä arviointimenetelmä ja siinä käytetyt oletukset, runkomateriaalin valinta sekä rakennuksen lämmitysmuoto. (Rakennusteollisuus 2021, s.4)

## 2.3 Rakennusmateriaalien päästöt

Rakennusmateriaalien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt olivat vuonna 2018 noin 5 % koko Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (Gaia Consulting Oy 2020b, s.9). Ahola & Liljeström (2018 s.22) tekemässä selvityksessä tarkasteltujen kohteiden elinkaaren hiilijalanjäljestä tuotevaiheen (A1-A3) hiilijalanjälki oli noin 20-23 % kohteiden elinkaaren kokonaishiilijalanjäljestä 60 vuoden tarkastelujaksolla.

One Click LCA (2021 s.9) tekemässä selvityksessä tarkasteltujen kohteiden tuotevaiheen (A1-A3) hiilijalanjälki on keskimäärin 29 % ilman perustuksia ja vahvistuksia ja 32 % perustusten ja vahvistusten kanssa rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjäljestä. One Click LCA selvityksessä on laskettu myös osien vaihdon (B4) materiaalipäästöt erikseen. Osien vaihto (B4) vastasi keskiarvolta 8 % rakennuksen elinkaaren kokonaishiilijalanjäljestä, mikäli perustukset ja vahvistukset on otettu huomioon laskelmissa ja 9 % mikäli perustuksia ja vahvistuksia ei ole otettu huomioon laskennassa. Rakennusmateriaalien aiheuttamien päästöjen yhteisvaikutus betonirakenteisissa asuinkerrostaloissa on keskimäärin 40 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä ottaen huomioon osien vaihdot, perustukset ja vahvistuksen. Ilman perustuksia ja vahvistusta rakennusmateriaalien päästöjen osuus on keskimäärin 38 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. (One Click LCA 2021, s.9)

Rakennusmateriaalien päästöt perustuvat rakennusteollisuuden päästöihin Suomessa sekä rakennuksissa käytettävien rakennusmateriaalien määriin (Gaia Consulting Oy 2020a, s.45-46). Rakennusmateriaalien valmistus vaatii paljon energiaa, joten keskeinen osa rakennusmateriaalien päästöjen vähentämisessä on tuotantoprosessien energiatehokkuuden kehittyminen sekä energiatuotannon siirtyminen vähäpäästöisemmäksi (Gaia Consulting Oy 2020b, s.12). Toisaalta uusien rakennusten energiatehokkuusvaatimusten kiristyminen voi kasvattaa uusien rakennusten rakentamiseen tarvittavien materiaalien määrää. (Ruuska & Häkkinen 2015, s.318)

Ruuska & Häkkinen (2015) tekemässä selvityksessä lasketaan tyypillisen betonirakenteisen asuinkerrostalon A1-A3 tuotevaiheen kasvihuonekaasupäästöt. Tarkasteltava kohteessa on kuusi kerrosta, 28 asuntoa, rakennuksen bruttoala on 3056 m<sup>2</sup> ja nettoala 2082 m<sup>2</sup>. Selvityksessä kasvihuonekaasupäästöt jaoteltiin neljään eri luokkaan: maarakennustyöt, rakennuksen runko, täydentävät rakenteet ja talotekniikka. Tulokset on jaettu rakennuksen nettoalalla. Selvityksessä tarkasteltavan kohteen rakennusvaiheen materiaalipäästöiksi arvioidaan 548,5 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Tämä on selvityksen aikaisilla energianpäästökertoimilla noin 37 % kohteen

kokonaishiilijalanjäljestä, jonka arvioidaan olevan 2153,2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. (Ruuska & Häkkinen 2015, s.324)

Maanrakennustöissä merkittävimmäksi päästölähteeksi arvioitiin maan aluerakenteet, joiden päästöjen arvioidaan olevan 89,3 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> tarkasteltavassa kohteessa. Selvityksessä arvioitiin myös stabiloinnin vaikutus päästöihin, mikäli sitä tarvitaan kohteessa huonojen perustusolosuhteiden vuoksi. Tällöin merkittävin päästölähde maanrakennustöiden osalta on stabilointi, jonka kasvihuonekaasupäästöjen arvioitiin olevan mahdollisesti jopa 518,7 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> mikä on lähes yhtä paljon kuin koko rakennuksen materiaalipäästöt. (Ruuska & Häkkinen 2015, s.321)

Runkotöiden kasvihuonekaasupäästöt ovat neljästä kategoriasta suurimmat. Ne ovat tarkasteltavalle kohteelle noin 279,54 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> mikä on kaksi kertaa enemmän, kuin minkään muun luokan kasvihuonekaasupäästöt. Runkotöiden merkittävin päästölähde on välipohjat, joiden kasvihuonekaasupäästöiksi arvioidaan 101,83 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> ja ulkoseinät, joiden päästöiksi on laskettu 88,86 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Selvityksessä laskettiin myös puurunkovaihtoehdolle, jonka kokonaispäästöt rungon osalta on 147,9 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> mistä voi huomata runkomateriaalin valinnan vaikutuksen rakennuksen tuotevaiheen päästöihin. (Ruuska & Häkkinen 2015, s.321)

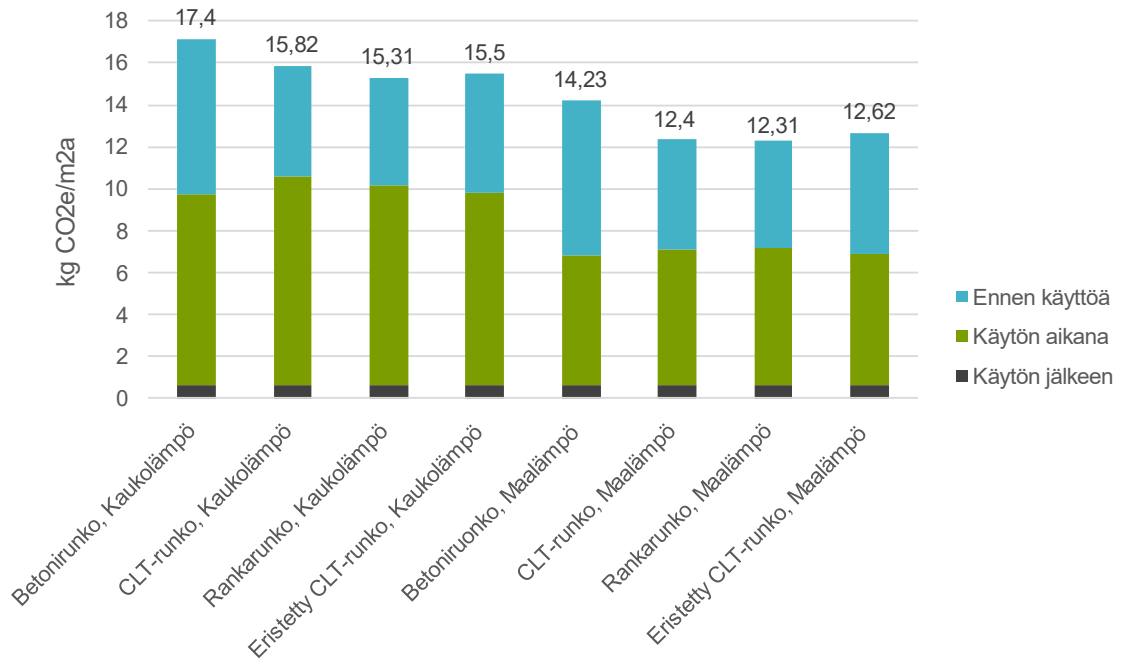
Täydentävien rakenteiden osalta päästöt ovat 126,8 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> mikä on lähes sama kuin maanrakennustöiden kasvihuonekaasupäästöt (mikäli stabilointia ei oteta huomioon). Täydentävien rakenteiden osalta parvekkeiden päästöt ovat selkeästi suurimmat, 44,67 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Kalusteiden ja pintamateriaalien päästöt ovat myös suhteellisen suuret 31,2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> etenkin ottaen huomioon niiden lyhyen käyttöiän ja useat vaihtokerrat rakennuksen elinkaaren aikana. (Ruuska & Häkkinen 2015, s.321)

Talotekniikan päästöt tarkasteltavalle kohteelle ovat 14,89 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Talotekniikkaan tuotevaiheen päästöissä on otettu huomioon sähköjen, lämmitysjärjestelmän, ilmanvaihdon, putkiston ja viemäröinnin, sprinklerijärjestelmän sekä hissien materiaalien kasvihuonekaasupäästöt. Selvityksessä arvioitiin myös mahdollisten aurinkopaneelien ja aurinkokeräinten sekä asuntokohtaisten jäähdytysjärjestelmän materiaalien kasvihuonekaasupäästöjä, jotka laskettiin olevan aurinkopaneelien ja aurinkokeräinten osalta ja 50 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> jäähdytysjärjestelmän osalta. (Ruuska & Häkkinen 2015, s.322)

Suurin osa rakennuksista peruskorjataan 50 vuoden elinkaaren aikana tai viimeistään 50 vuoden iässä. Peruskorjaukseen kuuluu tyypillisesti ainakin ikkunoiden, ovien ja lasitusten vaihto ja kylpyhuoneiden remontointi. Ennen rakennuksen peruskorjauksista kiintokalusteet ja pinnat remontoidaan ja vaihdetaan keskimäärin neljä kertaa. Tarkasteltavan rakennuksen peruskorjauksen materiaalien päästöiksi on arvioitu 135 kg

CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Laskettuna yhteen rakennuksen rakennusvaiheen materiaalipäästöjen kanssa materiaalien päästöt ovat 638,5 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Vaikka peruskorjaus koskee selvityksessä vain kohteen täydentäviä rakenteita, peruskorjauksen materiaalipäästöjen arvioidaan olevan suuremmat kuin täydentävien rakenteiden alkuperäiset materiaalipäästöt. Tämän vuoksi rakennusmateriaaleja valitessa on tärkeää ottaa huomioon päästöjen lisäksi materiaalien käyttöiät sillä hieman pienemmän hiilijalanjäljen omaava rakennusmateriaali voi rakennuksen elinkaaren aikana aiheuttaa huomattavasti enemmän päästöjä, mikäli se joudutaan vaihtamaan useammin kuin vastaava tuote jonka hiilijalanjälki on hieman suurempi mutta jonka käyttöikä on myös pidempi. (Ruuska & Häkkinen 2015, s.322)

Tarkastelua on myös hyvä tehdä suuremmalla skaalalla koskien rakennuksen energiatehokkuuden lisäämiä materiaalipäästöjä sisältäen rakennusosien korjauksesta ja vaihdosta aiheutuvat päästöt elinkaaren aikana, verrattuna säästetyn energian kasvihuonekaasupäästöihin (Ruuska & Häkkinen 2015, s.318-319). Elinkaariarviointi on tärkeä tehdä myös vaihtoehtoisia runkomateriaaleja tarkasteltaessa. Puurunkoisen rakennuksen tuotevaiheen päästöt voivat olla huomattavasti betonirunkoa alhaisemmat mutta puurunkoiset rakennukset voivat vaatia enemmän talotekniikkaa kuten jäähdytysjärjestelmiä kesälämpötilan sallituissa rajoissa pysymiseen tai lisämateriaaleja energiatehokkuusvaatimusten tiiveyden saavuttamiseksi. Tämän seurauksena puurunkoisten rakennusten materiaali- ja käytönaikaisen energian päästöt voivat nostaa rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeä lähes betonirunkoisen rakennuksen tasolle. (Rakennusteollisuus RT 2020, s.8-9, kuva 2)



**Kuva 2.** Asuinkerrostalon eri runkomateriaalien ja lämmitysmuotojen vaikutusten arviointi rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen (muokattu Rakennusteollisuus RT 2021, s.4)

Rakennusteollisuutta tarkastellessa betoniin tarvittava sementti sekä teräs ovat kaksi suurinta päästölähdettä. Sementin osuus maailman kasvihuonekaasupäästöistä on noin 7 % ja rakennusalalla käytettävän teräksen osuus on noin 4 %. Tämä johtuu siitä, että molemmat materiaalit vaativat paljon energiaa valmistusprosesseissaan, sekä molempien materiaalien valmistusprosesseissa vapautuu kemikaalisten reaktioiden seurauksena suoraan hiilidioksidia. Alumiini ja lasi ovat myös rakennusalalla paljon käytettyjä materiaaleja, jotka vaativat paljon energiaa valmistusprosessissaan. Teollisuudessa etenkin korkeiden lämpötilojen tuottamiseen materiaalien valmistusprosesseissa käytetään globaalisti edelleen paljon fossiilisia polttoaineita, vaikkakin biopolttoaineiden käyttö on yleistymässä. Rakennusmateriaalien tuotantoprosessien päästöjen vähentäminen, etenkin teräksen ja sementin osalta, on merkittävä osa uusien rakennusten hiilijalanjäljen kehitystä. (WGBC 2019, s.24)

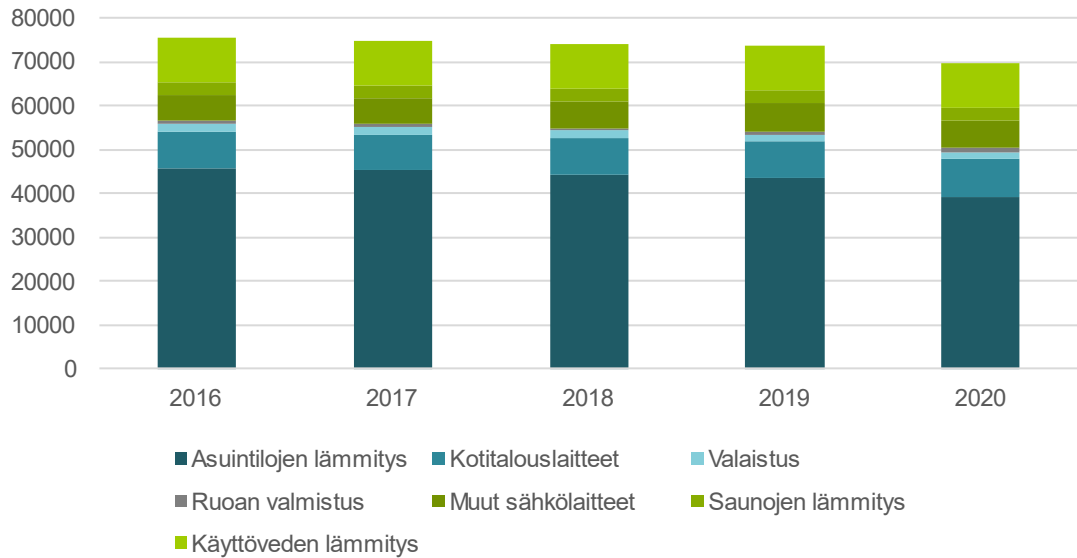
Kierrätetyn raaka-aineen osuus on myös kasvamassa materiaalityössä. Teräksen osalta kierrätetyn raaka-aineen käyttö kasvaa nopeammin kuin teräksen valmistus malmista. Rakennuksessa käytettyjen tuotteiden toimittamisesta kierrätykseen aiheutuvat ilmastohyödyt, on tärkeä ottaa huomioon ainoastaan moduulissa D, jota ei saa vähentää rakennuksen hiilijalanjäljestä. Tällöin vältetään kaksinkertaiselta laskennalta. (WGBC 2019, s.26)

Vaihtoehtoisten rakennusmateriaalien tarkastelu rakennusalalla on myös tarpeen, mikäli päästötavoitteet halutaan saavuttaa. Puun käyttö on jo kasvussa rakennusalalla sen käytönaikaisen hiilidioksidin sitomisen sekä pienen hiilijalanjäljen vuoksi. Täysin uusien rakennusmateriaalien ja rakennusmateriaalien tuotantoprosessien kehittäminen on myös käynnissä, esimerkiksi vähäpäästöisemmän betonin saavuttamiseksi. (WGBC 2019, s.26)

## **2.4 Rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen päästöt**

Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljestä suuri osa koostuu rakennuksen elinkaaren vaiheessa B6 käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Vuonna 2018 Ahola & Liljeström tekemässä selvityksessä tarkasteltavien vuosina 2015-2018 rakennettujen betonirakenteisten asuinkerrostalojen elinkaaren hiilijalanjäljestä 62-68 % syntyi rakennusten käytönaikaisesta energiankulutuksesta 60 vuoden tarkastelujaksolla. One Click LCA (2021 s.11) tekemässä selvityksessä 1950 vuoden 2018 jälkeen rakennetun asuinrakennuksen perusteella laskettu energiankulutuksen keskiarvo 50 vuoden tarkastelujaksolla oli 105 kWh/m<sup>2</sup>/a josta 44,7 kWh/m<sup>2</sup>/a koostui sähkönkulutuksesta ja 59,8 kWh/m<sup>2</sup>/a kaukolämmön kulutuksesta. Tämä muodostaa noin 50 % betonirakenteisen asuinkerrostalon elinkaaren kasvihuonekaasupäästöistä. Energiankulutuksen päästöjen pienempi osuus elinkaaren kokonaishiilijalanjäljestä One Click LCA:n tekemässä selvityksessä johtuu osittain lyhemmästä tarkastelujaksosta ja osittain vuonna 2018 voimaan astuneesta Ympäristöministeriön asetuksesta uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017). Käytönaikaisen energiankulutuksen osuus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä on jo laskussa ja trendin oletetaan jatkuvan energiatuotannon siirtyessä vähäpäästöisempiin tuotantomuotoihin ja rakennusten energiatehokkuuden kehittyessä edelleen. (Bionova 2017, s.11)

Asuinrakennuksissa energiaa kuluu eniten lämmitykseen. Tämän lisäksi energiaa kuluu käyttöveden lämmitykseen, ilmanvaihtoon, valaistukseen, jäähdytykseen, saunojen lämmitykseen, ruuan valmistukseen, kotitalouslaitteisiin sekä erinäisiin sähkölaitteisiin. Rakennusten energiatehokkuuden lisääntymisen myötä rakennusten lämmitysenergiankulutus vuosina 2016-2020 on laskenut (kuva 3).

