

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikan koulutusohjelma

Diplomityö

Valle Raatikainen

ASIAKKAAN PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMINEN TALOTEKNIKKASUUNNITTELUSSA

Tarkastajat: Dosentti Ahti Jaatinen-Värri

DI Ulla Nykter

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT

School of Energy Systems

Energiatekniikka

Valle Raatikainen

Asiakkaan päästöjen vähentäminen talotekniikkasuunnittelussa

Diplomityö 2021

Tarkastajat: Dosentti Ahti Jaatinen-Värri, DI Ulla Nykter

69 sivua, 31 kuvaa, 4 taulukkoa ja 1 liite

Hakusanat: talotekniikka, päästöt, hiilijalanjälki

Suomen hallituksen vuonna 2019 asettama tavoite on olla hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen sen jälkeen. Suomessa rakentaminen ja rakennusten käyttö aiheuttaa merkittävän osan ilmasto lämmittävistä kasvihuonekaasupäästöistä. Talotekniikan osuus rakentamisessa on huomattava ja sen määrä rakennuksissa tulee pääasiassa kasvamaan myös jatkossa. Tämän takia myös talotekniikan päästöjen vähentämisen mahdollisuuksia tulee tarkastella tarkemmin.

Diplomityön tavoitteena oli laskea ja vertailla erilaisten taloteknisten suunnitteluratkaisujen ja materiaalien hiilipäästöjen määriä. Tarkoituksena oli löytää rakennusten elinkaaren arviointityökalun avulla käytännön ratkaisuja, joilla voidaan vähentää asiakkaiden hankkeiden ilmastokuormaa talotekniikkasuunnittelun keinoin. Diplomityö koostuu sekä kirjallisuus että laskentaosiesta. Kohderakennuksena työssä oli päiväkotia. Kohderakennuksen talotekniikan hiilijalanjäljen osuudeksi saatiin noin 18 - 19 prosenttia materiaalien hiilijalanjäljestä ja käytönaikaisen energian osuudeksi 23 - 42 prosenttia kokonaishiilijalanjäljestä riippuen energiantuottojärjestelmästä. Käytönaikaisia päästöjä pystyttiin vähentämään lämpöpumppuratkaisujen avulla ja talotekniikan materiaaleissa päästöjä pystyttiin vähentämään esimerkiksi vähäpäästöisemmällä putkistojen materiaaleilla ja eristeillä.

ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT
School of Energy Systems
Energy Technology

Valle Raatikainen

Reducing customer emissions in building services design

Master's thesis 2021

Examiners: Docent Ahti Jaatinen-Värri, M.Sc Ulla Nykter

69 pages, 31 figures, 4 tables and 1 appendix

Keywords: building services, emissions, carbon footprint

The Finnish Government has set as the objective that Finland will be carbon-neutral in 2035 and carbon-negative soon after that. In Finland, buildings are major sources of greenhouse gas emissions and contributors to the climate crisis. The share of building technology in construction will continue to grow in the future as well. For this reason, the opportunities of reducing emissions in building technology should be examined in more detail.

The aim of this master thesis was to calculate and compare the amounts of carbon emissions from different building technology design solutions and materials. The purpose was to find practical solutions to reduce the climate load of customers' projects by building technology engineering design. The thesis consists of two parts which are literature and calculation. The subject of the study was kindergarten. Results shows that the embodied impact of building technology systems lies in the range of 18 – 19 percent of the total embodied carbon footprint. Energy use impact was in the range of 23 – 42 percent of the total carbon footprint. Results show it is possible to reduce carbon emissions of the buildings with heat pumps and lower-emission piping materials and insulation.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

MÄÄRITELMÄT

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tausta.....	6
1.2	Tavoite.....	7
1.3	Menetelmä.....	7
2	VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN.....	9
2.1	Vähähiilinen ympäristö.....	9
2.2	Rakentamisen elinkaari.....	10
2.3	Rakentamisen elinkaaren ja hiilijalanjäljen ohjaus.....	12
2.4	Materiaalien päästöt.....	16
2.5	Ympäristöluokitukset.....	19
2.6	Rahoitus.....	21
3	TALOTEKNIIKAN PÄÄSTÖJEN LASKENTA.....	24
3.1	Laskennan merkitys.....	24
3.2	Talotekniikka.....	25
3.3	Talotekniikan ympäristövaikutukset.....	27
4	KOHDERAKENNUKSEN PÄÄSTÖJEN LASKENTA.....	28
4.1	One Click LCA: työkalu.....	28
4.2	Laskennan kohde.....	30
4.3	Hiilijalanjäljen laskenta.....	30
5	LASKENNAN TULOKSET.....	34
5.1	Kohderakennuksen laskennan hiilijalan- ja kädenjälki.....	34
5.2	Hiilijalanjäljen jakautuminen pääryhmittäin.....	37
5.3	Energiankäytön jakautuminen hiilijalanjäljessä.....	41
5.4	Talotekniikan järjestelmien hiilijalanjäljen jakautuminen.....	45
5.5	Talotekniikan järjestelmäkohtainen hiilijalanjäljen jakautuminen.....	49
5.6	Taloteknisten ratkaisujen materiaalien hiilijalanjälkien tarkastelu.....	54
5.7	Vähäpäästöisten ratkaisujen vaikutus ja elinkaarikustannuksien vertailu.....	61
5.8	Tulosten luotettavuuden arviointi.....	64
6	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	66
7	YHTEENVETO.....	68

LIITTEET

Liite 1. Kustannuslaskelma

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<i>A</i>	nettopinta-ala	n-m ²
<i>E</i>	energia	kWh, MJ, kgoe
<i>m</i>	massa	kg, t
<i>V</i>	tilavuus	m ³

Lyhenteet

LCA	Life Cycle Assessment (Elinkaariarviointi)
LVIA	Lämpö, vesi, ilmanvaihto ja automaatio
LVIS	Lämpö, vesi, ilmanvaihto ja sähkö
GWP	Global Warming Potential
ekv	Ekvivalentti
SYKE	Suomen ympäristökeskus
PEX	Ristisilloitettu polyeteeni
COP	Lämpöpumpun lämpökerroin

Kemialliset yhdisteet

CO ₂	hiilidioksidi
-----------------	---------------

MÄÄRITELMÄT

- Hiilijalanjälki* Hiilijalanjälki kuvaa jonkin tuotteen, toiminnan tai palvelun aiheuttamaa ilmastokuormaa eli sitä, kuinka paljon kasvihuonekaasuja tuotteen tai toiminnan elinkaaren aikana aiheutuu. (RT 103170, 2020)
- Hiilikädenjälki* Hiilikädenjälki kuvaa jonkin tuotteen, toiminnan tai palvelun ilmastohyötyjä eli sitä kuinka paljon kasvihuonekaasuja tuotteella tai toiminnalla voidaan elinkaaren aikana vähentää. (RT 103170, 2020)
- Vähähiilisyys* Vähähiilinen yhteiskunta, yritys, toiminto tai tuote tarkoittaa sellaista yhteiskuntaa, yritystä toimintoa tai tuotetta, jossa aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi nykytilannetta vähemmän. (RT 103170, 2020)
- Hiilidioksidiekvivalentti* Hiilidioksidin lisäksi hiililaskennassa huomioidaan tarkastelussa myös typpi, metaani ja F-kaasut, jotka muutetaan yhteiseen muotoon käyttämällä GWP- kertoimia. Hiilidioksidiekvivalentti on kasvihuonekaasujen yhteismitta. (RT 103170, 2020)
- Hiilineutraalisuus* Hiilineutraalisuus on tila, jossa ihmistoiminnan aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöjen nettopäästöt hiilidioksidiekvivalentteina tietyllä ajanjaksolla ovat nolla. (RT 103170, 2020)

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Ilmastonmuutos on osa maailmanlaajuisia ympäristökriisiä esimerkiksi luonnonvarojen ehtymisen ja luonnon monimuotoisuuden heikentymisen ohella. Sen hillitseminen vaatii edelläkävijöitä ja teknologian kehitystä sekä toimenpiteitä kokonaisvaltaisesti kaikilla yhteiskunnan osa-alueilla. Suomessa rakentaminen ja rakennusten käyttö aiheuttaa merkittävän osan ilmastoa lämmittävistä kasvihuonekaasupäästöistä (RT 103170, 2020). Talotekniikan osuus rakentamisessa on merkittävä ja sen määrä rakennuksissa tulee pääasiassa kasvamaan myös jatkossa, jolloin talotekniikan päästöjen vähentämisen mahdollisuuksia tulee tarkastella tarkemmin.

Kansallisen tason määritelmät ja lainsäädäntöohjaus ajavat rakentamisen ympäristöä ja materiaaleja kohti vähähiilisyttä. Suomen hallituksen vuonna 2019 asettama tavoite on olla hiilineutraali vuonna 2035 ja hiilinegatiivinen sen jälkeen. Rakennetun ympäristön hiilidioksidipäästöihin pystytään vaikuttamaan maankäytön, yhdyskuntien, yksittäisten uudisrakennusten ja korjauskohteiden suunnittelulla ja toteutuksella sekä käytöllä, jossa seuranta ja raportointi ovat tärkeässä osassa. (RT 103170, 2020)

Ilmastonmuutoksen kiihtyessä rakennusten omistajat ja käyttäjät haluavat olla tietoisia kiinteistöjensä elinkaaren päästöjen määristä ja mahdollisuuksista vaikuttaa niihin. Rakennuksen aiheuttamaa ympäristökuormaa mitataan hiilijalanjäljellä. Hiilijalanjälki kuvaa rajattavissa olevan kokonaisuuden aiheuttamaa ilmastokuormaa. Se voidaan laskea esimerkiksi yritykselle, kunnalle, investoinnille, tuotteelle tai palvelulle. Hiilijalanjälki ottaa vaiheittain huomioon rakennusympäristön elinkaaren päästöt kokonaisvaltaisesti. Näitä vaiheita ovat materiaalien hankinta ja valmistus, rakentamisvaihe, rakennuksen käyttövaihe sekä elinkaaren loppupään toimet, kuten purku ja jätteenkäsittely.

1.2 Tavoite

Tämän diplomityön tavoitteena on selvittää ja vertailla erilaisten taloteknisten suunnitteluratkaisujen ja materiaalien hiilipäästöjen määriä ja talotekniikan hiilijalanjälkeä rakennuksen elinkaaren aikana. Diplomityöllä pyritään vastaamaan seuraavaan tutkimuskysymykseen. Minkälaisilla järjestelmillä, materiaali ja laitevalinnoilla talotekniikkasuunnittelussa voidaan käytännössä vähentää päästöjä rakennuksen elinkaareissa?

Tarkoituksena on löytää rakennusten elinkaaren arviointityökalun avulla käytännön ratkaisuja, joilla voidaan vähentää asiakkaiden hankkeiden ilmastokuormaa talotekniikkasuunnittelun keinoin. Työssä vertaillaan myös talotekniikan eri laitteiden ja materiaalien vaikutusta hiilijalanjälkeen sekä arvioidaan energiantuottojärjestelmien elinkaarikustannuksia. Talotekniikkaa suunniteltaessa on usein mahdollista tehdä ratkaisut eri toteutustavoilla, jolloin myös ratkaisujen hiilijalanjäljet saattavat poiketa toisistaan. Tällä tavalla on mahdollista jo suunnitteluvaiheessa vaikuttaa ratkaisevasti talotekniikan elinkaaren päästöihin.

1.3 Menetelmä

Tämä diplomityö koostuu sekä kirjallisuus että laskentaosiosta. Työn taustojen selvittämiseksi tehtiin kirjallisuustutkimusta, jossa selvitettiin aihealueen taustoja. Teoriaosuudessa selvitettiin, miten rakentamisen elinkaaren hiilijalanjälkeä ja materiaalien päästöjä tällä hetkellä säädellään. Tieteellisten artikkelien ja aikaisempien tutkimusten avulla haluttiin syventyä talotekniikan aiheuttamaan hiilijalanjälkeen tarkemmin. Tutkimuksen empiirinen osuus suoritettiin One Click LCA -laskentaohjelmistolla.

Tieteellisinä lähteinä käytettiin talotekniikasta julkaistuja tieteellisiä artikkeleita, valtioneuvoston ja ympäristöministeriön julkaisuja. Kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena on selvittää vähähiilisen rakentamisen ja erityisesti talotekniikan aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä ja vaikutuksia rakennuksen hiilijalanjälkeen.

Työssä käytettävä One Click LCA -laskentaohjelmisto on ympäristö- ja elinkaariarvioinnin palvelu, jonka rakennuksen elinkaari- ja materiaalitietokanta perustuu

kansainvälisiin ja eurooppalaisiin standardeihin. Laskentaosiossa lasketaan kohderakennuksen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki käytössä olevalla ympäristöministeriön mukaisella rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmällä sekä tarkastellaan talotekniikan hiilijalanjäljen jakautumista eri järjestelmien välillä sekä tutkitaan eri energiantuottojärjestelmien vaikutusta päästöihin.

2 VÄHÄHIILINEN RAKENTAMINEN

2.1 Vähähiilinen ympäristö

Suomen ilmastopolitiikan raamit rakentuvat EU:n ilmastopolitiikasta, YK:n ilmastopöytäkirjasta ja Pariisin ilmastopöytäkirjasta. Ilmastopolitiikkaa ohjataan kansallisesti muun muassa energia- ja ilmastostrategian, keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelman, ilmastolain ja sopeutumissuunnitelman avulla. Suomen ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitteina on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, lisätä uusiutuvien energialähteiden osuutta, edistää energiatehokkuutta ja ilmastonmuutokseen sopeutumista. (Ympäristöministeriön raportteja, 2017)

Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä ja pyrkii olemaan hiilinegatiivinen nopeasti sen jälkeen. Hiilineutraaliustavoitteen saavuttamiseksi tulisi laskennallisten hiilipäästöjen ja hiilinielujen olla siis yhtä suuret vuonna 2035. Hiilineutraaliuteen päästääksemme on tehtävä parannuksia kaikilla yhteiskunnan osa-alueilla. Vähähiilisen talouden mahdollistaminen edellyttää biotalouden, kiertotalouden, puhtaan teknologian ratkaisujen, energiatehokkuuden, päästöttömien energiantuotantomuotojen ja energian varastointiratkaisujen lisäpanostuksia sekä jatkuvaa tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoimintaa. Tavoitteiden saavuttamiseksi rakentamisen osalla tarvitsemme korkeatasoista osaamista sekä tutkimusta materiaaleista, rakenteista, talotekniikasta, energiantuotannosta ja muusta infrasta. (Ympäristöministeriön raportteja, 2017)

Rakennuksen vähähiilisyys tuodaan uutena käsitteenä lainsäädäntöön maankäyttö- ja rakennuslain -uudistuksen yhteydessä. Ympäristöministeriön tavoitteena on ohjata rakennuksen elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä lainsäädännöllä vuoteen 2025 mennessä. Ilmastolakia tullaan päivittämään siten, että tavoite hiilineutraaliudesta vuoteen 2035 mennessä toteutuu ja siihen määritetään hiilineutraaliuspolkua vastaavat päästövähennystavoitteet vuosille 2030, 2040 ja 2050. Ympäristöministeriö on laatinut päästöjen vähentämiseksi rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän sekä hallinnon tiekartan kohti vähähiilistä rakentamista. (Rakennusteollisuus, 2020a)

Ympäristöministeriön menetelmän mukainen hiilijalanjälkilaskenta ottaa huomioon rakennuksen koko elinkaaren aikaiset välilliset ja välittömät päästöt. Menetelmä kattaa rakennustuotteiden valmistuksen ja kuljetuksen sekä työmaatoimintojen aiheuttamat päästöt. Menetelmä kattaa myös rakennuksen käytön ja korjauksien sekä elinkaaren lopulla tapahtuvan purkamisen ja kierrätyksen aiheuttamat päästöt. Tuloksena on hiilijalanjälki tai hiilikädenjälki lämmitettyä nettoalaa ja käyttövuotta kohden. Hiilijalanjälki ilmaistaan hiilidioksidiekvivalentteina, jossa eri kasvihuonekaasujen erilaiset ilmastoa lämmittävät vaikutukset on otettu huomioon. Hiilijalanjäljen laskennassa kaikki kasvihuonekaasut yhteismitallisetään kertoimien avulla hiilidioksidiekvivalenttipainoksi kg CO₂e ja lämmitetyllä nettopinta-alalla ja arviointijakson pituudella jaettuna lopputulos on kg CO₂e/m²/a. Hiilijalanjäljen avulla pyritään helpottamaan rakentamisen ilmastovaikutusten laskemista. Sen laskeminen on toistaiseksi vapaaehtoista, mutta se on tulossa osaksi Suomen lainsäädäntöä. (Valtioneuvoston julkaisu, 2019)

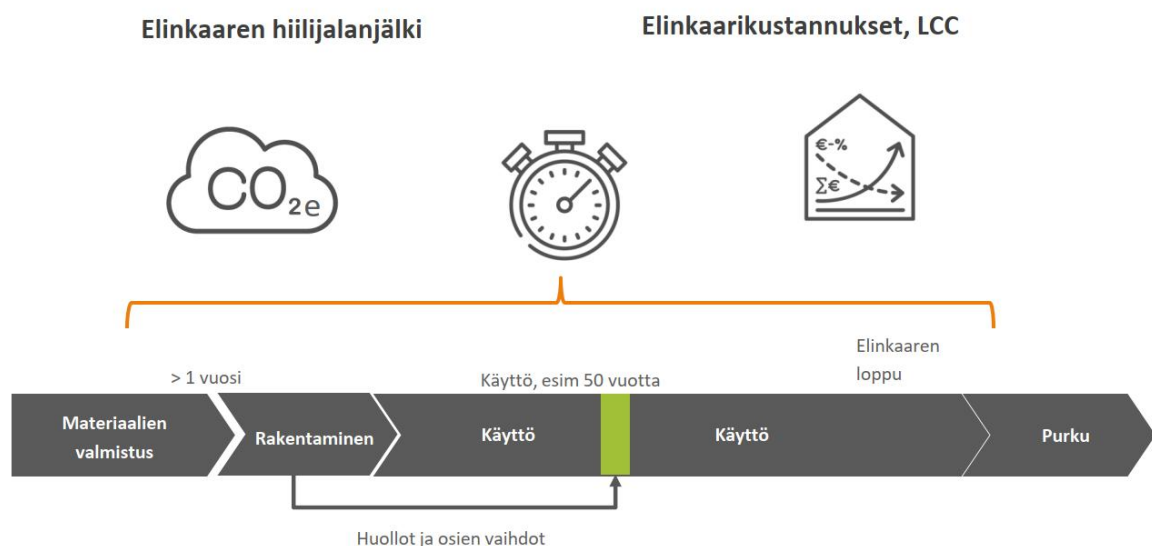
Rakennusteollisuus RT:n, ympäristöministeriön ja eri sidosryhmien yhteistyönä on laadittu vähähiilinen rakennusteollisuus 2035 -tiekartta. Rakennusteollisuuden hanke on osa hallitusohjelman mukaista ja työ- ja elinkeinoministeriön yhteensovittamaa eri toimialaliittojen tiekarttatyötä. Sen pohjalta toteutetaan keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelmaa sekä uutta ilmasto- ja energiastrategiaa. Työ- ja elinkeinoministeriö seuraa eri sektoreiden tiekarttojen yhteisarvioinnin perusteella, kuinka Suomen hiilineutraaliustavoite saavutetaan vuonna 2035. Tiekarttatyössä selvitettiin Suomen rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen muodostuminen ja selvitettiin mitä mahdollisuuksia päästöjen vähentämiseksi on olemassa. (Rakennusteollisuus, 2020a)

2.2 Rakentamisen elinkaari

Elinkaariajattelulla tarkoitetaan tuotteen tai rakennuksen vaikutusten arviointia koko elinkaaren ajalta. Elinkaariajattelun ideana on, että tuotteen aiheuttamat ympäristövaikutukset tulee sisältää suorien ympäristövaikutuksien lisäksi myös kaikki epäsuorat ympäristövaikutukset. Elinkaariajattelun tavoitteena on selvittää rakennuksen tai tuotteen valmistuksen ja käytön kokonaisvaikutukset ja muodostamaan kokonaiskuva rakennuksen tai tuotteen vaikutuksista sekä myös välttämään ongelmien siirtäminen

tulevaisuuteen. Kuvassa 1 on esitetty rakennuksen elinkaaren päästöjen eri vaiheet. Rakennuksen hiilijalanjälki muodostuu materiaalien valmistukseen käytetystä ja rakentamisen aikaisesta energiasta sekä rakennuksen käytön aikaisesta energiakulutuksesta ja lopulta rakennuksen purkamisesta syntyvistä päästöistä. (Ympäristöministeriö, 2017a.)