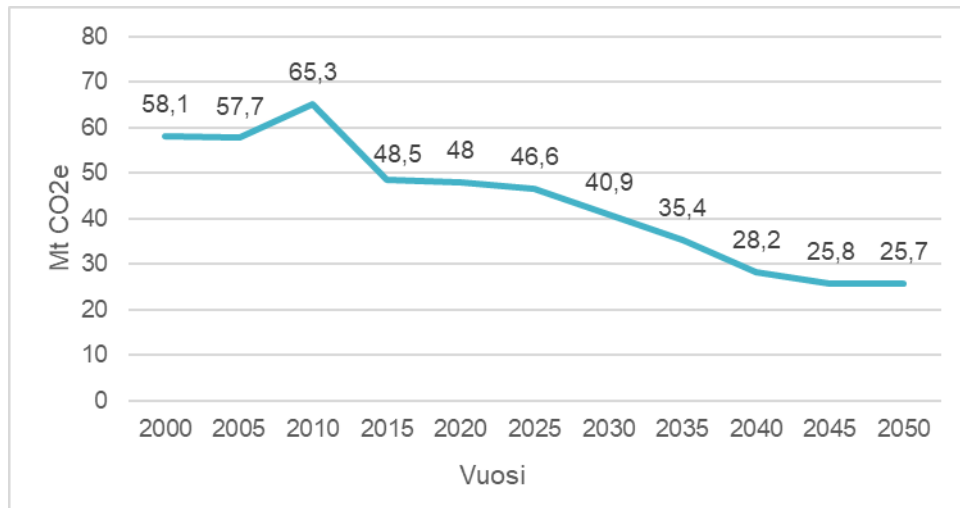


**Kuva 3. Asuinrakennusten energiakulutus Suomessa vuosina 2016-2020 (muokattu Tilastokeskus 2022)**

Asuinrakennusten energiatarpeiden täyttämiseen käytetään useita eri energiamuotoja. Näistä yleisimmät ovat kaukolämpö, kaukojäähdytys, sähkö, uusiutuvat ja uusiutumattomat polttoaineet ja ympäristöstä otettu energia. Energian päästöt riippuvat energian tuottamiseen käytetyistä menetelmistä. (Tilastokeskus 2022)

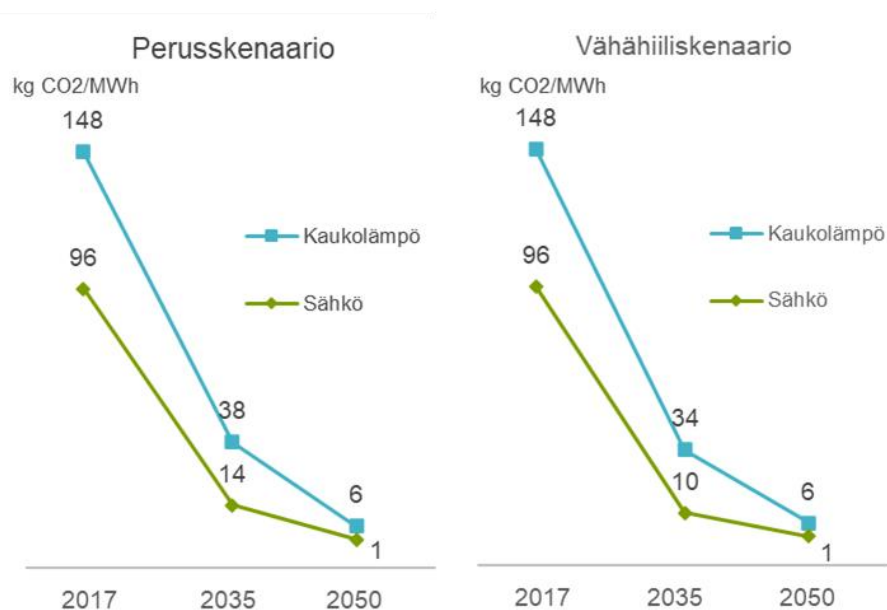
Kaukolämmön- ja sähköntuotossa uusiutuvilla energialähteillä tuotetun energian osuus on kasvussa ja korvaamassa fossiilisilla polttoaineilla tuotetun energian osuutta. Tämä on osa myös hallitusohjelmaan kirjattua vihreää siirtymää. Näiden trendien oletetaan jatkuvan ja sen seurauksena energiatuotannon päästöjen vähentyvän tulevaisuudessa. (AFRY 2020, s.12)

Suomessa energiaan liittyvien kasvihuonekaasupäästöjen on ennustettu laskevan energiaskenaarion mukaan alle puoleen vuoteen 2050 mennessä verrattuna vuoteen 2000 (kuva X). Tätä kutsutaan energiaskenaarioksi (Capros et al. 2016, s.159).



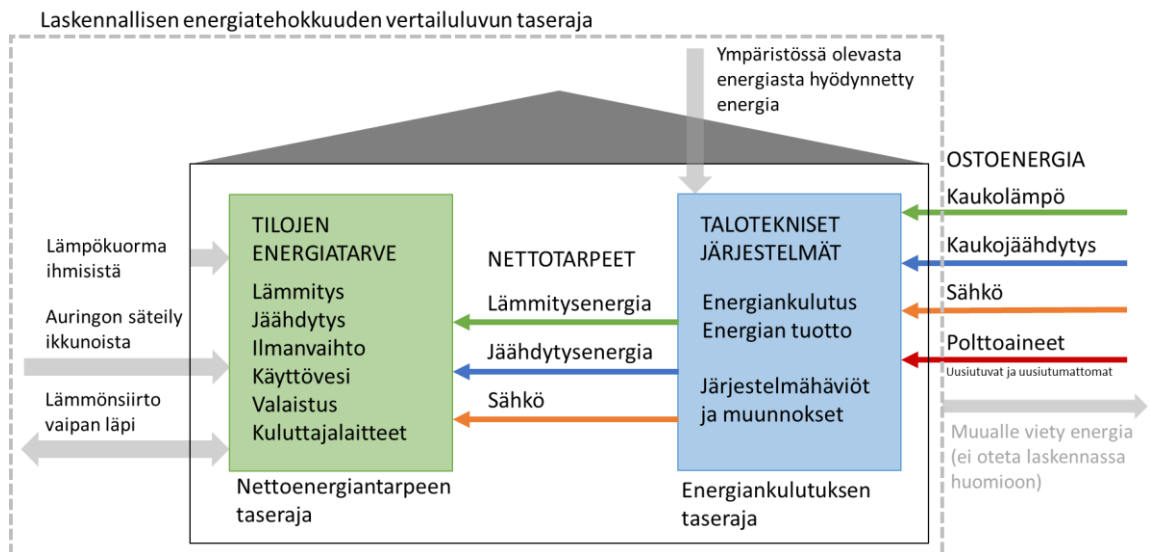
**Kuva 4.** Energiaskenaarion mukainen energiatuotannon päästöjen väheneminen (muokattu Capros et al. 2016, s.159)

Euroopan komission tekemän energiaskenaarion pohjalta on arvioitu myös Suomen sähkön- ja kaukolämmöntuotannon päästöjen kehitystä (kuva 4). Energiateollisuus ry on muodostanut kaksi eri skenaariota päästökertoimien ennustamiseen: perusskenaario ja vähähiiliskenaario (kuva 5). Perusskenaario on konservatiivisempi oletus päästökertoimien laskusta, kun taas vähähiiliskenaariossa oletetaan suurempaa siirtymää energiantuotannossa fossiilisista polttoaineista uusiutuviin. Päästöjä arvioitaessa sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannon aiheuttamat päästöt on jaoteltu sähkön ja kaukolämmön välillä hyödynjakomenetelmällä. Molemmissa skenaarioissa päästökertoimien oletetaan laskevan voimakkaasti vuoteen 2035 mennessä, jonka jälkeen muutoksen oletetaan hidastuvan. (AFRY 2020, s.12)



**Kuva 5.** Suomen perusskenaario ja vähähiiliskenaario sähkön ja kaukolämmön tuotannon päästökertoimille (muokattu AFRY 2020, s.12)

Rakennusten käytönaikaisia päästöjä vähentää myös rakennusten energiankulutuksen pieneneminen rakennusten energiatehokkuuden parantumisen myötä. Vuonna 2018 astui voimaan Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017), jossa asetetaan vaatimuksia uusien rakennusten energiamuotojen kertoimilla painotetulle energiankulutukselle käyttöluokittain. Tämän seurauksena uusien rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen osuus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä on jo laskenut verrattuna ennen asetuksen voimaantuloa rakennettuihin rakennuksiin. Asetuksessa uuden rakennuksen energiatehokkuutta laskiessa huomioidaan rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva ostoenergian kulutus, ympäristöstä otettu energia, ihmisten ja auringon aiheuttamat lämpökuormat ja vaipan läpi tapahtuma lämmönsiirtymä (kuva 6). Rakennuksen ostoenergiakulutukseen huomioidaan rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus energiamuodoittain eriteltynä. Rakennuksen paikallisesti ympäristöstä hyödyntämän energian voi vähentää rakennuksen ostoenergiatarpeesta. (Ympäristöministeriö 2018, s.15)



**Kuva 6. Rakennuksen ostoenergiamuodot ja energiatarpeet (muokattu Ympäristöministeriö 2018, s.15)**

Ympäristöministeriön laskentamenetelmää rakennuksen energiatehokkuudelle käytetään rakennusten energiakulutuksen määrittämiseen myös ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmässä. Poiketen kuvassa 6 esitettyyn energiankulutuksen taserajaan rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmässä rakennuksen ulkopuolelle toimitettu energia voidaan huomioida kohteen hiilikädenjäljessä (Ympäristöministeriö 2021a, s.25).

Rakennuksen energiankulutuksesta aiheutuvia päästöjä laskiessa eri energiamuodot kerrotaan eri energiamuotojen kansallisilla päästökertoimilla. Elinkaarilaskentaan

tarkoitettujen energiamuotojen kansalliset päästökertoimet on ilmoitettu kansallisessa päästötietokannassa eri energiamuodoille kymmenen vuoden jaksoina vuodesta 2020 vuoteen 2020. Tämä on sen vuoksi että energiaskenaarion mukainen energiantuotannon päästöjen aleneminen tulee huomioitua rakennuksen käytönaikaisen energiakulutuksen hiilijalanjälkeä arvioitaessa. Tämän seurauksena rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkeä arvioitaessa kohteen energiakulutuksen säilyessä vuosittain samana päästöjen lasketaan kuitenkin alenevan. (Ympäristöministeriö 2021a s.23)

## 3. UUDEN ASUINKERROSTALON ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN OHJAAMINEN

### 3.1 Rakennuksen hiilijalanjäljen ohjausmenetelmät

Rakennuksen elinkaaren aikana syntyviin kasviuonekaasupäästöihin voi vaikuttaa monilla päätöksillä hankkeen eri vaiheissa. Systemaattinen hiilijalanjäljen ohjaus vaatii tämän vuoksi jokaisessa rakennusvaiheessa keskeisten hiilijalanjäljen minimoimista edistävät tekijät (A-Insinöörit 2021, s.13). Yleisesti suurimmat päästövaikutukset on hankkeen varhaisessa vaiheessa tehtävillä valinnoilla. Rakennuksen elinkaaren aikaisen hiilijalanjäljen kannalta oleellisia valintoja tehdään rakennuspaikan valinnassa, rakennuksen lämmitysmuodon ja energiaratkaisujen valinnassa, rakennuksen suunnitteluratkaisuissa, rakennuksen käytön suunnittelussa ja arvioinnissa, rakennusmateriaalien valinnassa, rakennuksen ylläpidettävyyden ja korjattavuuden suunnittelussa sekä rakennuksessa käytettyjen materiaalien ja rakennusosien kierrätettävyyden ja loppusijoituksen arvioinnissa. Tunnistamalla, arvioimalla ja vertailemalla näiden valintojen vaikutuksia rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen, voidaan hanketta ohjata tehokkaasti vähähiilisimpään suuntaan. Valintojen arvioinnissa on tärkeä huomioida myös päätösten yhteisvaikutukset, eikä arvioida yksittäisiä vaikutuksia erikseen. (VTT 2018, s.6)

Alalla tunnistettuja rakennuksen hiilijalanjäljen ohjaustoimenpiteitä ovat hankkeen energiatehokkuuden parantaminen, uusiutuvan energian käyttö, korkea materiaalitehokkuus, vähähiiliset rakennusmateriaalit, materiaalien kiertotalous, rakennustyömaan päästöjen ohjaus ja työmaan kiertotalous (A-Insinöörit 2021, s.10-12). On kuitenkin tärkeää arvioida aina kohdekohtaisesti eri ohjaustoimenpiteiden soveltuvuutta ja kannattavuutta, jotta varmistuu toimenpiteiden kannattavuudesta kohteelle ja tunnistaa kohteelle merkittävimmät vaikutuskohteet. Tämä vaatii vähähiilisen rakentamisen osaamista, joka on tärkeää varmistaa hankkeessa jo heti hankesuunnitteluvaiheesta lähtien. (A-Insinöörit 2021, s.14)

Kansallisella tasolla ohjaamista voidaan toteuttaa rakennusmääräysten, ohjeiden, sanktioiden sekä verotuksellisilla keinoilla. Kunnallisella tasolla kaavoitus, rakennusluvut, rakennusoikeus, rakennusvalvonta, lupamaksut, neuvotteluohjaus sekä tontinluovutus voivat toimia kansallista ohjaamista tukevin keinoina. Julkinen sektori voi myös toimia rakennusalaan ohjaavana esimerkkinä vaatimalla rakennuttamissaan kohteissa vähähiilisiä valintoja. (VTT 2018, s.6)

Rakennuksen hiilijalanjäljen ohjaamisen oleellinen osa on eri vaihtoehtojen vertailu. Yhteismitallinen vertailu vaatii vaihtoehtojen vaikutusten mittaamista ja mittaustulosten vertailtavuutta. Tämän vuoksi mittaamiselle on tärkeää asettaa tarkat menettelytavat. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutusten vertailtavuuden varmistaa EU säädökset (EN ISO 14044 ja EN 15804) koskien EPD (Environmental Product Declaration) -selosteiden tuottamista (Rakennustietosäätiö RTS 2022a). Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arviointiin ollaan kehittämässä Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmää, jonka on tarkoitus tulla osaksi uutta maankäyttö- ja rakennuslakia ja jolla voidaan varmistaa rakennusten hiilijalanjäljen vertailu. (Ympäristöministeriö 2021a, s.8)

Rakennusten hiilijalanjälkeä voidaan ohjata myös rahoituksen keinoin. Julkisrahoitteisissa kohteissa voidaan asettaa rakennuksen vähähiilisyysarviointiin ja toteuttamiseen liittyviä vaatimuksia, kannusteita tai valintakriteerejä (VTT 2018, s.6). EU taksonomialla pyritään vaikuttamaan rakennusten ympäristövaikutusten ohjaamiseen rahoituksen kautta. EU taksonomia tulee säätelämään sitä, millainen taloudellinen toiminta on kestävä. Tämä tulee vaikuttamaan myös siihen, millaiset rakennushankkeet voivat saada EU taksonomian mukaista kestävä rahoitusta. (TEG 2020, s.367)

Suoraan yksittäisten rakennushankkeiden hiilijalanjälkeä ohjaavien menetelmien lisäksi kansallisella tasolla rakennusten hiilijalanjäljen ohjaamisena voidaan pitää tiedon ja osaamisen lisäämistä alalla. Tällöin ohjaavia toimenpiteitä ovat vähähiilisen rakentamisen koulutustarjonnan lisääminen alalla toimiville asiantuntijoille sekä valvoville tahoille. Tämän lisäksi luotettavan ympäristötiedon saatavuuden varmistaminen voidaan ottaa huomioon hiilijalanjälkeä ohjaavana toimenpiteenä. (Bionova 2017, s.41)

### **3.2 Rakennuksen hiilijalanjäljen todentamismenetelmät**

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen laskeminen tapahtuu elinkaariarvioinnin (LCA) kautta. Elinkaariarviointia voidaan hyödyntää minkä tahansa tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikaisten vaikutusten selvittämiseen. Vaikutukset voivat olla esimerkiksi kustannukset tai hiilijalanjälkeä arvioitaessa kasvihuonekaasupäästöt. Elinkaariarvioinnissa huomioidaan tarkasteltavan kohteen suorat ja epäsuorat vaikutukset, antaen kattavan kuvan tuotteen tai palvelun kokonaisvaikutuksista. (Säynäjoki et al 2011, s.116)

Rakennuksen elinkaariarvioinnissa on tarkoitus selvittää rakennuksen aiheuttamat vaikutukset ilmaston lämpenemiseen. Arvioinnissa huomioidaan kaikki ympäristövaikutukset rakennusmateriaalien raaka-aineiden hankinnasta rakennuksen purkamiseen ja purkujätteen käsittelyyn asti. (Säynäjoki et al. 2011, s.116)

Elinkaariarviointi voidaan jakaa kolmeen eri kategoriaan: prosessipohjaiseen (process LCA), syöte-tulos -pohjaiseen (IO-LCA) ja näiden yhdistelmään hybridipohjaiseen (hybrid LCA) elinkaariarviointiin. Prosessipohjainen elinkaariarviointi on yleisin elinkaariarvioinnin metodi. Sillä voi saavuttaa hyvin tarkkoja tuloksia, mikäli prosessi on homogeeninen ja se voidaan rajata tarkasti siten että tarkasteltavan prosessin ulkopuolelle ei jää merkittäviä päästölähteitä. Prosessipohjaisen elinkaariarvioinnin tekeminen voi olla kuitenkin erittäin työlästä ja aikaa vievää. Syöte-tulos -pohjaisessa elinkaariarvioinnissa hyödynnetään tuotteen tai toiminnan rahallisia kustannuksia ja niiden ympäristövaikutuksia markkinoilla olevan keskiarvodatan pohjalta. Se on huomattavasti helpompi ja nopeampi toteuttaa prosessipohjaiseen elinkaariarviointiin verrattuna. Sen tarkkuus tosin nojaa vahvasti markkinoilla olevan tiedon ajantasaisuuteen ja saatavuuteen. (Säynäjoki et al. 2011, s.117)

Hybridipohjainen elinkaariarviointi pyrkii yhdistämään prosessipohjaisen ja syöte-tulos-pohjaisen elinkaariarvioinnin vahvuudet ja mitätöimään niiden heikkoudet. Rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen arviointiin käytettävä elinkaariarviointitapa on siis hybridipohjainen elinkaariarviointi, jonka pohjana toimii tietopankki, joka sisältää kaikkien rakennusalaalla oleellisten rakennusmateriaalien ja prosessien ilmastovaikutustiedot. (Säynäjoki et al 2011, s.117) Hybridipohjaista elinkaariarviointimallia voidaan pitää parhaiten rakennusten elinkaariarviointiin soveltuvana elinkaariarviointimenetelmänä (Säynäjoki et al. 2012, s.3). Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä ja One Click LCA -laskentatyökalu pohjautuvat hybridipohjaiseen elinkaariarviointimalliin, sillä niissä käytetään materiaalikohtaisia ja kansallisen päästötietokantojen päästötietoja materiaaleille ja rakennusalan toiminnoille sekä prosessipohjaista elinkaariarviointia arvioimaan rakennuksen elinkaaren kokonaishiilijalanjälkeä.