Elinkaariajatteluun liittyy olennaisena osana elinkaarikustannukset, joka ottaa huomioon tuotteen kokonaiskustannukset sisältäen investointikustannukset sekä käyttö- ja huoltokustannukset elinkaaren ajalta. Elinkaarikustannuslaskennan tavoitteena voi olla esimerkiksi pienentää kustannuksia ja haitallisia ympäristövaikutuksia sekä parantaa energia- ja materiaalitehokkuutta. Elinkaarikustannuslaskennan avulla voidaan lisätä kustannusten läpinäkyvyyttä sekä seurata kustannusten muodostumisesta elinkaaren ajan. (Valtiotalouden tarkastusvirasto, 2019)



Kuva 1. Rakennuksen elinkaari (Granlund Oy 2020, Vähähiilinen rakentaminen)

Elinkaariajattelua tulisi hyödyntää ja soveltaa jo hankintojen suunnitteluvaiheessa, jolloin siitä saadaan suurin hyöty. Suunnitteluvaiheessa voidaan tunnistaa kustannusoptimaalisia keinoja edistää rakennuksen ympäristöystävällisyyttä tai pidentää rakennuksen käyttöikä. Rakennuksen elinkaaren vähähiilisyys vaikuttaa merkittävästi myös rakennuksen käytön aikainen toiminta. Rakennuksen elinkaarta voidaan edistää esimerkiksi rakennuksen hyvällä toiminnallisuudella, tarkoituksenmukaisella ja energiatehokkaalla käytöllä, ennakoivalla ylläpidolla ja huollolla, teknisten järjestelmien kokonaisvaltaisella

ymmärtämisellä sekä ratkaisujen muuntojoustavuudella ja vikasietoisuudella. Näitä asioita tulee huomioida sekä hankintaa suunniteltaessa että rakennuksen suunnitteluvaiheessa. (Ympäristöministeriö, 2017a)

Kiinteistöjen omistajilla ja kehittäjillä on keskeiset mahdollisuudet vaikuttaa rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen. Elinkaariajattelun avulla rakennuksen omistaja ja käyttäjä saavat tietoa vaikutuksien jakautumisesta rakennuksen elinkaaren ajalle. Elinkaaren arvioinnissa otetaan huomioon kaikki vaikutukset, jotka liittyvät rakennusympäristön suunnitteluun, hankintoihin, rakentamiseen, tilojen käyttöön, ylläpitoon, korjauksiin ja lopulta purkamisvaiheeseen. Elinkaariajattelussa voidaan ottaa huomioon myös ennakoitua tuotot. Erityisesti purkukatselmusten kautta materiaalien hyötykäyttö saadaan hyvin korkeaksi. Parhailta työmailla kierrätysasteeksi on saatu yli 80 prosenttia. (Rakennustekniikka, 2020)

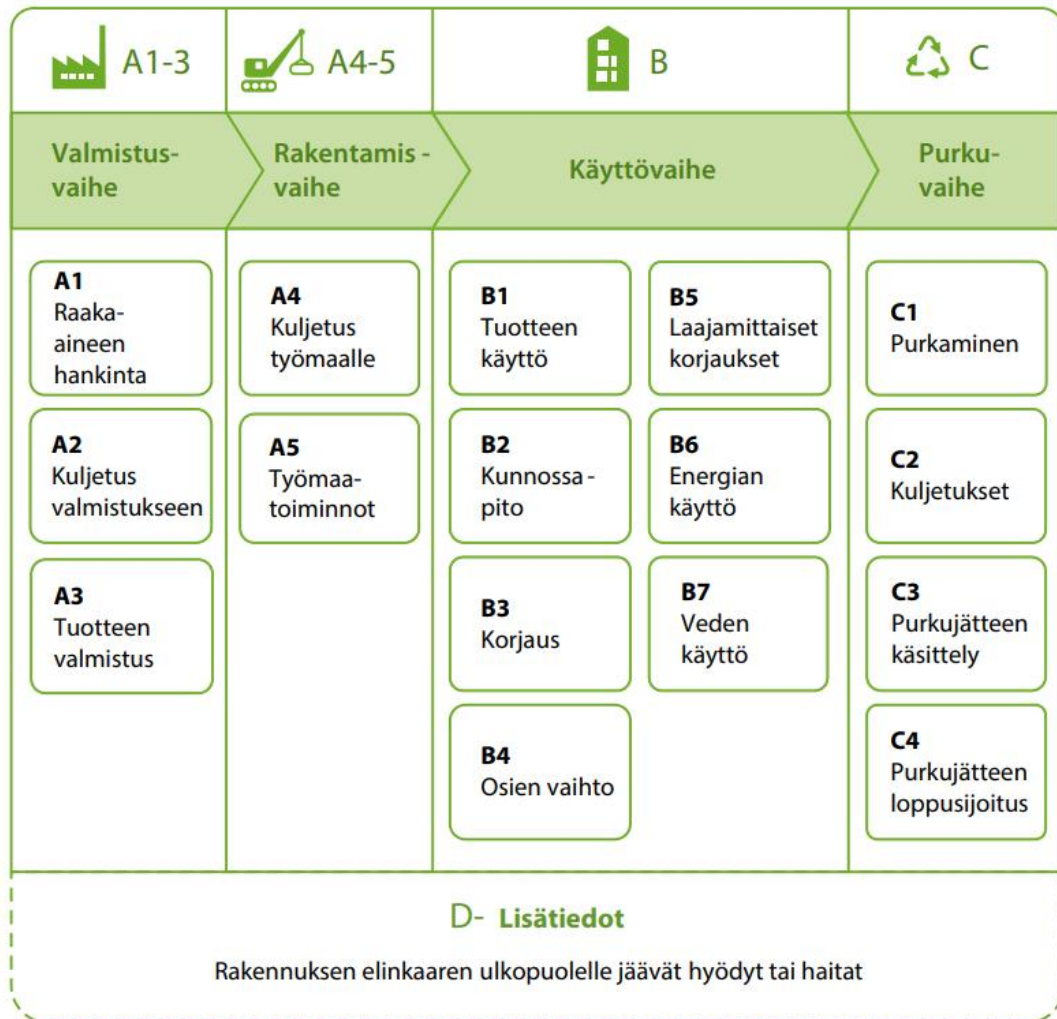
2.3 Rakentamisen elinkaaren ja hiilijalanjäljen ohjaus

Rakennuksen elinkaaren päästöjen arviointia ohjaavat eurooppalaiset ja kansainväliset standardit. Elinkaariarviointia koskien on julkaistu kansainvälinen standardi SFS-EN ISO 14040. Standardi sisältää kuvauksen elinkaaritutkimukseen liittyvistä periaatteista ja pääpiirteistä kuten elinkaariarvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelystä sekä vaiheista ja rajauksista. Standardia voidaan soveltaa erilaisilla toimialoilla kuten rakennusalalla. Standardoidun elinkaariarvioinnin ISO 14040-sarjan lisäksi on olemassa rakennusalaan koskivia tarkentavia toimialastandardeja. (Green Building Council Finland, 2013)

Standardissa ISO 14067 kuvataan hiilijalanjäljen periaatteita, vaatimuksia ja ohjeita. Standardissa määritetään tuotteiden hiilijalanjälkeä koskevan tiedon tarkkuutta, luotettavuutta ja vertailukelpoisuutta. Laskenta auttaa tunnistamaan mahdollisuuksia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja mahdollisuuksia lisätä kasvihuonekaasupoistumia. Standardissa määritellään hiilijalanjäljen laskemista ja raportointia koskevat periaatteet ja vaatimukset. Se on myös johdonmukainen elinkaariarviointia koskevan kansainvälisen standardin ISO 14040 kanssa. (Green Building Council Finland, 2013)

Elinkaarimittareita ohjaa eurooppalainen rakennusten ja infrarakenteiden kestävyysarviointi CEN/TC 350-standardi ja hiilijalanjäljen laskennan pohjana on laskentamenetelmästandardi EN 15978. Samaan standardikokonaisuuteen luetaan myös standardi EN 15804, joka määrittää tuotetason laskennan osana koko rakennuksen elinkaarilaskentaa. Standardi EN 15978 puolestaan syventyy siihen, miten ympäristövaikutusten ja elinkaaren laskentaa ja arviointia tulisi yksityiskohtaisemmin tehdä. Standardin laskentatavassa rakennuksen elinkaari jaetaan eri vaiheisiin. Elinkaaren vaiheita ovat rakennustuotteiden tuottaminen ja kuljettaminen, työmaatoiminnot, rakennuksen käyttö, kunnossapito sekä lopulta rakennuksen purkaminen. Standardin tarkoituksena on auttaa ilmaston vaikutuksien vertailua erilaisissa suunnittelu- ja korjausvaihtoehdoissa sekä tunnistaa potentiaalisimmat parannuskohteet ilmaston kannalta. (Green Building Council Finland, 2013)

Hiilijalanjäljen muodostumista rakennuksen elinkaaren aikana on helpompi hahmottaa, kun elinkaari jaetaan eri vaiheisiin. Kuvassa 2 on rakennuksen elinkaaren vaiheet jaettu standardien mukaisiin osiin, jotka pyrkivät selventämään päästöjen jakautumista ja mihin vaiheeseen erityyppiset päästöt kuuluvat sekä ohjaamaan yhtenäiseen laskentaan. Rakennuksen elinkaaren vaiheet muodostuvat valmistusvaiheesta, rakentamisvaiheesta ja rakennuksen käyttövaiheesta sekä purkuvaiheesta. Valmistusvaiheeseen (A1-3) sisältyy raaka-aineen hankinta, kuljetus ja tuotteen valmistus. Rakentamisvaiheeseen (A4-5) sisältyy kuljetukset työmaalle ja työmaatoiminnot. Rakennuksen käyttövaihe (B1-7) muodostuu tuotteen, energian ja veden käytöstä sekä kunnossapidosta, korjauksista ja osien vaihdoista. Rakentamisen viimeinen vaihe on purkuvaihe (C1-4), joka koostuu purkamisesta, kuljetuksista, purkujätteen käsittelystä ja sen loppusijoituksesta. Vaihe D muodostuu rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävistä hyödyistä ja haitoista. (Valtioneuvoston julkaisuja, 2019)



Kuva 2. Rakennuksen elinkaaren vaiheet arviontimenetelmässä (Ympäristöministeriö 2017b, Vihreä julkinen rakentaminen)

Valmistusvaiheessa (A1–A3) rakennustuotteiden määrät ja päästöt lasketaan hankekohtaisesti. Laskenta käsittää kohteen valmistuksessa käytetyt ja työmaalla ylijääviksi arvioidut rakennustuotteet. Laskentaan ei huomioida huonekaluja tai käyttäjien laitteita. Arvioinnissa ei oteta huomioon uudelleen käytettäviä vanhoja rakennusosia eikä myöskään niiden valmistuksesta tai uudelleenkäytön valmistelusta aiheutuvia päästöjä. Laskennassa tulee käyttää EN 15804 mukaisia päästöarvoja. Rakentamisvaiheen kuljetusten (A4) hiilijalanjäljen laskentaan kuuluvat kaikki rakennustuotteiden, materiaalien ja maamassojen kuljetukset rakennustyömaalle ja niiden mahdolliset välivarastointi- ja esivalmistuspaikat. Rakennustyömaalla aiheutuvien rakennusjätteiden

kuljetukset jätteenkäsittelyyn tai välivarastoihin sisältyvät myös rakentamisvaiheen kuljetuksiin. Rakennustyömaan (A5) hiilijalanjäljen arviointiin otetaan mukaan työkoneiden sekä rakennustöitä varten vaadittavien väliaikaisten tilojen tai muiden prosessien päästöt. Työmaatontin ulkopuolella syntyneet väliaikaisten työmaatoimintojen tai työmaatilojen päästöt tulee myös ottaa huomioon arvioinnissa. Arvioinnissa ei huomioida rakennuskoneiden kuljetusta tai rakennustyöntekijöiden matkoja. (Valtioneuvoston julkaisuja, 2019)

Käyttövaihe koostuu tuotteen käytöstä, kunnossapidosta ja korjauksista. Siinä otetaan huomioon rakennustuotteiden käytöstä (B1) syntyvät päästöt kuten kylmäainevuodot ja muut mahdolliset suorat kasvihuonekaasupäästöt ilmakehään. Ylläpitotoimet (B2) kuten huollossa, ylläpidossa ja siivouksessa syntyvät päästöt ja näiden kuljetus ja jätehuolto. Kunnossapidolla tarkoitetaan arvioinnissa suunniteltua ja ennakoitua ylläpitoa. Tähän osaluokkaan kuuluvat pintojen maalaus ja ulkoalueiden ylläpidon energian kulutus. Rakennuksen korjaukseen (B3) kuuluvat rikkoutuneiden rakennusosien korjaamiseen tarvittavat materiaalit ja niiden käsittelyt. Osien vaihtoon (B4) kuuluvat merkittävien rakennusosien suunniteltu vaihto niiden teknisen tai taloudellisen elinkaaren päässä. Tällaisia voivat olla esimerkiksi ilmanvaihtokoneen tai ikkunoiden vaihtaminen. Laskennassa otetaan huomioon osien kuljetukset ja vaihdettujen osien ja muun syntyneen jätteen käsittely. Laajamittaisiin korjauksiin (B5) sisältyy rakennuksen merkittävä korjaus tai muuttaminen, kuten peruskorjaus, tilaohjelman muutos ja energiaratkaisujen muutokset. Käytönaikaisen energiakulutuksen (B6) päästölaskentaa sisältyvät osaksi veden lämmittämiseen tai jäähdyttämiseen käytetyn energian päästöt. Veden käyttö osioon (B7) kuuluvat kiinteistössä käytettävän veden puhdistuksesta ja kuljetuksesta tai jäteveden kuljetuksesta ja käsittelystä syntyvät päästöt. (Valtioneuvoston julkaisuja, 2019)

Elinkaaren katsotaan loppuvan rakennuksen osalta, kun se on purettu ja tontilta on kuljetettu pois kaikki rakennusmateriaalit ja tontti on valmis seuraavaa käyttöä varten. Jos rakennukselle ei ole määritelty tavoitekäyttöikää tulee elinkaaren hiilijalanjäljen tarkasteluajanjaksoksi valita 50 vuotta. Rakennuksen purkamisesta aiheutuvat päästöt (C1) lasketaan energian käytön perusteella, joka on purkamiseen käytetty. Rakennuksen purkamisesta aiheutuviin päästöihin lasketaan mukaan myös purkutyökoneiden

polttoainepäästöt ja mahdollisesti purkutöissä tarvittavien väliaikaistilojen lämmityksen, jäähdytyksen, valaistuksen, pölynsidonnan sekä muiden tarvittavien prosessien aiheuttamat päästöt. Rakennuksen purkamisen jälkeen lasketaan vielä purkujätteen kuljetuksesta (C2) aiheutuvat päästöt, joihin lasketaan mukaan purkujätteiden kuljetukset kierrätykseen, uudelleen käyttöön ja jätteenkäsittelyyn. (Valtioneuvoston julkaisuja, 2019)

Rakennuksen purkamisesta aiheutuvan jätteen käsittelyn (C3), hyödyntämisen, uusiokäytön ja energian talteenoton elinkaariarviointiin käytetään siihen laadittua rakennustuotteiden päästötietokantaa. Päästötietokanta sisältää materiaaliluokakohtaisia oletuksia eri materiaalien päästöistä, jotka noudattavat rakennus- ja purkujätelajien jätetilastojen mukaisia toteumia Suomessa. (Valtioneuvoston julkaisuja, 2019)

Elinkaaren ulkopuolisina hyötyinä ja haittoina (D) lasketaan purkujätteelle mahdollisesti tehtävät prosessoinnit kuten osien korroosio- tai palosuojaukset sekä kuljetuksista aiheutuvat päästöt, kunnes niiden vaadittavat tekniset tai toiminnalliset ominaisuudet täyttyvät. Energiahyödyntämiseen päätyvän materiaalin prosessoinnista ja kuljetuksesta aiheutuvat päästöt kohdistetaan elinkaaren ulkopuolisiin hyötyihin ja haittoihin. Rakennuksen elinkaaren ulkopuolisissa hyödyissä otetaan huomioon purkujätteestä saatava energia. Tämä pätee myös vaarallisiin- ja ongelmajätteisiin. Purkujätteiden loppusijoittamisen päästöjen arvioinnissa käytetään samaa rakennustuotteiden päästötietokantaa kuin jätteenkäsittelyssä. Rakennusosien uudelleenkäyttö ja materiaalien kierrätys, rakennuksessa tai tontilla tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia ja eloperäinen hiili, joka on varastoitunut rakennusmateriaaleihin sekä niihin elinkaaren aikana mahdollisesti sitoutuva ilmakehän hiilidioksidi kuuluvat elinkaaren ulkopuolisiin hyötyihin. (Valtioneuvoston julkaisuja, 2019)

2.4 Materiaalien päästöt

Eurooppalainen CO₂-päästösääntely rakennusmateriaalien osalla muodostuu sääntelystä päästökaupan muodossa ja sääntelyn mahdollistavista vaatimuksista sekä viitteistä rakennustuoteasetuksessa. Rakennusmateriaalien päästöjä velvoittaa EU-tasolla ainoastaan päästökauppa. Päästökauppa velvoittaa päästökauppalain (311/2011) 2 § mukaiset suuret tuotantolaitokset, kuten rauta-, teräs-, sementti-, kalkki- lasi-, keramiikka-, mineraalivilla-,

kipsi-, puu- tai kuitumassan tai alumiinin valmistuksessa rajoittamaan päästöt kiintiön mukaan tai hankkimaan markkinoilta päästöoikeuksia. Rakennustuoteasetus (EC/305/2011) ei velvoita tällä hetkellä rakennustuotteiden kasvihuonekaasupäästöjen ilmoittamiseen tai ohjaukseen. (Bionova Oy, 2017)

Euroopassa keskeisin rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaa ohjaava standardi on EN 15804 standardi. Standardi on kehitetty rakennustuotteiden ympäristöselosteiden laadintaa ja selosteita lähtötietoina käyttävää rakennusten ympäristövaikutusten arviointia varten. Näitä täydentävät lisäksi eri rakennusmateriaalikohtaiset tuoteryhmäohjeet. Standardissa EN 15804 keskitytään rakennustuotteiden ja palvelujen ympäristövaikutuksiin ja miten ne luokitellaan. Standardin tarkoituksena on yhdenmukaistaa laskennan vaatimuksia ja suoritustapoja. (Rakennusteollisuus, 2020b)

Tuotteen elinkaarenaikaiset ympäristövaikutukset ovat tärkeä kriteeri rakennusmateriaalien valintoja tehtäessä vähähiilisessä rakentamisessa. EPD (Environmental Product Declaration) on vapaaehtoinen elinkaarianalyysiin pohjautuva standardoitu tapa esittää luotettavasti todennetut ja vertailukelpoiset tiedot tuotteen tai tuoteryhmän vaikutuksista ympäristöön. Elinkaariarviointi on tehty standardin EN 15804 määritettyjen rakennussektorikohtaisten täsmennysten mukaan. Standardissa kuvataan tuotteen elinkaaren aikana aiheutuvia ympäristövaikutuksia, joita ovat esimerkiksi hiilijalanjälki, maaperää ja vesistöjä happamoittavat päästöt, uusiutumattomien energiavarojen ja mineraalivirtojen vähentyminen, joka on seurausta näiden resurssien käytöstä. Tuotteen tiedot ja laskennalliset ympäristövaikutukset esitetään mahdollisimman yksinkertaisesti. Rakennusten EPD-ympäristötuoteselosteiden tiedot ovat kolmannen osapuolen verifioimia. (Sisäilmautiset, 2016)

Joillain tuotteilla toiminnoilla tai palveluilla voi olla myös positiivisia ilmastovaikutuksia, jotka syntyvät toiminnon tai palvelun elinkaarella. Näitä ilmastoon positiivisesti vaikuttavia asioita voidaan mitata hiilikädenjäljellä. Hiilikädenjälki ilmoitetaan erillisenä tietona eikä sitä voida vähentää hiilijalanjäljestä. Hiilikädenjälkeen sisällytetään kaikki elinkaaren eloperäiset hiilivarastot, hiilinielut, kierrätyksen ja energianhyödyntämisen avulla vältetyt päästöt sekä elinkaaren ulkopuolelle jäävä materiaalien uusiokäyttö.

Hiilikädenjälki esitetään vastaavasti kuin jalanjälki $\text{kg CO}_2\text{e/m}^2\text{/a}$, mutta negatiivisena lukuna. (Valtioneuvoston julkaisuja, 2019)

Asetuksilla sekä oppailla ohjataan uudis- sekä korjausrakentamista energiatehokkaampaan suuntaan ja vähennetään rakentamisen aikaisia päästöjä. Uudisrakentamisessa päästöjen vaikuttamiseen on paljon mahdollisuuksia, koska uudisrakentamisessa voidaan kokeilla ja kehittää uusia toteutusvaihtoehtoja perinteisien ratkaisujen rinnalle. Motivan mukaan rakennuskannasta uusiutuu vuosittain vain noin 1-2 prosenttia ja uudisrakentamisen ympäristövaikutukset tulevat näkyviin vasta pidemmällä aikavälillä, jolloin korjausrakentaminen on myös keskeisessä osassa päästöjen vähentämisessä. (Motiva, 2020)

Tämänhetkisen ja tulevan rakentamisen laadulla ja valinnoilla pystytään kuitenkin vaikuttamaan päästömääriin voimakkaasti, mutta se vaatii rakennusosalta uudistumista, nykyisten toimintatapojen haastamista ja materiaalien kehittämistä kohti hiilineutraaliutta (Rakennustekniikka, 2020). Motivan arvion mukaan rakennuksien energiankäyttö vastaa noin 40 prosenttia energian loppukäytöstä Suomessa ja aiheuttaa noin 30 prosenttia päästöistä. Tällä hetkellä rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä noin 65 prosenttia muodostuu rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta ja noin 30 prosenttia riippuu rakennusmateriaalien määrästä ja materiaalivalinnoista. Jäljelle jäävä osuus eli noin viisi prosenttia hiilijalanjäljestä koostuu kuljetuksista ja kunnossapidosta. Rakennuksien käytön aikaiset päästöt on tarkoitus laskea nolnaan prosenttiin ja rakennusmateriaalien päästöjen tulisi laskea 40 prosenttia nykyisestä määrästä vuoteen 2030 mennessä. (Motiva, 2020) Rakennusmateriaalien päästöjen täsmälliseen osuuteen elinkaareissa vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuus ja ympäröivä energijärjestelmä sekä käytetty laskentamenetelmä.

Oleellista on pyrkiä minimoimaan käytettävien materiaalien määrä ja huomiomaan materiaalitehokkaat ratkaisut jo suunnitteluvaiheessa. Näin voidaan pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä. Materiaalitehokkuus on osa kiertotaloutta, jossa tavoitellaan materiaalien uusiokäytön ja kierrätyksen lisäksi myös hukan minimoimista (Ahola & Liljeström 2018). Euroopan unionin jätedirektiivillä (98/2008) velvoitetaan jäsenvaltiot tehostamaan jätteen

uudelleen kierrätystä. Direktiivin perustalta tehty jätelaki sekä sen asetukset sisältävät kiristyksiä myös rakennusjätteen kierrätykseen ja lajitteluun. Rakentamisen tulisi olla materiaalitehokasta, jolloin voidaan vähentää syntyvän jätteen määrää sekä lisätä rakennus- ja purkujätteiden kierrätystä ja jatkojalostaa ne esimerkiksi uusiksi tuotteiksi. (Motiva, 2020) Suomen tavoitteena on kasvattaa rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistä materiaalina 70 prosenttiin. Vuoden 2023 ulottuvassa valtakunnallisessa jättesuunnitelmassa rakentamisen jätteet onkin nostettu yhdeksi merkittävämmäksi alueeksi. Rakennus- ja purkujätteen hyödyntämistä energiana tullaan siis vähentämään ja materiaalina hyödyntämistä puolestaan lisäämään. Lisäksi valmistaudutaan nostamaan jätelajikohtaisia kierrätys- ja hyödyntämistavoitteita tulevien EU:n materiaalikohtaisten kierrätystavoitteiden mukaisesti. (Ympäristöministeriö, 2019a)

2.5 Ympäristöluokitukset

Ympäristöluokitusjärjestelmät perustettiin työkaluiksi ympäristötehokkuuden mittaamiseen, todentamiseen ja vertailtavuuden mahdollistamiseen kiinteistöissä. Kiinteistöjen luokitusjärjestelmät varmistavat kestäväen kehityksen mukaisen ajattelun hankkeen ajan. Ympäristöluokitukseen kuuluu oleellisena osana ulkopuolinen arviointi, joka varmistaa rakennuksen suunnittelun, rakentamisen ja toiminnan tarkoituksenmukaisesti. (Bionova, 2017)

Ympäristöluokitusjärjestelmän avulla rakennukselle voidaan antaa pisteet eri kriteerien perusteella. Kriteerien arvioinnin jälkeen rakennukselle voidaan antaa arvosana. Ympäristöluokitus toimii tuotantovaiheen aikana myös johtamisen työkaluna sekä edistää rakentamisen mukaisten tavoitteiden asettamista, seuranta ja dokumentointia. Tärkeää päästölaskennan kannalta on, että käytettävissä on Suomen olosuhteisiin sopivia materiaaleja ja niiden päästötietoja käytettävissä ja myös se, että niiden tiedot ovat keskenään vertailukelpoisia. Suomessa yleisemmin käytetyt ympäristöluokitus- ja arviointijärjestelmät ovat LEED, BREEAM, Joutsenmerkki, sekä Suomen olosuhteisiin kehitetty RTS-ympäristöluokitus. (Green Building Council Finland, 2020)

LEED-luokitus on yhdysvaltalainen maailman käytetyin globaali rakennusten ympäristöluokitusjärjestelmä. Sen vahvuutena on yhtenäinen ja kansainvälisesti

vertailukelpoinen kriteeristö. Luokitusjärjestelmään on kuitenkin mahdollista soveltaa myös eurooppalaisia ja suomalaisia käytäntöjä, vaikka useiden vaatimusten takana on amerikkalaisia käytäntöjä. Luokitukseen vaaditaan vähimmäisvaatimusten täyttäminen, jotka liittyvät mm. kiinteistön sijaintipaikan kestävyysvaatimusten, sekä sen energian-, veden-, ja materiaalien kulutukseen koko elinkaaren aikana. (Green Building Council Finland, 2020)

BREEAM luokitus on Euroopan johtava rakentamisen ympäristöluokitusjärjestelmä sekä myös pohjautuu yhteiseen eurooppalaiseen normistoon. Luokituksen mittareita pystytään soveltamaan myös suomalaisiin käytäntöihin, mikä helpottaa vaatimusten mukauttamista hankkeessa. BREEAM tarkastelussa huomioidaan esimerkiksi johtaminen, energian- ja vedenkulutus, käytetyt materiaalit, maankäyttö sekä työmaaliikenne. BREEAM luokituksella voidaan ohjata rakennuksen suunnittelua, rakentamista sekä käyttöä LEED-sertifikaatin tavoin. Lopputuloksena on eri vaiheiden pisteytys sekä loppuarvosana, joka on väliltä läpäisty, hyvä, erittäin hyvä tai erinomainen. (Green Building Council Finland, 2020)

Joutsenmerkki on Pohjoismaiden tunnetuin ja arvostetuin ympäristömerkki, jonka kriteerit ovat yhteneväiset kaikissa Pohjoismaissa ja soveltuukin siksi erityisesti pohjoismaisiin olosuhteisiin. Joutsenmerkin tarkastelussa huomioidaan energiatehokkuus, materiaalivalinnat, kemikaalit, kierrätys ja kierrätettävyys. Joutsenmerkitylle rakennukselle on määrätty kaksi rajaa energiankulutukseen liittyen. Prosenttiosuus energiasta, joka tulee uusiutuvista energialähteistä ja energian kokonaiskulutuksen suuruus. Joutsenmerkki kohteelle ei anneta erillistä arvosanaa, vaan täytyy saavuttaa tietty pistemäärä Joutsenmerkin myöntämiseksi. (Green Building Council Finland, 2020) Myös hiilijalanjälkilaskenta on osana joutsenmerkin pistevaatimuksia.