### 3.3 Rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaava lainsäädäntö ja standardointi

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) sekä Maankäyttö- ja rakennusasetus (895/1999) ovat Suomen keskeisimmät rakentamista ohjaavat lainsäädännöt. Niiden avulla ohjataan rakentamista ja alueiden käyttöä sääntelemällä rakentamisen suunnittelua ja rakentamista sekä maankäytön kaavoitusta, suunnittelua, rakennusjärjestystä ja yleistä maapolitiikkaa. Maankäytön ja rakentamisen sääntelyllä tavoitellaan turvallisen ja terveellisen elinympäristön luomista. Maankäyttö- ja rakennuslaki ja Maankäyttö- ja rakennusasetus pyrkivät myös edistämään rakentamisen ja rakennetun ympäristön kestävästä kehitystä. (Ympäristöministeriö 2022)

Maankäyttö- ja rakennuslakia ollaan uudistamassa ja uuden lain on tarkoitus astua voimaan vuonna 2024. Uudistuksen tavoitteena on edistää hiilineutraalia yhteiskuntaa, vahvistaa luonnon monimuotoisuutta, parantaa rakentamisen laatua ja edistää digitalisaatiota. (mrluudistuu.fi)

Maankäyttö- ja rakennuslain tueksi on laadittu asetuksia, joiden avulla rakennusten ympäristövaikutuksia voidaan ohjata tarkemmin. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta on tehty Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) vaatiman energiaselvityksen sääntelyksi. Asetuksessa linjataan, että kaikkien yli 50 neliometriä kerrosaltaan olevien uusien rakennusten on täytettävä asetuksen energiatehokkuusvaatimukset. Asetuksen vähimmäisvaatimuksena on, että rakennus on joko laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) tai rakenteellisen energiatehokkuuden mukainen, rakennus luo edellytykset lämpöhäviön vähäiselle energiantarpeelle ja että rakennus on energiatehokas huomioiden kesäajan huonelämpötilan, energiankäytön mittaamisen, lämmön ja sähkön talteenoton ja mahdollisen koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon. (1010/2017 3 §)

E-luku on laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku, joka on rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus kerrottuna asetuksen mukaisilla energiamuotojen kertoimilla rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. Asetus määrittelee eri käyttöluokan rakennuksille eri E-luvun raja-arvot. Asuinkerrostalot kuuluvat käyttöluokkaan 2 ja niiden E-luvun raja-arvoksi on asetuksessa määritetty  $90 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$  (1010/2017 4 §). Laskennallinen ostoenergiankulutus määritellään vakioituun käyttöön perustuvalla lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä apulaitteiden, kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiamuodoittain erotelluista energiankulutuksista. Tästä on vähennetty rakennukseen kuuluvalla laitteistolla ympäristöstä otettu energia

siltä osin kuin sitä on hyödynnetty edellä mainittujen energiankulutusten kattamiseen. (1010/2017 6 §)

E-luvun laskenta on suoritettava laskentamenetelmällä, joka ottaa huomioon vähintään rakennusosien ja niiden liitosten lämpöominaisuudet, rakennuksen ilmapitävyyden, ilmanvaihdon ilmavirrat, sisälämpötilan, lämpimän käyttöveden tarpeen, ilmanvaihdon lämmöntalteenoton, lämpökuormat ihmisistä, valaistuksesta, sähkölaitteista, käyttövedestä ja auringosta, ilmanvaihdon, lämmityksen ja käyttöveden lämpö- ja sähköenergiatarpeet sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergiatarpeen. Mikäli kohteeseen suunnitellaan aurinkokeräimiä, -paneeleja tai jäteveden talteenottoa, tulee laskentajärjestelmän huomioida myös kyseisten laitteiden lämmöntuotto, lämmöntalteenotto ja sähköntuotto sekä niiden hyödyntäminen rakennuksessa. Rakennuksen sisäilman lämpötilan hallinnan vaatiessa jäähdytystä, tulee rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus laskea menetelmällä, joka huomioi jäähdytysjärjestelmän lämpö- ja sähköenergiatarpeen ja jonka laskenta huomioi rakennuksen rakenteiden lämmönvarausominaisuudet ajasta riippuvaisena. Tätä laskentamenetelmää kutsutaan dynaamiseksi laskennaksi. (1010/2017 8 §)

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta lisäksi vuonna 2021 astui voimaan Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennusten teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista. Asetuksessa linjataan, että uusiin rakennuksiin asennettavien teknisten järjestelmien on oltava itsesäätyviä laitteita, jotka säätävät lämpötilaa erikseen kussakin huoneessa (718/2020 3 §). Teknisiin järjestelmiin määritellään asetuksessa kuuluvan laitteet, jotka osallistuvat rakennuksen tai sen osan lämmitykseen, jäähdytykseen, ilmanvaihtoon, valaistukseen, käyttöveden lämmitykseen, rakennuksen automaatioon, rakennuspaikalla tapahtuvaan sähköntuotantoon tai näiden yhdistelmään. Tämä sisältää myös laitteet, jotka hyödyntävät uusiutuvia energialähteitä (718/2020 2 §). Tällä asetuksella pyritään rakennusten teknisten järjestelmien parempaan energiatehokkuuteen sekä energiatehokkuuden tarkempaan mittaamiseen ja optimoimiseen uusissa rakennuksissa (718/2020 5 §).

Rakennusten hiilijalanjälkeä ohjataan Maankäyttö- ja rakennuslain lisäksi Jätelaisissa Valtioneuvoston asetus jätteistä. Asetuksessa on rakentamista koskevat pykälät 25 § Rakennus- ja purkujätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen, 26 § Rakennus- ja purkujätteen erilliskeräys ja 27 § Rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistä koskeva tavoite. Pykälässä 25 § linjataan, että rakennushanke on suunniteltava ja toteutettava siten että toiminnasta syntyy mahdollisimman vähän ja mahdollisimman haitatonta rakennus- ja purkujätettä sekä että uudelleen käyttökelpoiset rakennusosat ja -

materiaalit otetaan talteen ja hyödynnetään. Pykälä 26 § tulee pakolliseksi heinäkuussa 2022 ja siinä linjataan että rakennus- ja purkujätteen haltijan on järjestettävä erilliskeräys ainakin seuraaville jätelajeille: 1) betoni, tiili, kivennäislaatat ja keramiikka mahdollisuuksien mukaan lajiteltuina jätelajeittain; 2) asfaltti; 3) bitumi ja kattuhuopa; 4) kipsi; 5) kyllästämätön puu; 6) metalli; 7) lasi; 8) muovi; 9) paperi ja kartonki; 10) mineraalivillaaeriste; 11) maa- ja kiviaines. Erilliskerätyt jätteet on toimitettava paikkaan, jossa jätteet tulee valmistella uudelleenkäyttöön, kierrättää tai hyödyntää materiaaleina mahdollisimman korkealaatuisesti (978/2021 27 §).

Suomessa rakentamista ohjaa kansallisten lakien ja asetusten lisäksi myös kansainväliset standardit. Kansainvälisellä tasolla ISO (International Organization of Standardization) ja Euroopan tasolla CEN (European Committee for Standardization) ohjaavat kestävästä rakentamisesta ja sen standardointia. Kansainvälisillä standardeilla varmistetaan yhtenäiset pelisäännöt kestävien rakennusten määritelmille, arviointitavoille, suunnittelulle ja rakentamiselle. (Rakennusteollisuus RT 2022b)

Eurooppalaisen standardointijärjestö CEN:n tekninen komitea TC 350 Sustainability of construction works toimesta on laadittu standardipaketti eurooppalaisten yhdenmukaisen pelisääntöjen pohjaksi. Standardeissa ohjeistetaan rakennustuotteiden ympäristöselosteiden (EDP) laadintaa (EN 15804 ja EN 15942), sekä selosteita lähtötietona käytävien rakennusten ympäristövaikutusten arviointiin (EN 15643). Eurooppalaisen standardoinnin lähtökohtia ja periaatteita on luoda eurooppalainen harmonisoitu standardisarja rakennustason vaikutusarviointiin, käsitellä kestävästä rakentamisesta ympäristö-, sosiaali- ja talousvaikutusten kannalta, huomioida tarkasteluissa elinkaarimalli ja ottaa huomioon kehyksenä ISO:n vastaava standardikehitys (ISO/TC59/SC17 Building Construction – Sustainability in Building Construction). (Rakennusteollisuus RT 2022b)

### **3.4 Ympäristöministeriön vähähiilisyysarviointimenetelmä uusille rakennuksille**

Juha Sipilän hallituksen aikana ympäristöministeriö aloitti kaavailemaan rakennusten elinkaaren vähähiilisyysarvioinnin säädösohjausta osana Suomen tavoitetta saavuttaa hiilineutraalius vuoteen 2035 mennessä (Ympäristöministeriö 2019a). Vuonna 2017 julkaistiin vähähiilisyysarvioinnin tiekartta, joka asetti askelmerkit säädösohjaukselle ja arviointimenetelmän luomiselle. Jotkin tiekartassa asetetuista tavoitteista on tämän jälkeen tehtyjen selvitysten myötä täsmentyneet, mutta vuoden 2017 julkaisun tavoitteet ovat suurimmalta osin edelleen paikkansapitäviä. Sanna Marinin vuoden 2019 hallitusohjelmassa linjattiin tarpeesta nopeuttaa tiekartan toteuttamista. Tämän pohjalta Suomi on edistänyt hiilineutraaliustavoitettaan vuoteen 2030 ja asettanut tavoitteeksi saavuttaa hiilinegatiivisuuden vuoteen 2040 mennessä. Tämänhetkisten toimenpiteiden tavoitteena on asettaa vuoteen 2025 mennessä uusille rakennuksille käyttötarkoitukseluokittain määritellyt hiilijalanjäljen raja-arvot. (Ympäristöministeriö 2021a, s.6)

Vuonna 2019 ympäristöministeriö julkaisi ensimmäisen version Rakennusten vähähiilisyysarviointimenetelmästä, jossa kuvataan Suomessa osaksi uudistuvaa maankäyttö- ja rakennuslakia tulevan arviointimenetelmän ensimmäinen versio. Arviointimenetelmä on tehty Euroopan komission Level(s)-menetelmän sekä EN-standardien pohjalta. Arviointimenetelmän tavoitteena on luoda yhteiset puitteet laskennalle ja tuoda standardipohjainen elinkaariarviointi osaksi Suomen energia- ja ilmastostrategiaa ja täten pienentämään rakennusten elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjä huomioimalla ne jo rakennusta suunniteltaessa. (Ympäristöministeriö 2019a, s.9-13)

Ensimmäistä arviointimenetelmää testattiin ympäristöministeriön rahoittamalla pilotointikierroksella, jossa rakennuskohteiden elinkaaren hiilijalanjälki laskettiin arviointimenetelmän mukaisesti. Arviointimenetelmää sai ottaa käyttöön vapaasti myös muissa kohteissa. Pilotointijakson jälkeen järjestettiin lausuntokierros, jonka pohjalta arviointimenetelmää muutettiin ja tarkennettiin. Uusi versio arviointimenetelmästä julkaistiin vuonna 2021. Keskeisimpiä muutoksia aiempaan versioon oli arviointijakson vakiinnuttaminen 50 vuodeksi ja arviointiin sisällytettävien rakennusosien, taulukkoarvojen ja energiamuotojen päästökertoimien päivitys ja lisääminen osaksi kansallista päästötietokantaa [co2data.com](https://co2data.com). Vuoden 2021 arviointimenetelmä on kuitenkin edelleen luonnos ja sen sisältö voi vielä muuttua ja tarkentua ennen raja-arvojen voimaan astumista. (Ympäristöministeriö 2021a, s.5)

Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisessä arviointimenetelmässä arvioidaan rakennuksen hiilijalanjälki. Rakennuksen hiilijalanjälki on arviointimenetelmässä määritelty tarkoittavan rakennuksen elinkaaren kasvihuonekaasupäästöjä, jotka muodostuvat eloperäisten, fossiilisten ja maankäytön muutoksista johtuvien päästöjen summana. Hiilijalanjäljen yksikkö on hiilidioksidiekvivalentit kilogrammoina (kgCO<sub>2</sub>e). (Ympäristöministeriö 2021a, s.16)

Vuonna 2021 julkaistussa arviointimenetelmän versiossa arviointiin sisällytettävät elinkaarenvaiheet ovat A1-A5, B4, B6, C1-C4 ja D. Osa elinkaaren vaiheista on jätetty pois arvioinnista helpottaakseen arvioinnin suorittamista ja parantamaan tulosten vertailtavuutta (taulukko 1).

Taulukko 1. Arvioitavat rakennuksen elinkaaren vaiheet (Ympäristöministeriö 2021a, s.12-13)

Vaihe	Rajaus	Peruste	
A. Ennen Käyttöä	A1-A3	Arvioidaan	Rakennusmateriaalien ilmastovaikutukset ovat tutkimusten mukaan merkittäviä. Niiden määrä voidaan arvioida tarkasti suunnitteluvaiheessa.
	A4	Arvioidaan	Vaikka kuljetusten vaikutus elinkaaren hiilijalanjälkeen ei ole kovin suuri, se voidaan kohtuullisen luotettavasti arvioida. Kuljetusten vähentämisestä on myös muita hyötyjä ympäristölle ja yhteiskunnalle.
	A5	Arvioidaan	Rakennustyömaiden vähähiilisyden parantamiseksi tehdään toimenpiteitä. Näiden toimien vaikuttavuuden tekeminen näkyväksi edellyttää rakennushankkeissakin arviointia.
B. Käytön aikana	B1	Ei arvioida	Vaikutus on hyvin vähäinen ja arviointi hankalaa. Koskisi kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa lähinnä talotekniikan laitteiden mahdollisia kylmäainevuotoja.
	B2	Ei arvioida	Vaikutus on vähäinen, eikä suunnitteluvaiheessa voida tehokkaasti vaikuttaa kunnossapidossa käytettäviin laitteisiin ja tuotteisiin.
	B3	Ei arvioida	Odottamattomista rikkoontumisesta johtuvia korjaustarpeita on hankala arvioida riittävän luotettavasti.
	B4	Arvioidaan	Rakennustuotteiden tekniseen käyttöikään liittyvästä kulumisen ja vaihtotarve voidaan arvioida kohtuullisen luotettavasti. Lisäksi vaihtojen sisällyttäminen on perusteltua, jotta vältettäisiin osaoptimointia valitsemalla vähähiilisiä mutta lyhytikäisiä rakennustuotteita.
	B5	Arvioidaan erikseen	Laajamittaisten korjausten yhteydessä tehdään yleensä merkittäviä muutoksia rakenteisiin, talotekniikkaan ja jopa tilajärjestelyihin. Tällaisia muutoksia on erittäin vaikea arvioida ennakoivasti. Tämän vuoksi laajamittaisiin korjaushankkeisiin tehdään erillinen vähähiilisyden arviointi.
	B6	Arvioidaan	Energian kulutus on keskeinen rakennuksen vähähiilisyteen vaikuttava tekijä.
	B7	Ei arvioida	Veden käytön vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen on vähäinen mutta arviointi vie aikaa. Käyttöveden lämmittämisestä aiheutuvan energian hiilijalanjälki sisältyy kohdan B6 arviointiin.
	B8	Ei arvioida	Käyttäjien toimien arviointi edellyttäisi hankekohtaisesti tehtäviä skenaarioita, joiden tarkkuutta voi olla vaikea varmistaa.
C. Käyttö	C1	Arvioidaan	Rakennuksesta purettavien materiaalien määrä tiedetään tarpeeksi tarkasti suunnitteluvaiheessa. Käytön jälkeisten vaiheiden lukeminen mukaan elinkaariarviointiin mahdollistaisi
	C2	Arvioidaan	
	C3	Arvioidaan	

	C4	Arvioidaan	kiertotaloutta edistävien suunnitteluratkaisujen avulla saavutettavien hyötyjen arvioinnin.
Elinkaaren ulkopuolella	D	Arvioidaan	Kiertotalouden ja muiden ilmastoratkaisujen hyötyjen arviointi voidaan tehdä EN- ja EN ISO-standardien pohjalta. D-moduulin arviointi sisältyy myös muissa pohjoismaissa käyttöön tuleviin arviointimenetelmiin.

Taulukon 1 rajauksen mukaisesti myös ympäristöluokitusjärjestelmiä tarkasteltaessa rajauksen ulkopuolelle jätetään tuotteiden käytön, kunnossapidon, korjausten, laajamittaisten korjausten, veden käytön ja käyttäjien toimien vaikutukset. Niitä ei oteta huomioon hiilijalanjälkeä ohjaavina kriteereinä eikä myöskään case-kohteen laskennassa.

Arviointimenetelmä suoritetaan aina 50 vuodelle vaikka rakennus tai sen osat tulevat olemaan käytössä pidempään. EU:n Level(s) menetelmässä on myös käytössä sama arviointijakson pituus. Tämä johtuu siitä että 50 vuoden jälkeen tehtävien elinkaariarviointien epätarkkuus kasvaa liian suureksi ja koska rakennusten peruskorjaus tulee yleensä ajankohtaiseksi 50 vuoden jälkeen. Peruskorjauksen yhteydessä on tyypillistä tehdä muutoksia rakennuksen käyttötarkoitukseen, teknisiin järjestelmiin ja rakennustuotteisiin. Siitä johtuen uusien rakennusten arviointi suoritetaan ensimmäiseksi 50 vuodeksi, jonka jälkeen mahdollisen peruskorjauksen tapahtuessa arvioidaan sen hiilijalanjälki erikseen. (Ympäristöministeriö 2021a, s.13)

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä arvioitaessa ensisijainen tiedonlähde tulee aina olla hankekohtainen todennettu tieto. Arviointia toteutetaan kuitenkin niin varhaisessa vaiheessa hanketta, että hankekohtaista tietoa ei ole vielä kaikilta osin saatavilla. Esimerkiksi julkisissa kohteissa ensimmäinen elinkaariarviointi voidaan suorittaa jo hankesuunnitteluvaiheessa, jolloin rakennuksen suunnitelmat eivät ole vielä valmiit. Tämän vuoksi ympäristöministeriö on luonut arviointimenetelmän liitteeksi kansallisen päästötietokannan, jossa on päästötietoja rakennusmateriaaleille, energiamuotojen päästökertoimille, kuljetuksille ja työmaan energiankäytölle. Näitä voi menetelmän mukaan hyödyntää, mikäli hankekohtaista tietoa ei ole saatavilla tai mikäli hankekohtaisen tiedon hankkiminen on liian haastavaa ja aikaa vievää. (Ympäristöministeriö 2021a, s.14-15)

Vuoden 2021 menetelmässä arviointiin sisällytettävien rakennusosien rajausta hieman muutettiin ja tarkennettiin vuoden 2019 menetelmästä (taulukko 2). Taulukon numerot viittaavat Talo 2000 -luokitukseen. Tarkempi listaus on liitteenä/saatavilla kansallisesta päästötietokannasta co2data.fi. (Ympäristöministeriö 2021a, s.11)

Taulukko 2. Arviointiin sisällytettävät rakennusosat (Ympäristöministeriö 2021 s.11)

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Alueosat	1.1.1 Maaosat 1.1.2 Tuennat 1.1.3 Päällysteet 1.1.5 Alueen rakenteet	- Raivaukset, kaivannot ja kanaalit (1.1.1-1.1.3) - Tuotteiden pakkaukset - Uuden rakennuksen tieltä purettavat rakenteet tai rakennukset - Kasvillisuus, maaperä ja vesistö
Rakennusosat	1.2.1 Perustukset 1.2.2 Alapohja 1.2.3 Runko 1.2.4 Julkisivut, ovet ja ikkunat 1.2.5 Ulkotasot ja parvekkeet 1.2.6 Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Savunpoistorakenteet - Tuotteiden pakkaukset
Tilaosat	1.3.1 Jako-osat (väliseinät, ovet, portaat) 1.3.2 Tilapinnat (lattiat, sisäkatot, seinät) pintakäsittelyineen 1.3.3 Tilavarusteet (kiintokalusteet, keittölaitteet) 1.3.4.2 Hormit ja tulisijat 1.3.5 Tilaelementit (mm. kylpyhuonemoduulit)	- Listat ja kulmavahvikkeet - Kaiteet (1.3.1.4) - Tilaopasteet (1.3.3.5) - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Tuotteiden pakkaukset
Talotekniikka	- Lämmitysjärjestelmän pääosat - Vesi- ja viemärijärjestelmän pääosat - Ilmastointijärjestelmän pääosat - Jäähdytysjärjestelmän pääosat - Sprinklerijärjestelmän pääosat - Sähköjärjestelmän pääosat - Hissit ja liukuportaat	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaation järjestelmät - Varavirtajärjestelmät - Erilliset koneet ja laitteet - Tuotteiden pakkaukset

Arviointia tehtäessä kaikki arviointimenetelmän rajauksen mukaan arviointiin sisällytettävät rakennusosat tulee ottaa huomioon arvioinnissa. Kuitenkin mikäli tietoa ei ole saatavilla, voi arvioinnin ulkopuolelle jättää korkeintaan yhden painoprosentin verran arviointiin sisältyvistä rakennusosista (Ympäristöministeriö 2021a, s.11). Mikäli tuotteen suunniteltu käyttöikä on lyhyempi kuin arviointijakso, eli 50 vuotta, tulee arvioinnissa myös ottaa huomioon tuotteen vaihtaminen. Tuotteen vaihtaminen ja siitä aiheutuvat päästöt tulee ottaa huomioon yhtä monta kertaa, kuin se on arviointijakson aikana tarpeellista. (Ympäristöministeriö 2021a, s. 20)

Rakennushankkeen energian hiilijalanjälkeä laskettaessa tulee aina käyttää rakennukselle tehtyä energiaselvitystä ja siinä laskettua ostoenergian määrää. Ostoenergian kasvihuonekaasupäästöt saadaan kertomalla kohteessa käytettävät eri energiamuodot kansallisen päästötietokannan niille ilmoittamilla päästökertoimilla. Kansallisessa päästötietokannassa ilmoitettuja päästökertoimia ei saa korvata alueellisilla päästökertoimilla virallisessa, rakennuslupaa varten tehtävässä arvioinnissa, vaikka ne olisivat tiedossa. Laskennan voi kuitenkin suorittaa kansallisten

päästökertoimien lisäksi paikallisilla kertoimilla laskelman lisätiedoksi (Ympäristöministeriö 2021a, s.27).

Ympäristöministeriön arviointimenetelmässä käytettävät energian päästökertoimet on ilmoitettu co2data.fi verkkosivuilla (taulukko 3). Käytettävät luvut ovat hyödynjakomenetelmän mukaisia. Energiaskenaario on laskettu arvioimalla eri energiatuotantomuotojen päästöjen alenevan lineaarisesti vähähiilisempiin energiatuotantomuotoihin siirtyessä (co2data.fi 2022).

Taulukko 3. Energiamuotojen hyödynjakomenetelmällä (co2data.fi 2022).

Vuosi	Sähkö (kgCO <sub>2e</sub> /kWh)	Kaukolämpö (kgCO <sub>2e</sub> /kWh)	Kaukojäähdytys (kgCO <sub>2e</sub> /kWh)	Biopolttoaineet (kgCO <sub>2e</sub> /kWh)	Fossiiliset polttoaineet (kgCO <sub>2e</sub> /kWh)
2020	0,153	0,147	0,042	0,027	0,306
2030	0,089	0,114	0,026	0,027	0,306
2040	0,059	0,082	0,018	0,027	0,306
2050	0,045	0,054	0,013	0,027	0,306
2060	0,034	0,029	0,010	0,027	0,306
2070	0,022	0,021	0,007	0,027	0,306
2080	0,015	0,015	0,005	0,027	0,306
2090	0,010	0,011	0,003	0,027	0,306
2100	0,007	0,008	0,002	0,027	0,306
2110	0,005	0,006	0,001	0,027	0,306
2120	0,003	0,004	0,001	0,027	0,306

Esitetyt rajaukset huomioiden arviointimenetelmän mukainen rakennuksen hiilijalanjälki lasketaan kaavan (1) mukaisesti:

$$\begin{aligned} \text{Hiilijalanjälki} = & GWP_{\text{valmistus}} + GWP_{\text{vaihdot}} + GWP_{\text{jätteenkäsittely}} + GWP_{\text{loppusijoitus}} \\ & + GWP_{\text{kuljetukset}} + GWP_{\text{työmaa}} + GWP_{\text{käyttöenergia}} \end{aligned}$$

jossa:

$GWP_{\text{valmistus}}$  on rakennustuotteiden raaka-aineiden hankinnasta (A1), niiden kuljetuksista (A2) ja valmistuksesta (A3) aiheutuva kasvihuonekaasupäästö;

$GWP_{\text{vaihdot}}$  on rakennustuotteiden vaihdoista aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (B4);

$GWP_{\text{jätteenkäsittely}}$  on rakennustyömaalla (A5), rakennustuotteita vaihdettaessa (B4) ja purkutyömaalla (C3) syntyvän rakennus- ja purkujätteen käsittelystä aiheutuva kasvihuonekaasupäästö;

$GWP_{\text{loppusijoitus}}$  on rakennus- ja purkujätteen loppusijoituksesta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (C4);

$GWP_{\text{kuljetukset}}$  on rakennustuotteiden kuljetuksista valmistuspaikalta rakennustyömaalle (A4) ja rakennus- ja purkujätteen kuljetuksista purkupaikalta jätteenkäsittelyyn aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (C2);

$GWP_{työmaa}$  on rakennustyömaalla (A5), rakennustuotteita vaihdettaessa (B4) ja purkutyömaalla (C1) kulutetusta energiasta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö;

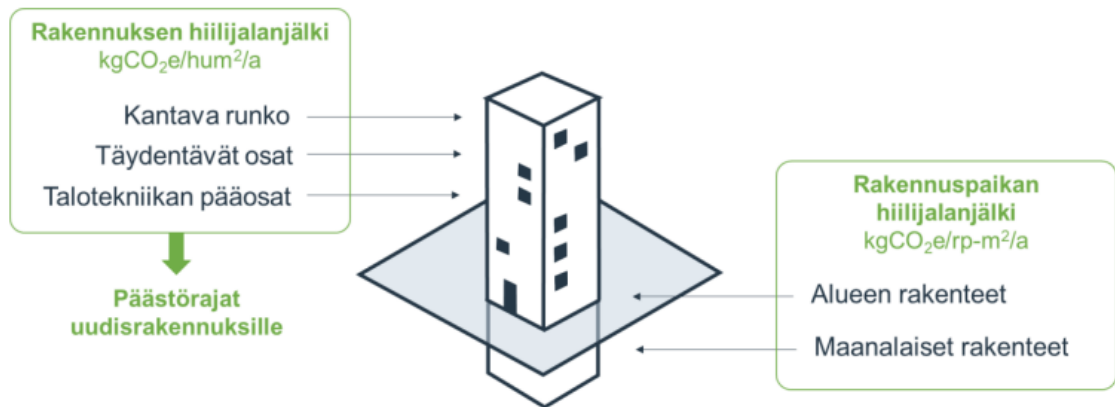
$GWP_{käyttöenergia}$  on rakennuksen käytön aikana kulutetusta energiasta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (B6). Hiilijalanjäljen summa ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttikiloina ( $kgCO_2e$ ) (Ympäristöministeriö 2021a, s.16).

Ympäristöministeriön arviointimenetelmässä esitetään myös ohjeet rakennushankkeen positiivisten ympäristövaikutusten arvioimiseen. Positiivisiin ympäristövaikutuksiin luetaan kaikki rakennuksen elinkaaren arviointirajauksen ulkopuoliset ilmastohyödyt, joita ei syntyisi ilman hanketta. Arviointimenetelmässä nämä on tarkennettu sisältämään seuraavat vaikutukset:

- rakennusosien uudelleenkäytön tai materiaalien kierrätyksen kautta vältetyt kasvihuonekaasupäästöt (D1),
- materiaalien hyödyntäminen kierrätyspolttoaineena tai energiana (D2)
- rakennuksessa tai sen tontilla tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia (D3)
- pitkäikäisten rakennustuotteiden sisältämä eloperäinen tai tekninen hiili (D4)
- sementtipohjaisiin tuotteisiin karbonatisoitumisen kautta sitoutuva ilmakehän hiilidioksidi (D5)

joiden laskemiseen on esitetty ohjeet arviointimenetelmässä. (Ympäristöministeriö 2021a, s.28) Ilmastohyötyjen saavuttamista ei kuitenkaan tarkastella tässä työssä johtuen siitä, että tarkastelun tarkoituksena on tulkita ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjäljen ohjaavuutta. Arviointimenetelmän mukaan hiilikädenjälkeä ei saa vähentää hiilijalanjäljestä. Tämän sijaan hiilikädenjälki tulee ilmoittaa erillisenä negatiivisena lukuna hiilidioksidiekvivalenttikilogrammoina ( $kgCO_2e$ ) hiilijalanjäljen lisäksi (Ympäristöministeriö 2021a s.28) Tästä johtuen hiilikädenjälkeen laskettavia ilmastohyötyjä ei lueta tässä tarkastelussa ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjälkeä ohjaaviksi tekijöiksi.

Arviointimenetelmän mukaan tehdyssä ilmastaselvityksessä tulee ilmoittaa laskettu hiilijalanjälki erikseen rakennukselle ja rakennuspaikalle (kuva 7). Rakennuksen hiilijalanjälkeen luetaan kaikki maanpäälliset, rakennukseen kiinteästi liitetyt rakennusosat. Rakennuspaikkaan luetaan alueen rakenteet sekä rakennuksen maanalaiset rakenteet. (Ympäristöministeriö 2021a, s.32-33)



**Kuva 7.** Rakennuksen hiilijalanjäljen tulosten erottelu. (muokattu Ympäristöministeriö 2021b s.33)

Uudistuvaan maa- ja rakennuslakiin on tarkoitus asettaa aluksi uusille rakennuksille käyttötarkoitukseluokittain määritellyt hiilijalanjäljen raja-arvot, jotka kohdistuvat vain rakennuksen osalle hiilijalanjälkeä. Tämä rajaus on tehty siitä syystä, ettei rakennuspaikan tuomat rasitteet kuten huonot perustamisolosuhteet, jotka vaativat paaluttamista tai stabilointia hankaloittaisi hankkeen pysymistä vähähiilisyyden raja-arvoissa. (Ympäristöministeriö 2021b s.33) Arviointimenetelmän mukaisessa ilmastaselvityksessä lasketun hiilijalanjäljen tulee olla esitetty elinkaarivaiheittain jaoteltuna. Täten ilmastaselvityksen tilaajan on helpompi tulkita eri osatekijöiden vaikutusta rakennuksen hiilijalanjälkeen ja hiilikädenjälkeen. (Ympäristöministeriö 2021a s.32)

## 4. RAKENNUSALAN YMPÄRISTÖLUOKITUSJÄRJESTELMIEN HIILIJALANJÄLJEN OHJAUSMENETELMÄT

### 4.1 Rakennushankkeiden ympäristöluokitusprosessi

Ympäristöluokitusprosessia yleensä hallinnoi tehtävään erikseen nimetty ympäristöluokituskonsultti. Riippuen ympäristöluokituksesta, konsultille voi olla joitain pätevyysvaatimuksia tai konsultin pätevydestä on mahdollista saada pisteitä ympäristöluokitusprosessissa. Ympäristöluokitus tulee ottaa osaksi rakennushanketta mahdollisimman varhaisessa vaiheessa hanketta, mielellään jo hankesuunnitteluvaiheessa. Moni ympäristöluokituksen tehtävä sijoittuu rakennushankkeen alkuun ja aiheuttaa myöhemmin toteutettuina haasteita ja mahdollisia lisäkustannuksia hankkeelle (FIGBC 2018 s.5). Rakennushankkeen ympäristöluokitteluprosessi etenee suurimmassa osassa ympäristöluokitusjärjestelmiä samantapaisesti (taulukko 4).

Taulukko 4. Ympäristöluokitusprosessin yleiset toimenpiteet hankevaiheittain (FIGBC 2018 s.5)

Tarveselvitys ja hankesuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aloitetaan ympäristöluokitusprosessi esiselvityksellä</li> <li>- Päätetään käytettävä luokitusjärjestelmä</li> </ul>
Ehdotus- ja yleissuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rekisteröidään hanke ympäristöluokitusta varten</li> <li>- Sovitaan luokituksen toimenpiteistä</li> <li>- Perehdytetään hankkeen osapuolet luokituksen vaatimuksista</li> <li>- Suoritetaan suunnittelunohjausta luokituksen vaatimusten mukaan</li> </ul>
Toteutussuunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Täydennetään suunnitelmat vastaamaan luokituksen vaatimuksia</li> <li>- Toteutetaan tarvittavat erillisselvitykset</li> <li>- Kootaan suunnitteluvaiheen luokitushakemus väliarviointia varten</li> </ul>
Rakentaminen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perehdytetään työmaan vastuuhenkilöt luokituksen vaatimuksista</li> <li>- Ohjataan rakentamista asetettujen tavoitteiden mukaan</li> <li>- Kootaan rakentamiseen liittyvät todennettavat materiaalit arviointia varten</li> </ul>
Käyttöönotto ja takuu-aika	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kootaan rakentamisvaiheen luokitushakemus lopullista luokitusta varten</li> <li>- Kolmas osapuoli myöntää hankkeelle ympäristöluokituksen</li> </ul>

Taulukossa 4 esitetyjen toimenpiteiden lisäksi luokitteluprosessiin voi liittyä erillisiä ohjauskokouksia ja muita toimenpiteitä luokitusjärjestelmästä riippuen. Kaikkien tässä selvityksessä tarkasteltavien ympäristöluokitusjärjestelmien prosessit seuraavat pääsääntöisesti kuvailtua prosessia.

## 4.2 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) on USGBC (U.S. Green Building Council) luoma ympäristöluokitusjärjestelmä, joka pyrkii ohjaamaan rakennushankkeita kokonaisvaltaisesti kestävä kehityksen periaatteiden mukaan. Se on maailman käytetyin ympäristöluokitusjärjestelmä. LEED on käytössä yli 130 maassa ja on sovellettavissa lähes jokaiselle eri rakennusalan hanketyypille. LEED sertifiointeja myöntää USGB:n alainen GBCI (Green Building Certification Inc.) ja niitä on neljää eri tasoa: Certified, Silver, Gold ja Platinum (U.S. Green Building Council 2021). LEED:in uusin versio v4.1 on julkaistu vuonna 2019 ja tässä työssä tarkastellaan sen alajärjestelmää Residential Building Design and Construction Multifamily Homes joka on tarkoitettu useista asunnoista koostuville asuinrakennuksille.

Alimman sertifiointitason Certified saavuttamiseksi LEED ympäristöluokitusjärjestelmässä rakennuksen tulee täyttää vähimmäisvaatimukseksi asetetut kriteerit ja saavuttaa vähintään 40 pistettä luokitusjärjestelmän pisteytetyistä kriteereistä. Ylimmän sertifiointitason Platinum tason saavuttamiseksi rakennuksen tulee täyttää vähimmäisvaatimukset ja saavuttaa vähintään 80 pistettä luokitusjärjestelmän pisteytetyistä kriteereistä. Vähimmäisvaatimukseksi asetettuja kriteerejä on yhteensä 16 kpl ja valinnaisia pisteytettyjä kriteerejä 38 kpl. Valinnaisten pisteytettyjen kriteerien pistemäärät vaihtelevat kriteereittäin yhdestä pisteestä kahdeksaentoista pisteeseen. Näiden lisäksi on vielä innovaatiokategoria. Innovaatiokategoriassa voi saada yhteensä 5 pistettä, joista 2 pistettä voi saada kriteerien maksimivaatimukset ylittävistä exemplary performance tasosta ja loput 3 pistettä käyttämällä kohteessa uutta innovatiivista teknologiaa ympäristövaikutusten minimoimiseksi. Yhteensä pisteitä on jaossa 110 pistettä. (U.S. Green Building Council 2020 s.9-10)

LEED Residential Building Design and Construction Multifamily Homes luokitusjärjestelmän kriteeristössä on yhdeksän kategoriata, jotka ovat integroitu prosessi, sijainti ja kuljetus, kestävä sijainnit, vedenkäytön tehokkuus, energia ja olosuhteet, materiaalit ja resurssit, sisäolosuhteet, innovaatio ja alueellinen etu. Kussakin kategoriassa on sekä vähimmäisvaatimuskriteerejä ja valinnaisia pistekriteerejä. Näistä kategorioista eniten pisteitä on jaossa energia- ja olosuhtekategoriasta, joista on saatavilla yhteensä 34 pistettä. Näistä 18 pistettä on jaossa yksistään energian optimointikriteeristä, jolla on suora ohjaava vaikutus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen. (U.S Green Building Council 2020 s.9-10)

Suurin osa LEED ympäristöluokituksen kriteereistä ja niiden vaatimuksista eivät kuitenkaan ohjaa rakennushankkeen elinkaaren hiilijalanjälkeä ympäristöministeriön

arviointimenetelmän rajauksen mukaan. Kriteeristöä yksikään vähimmäisvaatimuksista ei ohjaa suoraan rakennuksen hiilijalanjälkeä ja valinnaisista pistekriteereistä ainoastaan kolme ohjaa rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä. Nämä kriteerit ovat optimoitu energiankäyttö, uusiutuva energia ja rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen. Näistä on mahdollista saada yhteensä 27 pistettä sekä lisäksi 3 exemplary performance pistettä. (U.S. Green Building Council 2020, s.51-54, 58, 64-66)

Optimoitu energiankäyttö kriteeristä on saatavilla 18 pistettä ja 2 exemplary performance pistettä innovaatiokategoriaan. Kriteerissä vaaditaan täysien pisteiden saavuttamiseksi kohteen energiankulutuksesta aiheutuvien kustannusten pienentämistä 40 % ja kasvihuonekaasupäästöjen pienentämistä 65 % verrattuna annettuun vertailutasoon. Exemplary performance pisteiden saavuttamiseksi vaaditaan 45 % säästö kustannuksissa ja 80 % säästö kasvihuonekaasupäästöissä. (U.S. Green Building Council 2020, s. 51-54)

Uusiutuvan energiakäyttö -kriteeristä on mahdollista saada maksimissaan 5 pistettä. Täysien pisteiden saavuttamiseksi 60 % kohteen energiasta on tuotettava kohteessa uusiutuvista energialähteistä tai 100 % kohteen ulkopuolella olevassa vuoden sisään valmistuneessa uusiutuvan energian lähteessä. Kriteeristä on saatavilla myös 1 exemplary performance piste innovaatiokategoriaan, mikäli 100 % kohteen käyttöenergiasta tuotetaan kosteessa uusiutuvista energialähteistä. (U.S. Green Building Council 2020, s.58)

Hiilijalanjäljen pienentäminen -kriteeristä on saatavilla yhteensä 5 pistettä. Täydet 5 pistettä voi kuitenkin saada vain rakennuspaikalla olemassa olevan vanhan rakennuksen korjauksesta. Kriteeristä voi kuitenkin saada 4 pistettä suorittamalla kohteelle elinkaariarvioinnin, pienentämällä rakennuksen hiilijalanjälkeä vähintään 20 % ja kahta muuta listattua negatiivista ympäristövaikutusta vähintään 10 %. (U.S. Green Building Council 2020, s.64-66)

### 4.3 BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) on eurooppalaiseen normistoon pohjautuva ympäristöluokitusjärjestelmä. BREEAM:in tavoitteena on auttaa asiakkaitaan mittaamaan ja vähentämään rakennusten ympäristövaikutuksia ja samalla luomaan arvoa ja minimoimaan rakentamiseen liittyviä riskitekijöitä. BREEAM luokituksen kriteeristöä voidaan soveltaa kansallisesti ottamaan huomioon kunkin maan parhaat rakentamisen käytännöt, mikä helpottaa järjestelmän soveltamista eri maissa ja hankkeissa. BREEAM on yksi maailman eniten käytetyistä rakennusalan ympäristöluokitusjärjestelmistä ja sertifioituja kohteita löytyy yli 85 eri maasta (BRE 2021 s.14). Tässä työssä tarkastellaan BREEAM New Construction ympäristöluokitusjärjestelmän sertifiointikriteeristöä Residential Multiple Dwellings Fully Fitted joka on tarkoitettu uusille, useasta asunnosta koostuville asuinkerrostaloille, joissa halutaan arvioida valmista rakennusta.