RTS-ympäristöluokitusjärjestelmä on erityisesti Suomen olosuhteisiin kehitetty ympäristöluokitusjärjestelmä. Siinä huomioidaan suomalaiset olosuhteet kuten lainsäädäntö ja kiinteistökannan monipuolisuus. RTS-luokituksen tarkastelussa huomioidaan mm. materiaalivalinnat, kosteuden hallinta ja hyvä sisäilma. RTS-ympäristöluokitus pohjautuu eurooppalaisiin standardeihin ja sitoo yhteen alan yhteiset hyvät kotimaiset käytännöt. Merkistä selviää myös saavutettu ympäristöluokitustaso, joka

annetaan yhdestä viiteen tähteen. (Green Building Council Finland, 2020) RTS-ympäristöluokituksen mukaisessa hiilijalanjalkiohjauksessa verrataan tavoitehiilijalanjälkeä vertailutasoon, jossa hankkeen kokonaishiilijalanjälkeä verrataan vastaavantyyppisen rakennuksen toteuttamiseen tavanomaisella rakentamistavalla.

2.6 Rahoitus

Energiatehokkuuden parantaminen on välttämätöntä kansainvälisiin haasteisiin vastaamiseksi ja se on myös kustannustehokasta parantaa kannattavuutta sekä kilpailukykyä. Energiatehokkuuden myötä energiakustannukset pienevät, joka on järkevää niin yrityksissä, kunnissa kuin kotitalouksissa. Energiatehokkuuden parantaminen vaatii kuitenkin usein investointien tekemistä. Useissa tapauksissa nämä investoinnit ovat tarkoituksen mukaisia ja kustannustehokkaita toteuttaa. (Motiva, 2018)

Rahoitusmarkkinoilla on useita vihreitä rahoitusinstrumentteja, jotka soveltuvat erityisesti ympäristöystävällisen rakentamisen tueksi. Investointeja voidaan rahoittaa esimerkiksi omalla pääomalla, pankkilainalla, osamaksusopimuksella ja erilaisilla rahoituksen palvelumalleilla. Perinteisten pankkilainojen lisäksi on käytössä myös leasingrahoitusratkaisuja. Käytössä on myös erilaisia tukia, joita voidaan hyödyntää energiatehokkuuteen ja uusiutuvaan energiaan liittyviin investointeihin sekä energiakatselmusten tekemiseen. Näiden rahoitustuotteiden edellyttämät kriteerit tulee huomioida jo hankinnan varhaisessa vaiheessa. (Motiva, 2018)

Energiatehokkuuden rahoitukseen on saatavilla laaja joukko instrumentteja niin kansainvälisesti kuin myös EU-tasolla. Suomessa hyödynnettäviä rahoitusinstrumentteja ovat esimerkiksi ELENA- tukijärjestelmä, Euroopan investointipankin (EIB) ja Euroopan strategisten investointien rahaston (ESIR) rahoitukset. ELENA (European Local Energy Assistance) myöntää valmistelurahoitusta investointeihin, jotka liittyvät energiatehokkuuteen, hajautettuihin uusiutuvan energian ratkaisuihin ja kestäviin kaupunkiliikennehankkeisiin. Energiatehokkuus- ja hajautetun uusiutuvan energian hankkeita voivat olla esimerkiksi julkisten tai yksityisten rakennusten korjaushankkeet, uusiutuvien energialähteiden integrointi rakennettuun ympäristöön tai energiatehokkaan liikennejärjestelmän kehittäminen. Valmisteltavan hankkeen tulee olla vähintään 30

miljoonaa euroa. Investointiprojektin tulee olla alustavasti suunniteltu, kun tukea haetaan. Tuella voidaan kattaa jopa 90 prosenttia investointiohjelman valmistelun, toteutuksen ja rahoittamisen teknisen tuen kuluista. Euroopan investointipankki (EIB) tarjoaa rahoitusta ja asiantuntemusta innovatiivisiin projekteihin, pienten ja keskisuurten yritysten toimintaedellytysten kehittämiseen, infrastruktuuriin ja ilmastotoimiin. EIB:n päätuote ovat investointilainat taloudellisesti kannattavain hankkeisiin, jotka edistävät kestävän kasvun ja työllisyyden tavoitteita. ESIR tarjoaa lainamuotoista rahoitusta luottokelpoisille yrityksille taloudellisesti kannattavien investointien toteuttamiseksi, josta pääosa on tarkoitettu infrastruktuurin ja teollisten investointien uudistamiseen. (Motiva, 2018)

Vireillä olevalla EU:n kestävän rahoituksen toimintasuunnitelmalla eli taksonomialla pyritään ohjaamaan rahoitusta ilmaston ja ympäristön kannalta aidosti kestäviin kohteisiin. Tarkoituksena on kehittää mekanismi, jolla rahan saatavuus tai rahan hinta on edullisempi mitä ilmastomyönteisemmästä investointikohteesta on kyse. Taksonomialuokittelussa muun muassa suurien yritykset ja niiden liiketoiminat arvioidaan niiden kestävyuden perusteella, jolloin kestävämmiin toimiviin yrityksiin suhtaudutaan suotuisammin rahoittajien, asiakkaiden ja omistajien näkökulmasta. Sääntely on tarkoitus saada valmiiksi ja käytäntöön vuoden 2022 alusta lähtien. (Euroopan komissio, 2021)

Energiatehokkuuden investointeja voidaan edistää esimerkiksi vihreillä bondeilla, ESCO-mallilla ja valtion energiatuella. Vihreällä bondilla tarkoitetaan ympäristöinvestointeihin kohdennettua joukkovelkakirjaa. ESCO (Energy Service Company) tarkoitetaan puolestaan rahoitusmallia, jossa energiaremontin rahoituksesta vastaa kokonaan tai osittain energiapalveluyritys ja rahoitus maksetaan takaisin säästetyistä energiakuluista. (Motiva, 2018)

Energiatehokkuus- ja ESCO-palveluissa ulkopuolinen energia-asiantuntija toteuttaa investointeja ja toimenpiteitä energian käytön tehostamiseksi palvelun tilanneessa yrityksessä. Palvelua voidaan käyttää energiatehokkuushankkeisiin kuten julkisten tai yksityisten rakennusten korjaushankkeisiin energiatehokkaan liikennejärjestelmän kehittämiseen tai energiatehokkaan kaukolämpö- tai kaukojäähdytysverkoston rakentamiseen, korjaamiseen ja laajentamiseen. (Motiva, 2018)

Valtion energiatuen tavoitteena on edistää uusien ja nykyisten energiajärjestelmien kehittämistä vähähiiliseksi. Energiatukea voivat saada kaiken kokoiset yritykset ja yhteisöt, kuten kunnat, seurakunnat ja säätiöt. Energiatuen myöntämisessä etusijalla ovat uuden teknologian hankkeet, mutta tukea voidaan saada myös tavanomaisen teknologian hankkeisiin harkitusti. Energiatukea voidaan myöntää harkitusti hankkeisiin, joissa edistetään energiansäästöä tai energiantuotannon tai -käytön tehostamista. Uudella teknologialla tarkoitetaan sellaisia uudenlaisia ratkaisuja, joita ei ole kokeiltu Suomessa laajasti. (Business Finland, 2020)

Kunnat voivat hakea vihreää rahoitusta ympäristöystävällisten investointien rahoittamiseen. Vihreää rahoitusta voidaan hakea investointihankkeisiin, joissa ympäristölle selkeästi aiheutuu hyödyllisiä vaikutuksia. Rahoitettavat hankkeet voivat liittyä uusiutuvaan energiaan, kestävään joukkoliikenteeseen, kestäväan rakentamiseen, vesi- ja jätevesihuoltoon, energiatehokkuuteen, jätehuoltoon tai ympäristönhoitoon. Hankkeet, jotka ovat saaneet vihreää rahoitusta voivat käyttää vihreän rahoituksen tunnusta merkinä investoinnin ympäristöystävällisyydestä. Asiakkaan käyttöön tehdään myös hiilijalanjäljen laskenta rahoitettujen hankkeiden osalta. Vihreässä rahoituksessa investointihankkeen rahoitus on asiakkaalle tavallista lainaa tai leasingia edullisempaa sekä tuo erottuvuutta rahoitetuille hankkeille. (Motiva, 2018)

3 TALOTEKNIIKAN PÄÄSTÖJEN LASKENTA

3.1 Laskennan merkitys

Rakennuksen energiatehokkuuden parantumisen ja energian tuotannon päästöjen vähenemisen myötä käytönaikaiset päästöt laskevat. Tämän takia rakentamisessa tulee jatkossa keskittyä myös materiaaleihin, sillä energiatehokkuuden parantaminen ei enää riitä vähähiilisessä rakentamisessa. (Röck et al., 2020) Aiemmin huomio on keskittynyt suurimmaksi osaksi rakentamisen energiatehokkuuteen. Tämän myötä myös osaaminen talotekniikan ja rakenteellisen energiatehokkuuden ympärillä on korostunut. Jatkossa myös kokonaisvaltainen ympäristövaikutusten huomioon ottaminen ja elinkaariajattelun merkitys korostuu aiempaa enemmän. Selkeät mittarit ja kriteerit antavat työkaluja hankkeiden ympäristötavoitteiden saavuttamiseen. (Ympäristöministeriö, 2017b)

Rakennuksen materiaalien vähähiilisyttä ja energiakulutusta voidaan ohjata tehokkaasti suunnitteluvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa voidaan tunnistaa kustannusoptimaalisimmat ratkaisut pienentää rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä. Energiatehokasta ja kestäväää rakennushanketta voidaan tarkastella monesta eri näkökulmasta niin elinkaarivaikutusten kuin laadun, suoritustason ja arvojen kannalta sekä toteuttaa monella eri tavalla, jolloin myös niiden elinkaaresta aiheutuu eri määrä päästöjä. Kuvassa 3 on esitetty kuinka monet tavoitteet ja lähtökohdat hankkeeseen vaikuttavat. (Ympäristöopas, 2017)



Kuva 3. Rakennushankkeen ympäristövaikutuksien näkökulmat (Ympäristöopas, 2017)

3.2 Talotekniikka

Talotekniikalla tarkoitetaan kiinteistöjen teknisiä laitteita, jotka tuottavat kiinteistössä haluttuja olosuhteita ja toimintoja kuten ilman vaihtumista, lämpötilaa ja valaistusta. Talotekniikka koostuu LVIS-järjestelmistä ja sekä siihen liittyvästä automaatiosta. Talotekniikkaan lämmön osalta kuuluvat lämmön tuotanto- ja jakelujärjestelmät ja

mahdolliset höyryjärjestelmät, veden osalta käyttövesi, sen lämmityslaitteet ja viemärointi, ilmanvaihdon osalta ilmanvaihtokoneet ja ilmanvaihtokanavistot sekä sähkön osalta kiinteistön sähköistämisen. Talotekniikan järjestelmiin voi kuulua myös esimerkiksi palontorjuntajärjestelmät, kaasujärjestelmät, jäähdytysjärjestelmät, uima-allaslaitteet, varavoimajärjestelmät sekä tietoliikennejärjestelmät. Varavoimajärjestelmät tuottavat kiinteistölle sähköä, jos yhteys yleiseen verkkoon katkeaa. (Rakennusteollisuus, 2020b)

Suunnittelu- ja rakennusvaiheessa toteutettavilla valinnoilla pystytään vaikuttamaan huomattavasti rakennuksen elinkaari- ja käyttökustannuksiin. Perusteena suunnittelussa tulee olla tilojen terveellisyys, turvallisuus, viihtyisyys, muuntojoustavuus sekä tilatehokkuus. Sen takia on tärkeää myös huolehtia, että laitteet ja järjestelmät toimivat suunnitellusti, jolloin energiatehokkuustavoitteet ja vaaditut sisäilmaolosuhteet toteutuvat käytännössä. Energiatehokkaan kokonaisuuden kannalta oleellista on talotekniikan oikeanlainen toiminta ja käyttäminen. (Motiva, 2020)

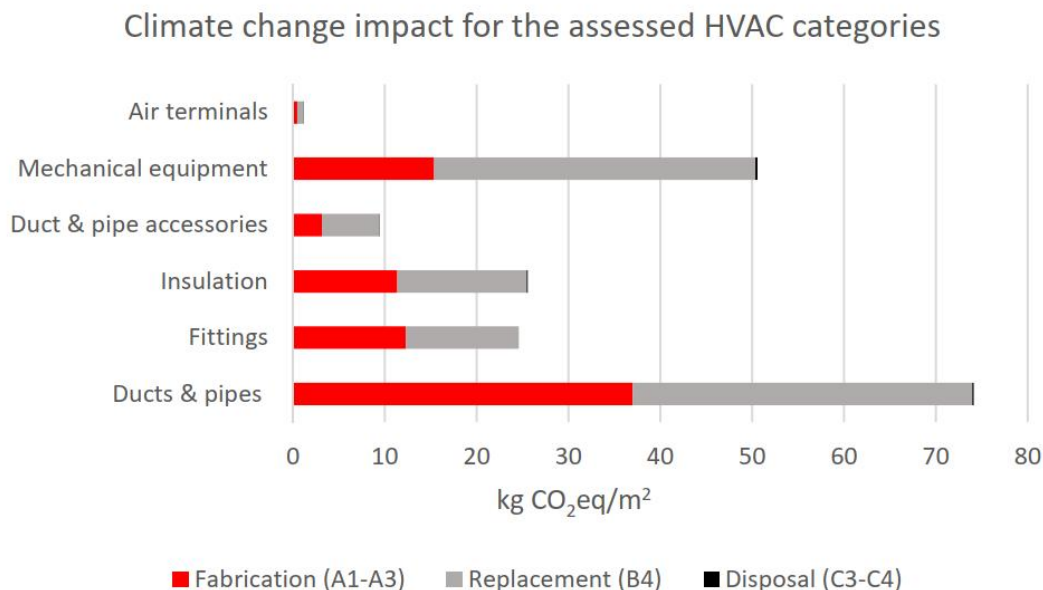
Talotekniikassa on useita vaihtoehtoisia toteutustapoja, joiden hiilijalanjälki saattaa poiketa toisistaan ja joita tarkastellaan tässä työssä tarkemmalla tasolla. Järjestelmät voidaan toteuttaa vaihtoehtoisilla materiaaleilla. Esimerkiksi käyttövesiverkostossa käytettävä materiaali voidaan valita useimmiten muun muassa kupari- ja PEX-putkien välillä. Lämmitysjärjestelmien ratkaisut voidaan usein toteuttaa esimerkiksi lattialämmityksen ja radiaattorilämmityksen sekä lämmityspaneelien välillä. Lämmitysenergiajärjestelmänä voi olla kaukolämpö, lämpöpumppu tai näiden yhdistelmä.

Rakennusten käytönaikaisen energiankulutuksen kannalta keskeisiä alueita ovat lämmön – ja jäähdytyksen tuotantotapa ja energiatehokas ilmanvaihto. Lämmön ja jäähdytyksen tuotannossa keskeistä on energialähteen valinta ja energian tehokas siirtäminen. Ilmanvaihdossa keskeistä on energiahukkaa pienentävät ratkaisut kuten, kuten lämmön talteenotto ja tarpeen mukainen ilmanvaihto. Rakennusautomaation avulla talotekniikkaa voidaan säätää kuormituksen ja käyttäjien määrän mukaan.

3.3 Talotekniikan ympäristövaikutukset

Talotekniikka muodostaa merkittävän osan rakennuksen materiaaleista, jolloin se sisältää paljon potentiaalia hiilijalanjäljen pienentämiseen. Aholan ja Liljeströmin (2018) tekemässä tutkimuksessa huomattiin, että talotekniikan osuus rakennusmateriaalien kasvihuonekaasupäästöistä on 25 - 31 prosenttia. Aholan ja Liljeströmin tutkimuksen mukaan talotekniikka on sisällytetty kohteiden tulokseen laskentaohjelmasta löytyvillä järjestelmäkohtaisilla pinta-alaan perustuvilla arvoilla, jolloin tulos on mahdollisesti arvioitu yläkanttiin. Järjestelmäkohtaisia pinta-alaan perustuvia arvoja käytetään, jos talotekniikan tarkkaa laskentaa ei voida suorittaa. Aholan ja Liljeströmin tutkimuksen mukaan on arvioitu, että talotekniikan osuus olisi 10 – 12 prosenttia rakennusmateriaalien hiilijalanjäljestä. Talotekniikan määrä rakentamisessa lisääntyy jatkuvasti, joka kasvattaa talotekniikan materiaalien päästöjä ja sitä joudutaan usein uusimaan rakennuksen elinkaaren aikana. Toisaalta kasvava talotekniikan määrä voi energiatehokkuuden parantuessa pienentää käytön ajan päästöjä. (Aholan ja Liljeströmin, 2018) Esimerkiksi panostamalla laajasti lämmöntalteenottoon, energiankierrätykseen, matalahiiliteknologioihin ja tuottamalla uusiutuvaa energiaa kasvatetaan materiaalien osuutta hiilijalanjäljessä, mutta voidaan pienentää käytön ajan hiilijalanjälkeä ja sekä lisäksi kasvattaa hiilikädenjälkeä.

Talotekniikan ympäristövaikutuksia varsinkin materiaalien osalta on tutkittu yksityiskohtaisesti kansainvälisestikin hyvin vähän. Useasti rakennuksen elinkaarilaskelmien talotekniikan osuuden arvot perustuvat yleisiin oletuksiin tai nyrkkisääntöihin. Alla on esitetty ruotsalaisen tutkimuksen tekniikan elinkaaren päästöjen arvoja, jossa rakennuksen talotekniikan päästöjä on tutkittu tarkemmalla tasolla. Tutkimuksessa on yksityiskohtaisen tietomallin pohjalta laskettu talotekniikan vaikutusta päästöihin. Tutkimuksen kohteena on Sveitsissä rakennettu kansainvälisen yrityksen pääkonttori. Laskenta perustuu EN 15804 menetelmän mukaiseen elinkaariarviontiin. Tutkimuksessa LVI-järjestelmien osuus rakennusmateriaalien päästöistä olivat hiilidioksiekvivalenttina lämmitettyä nettoalaa kohden 3,05 kg CO₂eq/n-m² a, joka on tutkimuksen mukaan huomattavasti aiempia tutkimuksia korkeampi tulos. (Kiamili et al, 2020)



Kuva 4. Svetsiläisen pääkonttorin talotekniikan vaikutus ilmastonmuutokseen (Kiamili et al, 2020)

Kuvassa 4 on ryhmiteltyä rakennuksen LVI-järjestelmien eri materiaalien vaikutusta hiilijalanjälkeen. Kuvassa palkin punainen osuus kuvaa tuotteen valmistuksesta muodostuvaa ilmastokuorman osuutta ja harmaa osuus tuotteen vaihdon vaikutusta ja musta osuus purkamisen vaikutusta ilmastonmuutokseen. Kuvasta 4 voidaan huomata, että ilmanvaihtokanavien ja putkistojen osuus on kaikista suurin noin 74 kg CO₂eq/n-m². Mekaanisten laitteiden eli esimerkiksi pumppujen ja puhaltimien osuus myös suuri noin 51 kg CO₂eq/n-m². Eristemateriaalien osuus on noin 25 kg CO₂eq/n-m² ja varusteiden osuus on tutkimuksen mukaan noin 24 kg CO₂eq/n-m². Putkien ja kanavien lisätarvikkeiden vaikutus on noin 9 kg CO₂eq/n-m² ja ilmanvaihdon päätelaitteiden ilmastovaikutus on listauksen pienin vain noin 1 kg CO₂eq/n-m².

4 KOHDERAKENNUKSEN PÄÄSTÖJEN LASKENTA

4.1 One Click LCA: työkalu

Tässä työssä hiilijalanjälkilaskentaan käytetään Bionovan One Click LCA -laskentaohjelmistoa. One Click LCA on selainpohjainen ympäristö- ja elinkaariarvioinnin pilvipalvelu, jonka kolmas osapuoli on verifioinut standardin EN15978 mukaiseksi.