Kriteeristö koostuu 57 kriteeristä, jotka jakautuvat kymmeneen eri kategoriaan. Kriteereistä saatavien pisteiden painotus loppuarvosanassa määräytyy arvioitavan rakennuskohteen käyttötarkoituksen, arviointilajuuden ja sijainnin mukaan. Sijainnin merkitys pisteiden painotuksessa arvioidaan aina kunkin alueen ensimmäisen sertifioitavan rakennushankkeen kohdalla. Sijainnin vaikutusta arvioidaan kymmenen eri mittarin avulla. Näihin vaikuttaa sijainnin ilmasto ja sademäärä sekä sosiaaliset-, poliittiset-, taloudelliset- ja ympäristötekijät, joiden pohjalta arvioidaan sijaintikohtainen pistepainotus kriteeristön kategorioille. Nämä ovat prosentuaaliset kertoimet, joilla jokaisen kriteeristön kategorioista saavutetut kokonaispisteet jaettuna kategoriasta saatavilla olevien pisteiden summalla kerrotaan. Pistepainotusten yhteenlaskettu summa on 100 % (BRE 2021 s.32-34). Suomen alueellisessa pistepainotuksessa suurin painoarvo on energia- sekä materiaalikategoriolla (taulukko 5).

*Taulukko 5. Suomen alueellinen pistepainotus kokonaan tarkasteltavalle asuinkerrostalolle kategorioittain (BRE 2022)*

Hallinnointi	10,69 %
Terveys ja hyvinvointi	19,35 %
Vaarat	0,00 %
Energia	18,45 %
Kuljetus	6,58 %
Vesi	3,95 %
Materiaalit	17,12 %

Jäte	7,90 %
Maan käyttö ja ekologisuus	9,88 %
Saastuttaminen	6,08 %
Yhteensä	100 %
Innovaatio (Ylimääräinen)	10,00 %

Kriteereiden täyttämisestä saatavien pisteiden lisäksi on mahdollista saada 10 % innovaatioista. Näitä pisteitä myönnetään joko tiettyjen kriteerien korkeimman vaatimustason ylittämistä eli exemplary level:istä tai uuden, kriteeristön vaatimuksiin kuulumattoman ja hankkeen negatiivisia ympäristövaikutuksia minivoivan teknologian hyödyntämisestä. Innovaatiopisteet mukaan lukien hankkeen on mahdollista saada yhteensä maksimissaan 110 % loppuarvosanaksi (BRE 2021 s.35). Tässä tarkastelussa innovaatiopisteitä uuden teknologian hyödyntämisen osalta ei oteta huomioon, sillä niille ei ole olemassa valmiita tarkkoja vaatimuksia. Innovaatiokategorian exemplary level pisteet otetaan kuitenkin tarkastelussa huomioon, mikäli ne ohjaavat rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä ympäristöministeriön arviointiohjeen näkökulmasta.

BREEAM luokitusjärjestelmässä on viisi eri sertifiointitasoa, jotka ovat Pass, Good, Very Good, Excellent ja Outstanding. Alimman luokituksen saavuttamiseksi hankkeen tulee täyttää vähimmäisvaatimukset sekä saada yhteensä 30 % loppuarvosanaksi. Ylimmän luokituksen saavuttamiseksi hankkeen tulee täyttää vähimmäisvaatimukset ja saavuttaa yhteensä vähintään 85 % loppuarvosanaksi. Käytännön tasolla Pass tasoon yltää 75 % uusista rakennuksista, kun taas Outstanding tasoon yltää ainoastaan alle 1 % uusista rakennuksista. Vähimmäisvaatimukset riippuvat tavoiteltavasta sertifiointitasosta. (BRE 2021 s.29-31)

Ympäristöministeriön arviointimenetelmän näkökulmasta katsottuna BREEAM New Construction Residential Multiple Dwellings Fully fitted luokitusjärjestelmän kriteereistä kolme ohjaa rakennushankkeen hiilipäästöjä pienemmiksi. Nämä kriteerit ovat Ene 01 energiankäytön ja sen hiilipäästöjen vähentäminen, Ene 04 vähähiiliset suunnitelmat ja Wst 02 kierrätysmateriaalit. Näistä kriteereistä minimivaatimuksena on vähintään yksi piste Ene 01 kriteeristä Excellent tai Outstanding sertifiointitasoa tavoitellessa. (BRE 2021)

Ene 01 energiankäytön ja sen hiilipäästöjen vähentäminen -kriteeristä 9/13 pistettä on jaossa rakennuksen energiakulutuksen vähentämisestä. Loput 4 pistettä on saatavilla käytönaikaisen energiankulutuksen arvioinnista, joten niitä ei huomioida hiilijalanjälkeä

ohjaaviksi. Kriteeri mittaa rakennuksen primääri- ja lämmitysenergian tarvetta sekä niistä aiheutuvia hiilipäästöjä verrattuna alueella tavanomaisesti rakennettuun kohteen energiatarpeisiin ja päästöihin. Täysien pisteiden saavuttaminen vaati energiankulutusten vähentämistä noin kolmannekseen referenssikohteeseen nähden. (BRE 2021 s.151)

Ene 01 -kriteeristä on saatavilla myös kolme exemplary level kriteeri -pistettä innovaatio kategoriaan käyttämällä kohteessa tai kohteen lähellä sijaitsevalla LZC (low or zero carbon) teknologialla tuotettua energiaa. Exemplary level kriteerit esivaatimuksena on täydet 9 pistettä energiankulutuksen ja sen päästöjen pienentämisestä. Jaossa olevan kolmen pisteen saavuttamiseksi 100 % kohteen käyttämästä energiasta tulee olla kriteerin mukaista kohteessa tai kohteen lähellä LZC teknologialla tuotettua energiaa. (BRE 2021 s.152)

BREEAM kriteeristössä LZC teknologiaksi lasketaan tuulivoima, aurinkovoima, aurinkolämpö, maalämpö, vesivoima, bioenergia jätteestä tai jätteestä tuotetusta biopolttoaineesta, jätelämpö ja jätteen poltosta sivuvirtana saatava lämpö ja energia (BRE 2021 s.163). Kohteessa tai kohteen läheisyydessä vaatimuksen täyttämiseksi LZC teknologiasta on oltava suora kytkentä arvioitavaan rakennuskohteeseen, tai vaihtoehtoisesti LZC teknologian on sijaittava rakennuskohteen kanssa samalla tontilla, oltava rakennushankkeen omistajan omistuksessa ja hallinnassa ja oltava jostain syystä kannattamatonta kytkeä suoraan rakennuskohteeseen. (BRE 2021 s.159)

Ene 04 vähähiiliset suunnitelmat -kriteerissä on saatavilla 2/3 pistettä energiatarpeen pienentämisestä 10 prosentilla passiivisia järjestelmiä hyödyntäen. Kriteerin kolmannen pisteen vaatimuksena kohteessa vähintään yhden LZC teknologian hyödyntäminen. LZC teknologian käytölle ei kuitenkaan ole tässä kriteerissä asetettuja vaatimuksia, joten sen ei itsessään voida katsoa ohjavan rakennushankkeen hiilijalanjälkeä.

Energiakategorian pisteet kategorian painotuksella kerrottuna ovat  $11/23 \cdot 18,75 \% = 8,97 \%$  ja exemplary level kriteeri -pisteet innovaatiokategorian painotuksella kerrottuna  $3/10 \cdot 10 \% = 3 \%$ . Yhteensä energiakategorian ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaan laskettua hiilijalanjälkeä ohjaavista pisteistä saa 11,97 % lopulliseen arvosanaan.

Wst 02 kierrätetty kiviaines -kriteeristä on saatavilla 1/1 pistettä kierrätetyn kiviaineksen hyödyntämisestä betonissa rakennuksen päärakennusosissa. Vaatimuksen täyttämiseksi vähintään 25 % kiviaineksesta tulee olla kierrätettyä kiviainesta. Tämän lisäksi kriteeristä on mahdollista saada 1 exemplary level kriteeri -piste, mikäli vähintään 50 % päärakennusosiin käytettävästä betonin kiviaineksesta on kierrätettyä.

Jätekategorian hiilijalanjälkeä ohjaavat pisteet kategorian painotuksella kerrottuna ovat  $1/8 \cdot 7,90 \% = 0,99 \%$  ja exemplary level kriteeri -pisteet innovaatiokategorian painotuksella kerrottuna  $1/10 \cdot 10 \% = 1 \%$ . Täten jätekategorian ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaan laskettua hiilijalanjälkeä ohjaavista pisteistä saa yhteensä 1,99 % lopulliseen arvosanaan.

#### 4.4 RTS-ympäristöluokitus

Rakennushankkeiden tilaajilla tarkoitettu RTS-ympäristöluokitus on tehty edistämään ympäristövastuullista rakentamista. RTS on suomalaisen Rakennustieto Oy:n kehittämä ja ylläpitämä järjestelmä, joka on luotu nimenomaan Suomen olosuhteisiin, mukailemaan Suomen lainsäädäntöä ja huomioimaan Suomalainen kiinteistökanta. RTS-ympäristöluokitus lanseerattiin vuonna 2017 eurooppalaisten standardien (CEN TC 350 standardit) pohjalta ja sitoen yhteen Suomen rakennusalan yhteiset hyvät käytännöt kuten Sisäilmaluokituksen, M1-luokituksen, rakennusten elinkaarimittarit, Kuivaketju 10 ja Viherkerroinmenetelmän. RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän kriteeristöä voidaan soveltaa uudisrakennuksille, peruskorjauksille sekä käyttötarkoituksen muutoksiin. Arvioitavaksi kohteeksi sopii lähes kaikkien käyttötarkoituksiluokkien rakennukset kuten opetus- ja päiväkotirakennukset, asuinrakennukset, toimisto- ja liikerakennukset sekä majoitusrakennukset (Rakennustietosäätiö RTS 2022b). RTS-ympäristöluokituksen kriteeristön pohjana on kestävän kehityksen kolmijako: taloudellinen, ekologinen ja sosiaalinen kestävyys. Nämä on pyritty huomioimaan monipuolisesti luokituksen kriteeristön viidessä pääryhmässä: prosessi, talous, ympäristö ja energia, sisäilma ja terveellisyys sekä innovaatiot (Rakennustietosäätiö RTS 2020, s.4).

RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän kriteeristö jakautuu pääryhmistä edelleen 13 ryhmään. Suurin painoarvo on energiaryhmällä jossa on jaossa yhteensä 16 pistettä (taulukko 6).

Taulukko 6. RTS-ympäristöluokituksen kriteerit ja niistä saatavilla olevat pisteet ryhmittäin (Rakennustietosäätiö RTS sr 2020, s.4)

Pääryhmät	Ryhmät	Kriteerit	
Prosessi	Hankeohjaus	P1.1 Suunnitteluvaiheen arviointi	3
		P1.2 Talotekninen toiminnanvarmennus ja valvonta	3
		P1.3 Käytön opastus	2
	Kosteuden hallinta	P2.1 Kosteusteknisten riskien hallinta suunnittelussa P2.2 Työmaan kosteudenhallinta	4 6
	Työmaan ohjaus	P3.1 Työmaan ympäristövaikutukset P3.2 Työmaan puhtaudenhallinta	3 2
Talous	Elinkaarikustannus	T1.1 Elinkaarikustannukset	3
	Ylläpidettävyys	T2.1 Kulutuskestävyys	3
		T2.2 Ylläpidettävyys	4
T2.3 Muuntojoustavuus		2	
Ympäristö ja energia	Hiilijalanjälki	Y1.1 Elinkaaren hiilijalanjälki	7
		Y1.2 Materiaalitehokkuus	4
	Energia	Y2.1 Energiatehokkuus	8
		Y2.2 Kulutusmittaukset	3
		Y2.3 Tavoitekulutuksen laskenta	3
		Y2.4 Järjestelmien tehokkuus	2
	Vesi	Y3.1 Vedenkäytön tehokkuus	3
	Vaikutukset ympäristöön	Y4.1 Viherrakentaminen ja hulevesi	3
		Y4.2 Turvallisuus ja pyöräily	2
	Sisäilma ja terveellisyys	Sisäilman laatu	S1.1 Lämpöolosuhteet
S1.2 Sisäilman laatu			7
S1.3 Käyttäjän vaikutusmahdollisuudet			2
S1.4 Materiaaliemissiot			3
Visuaalinen viihtyvyys		S2.1 Luonnonvalon hyödyntäminen	4
		S2.2 Valaistuksen laatu	2
Akustiikka		S3.1 Tila-akustiikka	3
		S3.2 Ääneneristävyys	3
	Innovaatiot	I Innovaatiot	10

Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän näkökulmasta rakennuksen hiilijalanjälkeen näistä suoraan vaikuttaa ainoastaan elinkaaren hiilijalanjälki, materiaalitehokkuus ja energiatehokkuus. Muissakin kriteereissä kuten työmaan ympäristövaikutuksissa kannustetaan työmaan ohjaamiseen energiatehokkaaksi, joka vähentäisi kohteen hiilijalanjälkeä, mutta kriteerissä ei ole asetettu tarkkaa energiansäästötavoitetta, joka tulisi saavuttaa, jotta kriteeristä saisi pisteet. Tämän vuoksi sitä ei huomioida tässä tarkastelussa hiilijalanjälkeä ohjaavaksi kriteeriksi.

Elinkaaren hiilijalanjälki kriteeristä on saatavilla yhteensä 7 pistettä. Kriteeristössä 25 % on saatavilla rakennuksen hiilijalanjäljen laskemisesta. Todentamista itsessään ei huomioida hiilijalanjälkeä ohjaavaksi. Loput 75 % on saatavilla hiilijalanjäljen pienentämisestä. Täyden 75 % saavuttamiseksi tulee pienentää kohteen hiilijalanjälkeä 30 % laskettuna RTS-ympäristötyökalun omalla hiilijalanjälkilaskurilla verrattuna vertailutasoon. Tässä kriteerissä tulee vähimmäisvaatimuksena saavuttaa 30 % pisteistä, mikäli tavoittelee luokitusjärjestelmässä joko neljää tai viittä tähteä tai 15 %

mikäli tavoittelee kolmea tähteä (Rakennustietosäätiö RTS 2020, s.38). RTS-ympäristöluokitusjärjestelmä on luotu ennen ympäristöministeriön arviointimenetelmän luonnosten julkaisua, minkä vuoksi RTS-ympäristöluokitusjärjestelmällä on käytössä oma, ympäristöministeriön arviointimenetelmästä poikkeava hiilijalanjäljenlaskentatapa. RTS-ympäristöluokituksen hiilijalanjälkilaskenta on muuttumassa ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaiseksi uudistuksen myötä. (Rakennussäätiö RTS 2022c, s.42)

Y1.2 Materiaalitehokkuus kriteeristä on saatavilla 4 pistettä. Näistä 75 % on saatavilla materiaalitehokkuuden vaatimusten täyttämistä eri rakennusnimikkeissä. Täyden 75 % saavuttamiseksi tulee materiaalitehokkuuden vaatimukset täytyä vähintään kuudessa kymmenestä merkittävimmäksi rajatuissa rakennusnimikkeissä (Rakennustietosäätiö RTS 2020, s.42-42). Huomioitavat rakennusnimikkeistöt Talo2000-rakennusnimikkeistön mukaan ovat:

- 111 Maaosat: tontilla käytetyt ja tuodut maamassat
- 113 Päällysteet: rajattuna kestopinnoitteisiin
- 112&121 Tuennat ja perustukset
- 122 Alapohjat
- 123 Runko
- 124 Julkisivut
- 126 Vesikatot,
- 1311-1312 Väliseinät ja lasiväliseinät
- 1321-1322 Lattioiden pintarakenteet ja lattiapinnat
- 1323-1324 Sisäkattorakenteet ja -pinnat

Rakennusnimikkeistöjen lasketaan täyttävän materiaalitehokkuuden vaatimukset, jos ne täyttävät jonkun seuraavista vaatimuksista tai yhdistelmän eri vaatimuksista. Materiaalitehokkuuden vaatimukset uusille rakennuksille ovat:

- 10 % uudelleenkäytettyä rakennusosia, jotka on otettu talteen purkukohteesta
- 25 % kierrätysmateriaalia (EPD secondary material)
- 50 % teollisuuden sivuvirtaa tai jätemateriaalia
- 50 % uusiutuvaa materiaalia

Tämän kriteerin hiilijalanjälkihajautta on hankala arvioida tarkasti, sillä se riippuu vahvasti siitä mitkä nimikkeistöt valitaan täyttämään materiaalitehokkuuden vaatimukset,

sekä siitä minkä materiaalitehokkuusvaatimuksen niillä päättää täyttää. Hiilijalanjäljen ohjausvaikutukseen vaikuttaa myös se, tarkasteleeko materiaalmääriä tilavuuden vai massan suhteina, sillä molemmat tarkastelut ovat sallittuja. (Rakennustietosäätiö RTS 2020, s.42)

Kriteeri Y2.1 Energiatehokkuudesta on saatavilla 8 pistettä, joista koko 100 % määräytyvät suoraan kohteen E-luvun mukaan. Saavuttaakseen kriteeristä täydet 100 % tulee asuinkerrostalon E-luvun olla 53 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>a kun asuinkerrostalon lakisääteinen E-lukuraja on 90 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>a. Energiatehokkuus kriteerissä on myös minimivaatimuksena saavuttaa 40 % pisteistä, mikäli tavoittelee luokitustasossa neljää tai viittä tähteä. (Rakennustietosäätiö RTS 2020, s.44)

## 4.5 Joutsenmerkki

Pohjoismaiden tunnetuin ja arvostetuin ympäristömerkki eri tuotteille ja palveluille on Joutsenmerkki. Joutsenmerkki on muotoiltu etenkin Pohjoismaihin soveltuvaksi ja kriteeristö on tämän vuoksi yhtenevä kaikissa Pohjoismaissa. Rakennuksille tarkoitetun Joutsenmerkin tavoitteena on varmistaa rakennuksen ympäristöystävällisyys sen koko elinkaaren ajalta sekä edistää rakennuksen turvallista ja terveellistä käyttöä. Joutsenmerkkiä voi hakea uudisrakennuskohteissa pientaloille, kerrostaloille, koulu- ja päiväkotirakennuksille sekä vapaa-ajan asunnoille. Joutsenmerkki voidaan myös myöntää peruskorjaushankkeissa näiden lisäksi toimistorakennuksille. Kriteeristössä on painotettu energiaterhokkuutta, materiaalivalintoja, kemikaalien käyttöä ja kierrätystä. Kriteeristö jakautuu pakollisiin vaatimuksiin sekä pistekriteereihin. Joutsenmerkissä on selvästi muihin ympäristöluokitusjärjestelmiin suurempi painotus pakollisilla vähimmäisvaatimuksilla ja pienempi painotus pistekriteereillä. Tämä johtuu siitä, että Joutsenmerkissä ei ole eriarvoisia luokitustasoja, vaan ympäristöluokiteltavan rakennuksen on täytettävä vaaditut vähimmäisvaatimuksen minkä lisäksi sen on saavutettava käyttökohdeluokittain asetettu pisteraja. Asuinrakennusten on saavutettava 16 pistettä pistekriteereistä saavuttaakseen Joutsenmerkin. (Green Building Council 2018, s.7)

Joutsenmerkin kriteeristössä rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaa pakollisista vaatimuksista O4 energiaterhokkuus vaatimus, jonka mukaan rakennuksen energialuokan on oltava A. (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2021, s.9) Tämä tarkoittaa asuinkerrostaloille sitä, että rakennuksen E-luvun tulee olla alle 75 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>a. (Ympäristöministeriö 2018b, s.15)

Pistekriteereistä rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaa kriteerit P1 paikalliset energialähteet ja energian talteenotto, P7 puurakenteet ja P12 kierrätetty ja uusiokäytetty materiaali. Kriteeristä P1 paikalliset energialähteet on saatavilla maksimissaan 6 pistettä. (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2021, s.30)

Taulukko 7. Paikallisten energialähteiden ja energian talteenoton pisteytys (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2021, s.30)

Aurinkokeräin, jonka arvioidaan tuottavan:	
10-25 % lämminvesitarpeesta	1p
26-50 % lämminvesitarpeesta	2p
> 50 % lämminvesitarpeesta	3p
Aurinkokennot, joiden arvioidaan tuottavan:	
10-15 % rakennuksen kiinteistösähkön energiatarpeesta	1p
16-25 % rakennuksen kiinteistösähkön energiatarpeesta	2p
> 25 % rakennuksen kiinteistösähkön energiatarpeesta	3p
Jäteveden lämmöntalteenotto, jonka arvioidaan tuottavan:	
5-15 % lämminvesitarpeesta	1p
16-25 % lämminvesitarpeesta	2p
> 25 % lämminvesitarpeesta	3p

Kriteeristä saatavilla olevan 6 pisteen saavuttamiseksi voi hyödyntää kaikista kolmesta järjestelmästä saatavia pisteitä (taulukko 7). Kriteerissä paikalliseksi lasketaan rakennuksessa tai sen välittömässä läheisyydessä olevat energialähteet tai energian talteenotto. (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2021, s.30)

Pistekriteerissä P7 puurakenteet on mahdollista saada maksimissaan 2 pistettä uusiutuvien materiaalien käyttämistä joko rakennuksen kantavana rakenteena tai alapohjana; kantavina seinä ja kattorakenteina; tai yli 50 prosentissa julkisivun pinta-alasta. Kahden pisteen saavuttamiseksi uusiutuvaa materiaalia on käytettävä kahdessa kolmesta mainitusta käyttökohteesta. (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2021, s.33)

Joutsenmerkin kriteereissä rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaavaksi voidaan laskea myös kriteeri P12 kierrätetty ja uusiokäytetty materiaali. Kriteeristä on saatavilla maksimissaan 3 pistettä. Tämän saavuttamiseksi tulee rakennuksessa käyttää höyrynsulun ulkopuoლისissa rakenteissa vähintään kolmea eri rakennusmateriaalikategoriaa, josta vähintään 25 % on kierrätettyä raaka-ainetta. Pisteitä ei ole kuitenkaan mahdollista saada materiaaleista, joissa hyödynnetään jo markkinoilla suurissa määrin kierrätettyä raaka-ainetta. Näiksi listataan kriteeristössä metalli, eristeet, teollisuuskipsi ja puukuitutuotteet. Näistäkin materiaaleista voi kuitenkin saada pisteet, mikäli ne ovat sellaisenaan uudelleenkäytettyjä. Rakenteissa, joissa ei ole höyrynsulkua, sallitaan kierrätetyn materiaalin käyttäminen ainoastaan ulkopuolella (Pohjoismainen ympäristömerkintä 2021, s.34). Betonirakenteisen kerrostalon ulkoseinässä ei ole

tyypillisesti höyrinsulkua minkä seurauksena kriteeriä on hankala soveltaa betonikerrostaloille.

## 5. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tarkasteltujen ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien vaikutusta rakennuksen hiilijalanjälkeen on hankala arvioida ainoastaan kriteereitä tutkimalla. Tämän vuoksi tässä selvityksessä hyödynnetään case-kohdetta, jonka avulla kriteereiden vaikutuksia ja soveltamista voidaan mitata. Case-kohteeseen vastaa tyypillistä uutta Suomalaista asuinkerrostalorakennusta. Rakennuksen laajuus on 3500 brm<sup>2</sup> rakennuksessa on 5 kerrosta, 40 asuntoa ja rakennuksen tontti on 3000 m<sup>2</sup> (kuva 8). case-kohteen runkomateriaalina on betoni. Case-kohteelle lasketaan perustason hiilijalanjälki käyttäen One Click LCA -laskentatyökalun Carboniser ominaisuutta.



**Kuva 8.** Case-kohteen tiedot (muokattu A-Insinöörit 2021, s.7)

Case-kohdetta muokataan täyttämään kunkin ympäristöluokitusjärjestelmän hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien vaatimukset, minkä jälkeen muokatuille case-kohteille lasketaan elinkaaren hiilijalanjälki One Click LCA -laskentatyökalulla. Vertailemalla kunkin ympäristöluokitusjärjestelmän hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien mukaan muokattua case-kohteen hiilijalanjälkeä perustason case-kohteen hiilijalanjälkeen, voidaan määrällisesti arvioida ympäristöluokitusjärjestelmien kriteerien hiilijalanjäljen ohjaavuutta.

Arvioinnin painoarvo on ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien vaikutusten arviointi keskenään sekä case-kohteen perustason. Tämän

vuoksi laskenta on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, mutta kuitenkin ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän vaatimusten mukaisena. Case-kohde ei ole olemassa oleva rakennus, joten todennettuja materiaalitietoja ei ole saatavilla. Sen sijaan laskennassa käytetään [co2data.fi](https://co2data.fi) tietokannan geneeristä tietoa Suomessa käytettävien rakennusmateriaalien ja -osien päästöistä.

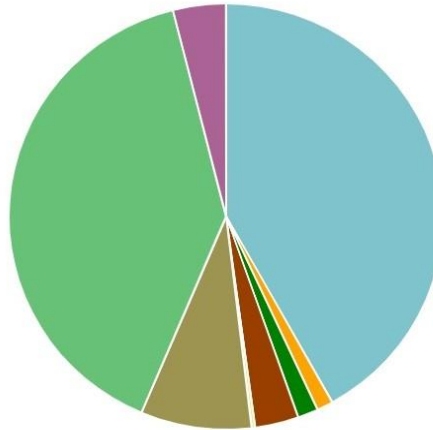
## 6. TULOKSET

### 6.1 Case kohteen perustason hiilijalanjälki

Case kohteen perustasoksi asetettiin tavanomaisesti rakennettu betonirunkoinen uusi asuinkerrostalo. Case-kohteen perustason arviointi suoritettiin One Click LCA -laskentatyökalulla, jossa arviointimetodiksi valittiin Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä (2019). Rakennusmateriaalien määrä arvioitiin laskentatyökalun Carboniser ominaisuuden avulla. Työkalun arvioimien rakennusmateriaalien lisäksi perustason laskennassa otettiin huomioon Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän (2021) mukaan arviointiin sisällytettävät aluerakenteet, tontin päällysteet ja kiintokalusteet, jotka arvioitiin tontin koon mukaan. Materiaalien päästötietojen lähteenä käytettiin SYKE:n ylläpitämää Suomen kansallista päästötietokantaa co2data.fi.

Rakennuksen energiankulutus on laskettu One Click LCA (2021 s.11) tekemän selvityksen perusteella, jossa 1950 vuoden 2018 jälkeen rakennetun asuinkerrostalon energiankulutusta oli mitattu. Selvityksen mukaan asuinkerrostalon vuotuinen energiankulutus on 105 kWh/m<sup>2</sup>/a josta 44,7 kWh/m<sup>2</sup>/a muodostuu sähkönkulutuksesta ja 59,8 kWh/m<sup>2</sup> kaukolämmön kulutuksesta. Tämän perusteella Case kohteen perustason energiankulutukseksi on määritetty 145 677 kWh/a sähkön osalta ja 194 888 kWh/a kaukolämmön osalta.

Case kohteen perustason hiilijalanjäljeksi saatiin 3 009 687 kg CO<sub>2</sub>e josta 2 776 668 kg CO<sub>2</sub>e (92 %) on rakennuksen osuus ja 233 019 kg CO<sub>2</sub>e (8 %) on rakennuspaikan osuus hiilijalanjäljestä. Rakennuksen hiilijalanjäljestä eniten päästöjä syntyy vaiheessa A1-A3 rakennusmateriaalien valmistus, jossa syntyy 41,9 % (7,14 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a) rakennuksen hiilijalanjäljestä. Lähes saman verran päästöjä syntyy B6 rakennuksen käyttövaiheessa, jossa syntyy 39,7 % (6,76 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a) rakennuksen hiilijalanjäljestä (kuva 10).



**Kuva 9.** Case kohteen rakennuksen hiilijalanjäljen jakautuminen rakennuksen elinkaaren vaiheittain

Rakennusmateriaalien osalta merkittävimmät päästölähteet ovat valmisbetoni, jonka osuus on 28,7 % ja ontelolaatat, joiden osuus on 18,6 % tuotevaiheen (A1-A3) hiilijalanjäljestä. Merkittäväksi materiaalipäästöjen lähteeksi nousee myös ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaan arvioitu talotekniset järjestelmät, joiden osuus tuotevaiheen hiilijalanjäljestä on 11,8 %.

## 6.2 LEED

LEED Residential Building Design and Construction Multifamily Homes - luokitusjärjestelmässä rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaavia kriteerejä ovat optimoitu energiankulutus, uusiutuva energia ja rakennuksen hiilijalanjäljen pienentäminen.

Uusiutuva energia -kriteeristä täysien pisteiden ja exemplary performance pisteen saavuttamiseksi rakennuksen energiatarpeesta 100 % tulee tuottaa paikallisesti uusiutuvista energialähteistä. Tämä onnistuu esimerkiksi vaihtamalla rakennuksen lämmitys kaukolämmöstä maalämpöön ja tuottamalla rakennuksen sähköenergiatarpeesta 100 % aurinkopaneeleilla kohteessa. Mikäli oletetaan maalämpöpumpun tehokertoimen (lämmöntuotto kWh per kWh sähköä) olevan 3, nostaa maalämpö rakennuksen vuotuisen sähköenergiankulutuksen 145 677 kWh:sta 210 640 kWh:iin. Aurinkokennoilla tulisi siis tuottaa kohteessa 210 640 kWh sähköä vuodessa.

Rakennuksen energiaoptimointi -kriteerissä täysien pisteiden saavuttamiseksi vaaditaan rakennuksen PCI (Performance Cost Index) olevan 40 % pienempi ja PCI pohjalta laskettujen kasvihuonekaasupäästöjen olevan 65 % vähemmän suhteessa ASHARE 90.1 standardin mukaan laskettuun PCI<sub>t</sub> (Performance Cost Index Target) arvoon ja sen pohjalta laskettuihin päästöihin. Kriteeristä on myös mahdollista saada 2 exemplary performance pistettä, mikäli kustannussäästöissä ylittää 45 % säästöön ja kasvihuonekaasupäästöissä 80 % säästöön.

Oletetaan energiaoptimointilaskennassa sähkön hinnaksi 0,227 €/kWh ja kaukolämmön hinnaksi 0,080 €/kWh (tilastokeskus 2022). Standardin ohjeiden mukaan laskettuna Case kohteen PCI<sub>t</sub> arvoksi saadaan 0,76. Laskentaohjeen mukaan paikallisesti tuotetun uusiutuvan energian saa vähentää rakennuksen energiakulutuksesta ennen kohteen laskennan suorittamista. Laskemalla kohteen PCI arvon uusiutuva energia -kriteerin mukaisilla arvoilla, saadaan PCI:ksi 0,29. Tällä saavutetaan 62 % säästö kustannusten osalta ja käyttäen co2data.fi päästökertoimia 100 % säästöön kasvihuonekaasupäästöissä. Täyttämällä uusiutuva energia -kriteerin maksimipisteiden vaatimukset, saavuttaa samalla energia optimointi -kriteeristä täydet pisteet sekä molemmat exemplary performance pisteet.

Case kohteen perustason rakennuksen hiilijalanjälki on 2 776 668 kg CO<sub>2e</sub>. Rakennuksen hiilijalanjäljen pienentäminen -kriteerissä uudiskohteelle saatavilla olevan 4 pisteen saavuttamiseksi rakennuksen tulee pienentää elinkaaren hiilijalanjälkeä 20 %. Case kohteen rakennuksen hiilijalanjälki maalämpöpumpun ja aurinkopaneelien saavuttamalla pienemmällä energiakulutuksella ja niiden materiaalipäästöt huomioiden on 1 954 000 kg CO<sub>2e</sub> mikä on 30 % pienempi kuin Case kohteen rakennuksen hiilijalanjälki. Täten rakennuksen hiilijalanjäljen pienentäminen -kriteeri täyttyy myös uusiutuva energia -kriteerin vaatimukset täyttämällä. LEED kohteessa rakennuspaikan hiilijalanjälki on sama kuin Case kohteen perustasolla.

### 6.3 BREEAM

BREEAM New Construction Residential Multiple Dwellings Fully Fitted -kriteeristössä rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaa Ene 01 energiankäytön ja sen hiilipäästöjen vähentäminen, Ene 04 vähähiiliset suunnitelmat ja Wst 02 kierrätysmateriaalit -kriteerit.

Ene 01 energiankäytön vähentäminen -kriteeristä täysien pisteiden saavuttaminen vaatii energiankulutusten vähentämistä noin kolmannekseen referenssikohteeseen nähden. Kriteerissä tulee arvioida rakennuksen primäärienergian kulutusta, rakennuksen lämmitykseen ja viilennykseen tarvittavaa energiaa ja energiankulutuksesta aiheutuvia

kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna maan energiatehokkuusvaatimuksiin. Täysien pisteiden saavuttamiseksi rakennuksen ERP (Energy Performance Ratio) tulee olla 0,9 tai enemmän. Suomessa asuinrakennuksen E-lukuvaatimus on 90 kWh<sub>E</sub>/m<sup>2</sup>/a. Asetetaan tämä perustasoksi. Vaihtamalla rakennuksen lämmitysmuoto maalämpöön saavutetaan ERP tasoksi 0,63. Tuottamalla kohteessa tai kohteen välittömässä läheisyydessä vähintään 72 522 kWh uusiutuvaa sähköä esimerkiksi aurinkopaneeleilla, saavuttaa vaadittavan 0,9 ERP.

Ene 01 kriteerissä on myös mahdollista saada 3 Exemplary pistettä käyttämällä kohteessa ainoastaan uusiutuvaa energiaa. Pisteiden saavuttamiseksi uusiutuvan energian ei tarvitse olla kohteessa tuotettua, joten kriteeri toteutuu sitomalla uusiutuvan energian käyttöä koskeva sopimus. Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmän mukaan kaikelle ostoenergialle tulee käyttää annettuja päästökertoimia, joten hiilijalanjäljen laskennan kannalta tätä ei voida huomioida laskennassa.

Ene 04 vähähiiliset suunnitelmat -kriteerissä on saatavilla 2 pistettä. Kahden pisteen saavuttamiseksi passiivisilla suunnittelutoimenpiteillä tulee vähentää rakennuksen kokonaisenergiankulutusta vähintään 10 %. Saavuttaakseen tämän kriteerin sekä Ene 01 kriteerin, tulee rakennuksen ostoenergiaa pienentää 138 118 kWh:sta 124 306 kWh:iin. Tämän voi toteuttaa esimerkiksi parantamalla rakennuksen laitteiden energiatehokkuutta tai parantamalla rakennuksen kokonaisenergiatehokkuutta. Kriteerillä ei kuitenkaan ole vaikutusta rakennuksen hiilijalanjälkeen, mikäli rakennuksen energia tuotetaan uusiutuvilla energiamuodoilla ja niiden päästökertoimen oletetaan olevan 0.

Wst 02 kierrätetty kiviaines -kriteeristä täysien pisteiden saavuttamiseksi kierrätetyn kiviaineksen osuus päärakennusosissa käytettävässä betonissa on oltava vähintään 25 %. Tämän lisäksi kriteeristä on mahdollista saada Exemplary level kriteeri -piste, mikäli vähintään 50 % kiviaineksestä on kierrätettyä. Tutkimusten mukaan (Sabau et al. 2021, s.7; Jiménez et al., s.5) kierrätetyn runkoaineen käyttäminen betonin valmistuksessa ei juuri vähennä betonin kasvihuonekaasupäästöjä tai se jopa lisää niitä. Kansallista tietoa kierrätetyn kiviaineksen vaikutuksesta betonin hiilidioksidipäästöihin ei ole saatavilla, joten oletetaan että kierrätetyllä kiviaineksella ei ole laskennallista vaikutusta Case kohteen hiilijalanjälkeen.

Kaikkien kriteerien täysien pisteiden vaatimukset täyttämällä saadaan Case kohteen rakennuksen hiilijalanjäljeksi 2 217 750 kg CO<sub>2e</sub>. Tässäkin laskennassa rakennuspaikan hiilijalanjälki säilyy samana.

## 6.4 RTS-ympäristöluokitus

RTS-ympäristöluokituksessa hiilijalanjälkeä ohjaa Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän näkökulmasta elinkaaren hiilijalanjälki-, materiaalitehokkuus- ja energiatehokkuuskriteerit.