Työkalun materiaalitietokannan päästötiedot perustuvat standardin EN-15804 mukaisiin ympäristöselosteisiin. Ohjelmiston materiaalitietokanta perustuu viiteenkymmeneen eri vertailukelpoiseen tietokantaan, josta päivittyy automaattisesti ajantasainen kolmannen osapuolen hyväksytysti tarkastama materiaalien ympäristöselosteluettelo. (One Click LCA, 2020)

Aluksi laskennassa annetaan projektille perustiedot ja määritetään arviointimenetelmä. Arviointimenetelmiä on erilaisia ja niille pystytään asettamaan ennakkoon raja-arvoja, esimerkiksi LEED- tai BREEM-sertifikaatin yhteydessä. Tässä työssä käytetään ympäristöministeriön arviointimenetelmää. Laskentaohjelmaan voidaan tuoda materiaalitiedot yleisimmistä mallinnusohjelmista, taulukkotiedostoista tai käsin manuaalisesti syöttämällä. Materiaalitiedot on hyvä tarkistaa ja täydentää lisäyksen jälkeen, sillä usein varsinkin tietomallista syötetyt tiedot saattavat olla vaillinaisia. (One Click LCA, 2020)

Laskennassa rakennusmateriaaleille määritellään käyttöikä, jolloin ohjelma ottaa huomioon osien vaihdosta aiheutuneet päästöt laskentaan mukaan. Laskennassa huomioidaan myös rakennusvaiheessa tulevan hukkamateriaalin osuus prosentteina. Laskennassa voidaan käyttää materiaalien kuljetuksissa oletusarvoja tai käyttää projektikohtaisia tietoja, jos ne ovat tiedossa. (One Click LCA, 2020)

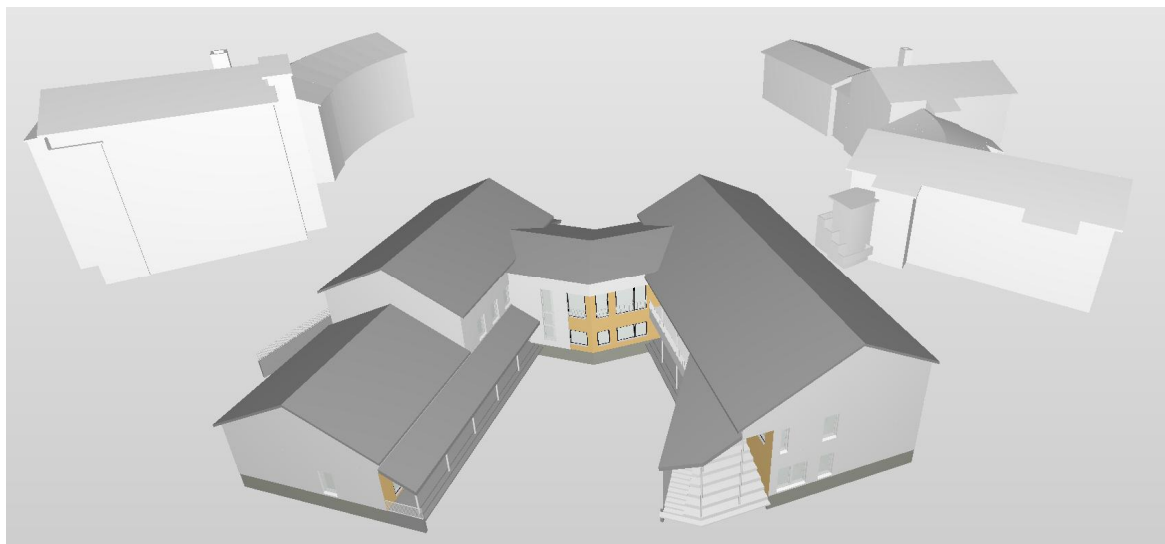
Rakennuksen energiankulutus syötetään laskentaohjelmaan vuotuisen E-lukulaskennan ostoenergiankulutuksen mukaan. Viimeisenä arvioidaan työmaatoiminnan aiheuttamat päästöt. Ohjelmisto laskee energiankulutuksen ja polttoaineiden päästöt eri energiamuotojen ja polttoaineiden kertoimilla. Lopuksi laskentaohjelma antaa yhteenvedon tuloksista. Tuloksia pystytään tarkastelemaan monilla eri rajauksilla. (One Click LCA, 2020)

Ohjelmasta nähdään esimerkiksi eniten ilmaston lämpenemiseen vaikuttavimmat tuotteet ja ohjelmistosta pystytään avaamaan kunkin materiaalin osalta erillinen lista korvaavista ympäristötehokkaammista materiaalivaihtoehdoista. Viimeisenä löytyy luettelo tietolähteistä, josta löytyy laskennassa käytetyt lähtötiedot kunkin materiaalin osalta.

Tiedoista löytyy materiaalin mukaan esimerkiksi teknisiä tietoja, valmistaja ja EPD:n numero. (One Click LCA, 2020)

4.2 Laskennan kohde

Laskennan kohteeksi on valittu Suomeen rakennettava päiväkotikohde. Kohde on tontiltaan, rakenteeltaan ja talotekniikaltaan ajateltuna suhteellisen tavanomainen. Näiden näkökohtien vuoksi talotekniikoiden toteutuksen eri vaihtoehdot ovat realistisia ja niitä voidaan todenmukaisesti vertailla keskenään. Rakennus on pääosin kaksikerroksinen, mutta rakennuksen ullakkokerroksissa sijaitsee ilmanvaihdon konehuoneet. Rakennuksen kerrosala konehuoneet mukaan luettuna on 1 939,5 m² ja lämmitetty nettopinta-ala on 1603 n-m². Rakennuksessa on maanvarainen alapohja ja rungon materiaalina on käytetty pääasiassa betonia. Julkisivuissa käytettävät pääasialliset materiaalit ovat rapattu tiili ja puu. Rakennuksen ilmanvaihto on lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto ja lämmönjakotapana on lattialämmitys. Rakennuksessa on yksi henkilöhissi.



Kuva 5. Kuvakaappaus kohderakennuksen tietomallista

4.3 Hiilijalanjäljen laskenta

Hiilijalanjäljen laskenta suoritettiin ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaisesti. Laskennassa huomioitiin rakennuksen elinkaaren vaiheet

YM:n menetelmän ja EN15978 standardin mukaisesti. Laskenta tehtiin One Click LCA -ohjelmistolla. Laskentaohjelma täyttää elinkaarilaskentastandardin EN 15804 vaatimukset käytettävien tietojen laadulle. Arviointijakson pituutena laskennassa käytettiin 50 vuotta. Laskenta on rajattu päiväkotirakennukseen perustuksineen eikä ympäröivää tonttia ja piharakennuksia ole otettu laskennassa huomioon. Energiankäytön hiilijalanjälki on laskettu ympäristöministeriön vuosien 2020-2070 päästökertoimien mukaan, jotka on esitetty taulukossa 1. Keskimääräisten päästökertoimet ottavat huomioon sähkön ja kaukolämmön ja -kylmän päästöjen vähenemisen tulevaisuudessa.

Taulukko 1. Energiamuotojen päästökertoimet (g CO₂/kWh) (Valtioneuvoston julkaisu, 2019)

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
Kaukolämpö	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Kaukojäähdytys	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Fossiiliset polttoaineet	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Uusiutuvat polttoaineet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Suomen ympäristökeskus on tuottanut ja ylläpitää ympäristöministeriön toimeksiannosta keskimääräisiä päästötietoja eri rakennus tuotteista, joita voidaan käyttää jos tarkempaa tietoa materiaalin tai laitteiden päästöistä ei ole saatavilla. Suomen ympäristökeskuksen laitteiden ja materiaalien päästöarvot perustuvat taustaselvitykseen, jossa on selvitetty Suomessa ja muissa Pohjoismaissa käytettävien tuotteiden keskimääräisiä päästöarvoja. Suomen ympäristökeskus on antanut myös alustavan neliökohtaisen arvion eri rakennustyyppien talotekniikan osuuden määrästä hiilijalanjäljessä. Suomen ympäristökeskuksen arvo opetusrakennuksille 50 vuoden tarkastelujaksolla talotekniikan päästöille jäähdytys mukaan luettuna rakentamisluvan hakemiseen on 1,90 kg CO₂e/n-m²/a (Suomen ympäristökeskus, 2021).

Laskennan lähtötietoina käytettiin kohteen suunnittelijoiden tietomalleja, aluesuunnitelmaa, pohjapiirustuksia ja rakennetyyppisuunnitelmia. Talotekniikan osalta

laskennassa on lähtötietoina käytetty talotekniikan tietomalleja ja määräluetteloita. Ensisijaisesti laskentaohjelmassa on käytetty suunnitelmissa esitettyä tuotetta tai Suomen ympäristökeskuksen päästötietokannasta löytyviä arvoja. Jos suunniteltua tuotetta tai Suomen ympäristökeskuksen arvoa ei ole voitu käyttää on se korvattu laskennassa ominaisuuksiltaan vastaavalla tuotteella. Talotekniikan osalta laskennasta on rajattu pois järjestelmien säätöventtiilit ja palopellit sekä tuotteiden mahdolliset vaikutukset rakenteisiin.

Suomen ympäristökeskuksen arvoja on käytetty putkistoissa ruostumattoman teräksen, kuparin ja PEX-putken osalla. Suomen ympäristökeskuksen arvoja on käytetty myös radiaattoreiden, altaiden, hanojen ja sähköosien kohdalla lukuun ottamatta kaapelihyllyjä. Henkilöhissin ja lämmönjakokeskuksen laitteiston päästöarvona on käytetty Suomen ympäristöministeriön arvoa. Talotekniikan laitteiden tekniset käyttöiät on määritelty KH-kortin 90-00403 (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot) ja ST-kortin 96.03.05 (Hoidon ja kunnossapidon toimenpidejaksot) mukaan.

Kohderakennuksen lämpöenergiatuottamista on vertailtu kaukolämmön ja vedenjäähdyttimen, kaukolämmön ja -kylmän, kaukolämmön ja maalämmön hybridijärjestelmän sekä maalämpöjärjestelmän välillä. Rakennuksen ostoenergiankulutus on määritetty uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetun asetuksen mukaan. Kaukolämmitysjärjestelmissä rakennuksen koko lämpöenergian tarve käyttöveden lämmitys mukaan lukien tuotetaan kaukolämmöllä. Maalämpöjärjestelmässä rakennuksen lämmitys ja lämmin käyttövesi sekä jäähdytys tuotetaan maalämmön avulla ja alhaisimmilla ulkolämpötilajaksoina lämmitykseen käytetään lisäksi sähkövastusta. Hybridijärjestelmässä kaukolämpöä käytetään käyttöveden lämmitykseen sekä tilojen ja ilmanvaihdon lämmitykseen alhaisina ulkolämpötilajaksoina, jolloin lämmitysjärjestelmän kokonaishyötysuhdetta saadaan nostettua. Hybridijärjestelmässä kaukolämpölaitteet mitoitetaan kattamaan rakennuksen lämpötehtarve kokonaan. Hybridijärjestelmässä jäähdytys tuotetaan maalämmöllä.

Rakennuksen lämmityksen ja jäähdytyksen tehontarve ja järjestelmien ostoenergiamäärät sekä elinkaarikustannus on simuloitu olosuhde- ja energiasimulointiohjelmisto Riuskalla.

Rakennuksen vuotuinen lämmitysenergiatarve on noin 135 MWh/a ja vuotuinen jäähdytysenergiatarve noin 10 MWh/a. Talotekniikan, valaistuksen ja laitteiden vuotuinen sähkötarve on noin 66 MWh/a. Vuotuisena energianpeittoasteena maalämmössä on käytetty 95 prosenttia. Maalämpöpumpun COP arvona on käytetty 3,5. Lämpöpumpun lämpökerroin kertoo, kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan pumpun kompressoriin syötetyllä sähköenergialla. Vedenjäähdyttimen COP arvona on käytetty 2,5, joka kertoo kuinka paljon jäähdytin tuottaa jäähdytysenergiaa siihen syötetyllä sähköenergialla.

5 LASKENNAN TULOKSET

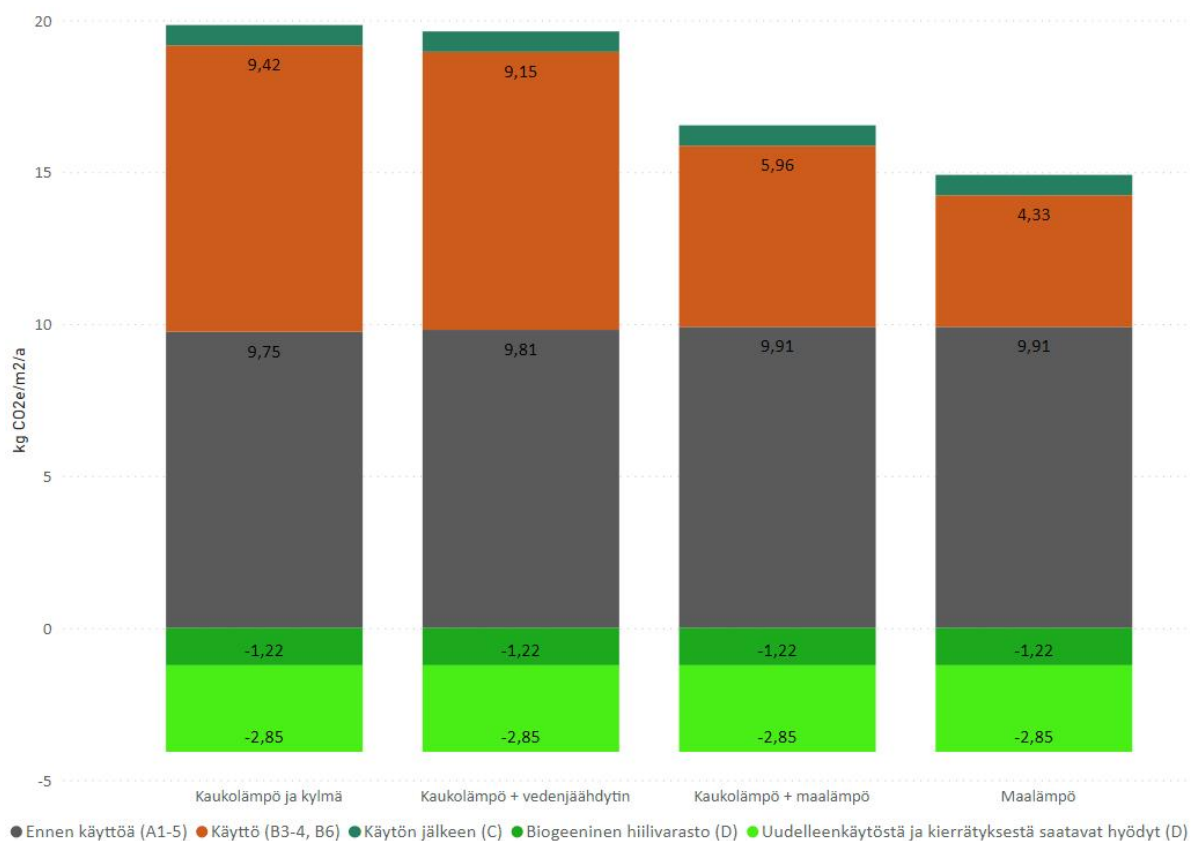
5.1 Kohderakennuksen laskennan hiilijalan- ja kädenjälki

Taulukossa 2 on esitetty hiilijalanjälkilaskennan tulokset energiantuottojärjestelmittäin. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki vaihtelee laskentatapauksen mukaan välillä 1 552 – 1 143 t CO₂e, joka on neliökohtaisina hiilidioksidiekvivalenttina 19,84 – 14,92 kg CO₂e/n-m²/a. Suurin hiilijalanjälki on ympäristöministeriön elinkaarilaskennan mukaisen menetelmän mukaan laskettuna kaukolämmön ja -kylmän laskentatapauksessa. Toiseksi suurin kokonaishiilijalanjälki aiheutuu kaukolämmön ja vedenjäähdyttimen laskentatapauksessa. Kaukolämmön- ja maalämmön hybridijärjestelmän hiilijalanjälki on toiseksi pienin ja pienin hiilijalanjälki aiheutuu maalämmön laskentatapauksen mukaan.

Taulukko 2. Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälkilaskennan tulokset

	Hiilijalanjälki	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki	Hiilikädenjälki
Energiantuottojärjestelmä	t CO ₂ e	kg CO ₂ e/n-m ² /a	t CO ₂ e	kg CO ₂ e/n-m ² /a
Kaukolämpö ja -kylmä	1 538	19,84	- 323	- 4,04
Kaukolämpö, vedenjäähdytin	1 520	19,63	- 323	- 4,04
Hybridi KL + ML	1 273	16,54	- 323	- 4,04
Maalämpö	1 143	14,92	- 323	- 4,04

Kuvassa 6 on esitetty energiantuottojärjestelmittäin kohderakennuksen hiilijalanjäljen kokonaiskuva ja miten hiilijalanjälki jakautuu eri vaiheiden välillä. Kuvaajassa on esitetty hiilijalanjälki ennen käyttöä vaiheen (A1-A5), käytönaikaisten päästöjen (B3-4, B6), käytön jälkeisten (C) päästöjen mukaan ja rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt tai haitat (D).



Kuva 6. Eri lämmöntuottojärjestelmien hiilijalan- ja kädenjäljen kokonaiskuva

Kaukolämmön ja -kylmän laskentatapauksen kokonaishiihijalanjälki on 19,84 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 1 538 t CO₂e. Hiilijalanjälki ennen käyttöä on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 9,75 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 781 t CO₂e. Tässä laskentatapauksessa ennen käyttöä vaiheesta aiheutuu vähiten päästöjä verrattuna muihin laskentatapauksiin johtuen lämpöpumppujen ja vedenjäähdyttimen materiaalien puuttumisesta. Hiilijalanjälki käytön aikana on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 9,42 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 755 t CO₂e. Käytön aikaiset päästöt ovat tässä laskentatapauksessa suurimmat. Hiilijalanjälki käytön jälkeen on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 0,67 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 53 t CO₂e. Käytön jälkeiset päästöt ovat kaikissa laskentatapauksissa samat.

Kaukolämmön ja vedenjäähdyttimen laskentatapauksen kokonaishiihijalanjälki on 19,63 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 1 520 t CO₂e. Kaukolämmön ja vedenjäähdyttimen laskentatapauksen hiilijalanjälki ennen käyttöä on neliökohtaisena

hiilidioksidiekvivalenttina 9,81 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 786 t CO₂e. Tässä laskentatapauksessa ennen käyttöä vaiheesta aiheutuu toiseksi vähiten päästöjä verrattuna muihin laskentatapauksiin johtuen lämpöpumppujen materiaalien puuttumisesta. Hiilijalanjälki käytön aikana on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 9,15 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 733 t CO₂e. Käytön aikaiset päästöt puolestaan ovat toiseksi suurimmat tässä laskentatapauksessa.

Kaukolämmön ja maalämmön hybridijärjestelmän kokonaishiilijalanjälki on 16,54 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 1 273 t CO₂e. Laskentatapauksen hiilijalanjälki ennen käyttöä on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 9,91 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 794 t CO₂e. Tässä laskentatapauksessa ennen käyttöä vaiheesta aiheutuu eniten päästöjä verrattuna muihin laskentatapauksiin. Hiilijalanjälki käytön aikana on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 5,96 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 477 t CO₂e. Käytön aikaiset päästöt ovat toiseksi pienimmät tässä laskentatapauksessa.

Maalämmön kokonaishiilijalanjälki on 14,92 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 1 143 t CO₂e. Laskentatapauksen hiilijalanjälki ennen käyttöä on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 9,91 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 794 t CO₂e. Tässä laskentatapauksessa käytön aikaisesta vaiheesta aiheutuu vähiten päästöjä verrattuna muihin laskentatapauksiin. Hiilijalanjälki käytön aikana on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 4,33 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 347 t CO₂e. Käytön aikaiset päästöt puolestaan ovat kaikista pienimmät tässä laskentatapauksessa.

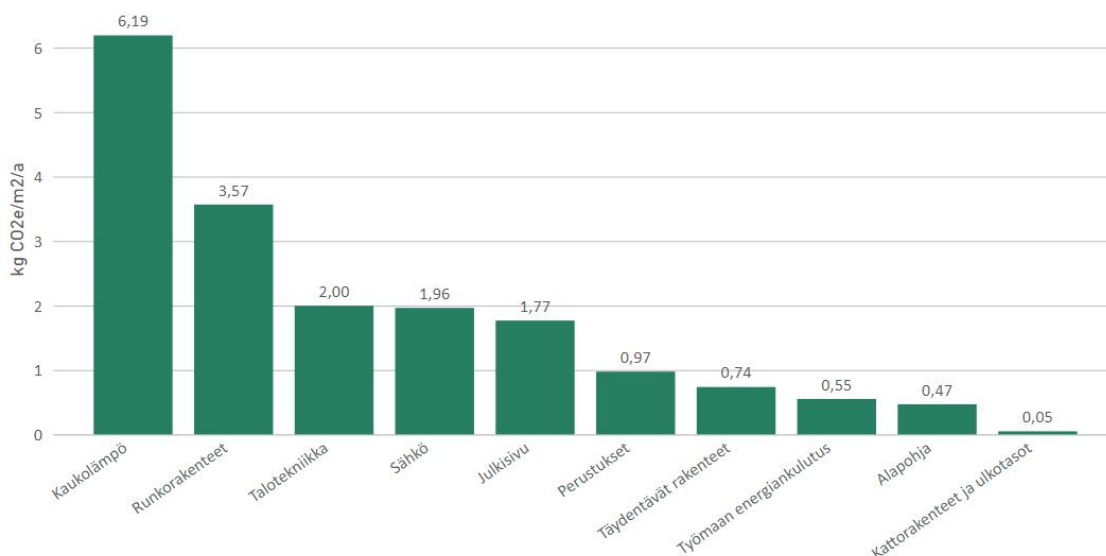
Hiilikädenjälki kattaa uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt (D) elinkaaren lopussa sekä biogeenisen hiilivaraston (D). Biogeenisellä hiilivarastolla tarkoitetaan biopohjaisiin materiaaleihin varastoitunutta hiilidioksidia. Rakennuksen elinkaaren positiiviset ilmastovaikutukset ovat 323 t CO₂e, joka on hiilidioksidiekvivalenttina 4,07 kg CO₂e/n-m²/a. Suurin osa hiilikädenjäljestä muodostuu uudelleenkäytöstä sekä kierrätyksestä saatavista hyödyistä. Talotekniikan osuus kaikista uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavista hyödyistä on noin 13 prosenttia. Suurimmat uudelleenkäytöstä ja kierrätyksestä saatavat hyödyt muodostuvat talotekniikkajärjestelmien uusiokäyttöön

soveltuvista materiaaleista kuten teräksestä ja kuparista. Talotekniset järjestelmät eivät tavallisesti sisällä biogeenistä hiilivarastoa.

Laskentatuloksista voidaan havaita, että maalämpö- ja hybridijärjestelmät aiheuttavat selkeästi pienemmät käytönaikaiset päästöt (B3-4, B6) verattuna kaukolämmön laskentatapauksiin. Pienimmät päästöt ennen käyttöä vaiheessa (A1-A5) aiheutuvat kaukolämmön ja -kylmän laskentavaihtoehdossa. Suurimmat päästöt ennen käyttöä vaiheessa aiheutuvat kaukolämmön ja maalämmön laskentatapauksessa. Hiilikädenjäljessä ei ole havaittavaa eroa laskentatapauksien välillä.