Energiatehokkuuskriteerin täysien pisteiden saavuttamiseksi rakennuksen E-luvun on oltava  $53 \text{ kWh}_E/\text{m}^2/\text{a}$  tai alle. Tämä saavutetaan esimerkiksi vaihtamalla rakennuksen lämmitysmuoto maalämpöön ja tuottamalla aurinkopaneeleilla  $66708 \text{ kWh/a}$  sähköä.

Materiaalitehokkuuskriteerissä tulee kuudessa merkittävässä rakennusnimikkeistön mukaisessa rakennusosassa täyttää jokin seuraavista kriteereistä: 10 % uudelleenkäytettyjä rakennusosia, jotka on otettu talteen purkukohteesta; 25 % kierrätysmateriaalia (EPD secondary material); 50 % teollisuuden sivuvirtaa tai jätemateriaalia; tai 50 % uusiutuvaa materiaalia. Tämä täyttyy muuttamalla puolet rakennuksen runkorakenteista betonista puuksi, jolloin runko, julkisivut, väliseinät, lattioiden pintarakenteet sekä sisäkatot täyttävät kriteerin 50 % uusiutuvaa materiaalia. Case kohteen perustaso itsessään täyttää kriteerin jo pinnoitteiden osalta sillä SYKE tietokannan mukaan Case kohteen perustasossa pinnoitteena käytetyssä asfaltissa on 50 % kierrätettyä materiaalia.

RTS kohteen hiilijalanjäljeksi (sisältäen rakennuspaikan) saadaan  $2\,280\,485 \text{ kg CO}_2\text{e}$ . Tällä saavutetaan RTS elinkaaren hiilijalanjälkilaskurilla 46,3 % säästö verrattuna laskurin vertailutasoon. Saavutettu säästö on huomattavasti yli täysien pisteiden saamiseksi vaaditun 30 % säästön. RTS-ympäristöluokituskohteen arvioitu rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki ilman rakennuspaikkaa on  $2\,046\,652 \text{ kg CO}_2\text{e}$ .

## 6.5 Joutsenmerkki

Joutsenmerkin kriteeristössä rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaa pakollisista vaatimuksista O4 energiatehokkuus vaatimus. Pistekriteereistä rakennuksen hiilijalanjälkeä ohjaa kriteerit P1 paikalliset energialähteet ja energian talteenotto, P7 puurakenteet ja P12 kierrätetty ja uusiokäytetty materiaali.

Joutsenmerkin O4 energiatehokkuusvaatimuksena on energialuokka A eli uuden asuinkerrostalon E-luvun on oltava  $75 \text{ kWh}_E/\text{m}^2/\text{a}$ . Toteuttamalla pistekriteerin P1 paikalliset energialähteet ja energian talteenotto, tuottamalla 25 % rakennuksen kiinteistösähkön energiatarpeesta aurinkokennoilla ja tuottamalla 25 % lämminvestitarpeesta jäteveden lämmöntalteenotolla, saavutetaan E-luvuksi  $65 \text{ kWh}_E/\text{m}^2/\text{a}$ . Kriteerin P1 vaatimukset täten täyttävät myös kriteerin O4 vaatimukset.

Kriteerissä P7 puurakenteet täysien kahden pisteen saavuttamiseksi tulee rakennuksessa käyttää uusiutuvaa materiaalia kahdessa seuraavista rakennusosista: rakennuksen kantavana rakenteena tai alapohjana; kantavina seinä- tai kattorakenteina; tai yli 50 % julkisivun pinta-alasta. Valitaan rakennusosiksi kantavat kattorakenteet ja 50 % julkisivusta.

Kriteerissä P12 täysien pisteiden saavuttamiseksi tulee rakennuksen ulkoseinärakenteessa käyttää vähintään kolmea rakennusmateriaalikategoriaa, joissa on käytetty vähintään 25 % kierrätettyä raaka-ainetta. Tutkimusten mukaan kierrätetyn kiviaineksen hyödyntäminen betonissa ei välttämättä vähentänyt sen päästöjä (Sabau et al. 2021, s.7; Jiménez et al., s.5), joten ei huomioida tätä kriteeriä Joutsenmerkkikohteen hiilijalanjälkilaskennassa.

P12 kriteeriä lukuun ottamatta muut Joutsenmerkin hiilijalanjälkeä ohjaavat vähimmäisvaatimukset ja pistekriteerit täyttävän Case kohteen hiilijalanjäljeksi saadaan ilman rakennuspaikkaa 2 558 315 kg CO<sub>2</sub>e. Rakennuspaikan hiilijalanjälki on sama kuin case-kohteen perustasolla.

## 6.6 Tulosten analysointi

Kaikissa case-kohteen laskennoissa rakennuspaikan hiilijalanjälki pysyy samana, sillä mikään ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteereistä ei kohdistunut vaatimuksia rakennuspaikalle. Rakennuspaikan hiilijalanjälki on täten kaikissa case-kohteissa 233 019 kg CO<sub>2</sub>e. Rakennuspaikan hiilijalanjälki jaettuna tontin pinta-alalla ja 50 v tarkastelujaksolla on 1,55 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>a. Koska rakennuspaikan hiilijalanjälki on kaikille vertailulaskelmille sama, vertaillaan tuloksia keskenään ilman rakennuspaikan hiilijalanjälkeä (taulukko 8).

Taulukko 8. Case-kohteiden rakennusten elinkaaren kokonaishiilijalanjäljet 50 vuoden tarkastelujaksolla ilman rakennuspaikkaa.

Perustaso	17,04 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	2 776 668 kgCO <sub>2</sub> e	- 0 %
LEED	11,99 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	1 953 771 kgCO <sub>2</sub> e	- 30 %
BREEAM	13,61 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	2 217 750 kgCO <sub>2</sub> e	- 20 %
RTS	12,56 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	2 046 652 kgCO <sub>2</sub> e	- 26 %
Joutsenmerkki	15,70 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	2 558 315 kgCO <sub>2</sub> e	- 8 %

Pienimmän elinkaaren hiilijalanjäljen saavutti LEED ympäristöluokitusjärjestelmän mukainen case-kohde, jonka hiilijalanjälki on 30 % pienempi kuin perustason case-

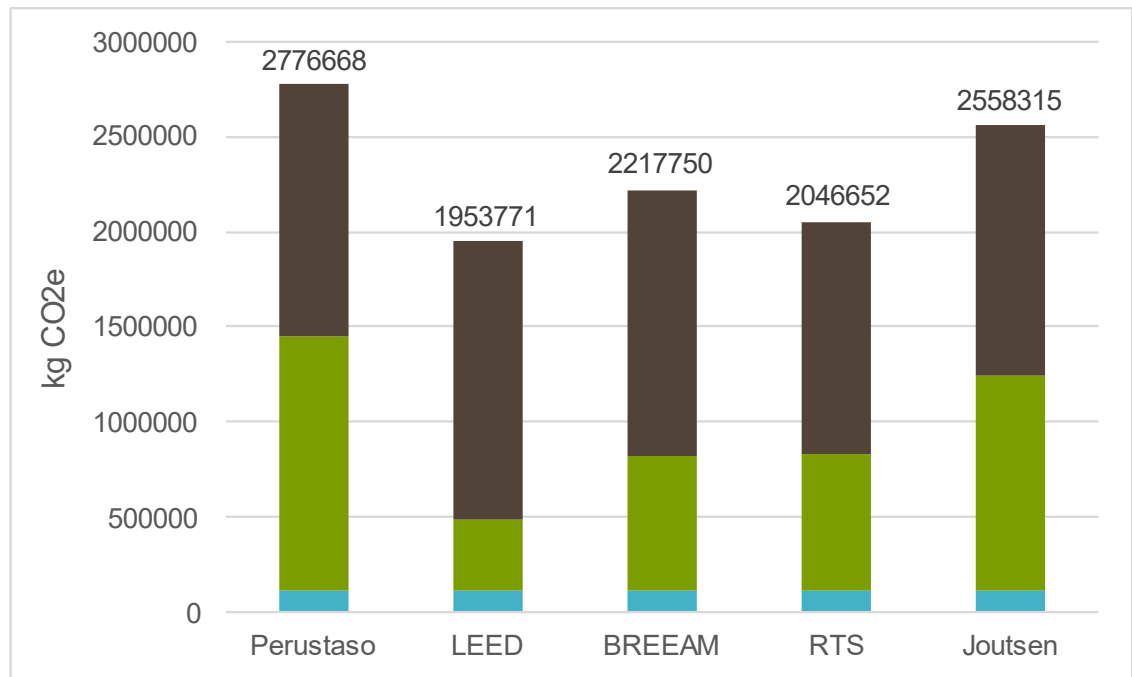
kohteen hiilijalanjälki. Tämä johtui siitä, että LEED case-kohteessa hiilijalanjälkeä ohjaavista kriteereistä täysien pisteiden saamiseksi rakennuksen käytönaikainen energia (B6) tuli tuottaa täysin uusiutuvia energialähteitä hyödyntäen. Kaikki kohteen käytönaikaisesta energiankulutusta tuli myös tuottaa kohteessa, minkä vuoksi uusiutuvan energian tuottamisesta aiheutuvia materiaalipäästöjä syntyi LEED kohteessa myös eniten. Tämän seurauksena LEED ympäristöluokituksen mukaan muokattu case-kohteen hiilijalanjälki ennen käyttöä on suurin, vaikka elinkaaren kokonaishiilijalanjälki onkin pienin (taulukko 9).

*Taulukko 9. Case-kohteiden hiilijalanjäljet elinkaaren vaiheittain*

	Perustaso (kg CO <sub>2</sub> e)	%	LEED (kg CO <sub>2</sub> e)	%	BREEAM (kg CO <sub>2</sub> e)	%	RTS (kgCO <sub>2</sub> e)	%	Joutsen (kgCO <sub>2</sub> e)	%
Ennen käyttöä	1 329 672	47,9	<b>1 468 180</b>	75,1	1 396 482	63	1 218 051	60	1 313 377	51,3
Käytön aikana	1 337 820	48,2	374 785	19,2	712 092	32,1	718 610	35	<b>1 135 762</b>	44,4
Käytön jälkeen	109 177	3,9	109 177	5,6	109 177	4,9	109 177	5	109 177	4,3
Yht.	2 776 668	100	1 953 771	100	2 217 750	100	2 046 652	100	2 558 315	100

LEEDin case-kohteen jälkeen seuraavaksi pienin hiilijalanjälki on RTS-ympäristöluokituksen case-kohteella, jonka hiilijalanjälki on 26 % pienempi verrattuna perustason case-kohteeseen. RTS-hankkeessa vaihdettiin kohteen lämmitysmuodoksi LEEDin case-kohteen tavoin maalämpöpumppu. RTS-ympäristöluokituksen energiakriteerien vaatimukset eivät kuitenkaan velvoita yhtä paljon uusiutuvan energian tuottamista kohteessa. Tämän vuoksi RTS kohteella on käyttöaikaisesta energiankulutuksesta (B6) syntyviä päästöjä, kun taas LEEDin case-kohteessa niitä ei synny lainkaan. RTS hankkeessa on kuitenkin pienin tuotevaiheen (A1-A5) hiilijalanjälki 1 218 051 kg CO<sub>2</sub>e. Tämä johtuu siitä, että RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän hiilijalanjälkeä ohjaavat kriteerit ohjaavat rakennusmateriaalivalintoja tarkasteltavista ympäristöluokitusmenetelmien kriteereistä eniten.

BREEAM ympäristöluokituksen hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien mukaan muokatun case-kohteen hiilijalanjälki on kolmanneksi suurin. Energiaoptimointiratkaisut ja niistä aiheutuvat materiaalipäästöt ovat hyvin samanlaiset kuin RTS-ympäristöluokituksen case-kohteessa. BREEAM ympäristöluokituksessa ei kuitenkaan ollut materiaalivalintoja ohjaavia kriteereitä, minkä vuoksi tuotevaiheen rakennuksen hiilijalanjälki on RTS-ympäristöluokituksen case-kohdetta huomattavasti suurempi (kuva 11).



**Kuva 10.** Case-kohteiden rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljet esitettynä elinkaarivaiheittain

Suurin hiilijalanjälki ympäristöluokitusten hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien mukaan muokatuista case-kohteista oli Joutsenmerkin case-kohteella, jonka hiilijalanjälki verrattuna perustasoon oli vain 8 % pienempi. Joutsenmerkissä käytönaikaista energiankulutusta (B6) ohjaavat kriteerit sallivat suurimman käytönaikaisen energiankulutuksen, minkä seurauksena Joutsenmerkin käytönaikaisesta energiankulutuksesta (B6) syntyvä hiilijalanjälki on ympäristöluokitusjärjestelmien vertailussa suurin. Joutsenmerkkikohde oli ainoa, jossa lämmitysmuotoa ei tarvinnut muuttaa kaukolämmöstä maalämpöpumpuun. Materiaalivalintoja ohjaavat kriteerit eivät myöskään ole yhtä tiukkoja kuin RTS-ympäristöluokituksessa, minkä seurauksena Joutsenmerkkikohteen tuotevaiheen (A1-A3) hiilijalanjälki on myös suurempi kuin RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän case-kohteessa.

LEED ja BREEAM hankkeiden tuotevaiheen hiilijalanjälki on suurempi kuin perustason tuotevaiheen (A1-A3) hiilijalanjälki, sillä niissä ei vaadita rakennusmateriaalien optimointia. Sen sijaan uusiutuvan energian tuottaminen kohteessa lisää rakennusmateriaalien tuotevaiheen (A1-A3) hiilijalanjälkeä maalämpöpumpun ja aurinkopaneelien materiaalipäästöjen osalta. Energiatuotannon päästöjen vähentyessä tämä voi nousta ongelmaksi sillä tuotevaiheen (A1-A3) kasvaneilla materiaalipäästöillä ei välttämättä enää saavuteta tuotevaiheen (A1-A3) suurempaa hiilijalanjälkeä kompensoivaa pienempää käytönaikaisen energiankulutuksen (B6) hiilijalanjälkeä.

RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän ja Joutsenmerkin materiaalikriteerit alentavat niiden tuotevaiheen hiilijalanjälkeä. Tuotevaiheen hiilijalanjälki on kuitenkin RTS-

ympäristöluokituksen case-kohteessa ainoastaan 8,4 % perustasoa pienempi. Joutsenmerkin case-kohteessa ero perustason case-kohteeseen on vain 1,2 %.

## 6.7 Tulosten luotettavuuden ja merkittävyyden arviointi

Laskennan tuloksissa esiintyy paljon epävarmuutta. Tämä johtuu osittain siitä, että kriteereiden vaatimukset voidaan toteuttaa erittäin monella tapaa, ja kaikkien vaihtoehtojen laskennallinen vertailu ei ole mahdollista. Tämän vuoksi laskennassa päädyttiin toteuttamaan kriteerien vaatimukset mahdollisimman samankaltaisilla ratkaisulla, jotta tulosten yhteismitallinen vertailu olisi mahdollista.

Epävarmuus johtuu osittain myös siitä, että laskennassa hyödynnetty case-kohde ei ole todellinen rakennus, joten sillä ei ole toteutuneita suunnitelmia minkä pohjalta suorittaa laskentaa. On kuitenkin tärkeä huomata, että työn tavoitteena ei ollut tarkoitus laskea case-kohteen hiilijalanjäljen suuruutta, vaan arvioida eri ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien soveltamisen vaikutusta hankkeen hiilijalanjälkeen.

Kaikissa ympäristöluokitusjärjestelmine mukaisissa laskennoissa aloitettiin case-kohteen muokkaaminen oletettavasti suurimpia muutoksia vaativan kriteerin vaatimuksien täyttämiseksi. Tämä tehtiin sen vuoksi, että case-kohdetta joutuisi muokkaamaan mahdollisimman vähän perustason case-kohteesta, mutta kuitenkin siten että ympäristöluokituksen case-kohde täyttäisi kaikki ympäristöluokituksen hiilijalanjälkeä ohjaavien kriteerien vaatimukset. LEED ja BREEAM ympäristöluokitusjärjestelmien case-kohteita joutui muokkaamaan ainoastaan energijärjestelmien osalta, lisäämällä case-kohteisiin maalämpöpumppu ja aurinkopaneeleja.

Joutsenmerkissä case-kohteeseen ei tarvinnut lisätä maalämpöpumppua energiatavoitekriteerien vaatimuksien saavuttamiseksi. Joutsenmerkin case-kohteeseen kuitenkin lisättiin aurinkopaneeleja ja jätevesijärjestelmän lämmöntalteenotto. Joutsenmerkissä myös osa rakennusosista jouduttiin muuttamaan betonista puuksi.

RTS-ympäristöluokituksen mukaan muokattu case-kohde vaati eniten muutoksia kriteerien vaatimusten täyttämiseksi. Kohteeseen tuli lisätä maalämpöpumppu ja aurinkopaneeleja. Tämän lisäksi materiaalikriteerin täyttämiseksi puolet rakennuksen runkorakenteista tuli vaihtaa betonirakenteisista puurakenteisiksi. Rakenneosien muuttaminen betonisista puurakenteisiksi lisää laskennan epävarmuutta RTS-ympäristöluokituksen case-kohteen kohdalla. Tämä johtuu siitä, että ilman tarkkaa rakennesuunnittelua on hankala arvioida todenmukaisesti tarvittavien puurakenteiden määrää ja suuruutta suhteessa korvattaviin betonirakenteisiin osiin.

Tarkastelussa ei huomioitu rakennusten toimivuuden muuttumista kriteerien muutoksia soveltaessa. Oikeassa hankkeessa on tärkeää tarkastella esimerkiksi runkomateriaalin vaihtamisen vaikutusta rakennuksen lämpötekniseen toimivuuteen. Oikeassa hankkeessa myöskään kaikkien case-kohteiden laskennassa tehtyjen muutosten toteuttaminen ei ole välttämättä mahdollisia sijainnin, olosuhteiden, budjetin, rakennuksen muiden asetettujen tavoitteiden tai muiden syiden vuoksi. Esimerkiksi LEEDin case-kohteessa aurinkopaneelien määrä on niin suuri, että sen toteuttaminen todellisessa hankkeessa tuottaa haasteita.

Valittavien ratkaisujen toteutettavuuden ymmärtämiseksi on tärkeä suorittaa ympäristöluokitushankkeissa esiselvitys, jossa arvioidaan alustavien tietojen pohjalta kunkin kriteerin sovellettavuus kohteessa, ja mahdolliset saavutettavat hyödyt. Tätä ei tässä tarkastelussa otettu huomioon, sillä case-kohde on kuvitteellinen ja oletuksena on, että kaikki muutokset ovat toteutettavissa.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTUTKIMUS

### 7.1 Yhteenveto ympäristöluokitusjärjestelmien hiilijalanjäljen ohjausmenetelmistä

Tämän diplomityön tarkoituksena oli tarkastella rakennusalan ympäristöluokitusjärjestelmien kykyä ohjata ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaan laskettua rakennuksen hiilijalanjälkeä. Tarkasteltavina ympäristöluokitusjärjestelminä olivat LEED, BREEAM, RTS ja Joutsenmerkki.

Kriteerien tarkastelun pohjalta on selvästi havaittavissa, että tarkasteltavat ympäristöluokitusjärjestelmät eivät priorisoi rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamista, tai painota sitä pisteytyksessä tai kriteeristössä. Niiden lähestymistapa rakennusten ympäristövaikutuksiin on kokonaisvaltaisempi tarkastellen useita eri ympäristövaikutusten indikaattoreita. Tämän seurauksena rakennuksen hiilijalanjäljen ohjaus jää hyvin vähäiseksi ympäristöluokitusjärjestelmien kriteereissä ja pisteytyksessä. Kaikissa tarkasteltavissa ympäristöluokitusjärjestelmissä ohjaus myös painottuu vahvasti rakennuksen käytönaikaisen energiankulutuksen sekä sen päästöjen ohjaukseen, eikä itse rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaukseen.

Kaikissa ympäristöluokitusjärjestelmissä on kuitenkin huomioitu rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki ja sen mittaaminen. Vaikka elinkaaren hiilijalanjäljen todentaminen lisääkin tietoisuutta rakennuksen kasvihuonekaasupäästöjen suuruudesta ja jakautumisesta eri rakennuksen vaiheille ja osille, se ei itsessään ohjaa rakennushankeen hiilijalanjälkeä pienemmäksi. Tämän vuoksi olisi tärkeää vaatia rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämistä sen mittaamisen lisäksi.

RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän ja LEEDin kriteereissä pisteytettiin myös rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämistä myös mittaamisen lisäksi. Molemmissa ympäristöluokitusjärjestelmissä vaatimukset kuitenkin täyttyvät jo käytönaikaiseen energiankulutukseen (B6) liittyvien kriteereiden vaatimusten täyttämistä. Täten rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä ei tarvitse itsessään pienentää hiilijalanjälkikriteerin vaatimusten täyttämiseksi energiankulutuskriteerien vaatimien toimenpiteiden lisäksi. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämistä koskevien kriteerin vaatimukset olisi hyvä tehdä sellaiseksi, että ne eivät täytyisi jo energiankulutuskriteerien vaatimuksilla. Mahdollisesti elinkaaren hiilijalanjäljen pienentämistä koskevien kriteerien osalta tämä voisi toteutua asettamalla vaatimuksia

rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamiselle elinkaaren eri vaiheissa. Etenkin rakennusalan nykyisten päästöjen vähentämiseksi tuotevaiheen päästöjen pienentäminen olisi erityisen tärkeää, jotta rakennusalan kasviuonekaasupäästöt saataisiin mahdollisimman nopeasti laskuun. Mikäli tuotevaiheen hiilijalanjälkeä ei oteta kylliksi huomioon rakennusalan päästöjen vähentämisessä, voi päästöjen alenemisessa kestää liian kauan ilmastonmuutoksen kannalta.

Joutsenmerkin ja RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän materiaalikriteereillä havaittiin olevan positiivinen vaikutus tuotevaiheen (A1-A3) hiilijalanjälkeen. Etenkin RTS-ympäristöluokituksen materiaalikriteerillä säästettiin case-kohteen tuotevaiheen hiilijalanjäljestä 8,4 % ja Joutsenmerkin case-kohteessa 1,2 % verrattuna perustason case-kohteen tuotevaiheeseen. Nämä ovat kuitenkin vielä suhteellisen pieniä vähennyksiä hiilijalanjäljessä ottaen huomioon WGBCCin asettaman tavoitteen vähentää rakennusten tuotevaiheen hiilijalanjälkeä 40 % vuoteen 2030 mennessä. Materiaalikriteereillä voidaan varmistaa rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaaminen muillakin kuin energianoptimoinnin keinoin, sekä vaikuttaa rakentamisesta syntyviin päästöihin nopealla aikataululla. Tuotevaiheen hiilijalanjäljen minimoiminen voi olla tulevaisuudessa yksi merkittävimmistä rakennusalan hiilijalanjäljen ohjauskeinoista ja siten myös tärkeä osa ympäristöluokitusjärjestelmien kriteeristöä. Teknologian kehittyessä ja vähäpäästöisempien materiaalityökalujen tullessa markkinoille on tärkeää, että materiaalikriteerien vaatimukset myös kiristyvät.

Vaikka ympäristöluokitusjärjestelmien kriteeristöjä tarkastellessa RTS ja Joutsenmerkki sisältävät enemmän hiilijalanjälkeä ohjaavia kriteereitä kuin LEED ja BREEAM, ne eivät kuitenkaan määrällisessä tarkastelussa ohjanneet rakennuksen hiilijalanjälkeä eniten. Tämä johtui siitä, että Joutsenmerkin ja RTS-ympäristöluokituksen energiankulutusvaatimukset eivät ole yhtä tiukat verrattuna LEED ja BREEAM kriteeristöjen vaatimuksiin. Suurin saavutettu säästöprosentti oli 30 % mikä ei ole vielä kovin suuri rakennusalan valtavia kasviuonekaasupäästöjä ajatellen. Säästöprosentti saavutettiin myös ainoastaan energiankulutusta muokkaamalla. Tuotevaiheen hiilijalanjälkeä ohjaa neljästä tarkasteltavasta ympäristöluokitusjärjestelmästä ainoastaan RTS-ympäristöluokitusjärjestelmä, ja siinäkin saavutettu säästöprosentti on suhteellisen pieni. Rakennusten tuotevaiheen hiilijalanjälki on erittäin oleellinen osa rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamista ja rakennusalan päästöjen nopean vähentämisen kannalta sen tulisi nostaa tärkeimmäksi prioriteetiksi. Tämän pohjalta voidaankin todeta, että Suomen tulevia raja-arvoja ajatellen, nykyiset ympäristöluokitusjärjestelmät eivät toimi kovin tehokkaina apuvälineinä tai ajureina raja-arvoihin pyrkiessä. Onkin syytä pohtia tulisiko nykyisten ympäristöluokitusten

vaatimuksia rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamisen näkökulmasta tiukentaa vai olisiko parempi, että rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamiseksi kehitettäisiin erillinen järjestelmä. Ympäristöluokitusjärjestelmien kokonaisvaltainen lähestyminen rakennusten negatiivisten ympäristövaikutusten minimoimiseksi ja positiivisten vaikutusten maksimoimiseksi on kuitenkin hyvä säilyttää ympäristöluokitusjärjestelmien prioriteettina, sillä rakentamisesta aiheutuu monia muitakin haittoja ympäristölle kuin ilmastoa lämmittävät kasvihuonekaasupäästöt. Mikäli ympäristöluokitusjärjestelmien rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaavuutta tullaan kiristämään ja painottamaan enemmän, ei tätä tulisi tehdä muiden ympäristövaikutusten kustannuksella. Tämä esittääkin haasteen, miten rakennushankkeita, jotka ovat kukin tietyltä aspektilta uniikkeja hankkeita, voidaan ohjata yhdellä kriteeristöllä tehokkaasti minimoimaan niiden negatiiviset ympäristövaikutukset kokonaisvaltaisesti ja lisäämään niiden positiivisia ympäristövaikutuksia todennettavasti.

## 7.2 Jatkotutkimus

Kestävä ja vähähiilinen rakentaminen ovat suhteellisen tuoreita aloja. Ilmastokriisin myötä alat elävät jatkuvan, kiihtyvän muutoksen aikaa. Tämän seurauksena myös ympäristöluokitusjärjestelmiä päivitetään ja uudistetaan jatkuvasti. RTS-ympäristöluokitusjärjestelmä ja Joutsenmerkki ovat molemmat julkaisseet keväällä 2022 uudet versiot luokitusjärjestelmistä lausuntokierroksille. Molempiin ympäristöluokituksiin on tulossa muutoksia myös koskien hiilijalanjälkeä.

RTS-ympäristöluokitusjärjestelmän lausuntokierrokselle julkaistussa versiossa v2.0 on muutettu kriteerin Y1.1 elinkaaren hiilijalanjälki arviointi ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaiseksi. Säästöprosentin määrittämiseen käytettävään Excel laskentatyökaluun on myös tehty muutoksia koskien vertailurakennuksen hiilijalanjälkeä sekä energiankulutuksen painotusta. Käytönaikaisen energiankulutuksen painotus säilyy kuitenkin edelleen merkittävänä.

Joutsenmerkin lausuntokierrokselle julkaistussa luonnoksessa joutsenmerkittyjen rakennusten EU-taksonomian mukaisuus on nostettu yhdeksi uudeksi tavoitteeksi. Myös ilmastovaikutuksiin liittyen on ehdotettu uutta pistekriteeriä, jolla varmistetaan rakennuksessa käytettävien betoni- ja terästuotteiden vähähiilisyys. Materiaalikriteereissä pyritään myös painottamaan nykyistä enemmän kiertotaloutta.

LEED ja BREEAM ovat myös molemmat julkaisseet Net Zero Carbon hankkeet, joilla pyritään edistämään hiilineutraalia rakentamista. Tämän lisäksi LEEDillä on käynnissä myös Zero Energy hanke, joka edistää energiaomavaraisten kohteiden rakentamista.

Tulevien ympäristöluokitusjärjestelmien muutosten ja hiilineutraaliutta edistävien hankkeiden tuomia elinkaaren hiilijalanjäljen ohjausmenetelmiä ja näkökulmia on tärkeä tarkastella Suomessa sekä kansallisesti että kansainvälisesti. Vaikka ne eivät suoraan soveltuisi rakennushankkeiden elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamiseksi ympäristöministeriön arviointimenetelmän ja tulevien raja-arvojen näkökulmasta, voidaan niiden avulla edistää rakennushankkeiden positiivisia ympäristövaikutuksia. Alalla on vielä hyvin vähän osaamista rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjaamisessa ja monessa hankkeessa tullaan todennäköisesti nojaamaan ympäristöluokitusjärjestelmiin tai johonkin muuhun ulkoiseen järjestelmään tai palveluun pyrittäessä rakentamaan kohteita, jotka alittavat kansallisesti asetettavat elinkaaren hiilijalanjäljen raja-arvot. Tämän vuoksi olisikin tärkeää, että alalla olisi tiedossa tehokkaita rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen ohjausmenetelmiä, joilla lähteä minimoimaan rakennushankkeiden aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä.

# LÄHTEET

AFRY, (2020). Finnish Energy – Low carbon roadmap. 83s. Saatavilla: [https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energia-alkan\\_vahahiilisyystiekartta.html#material-view](https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energia-alkan_vahahiilisyystiekartta.html#material-view)

Ahola R., Liljeström K., (2018). Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratilakohteessa. ARA. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen raportteja 08/2018. 73s. Saatavilla: [https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2018/12/Hiilijalanj%C3%A4ljen-pienent%C3%A4minen-kustannustehokkaasti\\_2018.pdf](https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2018/12/Hiilijalanj%C3%A4ljen-pienent%C3%A4minen-kustannustehokkaasti_2018.pdf)

A-Insinöörit, (2021). Opas vähähiiliseen rakennuttamiseen. 27s. Saatavilla: <https://www.ains.fi/oppaat/vahahiilinen-rakennuttaminen>

Bionova Oy, (2017). Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseen rakentamisen ohjauksessa. Bionova Oy & Ympäristöministeriö. 72s. Saatavilla: <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

BRE, (2021). BREEAM International New Construction Version 6.0 Technical Manual – SD250. BRE Global. XXs. Saatavilla: [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BREEAM\\_International\\_New\\_Construction\\_Version\\_6](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BREEAM_International_New_Construction_Version_6)

BRE, (2022). BREEAM-verkkotyökalu. Luettu: 10.3.2022. Saatavilla: <https://tools.breeam.com/projects/>

Capros P., De Vita A., Tasios N., Siskos P., Kannavou M., Petropoulos A., Evangelopoulou S., Zampara M., Papadopoulos D., Nakos C., et al. EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions trends to 2050. Publication office of the European Union, 2016. 220s.

co2data.fi, (2021). Rakentamisen päästötietokanta -verkkosivu. Luettu: 24.3.2022. Saatavilla: <https://co2data.fi/>

FIGBC, (2018). Rakennushankkeiden ympäristöluokitukset Suomessa. Green Building Council Finland. Saatavilla: <https://figbc.fi/rakennushankkeiden-ymparistoluokitukset-suomessa/>

FIGB, (2022). Rakennusten elinkaarimittarit – kahdeksan mittaria kestävään kiinteistöjohtamiseen -verkkosivu. Luettu: 22.3.2022. Saatavilla: <https://figbc.fi/elinkaarimittarit/>

Fingrid, (2022). Sähköntuotannon CO<sub>2</sub>-päästöarvio -verkkosivu. Luettu: 29.3.2022. Saatavilla: <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/sahkomarkkinainformaatio/co2/>

Gaia Consulting Oy, (2020a). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. 76s. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/tiekartta>

Gaia Consulting Oy, (2020b). Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 Osa 4. Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisyys tien kartta 2020 – 2035 – 2050. 43s. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/tiekartta>

Jiménez L., Domnguez J., Vega-Azamar R., (2018). Carbon Footprint of Recycled Aggregate Concrete. *Advances in Civil Engineering*, vol. 2018. 6s. Saatavilla: <https://doi.org/10.1155/2018/7949741>

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 18.1.2013/50, (2013). Tullut voimaan: 1.7.2014. Saatavilla: [finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130050](http://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130050)

Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999, (1999). Säädetty 5.2.1999. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, (1999). Tullut voimaan 5.2.1999. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Mattinen M., Heljo J., Savolahti M., (2016). Rakennusten energiankulutuksen perusskenaario Suomessa 2015-2050. Suomen Ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2016. 66s. Saatavilla: [www.syke.fi/julkaisut](http://www.syke.fi/julkaisut)

mrluudistus.fi, (2022). Maankäyttö- ja rakennuslaki uudistuu -verkkosivu. Luettu 17.3.2022. Saatavilla: <https://mrluudistus.fi/>

Rakennusteollisuus RT, (2022). Tilastot ja suhdanteet -verkkosivu. Luettu 17.3.2022. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Taloustilastot-ja-suhdanteet/>

Rakennusteollisuus RT, (2021b). Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt -verkkosivu. Luettu 11.3.2022. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/CENCT-350-Kestava-rakentaminen/>

Rakennusteollisuus RT, (2020). KEKRI - Kestävät kriteerit rakennusten vähähii-lisyyden arviointiin Rakennusten hiilijalanjälkitarkastelut. 33s. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/hiilijalanjaljen-arviointi/>

Rakennusteollisuus RT, (2021). KEKRI - Kestävät kriteerit rakennusten vähähii-lisyyden arviointiin Rakennusten hiilijalan-jälkitarkastelut Päivitys. 17s. Saatavilla: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/hiilijalanjaljen-arviointi/>

Rakennustietosäätiö RTS, (2022). EPD-tietojen käyttökohteet -verkkosivu. Luettu: 28.3.2022. Saatavilla: <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/tiedot-rts-epd-ymparistoselosteessa/epd-tietojen-kayttokohteet/>

Rakennustietosäätiö, (2022). RTS-ympäristöluokitus – Suomen oloihin kehitetty ympäristöluokitus rakentamiselle ja kiinteistön ylläpidolle -verkkosivu. Luettu 20.3.2022. Saatavilla: <https://www.rakennustieto.fi/palvelut/ymparistopalvelut/rts-ymparistoluokitus>

Rakennustietosäätiö, (2022b) RTS-ympäristöluokitus v2.0 Asuinrakennukset 2022 Arviointikriteeristö Lausuntoversio 3.3.2022. 80s. Saatavilla: <https://uutiset.rakennustieto.fi/yleinen/lausunnolla-rts-ymparistoluokituksen-kriteeristo-ehdotus/>

Rakennustietosäätiö RTS, (2020). RTS-ympäristöluokitus v1.11. 74s. Saatavilla: <https://cer.rts.fi/ladattavat-materiaalit/>

Raksystems, (2022). Markkinakatsaus Suomessa käytettäviin ympäristösertifiointeihin -verkkosivu. Luettu: 28.3.2022. Saatavilla: <https://rakersystems.fi/ajan-kohtaista/markkinakatsaus-suomessa-kaytettaviin-ymparistosertifiointeihin/>

Ruuska A., Häkkinen T., (2015). The significance of various factors for GHG emissions of buildings, International Journal of Sustainable Engineering, 8:4-5, s.317-330, DOI: 10.1080/19397038.2014.934931

Sabau M., Bompá D., Silva L., (2021). Comparative carbon emission assessments of recycled and natural aggregate concrete: Environmental influence of cement content. Geoscience Frontiers vol 12, Issue 6, 2021. Saatavilla: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101235>

SFS-EN 15643:2021, (2021). Sustainability of construction works. Framework for the assessment of buildings and civil engineering works. Vahvistettu: 23.07.2021.

Säynäjoki A., Heinonen J., Junnila S., (2011). Carbon Footprint Assessment of a Residential Development Project. International Journal of Environmental Science and Development, 2011. Vol 2, No. 2. 8s.

Säynäjoki A., Heinonen J., Junnila S., (2012). A scenario analysis of the life cycle greenhouse gas emissions of a new residential area. Environmental Research Letters, 2012. Vol 7, No. 3. 10s.

Technical Expert Group on Sustainable Finance, (2020). Taxonomy Report Technical Annex. 593s. Saatavilla: [https://ec.europa.eu/info/publications/sustainable-finance-technical-expert-group\\_en](https://ec.europa.eu/info/publications/sustainable-finance-technical-expert-group_en)

U.S. Green Building Council, (2021). The history of LEED -verkkosivu. Luettu: 12.2.2022. Saatavilla: <https://www.usgbc.org/about/mission-vision>

U.S. Green Building Council, (2020). LEED v4.1 RESIDENTIAL BD+C MULTI-FAMILY HOMES. XXs. Saatavilla: <https://www.usgbc.org/leed/v41>

Ympäristöministeriö, (2018a). Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmityshönlähteen laskenta. Suomen rakentamismääräyskokoelma. XXs. Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>

Ympäristöministeriö, (2018b). Energiatodistusopas 2018. 46s. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/energiatodistusten\\_laatijat/energiatodistusten\\_laskentaohjeet\\_2018](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/energiatodistusten_laatijat/energiatodistusten_laskentaohjeet_2018)

Ympäristöministeriö, (2019a). Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisu 22/2019. 54s. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

Ympäristöministeriö, (2019b). Johdatus rakennusten elinkaariarviointiin -opas. Ympäristöministeriö. 20s. Saatavilla: <https://elinkaariarvioinnin.fi/>

Ympäristöministeriö, (2021a). Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän ohjeen luonnos lausuntokierrosta varten. Ympäristöministeriön julkaisu 6/2021. XXs. Saatavilla: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposallid=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d>

Ympäristöministeriö, (2021b). Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmaselvityksestä perustelumuistio. Ympäristöministeriö. XXs. Saatavilla: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d>

Ympäristöministeriö, (2022). Maankäyttö- ja rakennuslaki -verkkosivu. Luettu 17.3.2022. Saatavilla: <https://ym.fi/maankaytto-ja-rakennuslaki>

Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista 718/2020, (2020). Tullut voimaan 1.1.2021. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200718>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017, (2017). Tullut voimaan 1.1.2018. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>