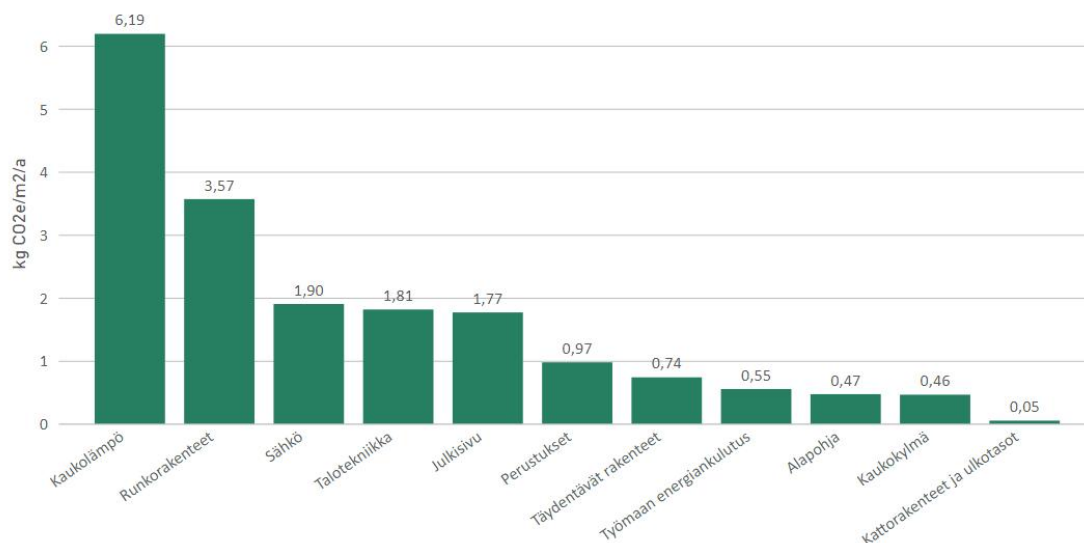
5.2 Hiilijalanjäljen jakautuminen pääryhmittäin

Tässä luvussa on esitetty hiilijalanjäljen jakautuminen eri pääryhmien välillä. Kuvassa 7 on esitetty hiilijalanjäljen jakautuminen pääryhmittäin kaukolämmön ja vedenjäähdyttimen laskentatapauksen mukaan. Pääryhmittäin tarkasteltuna suurin osa päästöistä aiheutuu kaukolämmön kulutuksesta käyttövaiheen aikana. Toiseksi eniten päästöjä aiheutuu runkorakenteiden materiaaleista ja kolmanneksi eniten talotekniikan materiaaleista. Käyttövaiheen sähkön kulutuksesta aiheutuu neljänneksi eniten päästöjä. Myös julkisivun materiaaleilla, perustuksilla, täydentävillä rakenteilla, alapohjalla ja työmaan energiakulutuksella on havaittavaa vaikutusta päästöihin. Talotekniikan materiaalien hiilijalanjälki on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina $2,00 \text{ kg CO}_2\text{e/n-m}^2/\text{a}$, joka on kokonaispäästöinä $160 \text{ t CO}_2\text{e}$. Talotekniikan osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä on 11,1 prosenttia ja materiaalien hiilijalanjäljestä 19,1 prosenttia.



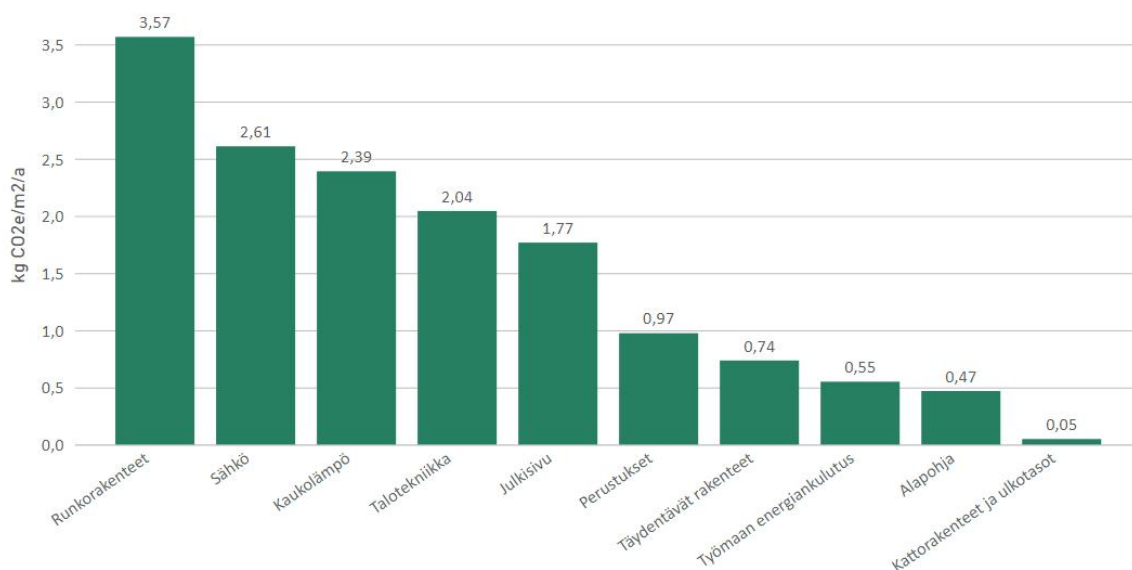
Kuva 7. Kaukolämpö ja vedenjäähdytin laskentatapauksen hiilijalanjäljen tulokset pääryhmittäin (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 8 on esitetty hiilijalanjäljen jakautuminen pääryhmittäin kaukolämmön ja -kylmän laskentatapauksen mukaan. Pääryhmittäin tarkasteltuna suurin osa päästöistä aiheutuu kaukolämmön kulutuksesta käyttövaiheen aikana. Toiseksi eniten päästöjä aiheutuu runkorakenteiden materiaaleista ja kolmanneksi eniten sähkön kulutuksesta käyttövaiheen aikana. Talotekniikan materiaaleista aiheutuu neljänneksi eniten päästöjä. Talotekniikan materiaalien hiilijalanjälki on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 1,81 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästönä 145 t CO₂e. Talotekniikan osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä on laskentavaihtoehdossa 10,1 prosenttia ja materiaalien hiilijalanjäljestä 17,7 prosenttia.



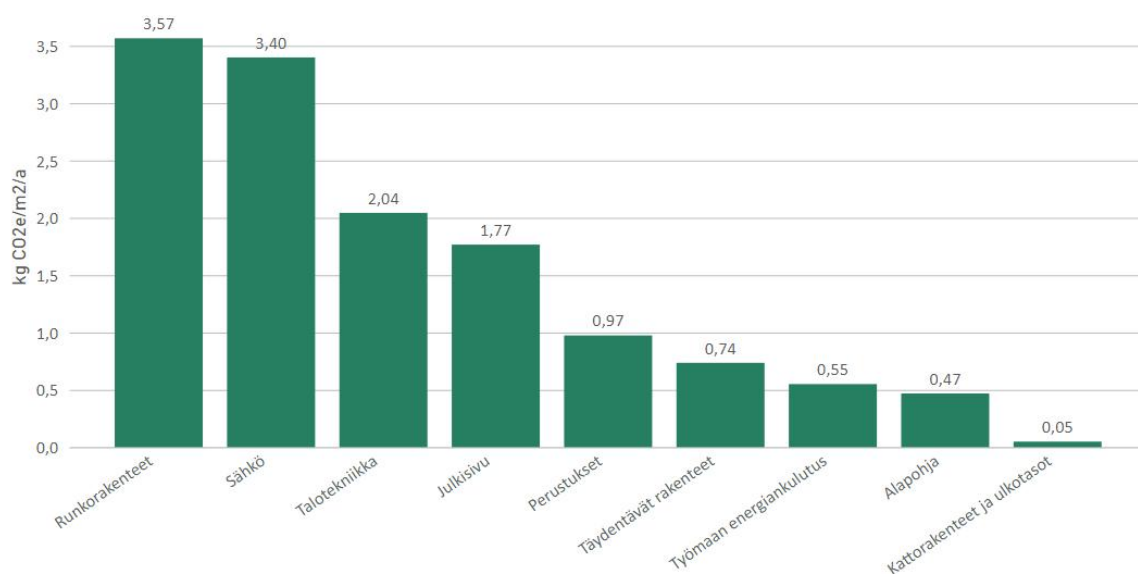
Kuva 8. Kaukolämpö ja -kylmä laskentatapauksen hiilijalanjäljen tulokset pääryhmittäin (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 9 on esitetty hiilijalanjäljen jakautuminen pääryhmittäin maalämmön ja kaukolämmön laskentatapauksen mukaan. Pääryhmittäin tarkasteltuna suurin osa päästöistä aiheutuu runkorakenteiden materiaaleista. Toiseksi eniten päästöjä aiheutuu sähkön kulutuksesta käyttövaiheen aikana ja kolmanneksi eniten kaukolämmön kulutuksesta käyttövaiheen aikana. Talotekniikan materiaaleista aiheutuu neljänneksi eniten päästöjä. Talotekniikan materiaalien hiilijalanjälki on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 2,04 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästöinä 163 t CO₂e. Talotekniikan osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä on laskentavaihtoehdossa 13,5 prosenttia ja materiaalien hiilijalanjäljestä 19,4 prosenttia.



Kuva 9. Maalämpö ja kaukolämpö hybridijärjestelmän laskentatapauksen hiilijalanjäljen tulokset pääryhmittäin (kg CO₂e/n-m²/a)

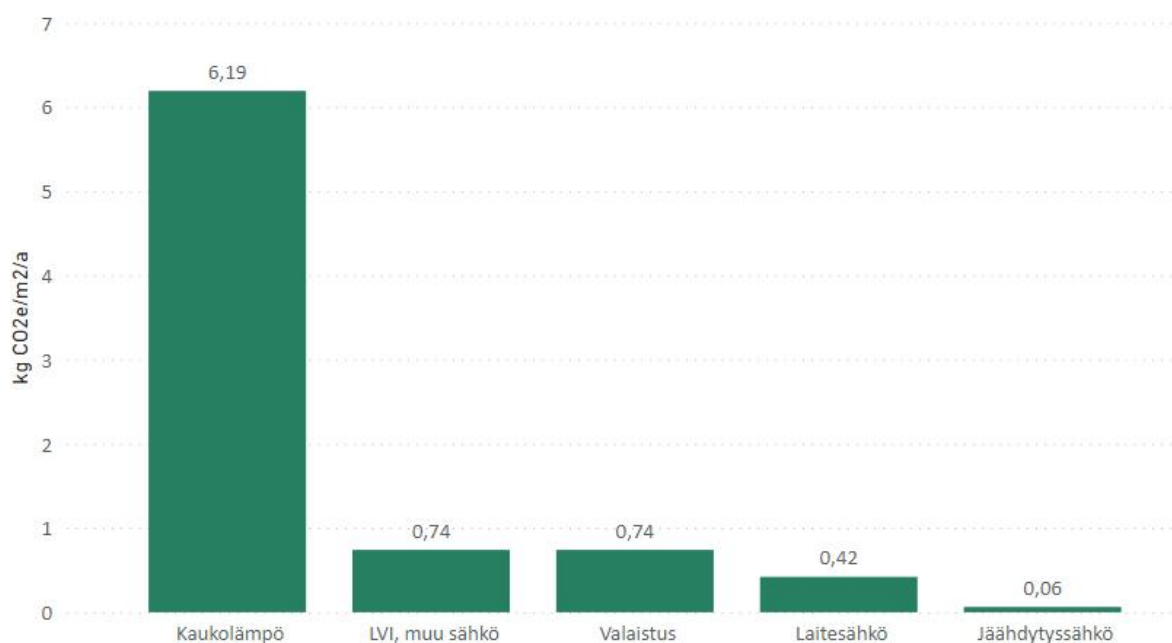
Kuvassa 10 on esitetty hiilijalanjäljen jakautuminen pääryhmittäin maalämmön laskentatapauksen mukaan. Pääryhmittäin tarkasteltuna suurin osa päästöistä aiheutuu runkorakenteiden materiaaleista. Toiseksi eniten päästöjä aiheuttaa sähkön kulutuksesta käyttövaiheen aikana ja kolmanneksi eniten talotekniikan materiaaleista. Myös julkisivun materiaaleilla, perustuksilla, täydentävillä rakenteilla ja työmaan energiakulutuksella on huomattava vaikutus päästöihin. Talotekniikan materiaalien hiilijalanjälki on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 2,04 kg CO₂e/n-m²/a, joka on kokonaispäästönä 163 t CO₂e. Talotekniikan osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä on laskentavaihtoehdossa 15,0 prosenttia ja materiaalien hiilijalanjäljestä 19,4 prosenttia. Tässä laskentatapauksessa talotekniikan materiaalien osuus prosentuaalisesti on kaikista suurin, koska käytön aikaiset päästöt ovat pienimmät. Tästä tuloksesta voidaan päätellä, että energiatehokkaat ratkaisut kasvattavat materiaalien vaikutusta hiilijalanjäljessä.



Kuva 10. Maalämpö laskentatapauksen hiilijalanjäljen tulokset pääryhmittäin (kg CO₂e/n-m²/a)

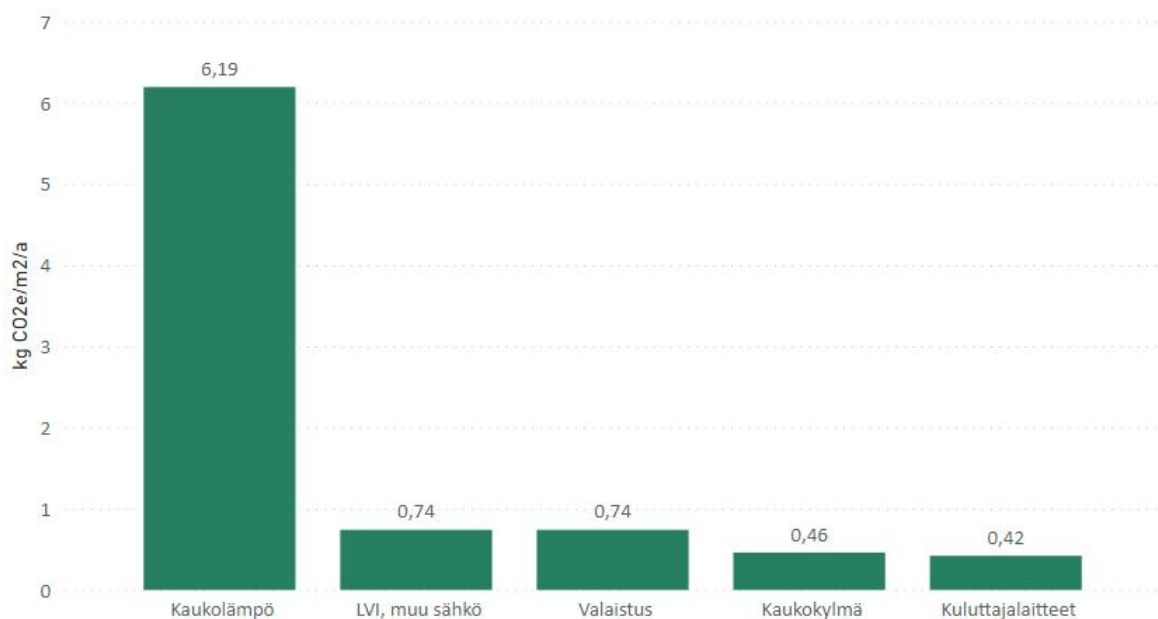
5.3 Energiankäytön jakautuminen hiilijalanjäljessä

Kuvassa 11 on esitetty energiakäytön hiilijalanjäljen jakautuminen kaukolämmön ja vedenjäähdyttimen laskentatapauksen mukaan. Energiankäytön kokonaispäästöt ovat yhteensä 653 t CO₂e, joka on 41,5 prosenttia laskentatapauksen kokonaishiilijalanjäljestä. Selvästi suurin osa päästöistä aiheutuu kaukolämmöstä. Kaukolämmön osuus on hiilidioksidiekvivalenttina 6,19 kg CO₂e/n-m²/a, joka on 76 prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä. LVI-tekniikan sähkön käytön (LVI, muu sähkö) päästöt ovat hiilidioksidiekvivalenttina 0,74 kg CO₂e/n-m²/a, joka on yhdeksän prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä. LVI-tekniikan sähkön käyttöön sisältyy ilmanvaihtojärjestelmän puhallinsähkö sekä kiertovesipumppujen käyttämä sähköenergia. Valaistuksen osuus päästöistä on yhdeksän prosenttia, kuluttajalaitteiden sähkön päästöjen osuus on viisi prosenttia ja jäähdytys­sähkön päästöjen osuus 0,8 prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä.



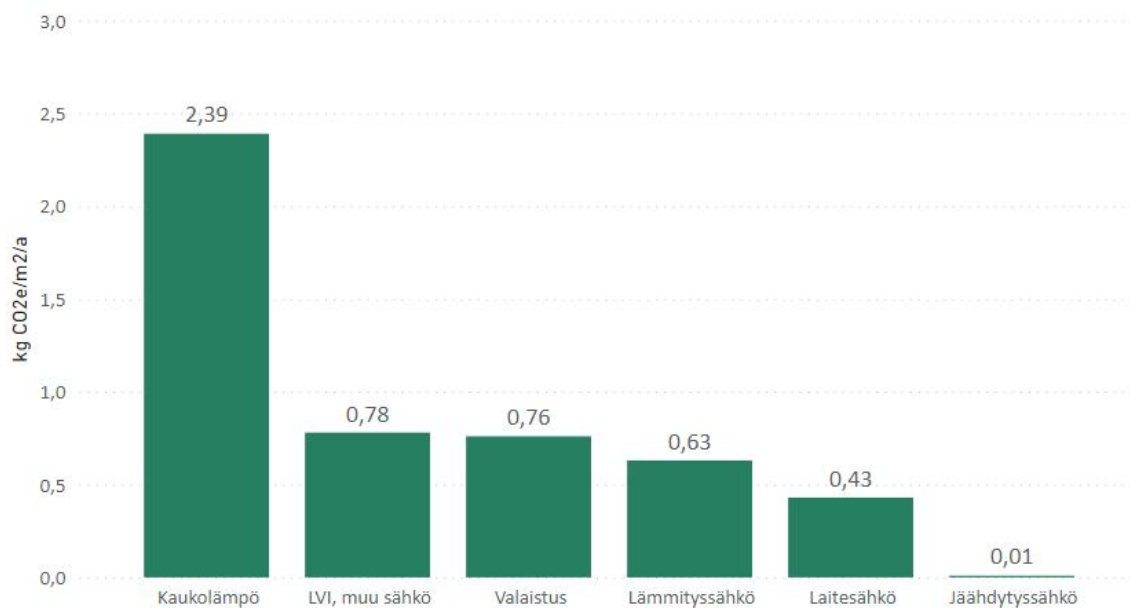
Kuva 11. Kaukolämpö ja vedenjäähdytin laskentatapauksen energiakäytön jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 12 on esitetty energiakäytön hiilijalanjäljen jakautuminen kaukolämmön ja kylmän laskentavaihtoehdon mukaan. Energiankäytön kokonaispäästöt ovat yhteensä 648 t CO₂e, joka on 43,1 prosenttia laskentatapauksen kokonaishiilijalanjäljestä. Selvästi suurin osa päästöistä aiheutuu kaukolämmöstä. Kaukolämmön osuus on hiilidioksidiekvivalenttina 6,19 kg CO₂e/n-m²/a, joka on 72 prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä. LVI-tekniikan sähkön käytön päästöt ovat hiilidioksidiekvivalenttina 0,74 kg CO₂e/n-m²/a, joka on yhdeksän prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä. Valaistuksen osuus päästöistä on yhdeksän prosenttia, kuluttajalaitteiden sähkön päästöjen osuus on viisi prosenttia ja kaukokylmän päästöjen osuus on myös viisi prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä.



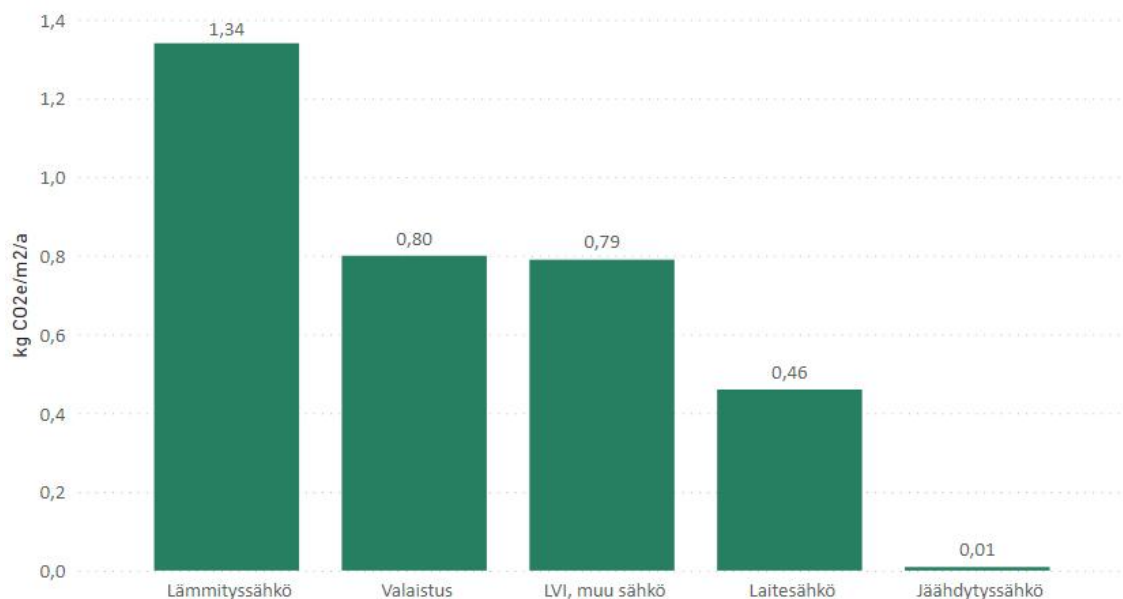
Kuva 12. Kaukolämpö ja -kylmän laskentatapauksen energiakäytön jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 13 on esitetty energiakäytön hiilijalanjäljen jakautuminen maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmän mukaan. Energiakäytön kokonaispäästöt ovat yhteensä 400 t CO₂e, joka on 30,3 prosenttia laskentatapauksen kokonaishiilijalanjäljestä. Kaukolämmön päästöt ovat hiilidioksidiekvivalenttina 2,59 kg CO₂e/n-m²/a, joka on 48 prosenttia energiakäytön hiilijalanjäljestä. Kaukolämmön pienempi osuus selittyy sillä, että osa lämmitysenergiasta tuotetaan maalämmöllä, jonka osuus on esitetty lämmityssähkössä. LVI-tekniikan sähkön käytön päästöt ovat 16 prosenttia energiakäytön hiilijalanjäljestä ja valaistuksen osuus on 15 prosenttia. Lämmityssähkön osuus on 13 prosenttia ja kuluttajalaitteiden sähkön osuus yhdeksän prosenttia energiakäytön hiilijalanjäljestä. Jäähdytys­sähkön osuus on tässä laskentatapauksessa vain 0,2 prosenttia energiakäytön hiilijalanjäljestä, johtuen maalämpöjärjestelmän erinomaisesta hyötysuhteesta tuottaa jäähdytysenergiaa.



Kuva 13. Maalämpö ja kaukolämpö hybridijärjestelmä laskentatapauksen energiakäytön jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 14 on esitetty energiakäytön hiilijalanjäljen jakautuminen maalämpöjärjestelmän mukaan. Energiankäytön kokonaispäästöt ovat yhteensä 272 t CO₂e, joka on 22,7 prosenttia laskentatapauksen kokonaishiilijalanjäljestä. Tässä laskentatapauksessa kaikki lämmitysenergia tuotetaan sähköllä maalämmön avulla, jolloin myös lämmityksen kokonaispäästöt ovat tässä laskentatapauksessa kaikkein pienimmät. Lämmityssähkön päästöt ovat hiilidioksidiekvivalenttina 1,34 kg CO₂e/n-m²/a, joka on 39 prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä. Valaistuksen osuus päästöistä 24 prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä. LVI-tekniikan sähkön käytön on 23 prosenttia, kuluttajalaitteiden sähkön osuus on 14 prosenttia ja jäähdytys sähkön osuus 0,3 prosenttia energiankäytön hiilijalanjäljestä.

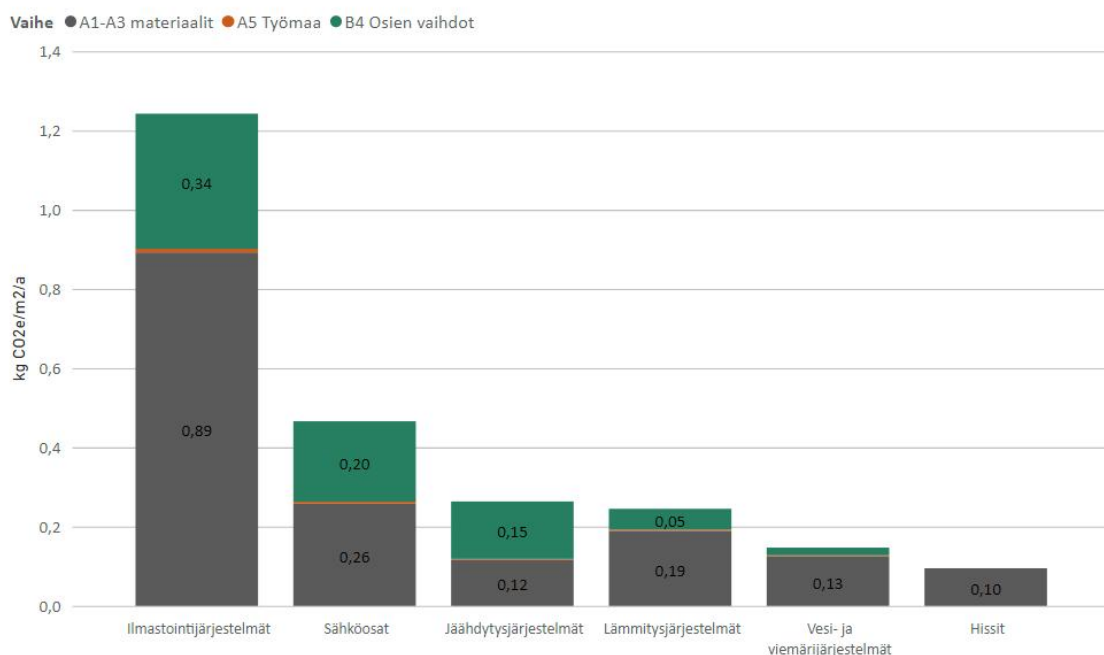


Kuva 14. Maalämpö laskentatapauksen energiakäytön jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

5.4 Talotekniikan järjestelmien hiilijalanjäljen jakautuminen

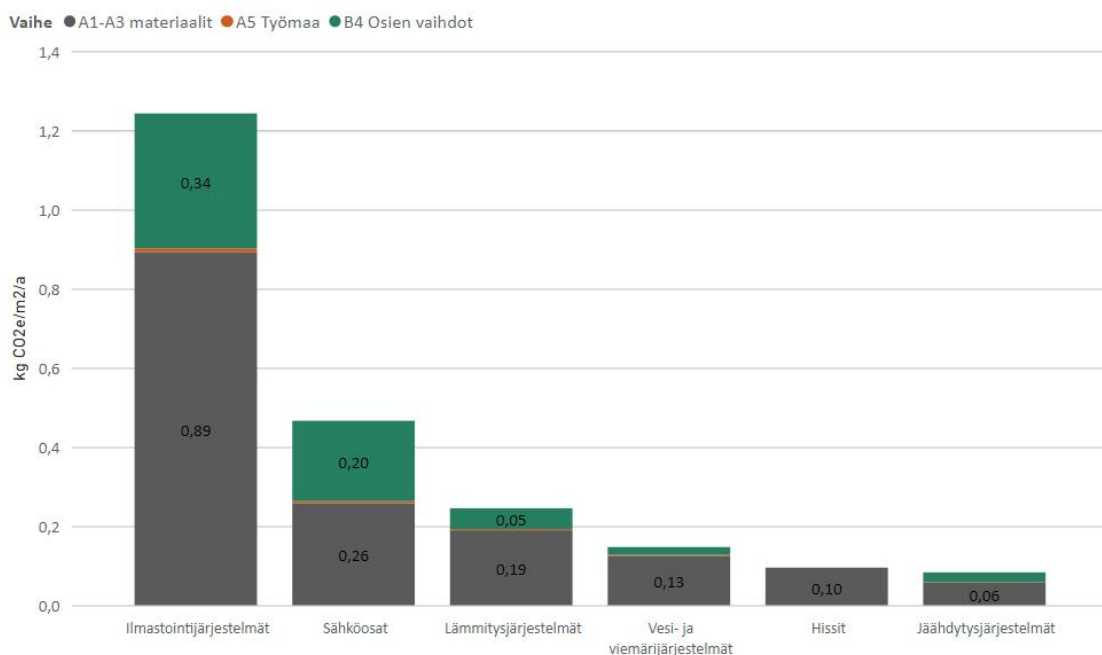
Tässä luvussa on esitetty järjestelmittäin talotekniikan ennen käyttöä aiheutuvat päästöt hiilidioksidiekvivalentteina. Päästöjä aiheutuu materiaalien valmistuksesta vaiheessa A1-A3, työmaan aikaisesta talotekniikan liittyvistä toiminnoista vaiheessa A5 ja talotekniikan osien vaihdoista vaiheessa B4. Talotekniikan ennen käyttöä vaiheen hiilijalanjälkeä tarkastellaan ilmastointi-, lämmitys-, jäähdytys-, sähkö sekä vesi- ja viemärijärjestelmittäin. Myös hissit luetaan taloteknisiin järjestelmiin kuuluvaksi ympäristöministeriön mukaisessa laskentamenetelmässä. Laskentatapauksien välillä päästöjen erot ovat lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä.

Kuvassa 15 on esitetty talotekniikan materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen kaukolämmön ja vedenjäähdyttimen laskentatapauksessa. Suurimmat päästöt aiheutuvat selvästi ilmanvaihtojärjestelmästä, joka on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 1,23 kg CO₂e/n-m²/a. Toiseksi eniten päästöjä aiheutuu sähköjärjestelmästä, jonka päästöt ovat 0,46 kg CO₂e/n-m²/a ja kolmanneksi eniten päästöjä aiheutuu jäähdytysjärjestelmästä, jonka päästöt 0,27 kg CO₂e/n-m²/a. Lämmitysjärjestelmien päästöt ovat 0,24 kg CO₂e/n-m²/a. Vesi- ja viemärijärjestelmien päästöjen osuus on 0,13 kg CO₂e/n-m²/a ja kohteen henkilöhissistä aiheutuvat päästöt ovat 0,10 kg CO₂e/n-m²/a.



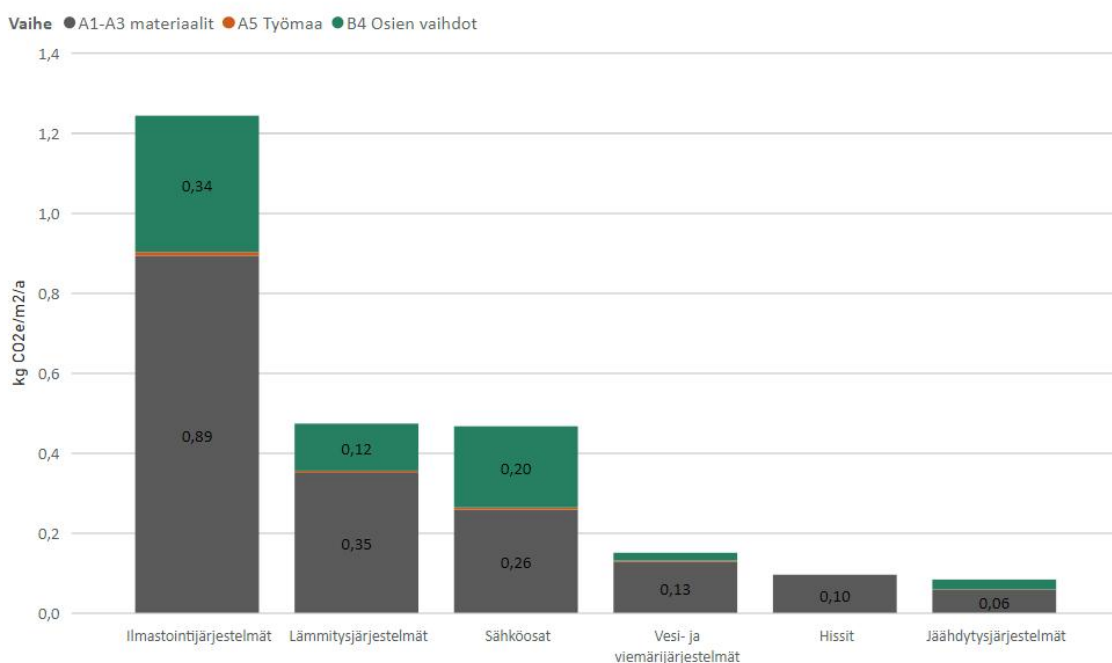
Kuva 15. Kaukolämpö ja vedenjäähdytin laskentatapauksen talotekniikan materiaalien jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 16 on esitetty talotekniikan materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen kaukolämmön ja -kylmän laskentatapauksessa. Suurimmat päästöt aiheutuvat ilmanvaihtojärjestelmästä 1,23 kg CO₂e/n-m²/a ja toiseksi eniten päästöjä aiheuttaa sähköjärjestelmästä, jonka päästöt ovat 0,46 kg CO₂e/n-m²/a. Kolmanneksi eniten päästöjä aiheuttaa lämmitysjärjestelmistä joiden päästöt ovat 0,24 kg CO₂e/n-m²/a. Vesi- ja viemärijärjestelmien päästöjen osuus on 0,13 kg CO₂e/n-m²/a ja kohteen henkilöhisistä aiheutuvat päästöt ovat 0,10 kg CO₂e/n-m²/a. Jäähdytysjärjestelmän päästöt ovat 0,06 kg CO₂e/n-m²/a.



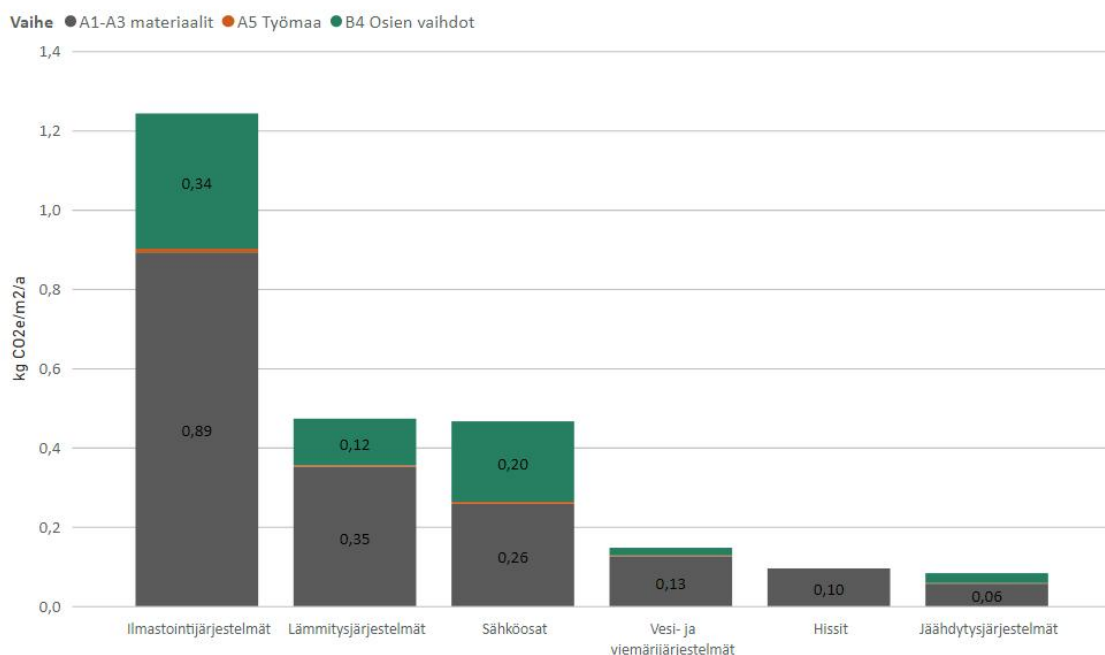
Kuva 16. Kaukolämpö ja -kylmä laskentatapauksen talotekniikan materiaalien jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 17 on esitetty talotekniikan materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen maalämmön ja kaukolämmön hybridijärjestelmän laskentatapauksessa. Suurimmat päästöt aiheutuvat ilmanvaihtojärjestelmästä 1,23 kg CO₂e/n-m²/a ja toiseksi eniten päästöjä aiheuttaa sähköjärjestelmästä, jonka päästöt ovat 0,46 kg CO₂e/n-m²/a. Kolmanneksi eniten päästöjä aiheuttaa lämmitysjärjestelmistä joiden päästöt ovat 0,40 kg CO₂e/n-m²/a. Vesi- ja viemärijärjestelmien päästöjen osuus on 0,13 kg CO₂e/n-m²/a ja kohteen henkilöhissistä aiheutuvat päästöt ovat 0,10 kg CO₂e/n-m²/a. Jäähdytysjärjestelmän päästöt ovat 0,06 kg CO₂e/n-m²/a.



Kuva 17. Maalämpö ja kaukolämpö hybridijärjestelmä laskentatapauksen talotekniikan materiaalien jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 18 on esitetty talotekniikan materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen maalämpö laskentavaihtoehdossa. Suurimmat päästöt aiheutuvat ilmanvaihtojärjestelmästä 1,23 kg CO₂e/n-m²/a ja toiseksi eniten päästöjä aiheutuu lämmitysjärjestelmästä, jonka päästöt ovat 0,47 kg CO₂e/n-m²/a. Kolmanneksi eniten päästöjä aiheutuu sähköjärjestelmistä 0,46 kg CO₂e/n-m²/a. Vesi- ja viemärijärjestelmien päästöjen osuus on 0,13 kg CO₂e/n-m²/a ja kohteen henkilöhissistä aiheutuvat päästöt ovat 0,10 kg CO₂e/n-m²/a. Jäähdytysjärjestelmän päästöt ovat järjestelmittain tarkasteltuna 0,06 kg CO₂e/n-m²/a.

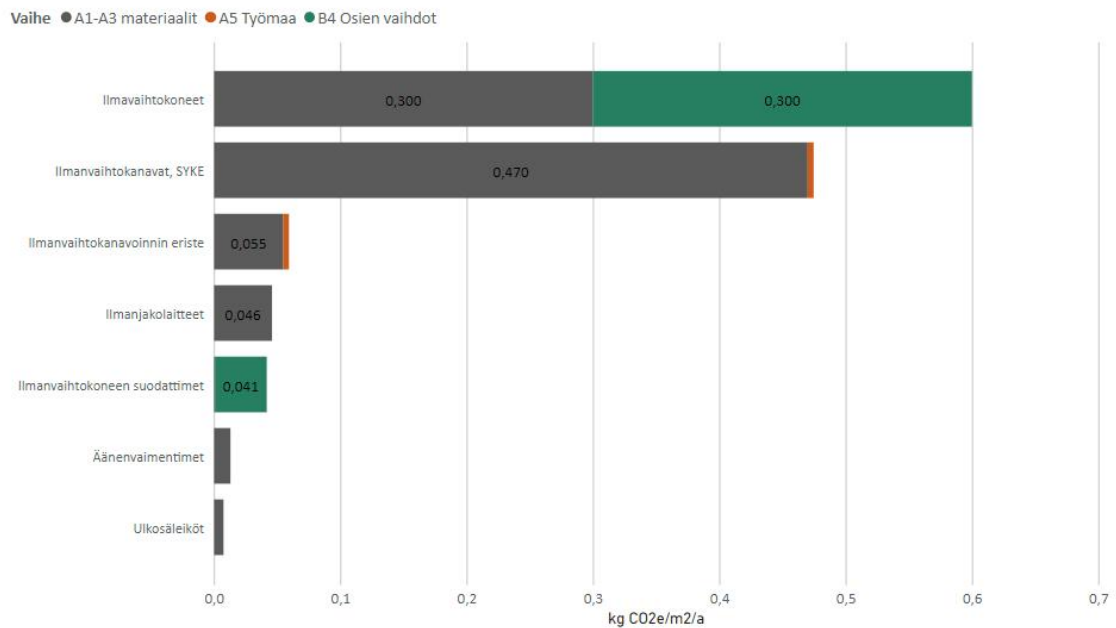


Kuva 18. Maalämpö laskentavaihtoehdon talotekniikan materiaalien jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

5.5 Talotekniikan järjestelmäkohtainen hiilijalanjäljen jakautuminen

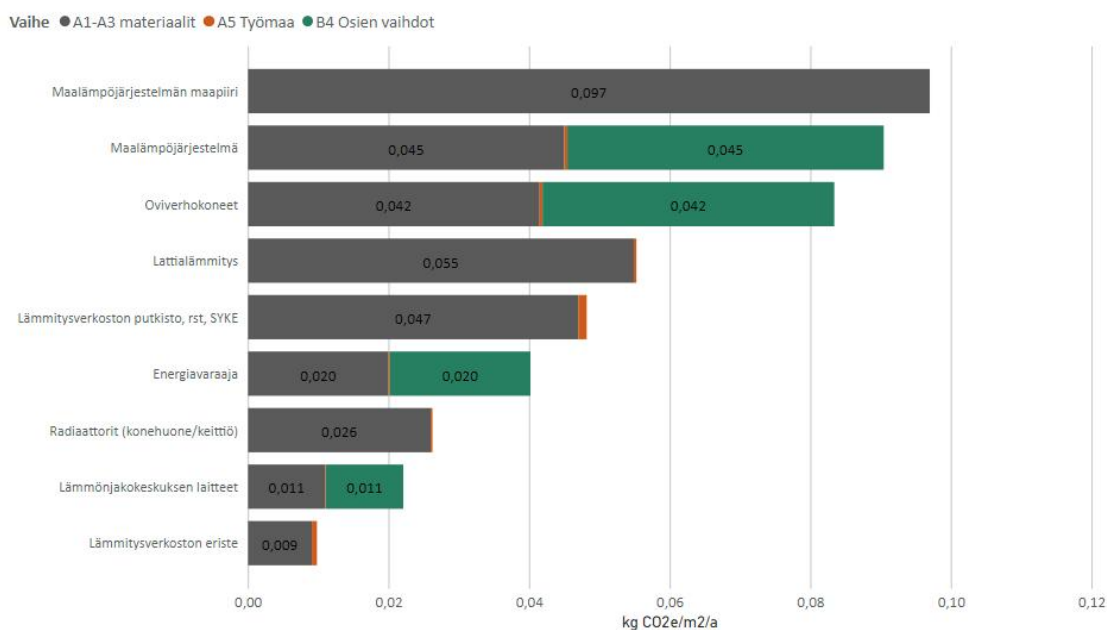
Tässä luvussa esitettävissä talotekniikan järjestelmäkohtaisissa hiilijalanjälki kuvaajissa on esimerkkitapauksena käytetty ympäristöministeriön elinkaarilaskennan mukaisen menetelmän mukaan laskettua kaukolämmön ja maalämmön laskentatapausta. Laskentavaihtoehdon kokonaishiilijalanjälki on 1 273 t CO₂e, joka on neliökohtaisena hiilidioksidiekvivalenttina 16,54 kg CO₂e/n-m²/a.

Kuvassa 19 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen eri pääryhmittäin jaoteltuna. Ilmanvaihtojärjestelmän päästöjä materiaaliokohtaisesti tarkasteltaessa voidaan huomata ilmanvaihtokoneiden ja kanavistojen aiheuttavan selkesti suurimmat päästöt. Ilmanvaihtokoneiden päästöjä kasvattaa erityisesti ilmanvaihtokoneiden uusiminen 25 vuoden kohdalla. Ilmanvaihtokanavoinnin eriste, ilmanvaihtokoneiden suodattimien vuosittaiset vaihdot ja ilmanjakolaitteet aiheuttavat myös havaittavia päästöjä. Ilmanjakolaitteisiin sisältyy ilmanvaihdon päätelaitteet sekä ulkoilmakatokset. Ilmanvaihtokanavien ja ilmanvaihtokoneiden päästöarvoina on käytetty Suomen ympäristökeskuksen keskimääräisiä päästöarvoja. Muiden tuotteiden ja materiaalien päästöarvoina on käytetty laitekohtaista EPD-ympäristöselostetta.



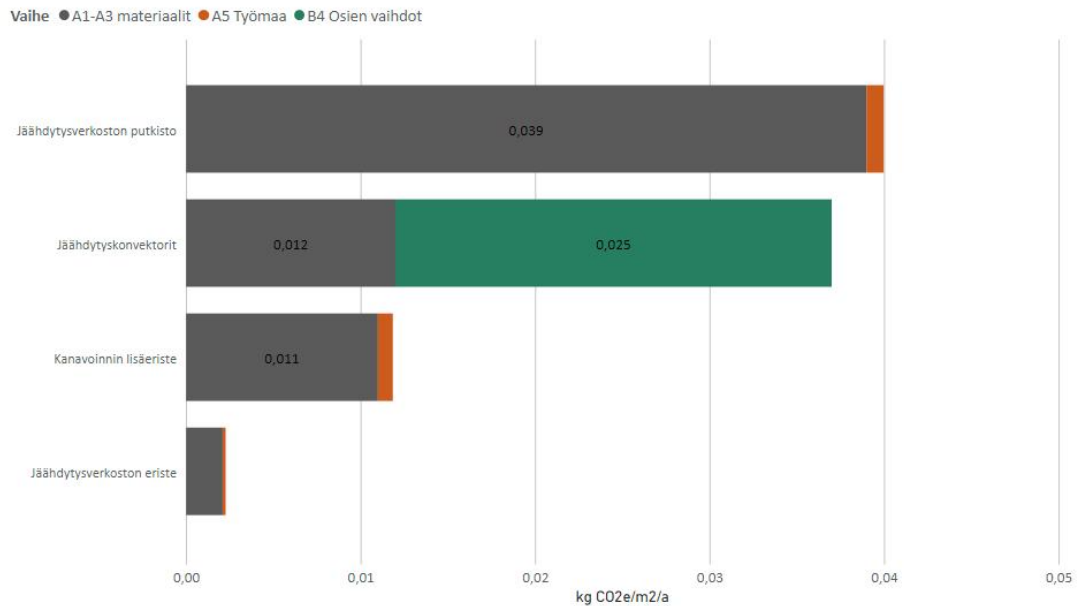
Kuva 19. Ilmanvaihtojärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 20 on esitetty lämmitysjärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen ryhmittäin jaoteltuna. Lämmitysjärjestelmän päästöjä materiaalienkohtaisesti tarkasteltaessa voidaan huomata maalämpöjärjestelmän ja maapiirin aiheuttavan selvästi suurimman osan päästöistä. Kolmanneksi eniten päästöjä aiheutuu oviverhokoneiden materiaaleista. Merkittäviä päästöjä lämmitysjärjestelmän hiilijalanjälkeä ajatellen aiheutuu myös lattialämmityksen, lämmitysrunkoputkiston ja energiavaraajan materiaaleista. Radioattoreiden aiheuttama vähäinen päästö määrä selittyy niiden käytöstä vain ilmanvaihdon konehuoneessa ja keittiössä. Maalämpöjärjestelmän, oviverhokoneiden ja energiavaraajan päästöjä kasvattaa niiden laskennallisen käyttöiän mukainen uusiminen 25 vuoden kohdalla. Lämmönjakokeskuksen laitteet aiheuttavat toiseksi vähiten päästöjä, vaikka ne uusitaan laskennallisesti 25 vuoden käytön jälkeen. Vähiten päästöjä aiheutuu lämmitysverkoston eristeestä. Lämmitysverkoston putkiston ja radioattoreiden päästöarvoina on käytetty Suomen ympäristökeskuksen keskimääräisiä arvoja. Lämmönjakokeskuksen laitteiden päästöarvoina on käytetty ympäristökeskuksen neliökohtaista keskiarvoa. Muiden tuotteiden ja materiaalien päästöarvoina on käytetty laitekohtaista EPD-ympäristöselostetta.



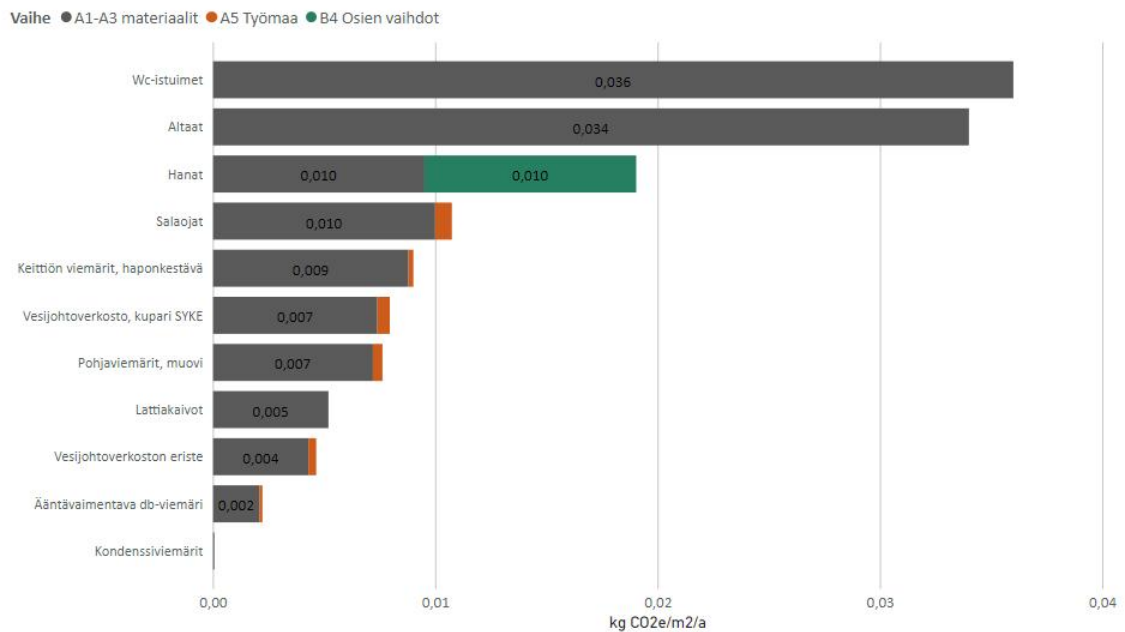
Kuva 20. Lämmitysjärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 21 on esitetty jäähdytysjärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen eri pääryhmittäin jaoteltuna. Jäähdytysjärjestelmän päästöjä materiaaliakohtaisesti tarkasteltaessa voidaan huomata jäähdytysverkoston ja jäähdytyskonvektoreiden aiheuttavan selvästi suurimman osan päästöistä jäähdytyksen hiilijalanjäljestä. Jäähdytysverkoston eristyksestä ja ilmanvaihtokanavien lisäeristyksestä aiheutuu myös päästöjä jäähdytysjärjestelmän hiilijalanjälkeä arvioidessa. Jäähdytysverkoston putkiston päästöarvoina on käytetty Suomen ympäristökeskuksen keskimääräisiä arvoja. Muiden jäähdytysverkoston tuotteiden ja materiaalien päästöarvoina on käytetty laitekohtaista EPD-ympäristöselostetta.



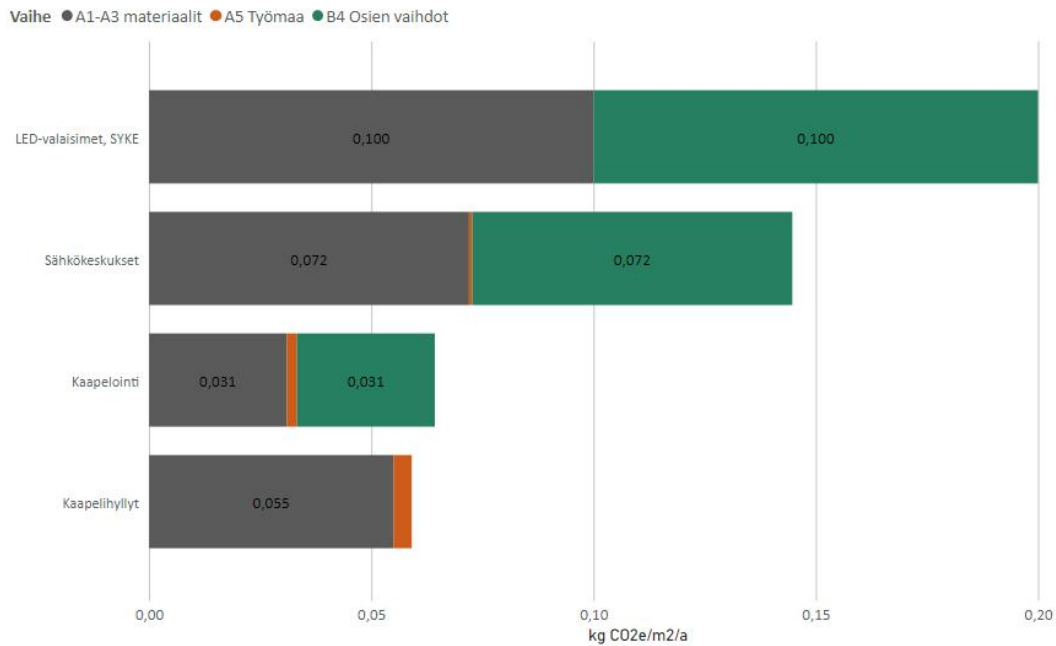
Kuva 21. Jäähdytysjärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 22 on esitetty vesi- ja viemärijärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen eri pääryhmittäin jaoteltuna. Vesi- ja viemärijärjestelmän päästöjä materiaaliakohtaisesti tarkasteltaessa voidaan huomata suurimman osan aiheutuvan wc-istuimista, hanoista ja altaista. Merkittäviä päästöjä aiheutuu salaojista, jotka on tässä työssä laskettu viemäröintijärjestelmiin. Päästöjä aiheutuu myös vesi- ja viemärijärjestelmän hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa keittiön viemäreistä, vesijohtoverkosta, lattiakaivoista ja pohjaviemäreistä. Kerroksissa kulkevat ääntä vaimentavat desibeliviemärit eivät aiheuta suuria päästöjä vesi- ja viemärijärjestelmän hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa. Suomen ympäristökeskuksen keskimääräisiä päästöarvoja on käytetty altaiden, hanojen, wc-istuinten ja vesijohtoverkoston osalla. Muiden tuotteiden ja materiaalien päästöarvona on käytetty laitekohtaista EPD-ympäristöselostetta.



Kuva 22. Vesi- ja viemärijärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

Kuvassa 23 on esitetty sähköjärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen eri pääryhmittäin jaoteltuna. Sähköjärjestelmän päästöjä materiaalikohtaisesti tarkasteltaessa voidaan huomata suurimman osan aiheutuvan valaisimista ja sähkökeskuksista. Päästöjä aiheutuu myös sähköjärjestelmän hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa kaapeloinnista ja kaapelihyllyistä. Sähköjärjestelmien hiilijalanjälkeä kasvattaa valaisimien, sähkökeskusten ja kaapeloinnin laskennallinen uusiminen 25 vuoden kohdalla. Valaisimien, sähkökeskusten ja kaapeloinnin kohdalla on käytetty Suomen ympäristökeskuksen päästötietokannan keskimääräisiä päästötietoa. Kaapelihyllyjen päästöarvona on käytetty laitekohtaista EPD-ympäristöselostetta.

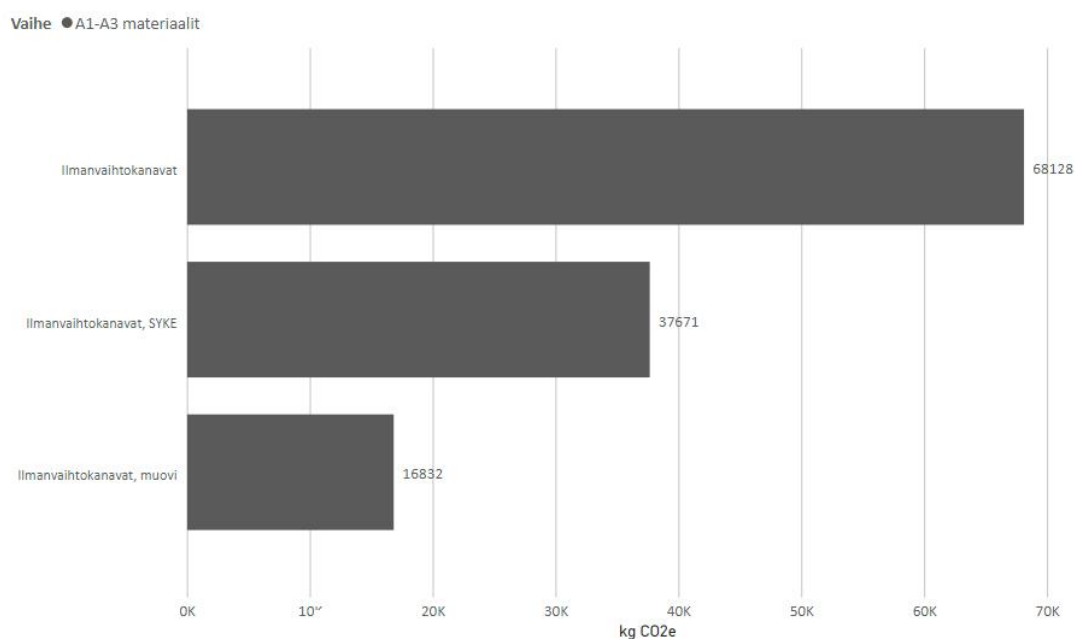


Kuva 23. Sähköjärjestelmän materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e/n-m²/a)

5.6 Taloteknisten ratkaisujen materiaalien hiilijalanjälkien tarkastelu

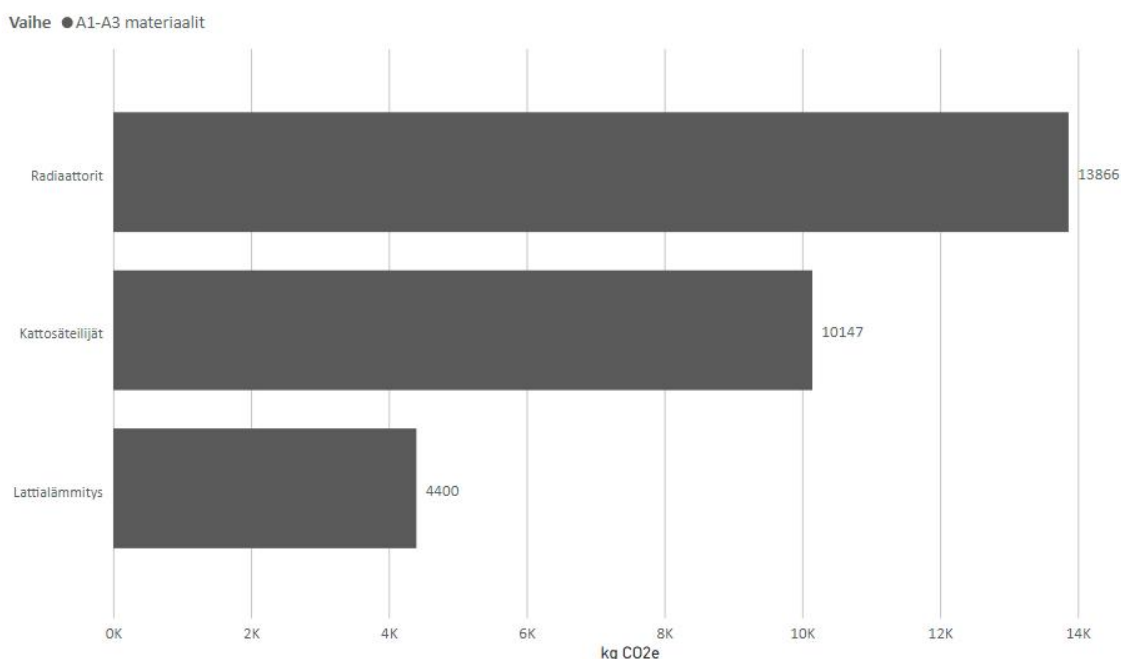
Tässä luvussa on vertailtu eri taloteknisten järjestelmien ja materiaalien päästöjä vaiheessa A1-A3. Päästöt on esitetty kokonaispäästöinä kg CO₂e. Luvun tarkoituksena on havainnollistaa taloteknisten järjestelmien, tuotteiden ja materiaalien päästöjen eroja.

Kuvassa 24 on vertailtu kierresaumatun ilmanvaihtokanaviston päästöarvoja Suomen ympäristökeskuksen päästötietokannan ja laitekohtaisen EPD-selosteen mukaisen ilmanvaihtokanaviston sekä EPD-selosteen mukaisen muovisen ilmanvaihtokanavan välillä. Kanaviston aiheuttama hiilijalanjälki vähenisi Suomen ympäristökeskuksen päästötiedon mukaisella ilmanvaihtokanavalla laskettaessa rakennuksen elinkaaren aikana 30 457 kg CO₂e. Muovikanavointia käyttämällä päästöjä voitaisiin vähentää Suomen ympäristökeskuksen päästötiedon mukaiseen ilmanvaihtokanavaan verrattuna 20 893 kg CO₂e. Muovikanavan käyttö tosin suurissa ilmanvaihtojärjestelmissä ei saatavilla olevien tuotekokojen takia ole käytännössä mahdollista, mutta muovikanavan käyttö pienemmissä ilmanvaihtojärjestelmissä on mahdollista.



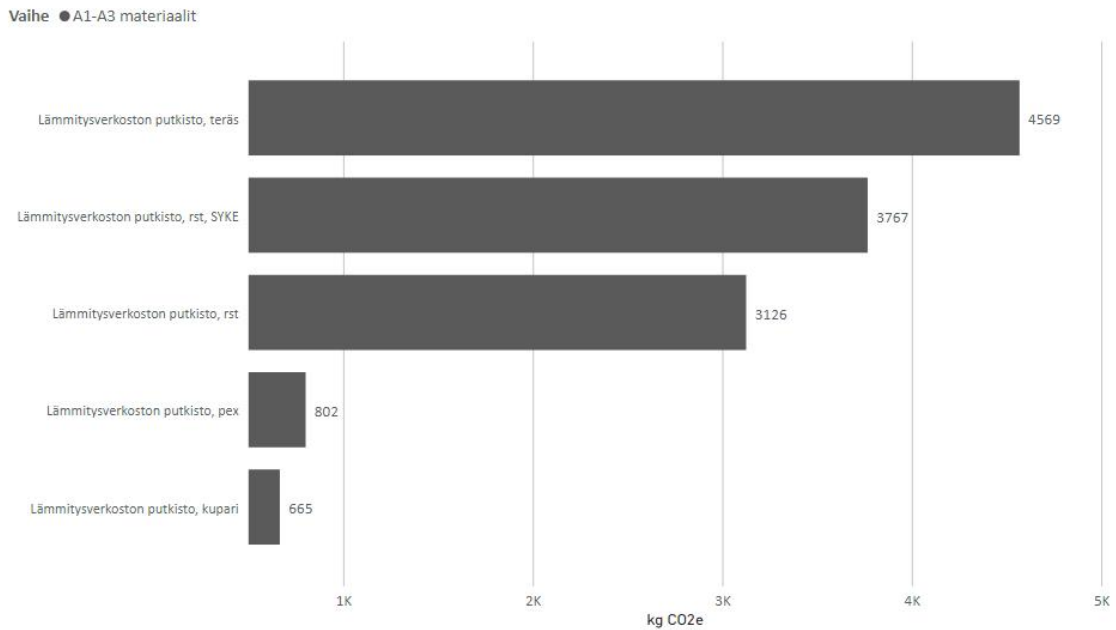
Kuva 24. Ilmanvaihtokanavan materiaalien hiilijalanjäljen vertailu (kg CO₂e)

Kuvassa 25 on vertailtu lämmönjakotapojen materiaalien hiilijalanjäljen jakautumista. Radiaattoreiden ja runkoputkiston päästöarvona on käytetty Suomen ympäristökeskuksen päästötietoa ja säteilijöiden ja lattialämmityksen tuotteissa on käytetty EPD-selosteen päästötietoa. Radiaattoreiden ja kattosäteilijöiden hiilijalanjälki koostuu lämmönluovuttajista ja arvioidusta lisäputkistosta verrattuna lattialämmitykseen. Lattialämmityksen hiilijalanjälki koostuu jakotukkikaapeista, jakotukeista ja lattialämmityspotkistosta. Vertailuun ei ole sisällytetty lämmityksen runkoverkostoa. Kuvasta voidaan havaita radiaattori- ja säteilijälämmityksen aiheuttavan suuremman hiilijalanjäljen kuin lattialämmitys. Toisaalta radiaattoreiden ja kattosäteilijöiden materiaalin hiilijalanjälki kompensoituu hiilikädenjäljessä, koska niiden kierrätettävyys on erinomainen. Radiaattoreiden kierrätettävyys Suomen ympäristökeskuksen mukaan on 90 prosenttia. Kattosäteilijöiden materiaalit ovat valmistajan mukaan 100 prosenttia kierrätettäviä (Itula, 2021). Lämmityslaitteiden järjestelmien materiaalien määrään vaikuttaa myös lämmitysverkoston lämpötilat.



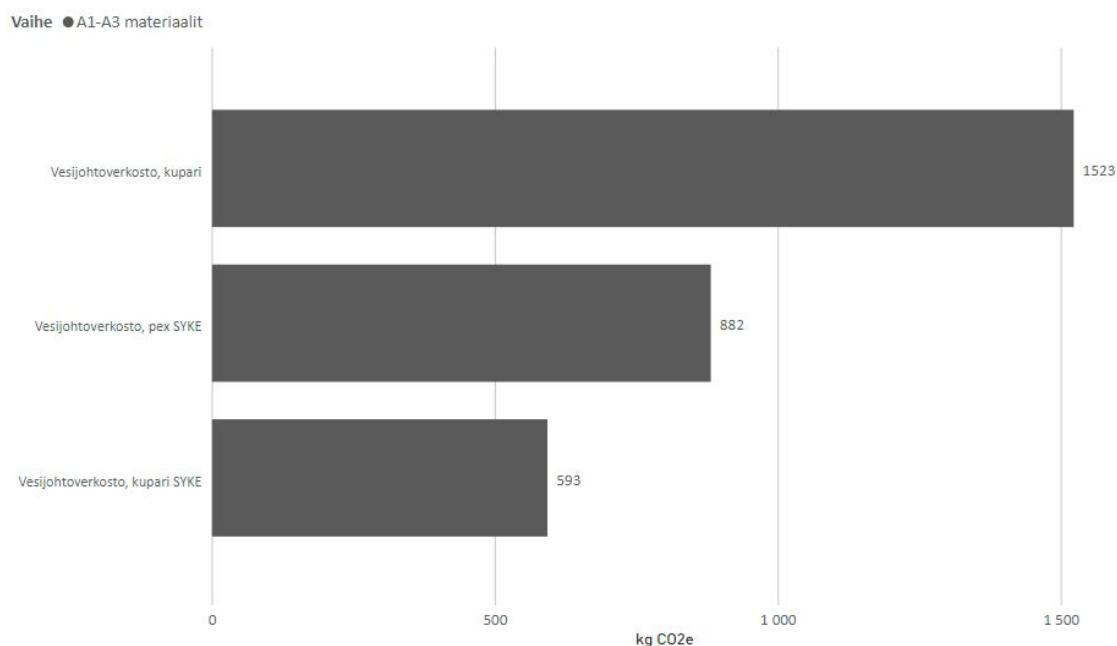
Kuva 25. Lämmönjakotapojen materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e)

Kuvassa 26 on vertailtu lämmitysverkoston putkimateriaalien hiilijalanjälkiä. Lämmitysverkoston materiaalien osalla on PEX-putken ja kuparin osalta laskennassa on käytetty Suomen ympäristökeskuksen keskimääräisiä päästötietoja. Teräksen osalla materiaalin päästöarvona on käytetty tuotekohtaisen EPD-selosteen mukaista päästötietoa. Ruostumattoman teräksen osalta on käytetty sekä Suomen ympäristökeskuksen keskimääräisiä päästötietoja että tuotekohtaisen EPD-selosteen päästötietoa. Putkiston materiaalien vaihtoehtoja vertailtaessa voidaan huomata päästömäärien vaihtelevan hyvin paljon. Selvästi pienin hiilijalanjälki aiheutuu PEX-putkesta ja kuparista. Huomion arvoista on myös ruostumattoman putkiston kohdalla laitekohtaisen EPD:n olevan päästötiedoltaan Suomen ympäristökeskuksen päästötietoa alhaisempi. Materiaalien kestävyuden kannalta tulee ottaa huomioon myös kuparin 100 prosenttia kierrätettävyys ja ruostumattomat teräksen 95 prosenttia kierrätettyvyys uusioraaka-aineena. PEX-putken kierrätettävyys on huono uusioraaka-aineena. Muovi- ja komposiittiputkien raaka-aineista vain osan voi kierrättää tai hyödyntää esimerkiksi energiantuotannossa. (Suomen ympäristökeskus, 2021) Lämmitysverkoston materiaalien välisiä tuloksia voidaan soveltaa myös jäähdytysverkoston hiilijalanjäljessä.



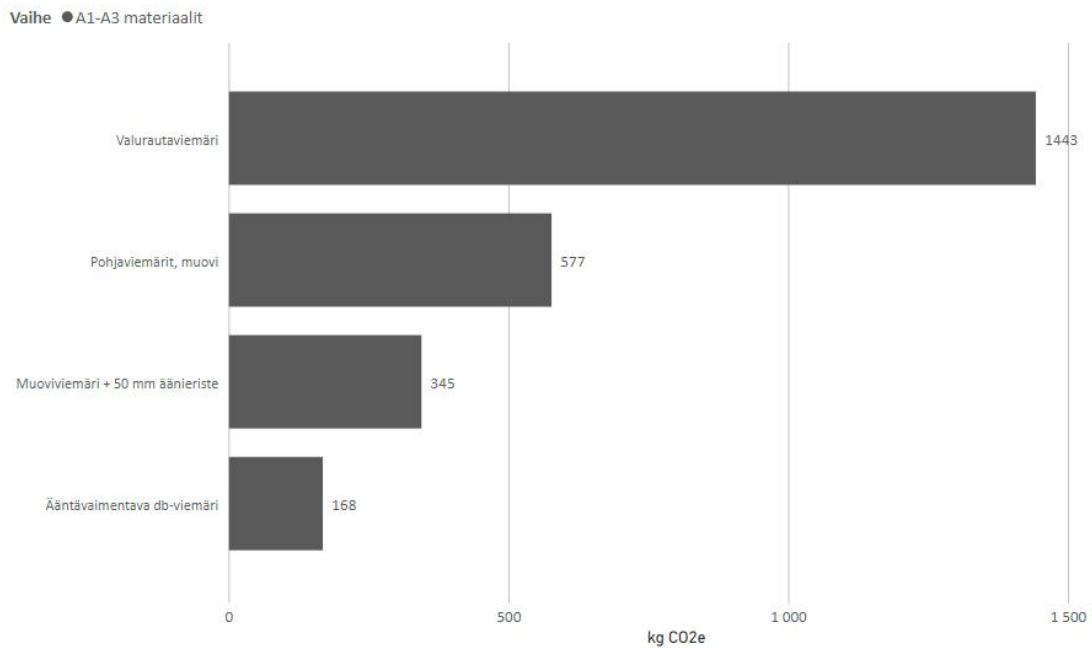
Kuva 26. Lämmitysverkoston putkimateriaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e)

Kuvassa 27 on vertailtu käyttövesijohtoverkoston hiilijalanjälkeä PEX-putken ja kuparin välillä. Suomen ympäristökeskuksen keskimääräisillä päästötiedoilla laskettuna kupari aiheuttaa pienemmän hiilijalanjäljen kuin PEX-putki. Suurin hiilijalanjälki aiheutuisi laitekohtaisen EPD-selosteen mukaisella kuparilla laskettuna. Suomen ympäristökeskuksen selvityksen perusteella ei löydetty selkeitä eroja eri käyttövesiputkien materiaalien ympäristövaikutuksissa tai hiilijalanjäljessä. (Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 2020).



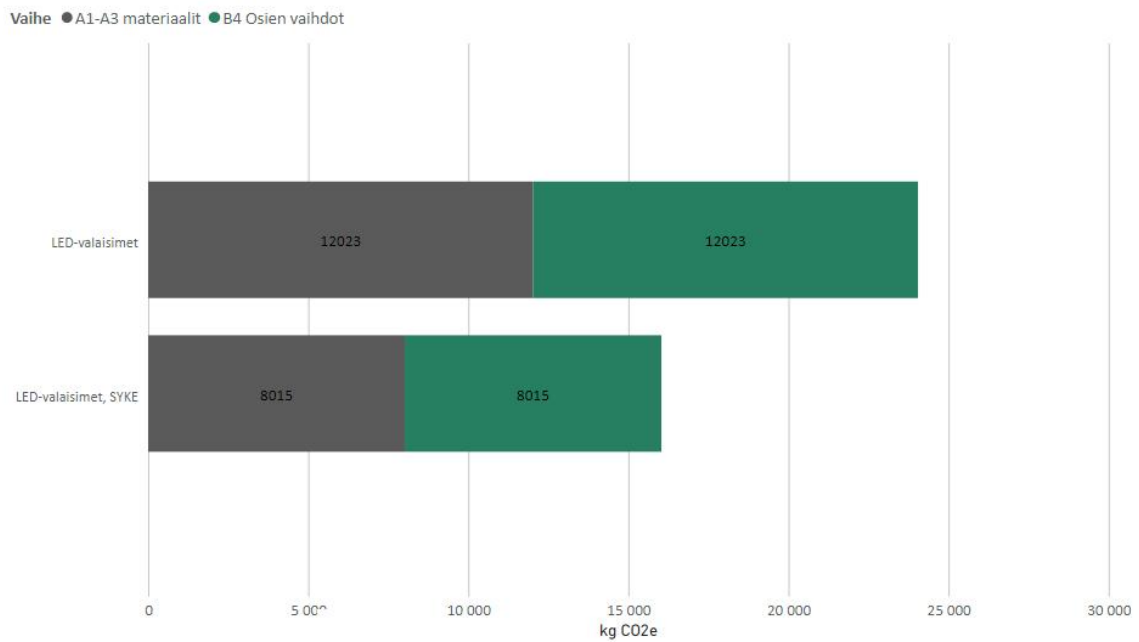
Kuva 27. Vesijohtoverkoston putkimateriaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e)

Kuvassa 28 on vertailtu jätevesiviemäreiden hiilijalanjälkeä valuraudan, eristetyn muoviviemärin ja ääntä vaimentavan viemärin välillä. Viemäreiden materiaaleja vertailtaessa on käytetty vain laitekohtaisten EPD-selosteiden mukaisia päästötietoja. Kuvassa 28 on esitetty myös pohjaviemäröinnin osuus, joka tehdään muovista. Hiilijalanjälkilaskelman perusteella pienimmän hiilijalanjäljen aiheuttaa ääntä vaimentava desibeliviemäri ja selvästi suurimman hiilijalanjäljen aiheuttaa valurautaviemäri. Äänieritetyn muoviviemärin hiilijalanjälki on suurempi kuin ääntä vaimentavan desibeliviemärin. Äänieristeen päästöjen osuus eristetyssä muoviviemärissä on noin 240 kg CO₂e.



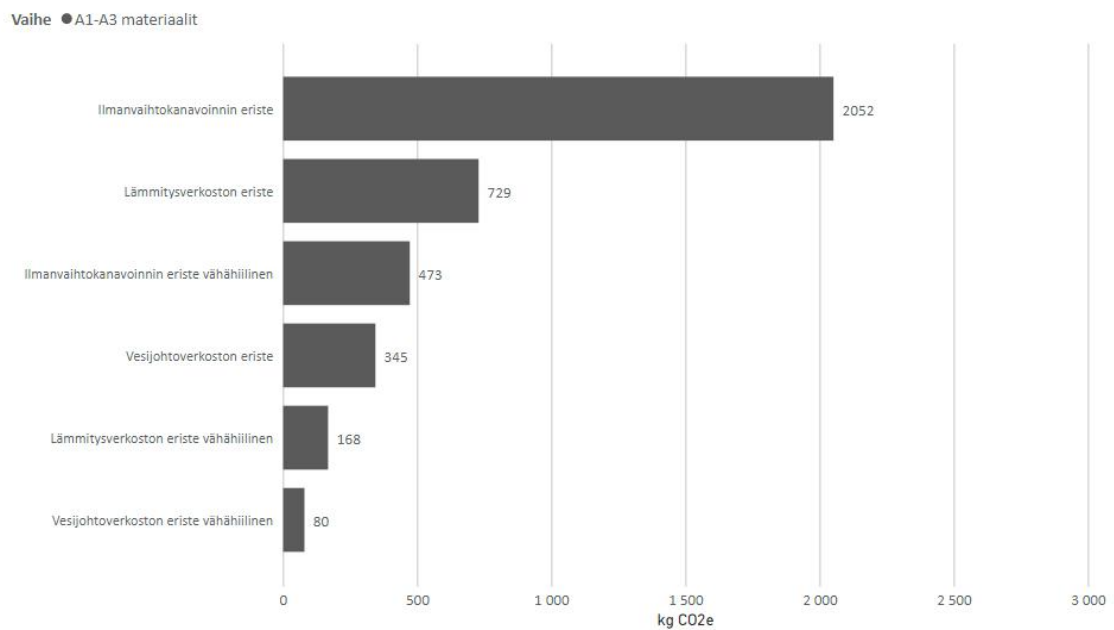
Kuva 28. Viemäroinnin materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e)

Kuvassa 29 on esitetty LED-valaisimien vertailu Suomen ympäristökeskuksen ja laitekohtaisen EPD-selosteen päästötietojen välillä. Valaisimien vertailussa on tarkasteltu kahden teknisiltä ominaisuuksiltaan samankaltaisen LED-yleisvalaisimen päästöjen eroja. Suomen ympäristökeskuksen päästötiedon mukaisella LED-yleisvalaisimella voidaan vähentää päästöjä 8016 kg CO₂e laitekohtaisen EPD-selosteen mukaiseen yleisvalaisimeen verrattuna. Molemmat valaisimet vaihdetaan kerran uuteen rakennuksen elinkaaren aikana.



Kuva 29. LED-valaisimien materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e)

Kuvassa 30 on esitetty talotekniikan järjestelmien eristeen vertailu mineraalivillaeristeen ja vähäpäästöisen mineraalivillaeristeen välillä. Talotekniikan eristeitä tarkasteltaessa voidaan huomata, että käyttämällä vähäpäästöisiä eristevaihtoehtoja voidaan eristeiden aiheuttamia päästöjä vähentää merkittävästi.



Kuva 30. Talotekniikan eristeiden materiaalien hiilijalanjäljen jakautuminen (kg CO₂e)

5.7 Vähäpäästöisten ratkaisujen vaikutus ja elinkaarikustannuksien vertailu

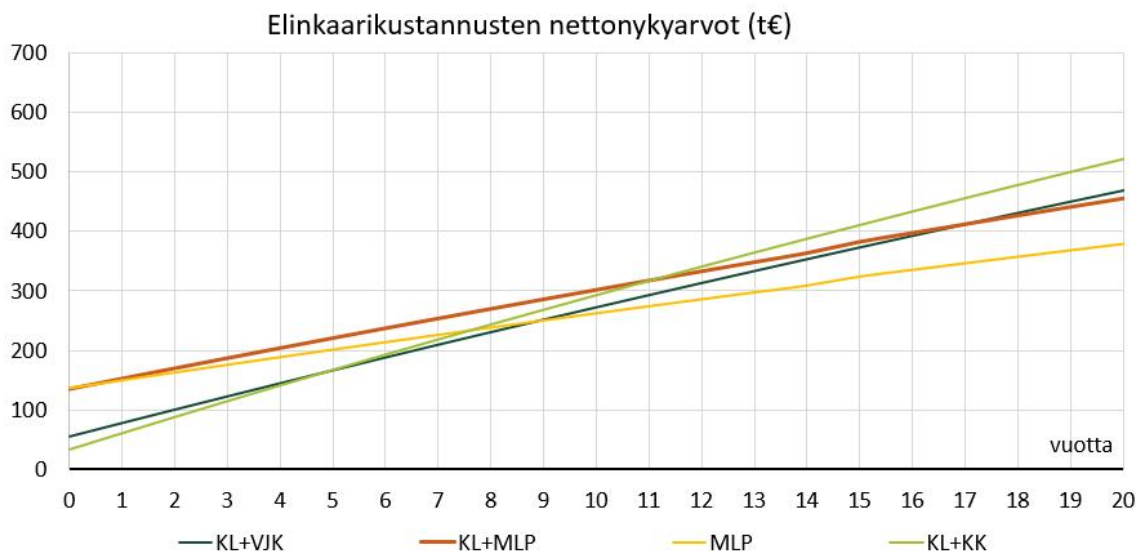
Taulukossa 3 on esitetty energiakäytön hiilijalanjäljen muutos energiatuottotapojen välillä. Käytönaikaisia energianpäästöjä voidaan vähentää lähtötasosta ympäristöministeriön mukaisen laskenta menetelmän mukaan lämpöpumppuratkaisuilla 247 - 377 t CO_{2e}, joka on 16,3 - 24,8 prosentin vähennys hiilijalanjäljessä. Energiankäytön jakautumista tarkasteltaessa eri laskentatauksien välillä, voidaan huomata päästöjen pienentyvän selvästi mitä enemmän lämmitysenergian tarpeesta tuotetaan sähköenergialla lämpöpumppujen avulla. Lämmitysenergian tuottaminen sähköenergian avulla on hyötysuhteeltaan tehokkaampaa ja vähäpäästöisempää kuin sen tuottaminen kaukolämpöllä ympäristöministeriön laskentamenetelmän mukaan.

Taulukko 3. Energiankäytön hiilijalanjäljen vertailu

	Hiilijalanjälki, t CO_{2e}	Muutos, t CO_{2e}	Muutos, %
Kaukolämpö, vedenjäähdytin	1 521	lähtötaso	lähtötaso
Kaukolämpö ja -kylmä	1 502	- 19	- 1,3
Hybridi KL + ML	1 273	- 248	- 16,3
Maalämpö	1 143	- 378	- 24,8

Kuvassa 31 on arvioitu kaukolämmön ja -kylmän, kaukolämmön ja vedenjäähdyttimen, hybridijärjestelmän ja maalämpöjärjestelmän kannattavuuksia. Tarkastelu on tehty ostoenergiälaskennan mukaisilla tiedoilla. Laskelman tarkastelujaksona on 20 vuotta, laskentakorkona kolme prosenttia, energian hintojen nousuvarauksena kaksi prosenttia. Laskelmassa on käytetty sähköenergian hintana 90 €/MWh, kaukolämpöenergian hintana 45 €/MWh ja kaukokylmäenergian hintana 56 €/MWh. Energiantuottojärjestelmien investointi- ja huoltokustannukset on arvioitu asiantuntija haastattelujen mukaisesti

perustuen vastaavien kohteiden kustannuksiin. Kustannuslaskenta on tehty arvonlisäverottomana. Investointi- ja huoltokustannukset on esitetty tarkemmin liittäessä 1.



Kuva 31. Energiantuottojärjestelmien kannattavuuden tarkastelu

Kuvasta 31 voidaan huomata hybridijärjestelmän ja maalämpöjärjestelmän investointikustannuksien olevan selvästi korkeammat kuin kaukolämpö ja -kylmä järjestelmän. Elinkaarikustannuksiltaan edullisin järjestelmä on maalämpöjärjestelmä ja kallein puolestaan kaukolämpö ja -kylmäjärjestelmä. Maalämpöjärjestelmän takaisinmaksuaika verrattuna kaukolämpöjärjestelmiin on noin kahdeksan vuotta. Hybridijärjestelmän takaisinmaksuaika kaukolämpö- ja kylmäjärjestelmään verrattuna on noin 11 vuotta. Hybridijärjestelmän takaisinmaksuaika kaukolämpö- ja vedenjäähdytinsäätelmään verrattuna elinkaarikustannuslaskennan mukaan on noin 17 vuotta.

Taulukossa 4 on esitetty kohderakennuksen talotekniikan hiilijalanjäljen mahdollisia vähennyskeinoja aiemmin käsiteltyjen laite- ja materiaalien päästövertailujen avulla. Vertailulla havainnoidaan päästöiltään suurempien tuoteratkaisujen, mutta teknisesti vastaavien laite- ja materiaalivalintojen mahdollista vaikutusta hiilijalanjälkeen kohderakennuksen tuotemäärillä. Taulukon lopussa on tarkasteltu teoreettisesti mikä olisi kaikkien toimenpiteiden yhteisvaikutus talotekniikan materiaalien osalla.

Taulukko 4. Talotekniikan tuotteiden hiilijalanjäljen vertailu

Tuote	Hiilijalanjälki kg CO ₂ e	Tuote	Hiilijalanjälki kg CO ₂ e	Muutos kg CO ₂ e	Muutos %
Ilmanvaihtokanava, EPD (5,69 kg CO ₂ e / kg)	68 128	Ilmanvaihtokanava SYKE (3,12 kg CO ₂ e / kg)	37 671	-30 457	-44,7
Radiaattorilämmitys, SYKE (4,2 kg CO ₂ e / kg)	13 866	Lattialämmitys (2,1 kg CO ₂ e / m ²)	4 400	-9 466	-68,3
Lämmitysverkosto, teräs, EPD (5,27 kg CO ₂ e / kg)	4 569	Lämmitysverkosto, pex, SYKE (4,32 kg CO ₂ e / kg)	802	-3 767	-82,4
Jäähdytysverkosto, rst, SYKE (4,32 kg CO ₂ e / kg)	3215	Jäähdytysverkosto, rst, EPD (3,56 kg CO ₂ e / kg)	2664	551	-17,1
Vesijohtoverkosto, PEX SYKE (3,71 kg CO ₂ e / kg)	1 523	Vesijohtoverkosto, kupari SYKE (0,78 kg CO ₂ e / kg)	593	-930	-61,1
Valurautaviemäri, EPD (1,51 kg CO ₂ e / kg)	1 443	Ääntä vaimentava viemäri, EPD (1,40 kg CO ₂ e / kg)	168	-1 275	-88,4
LED-valaisin, EPD (12,81 kg CO ₂ e / kg)	24 046	LED-valaisin SYKE (8,52 kg CO ₂ e / kg)	16 030	-8 016	-33,3
Normaali eriste EPD (1.2 kg CO ₂ e / kg)	3 126	Vähäpäästöinen eriste EPD (0,27 kg CO ₂ e / kg)	721	-2405	-76,9
Yhteisvaikutus				-56 867	

Taulukosta 4 voidaan huomata ilmanvaihtokanavissa olevan suurin päästövähennys mahdollisuus. Päästöjä voitaisiin pienentää jopa yli 30 t CO₂e käyttämällä päästöiltään Suomen ympäristöministeriön mukaista ilmanvaihtokanavaa EPD:n mukaiseen kanavointiin verrattuna. Talotekniikan materiaalien hiilijalanjälkeä voidaan pienentää merkittävästi myös lattialämmityksellä sekä kiinnittämällä huomiota esimerkiksi LED-valaisimien väillä oleviin valmistuksesta aiheutuviin päästöihin. Prosentuaalisesti merkittävimpiä päästöjen vähennyskeinoja tarkastelussa ovat valurautaisen viemärin tekeminen ääntä vaimentavalla desibeliviemärillä, lämmitysverkoston materiaalin vaihtaminen vähäpäästöisempään vaihtoehtoon ja talotekniikan eristeen vaihtaminen vähäpäästöiseen vaihtoehtoon.

Päästöjä voitaisiin tarkastelun mukaan vähentää kohderakennuksen tuotemäärillä laskettuna yli 56 t CO₂e, joka olisi tässä kohteessa -0,71 kg CO₂e/n-m²/a vähennys kokonaishiilijalanjäljessä. Päästövähennyksiin päästään käyttämällä päästöiltään Suomen ympäristökeskuksen mukaisia materiaaleja kanavoinnissa, lämmitysverkostossa ja valaisimissa sekä käyttämällä käyttövesiputkissa kuparia, viemäröinnissä ääntä vaimentavaa desibeliviemäriä ja verkostoissa vähäpäästöistä eristettä sekä toteuttamalla lämmitys lattialämmityksellä.

5.8 Tulosten luotettavuuden arviointi

Tulosten luotettavuutta arvioitaessa laitteiden ja materiaalien välisessä vertailussa ja niiden käytön elinkaareissa on eniten epävarmuutta. Taloteknisten laitteiden ja materiaalien EN-15804 ympäristöselosteen mukaiset päästötiedot ovat vielä rajalliset. Kaikista taloteknisistä laitteista ja materiaaleista ei löydy Suomen ympäristökeskuksen keskimääräistä päästötietoa tai eri valmistajien verifioituja EPD-selosteiden päästötietoja. Tällöin laajaa vertailua eri päästötietojen osalta ei laitteiden ja materiaalien kohdalla pystytä tekemään ja jolloin vertailua on tehty laitekohtaisen EPD-selosteen ja päästökeskiarvon välillä. Suomen ympäristökeskuksen päästötiedot ovat pohjoismaissa käytettävien laitteiden keskiarvoja eivätkä kuvaa yksilöllisen laitteen päästöjä kuten laitekohtainen ympäristöseloste. Laskennassa käytettävien laitteiden tekniset käyttöiät perustuvat ohjekorttiin, jonka käyttöikä määritykset ovat keskiarvoja. Ne eivät välttämättä kuvaa käytettävien laitteiden todellista käyttöikää opetusrakennuksen tulevassa elinkaareissa tai ota huomioon tilojen

korjaustilanteessa kokonaisuuden kannalta järkeviä korjauksia. Energiantuottojärjestelmien kannattavuuden tarkastelussa tuloksiin vaikuttaa rakennuksen todellinen energiakulutus ja energian hinnat.

Kun vertaillaan tämän työn talotekniikan laskennan tuloksia teoria osuudessa esiteltyyn tutkimukseen (Kiamili et al, 2020), jossa tutkittiin sveitsiläisen pääkonttorin talotekniikan vaikutus ilmastonmuutokseen ja esiteltiin talotekniikan tietomallipohjaisen laskennan tuloksia, voidaan huomata tuloksien olevan samansuuntaisia. Vertailtavassa tutkimuksessa (Kiamili et al, 2020) talotekniikan osuudeksi saatiin 3,05 kg CO₂eq/n-m² ja tässä diplomityössä talotekniikan osuudeksi hiilijalanjäljestä saatiin 1,81 - 2,04 kg CO₂eq/n-m². Molemmissa laskelmissa suurin osa päästöistä syntyi ilmanvaihtokanavista ja mekaanisista laitteista kuten puhaltimista. Talotekniikan hiilijalanjäljen eroa selittää, että vertailtavassa tutkimuksessa (Kiamili et al, 2020) kaikki kanaviston ja putkiston osat uusitaan rakennuksen elinkaaren aikana. Tässä diplomityössä lämmityksen, jäähdytyksen ja käyttöveden runkoputkistoa ja ilmanvaihtokanavistoa ei uusita.

Kun vertaillaan tämän työn talotekniikan laskennan tuloksia Suomen ympäristökeskuksen arvoon opetusrakennuksille, jonka konservatiivinen arvo 50 vuoden tarkastelujaksolla opetusrakennuksien talotekniikan päästöille jäähdytys mukaan luettuna rakentamisluvan hakemiseen on 1,90 kg CO₂e /n-m²/a (Suomen ympäristökeskus, 2021). Tämä työn tulos talotekniikan päästöille riippuen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmästä on 1,81 - 2,04 kg CO₂e/n-m²/a välillä. Kaukolämpö ja -kylmä laskentatapauksen talotekniikan hiilijalanjälki osuu hyvin lähelle Suomen ympäristökeskuksen keskimääräistä päästötietoa opetusrakennuksen talotekniikan hiilijalanjäljestä, joka vastaa tavanomaista opetusrakennuksen taloteknistäjärjestelmää.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työssä tutkittiin talotekniikan aiheuttamaa hiilijalanjälkeä ja löytää keinoja sen pienentämiseen. Työn perusteella voidaan todeta, että talotekniikan eri energiatuotantojärjestelmillä voidaan pienentää käytönaikaista hiilijalanjälkeä sekä tuotevalinnoilla vähentää talotekniikan materiaalien aiheuttamia päästöjä. Rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä käytönaikaisen enegiankulutuksen osuus on 22,7 - 41,5 prosentin välillä riippuen lämpöenergian tuottotavasta. Käytönaikaisia päästöjä voidaan vähentää rakennuksen elinkaaren aikana 24,8 prosenttia eri energiantuottojärjestelmien avulla ympäristöministeriön päästöskenaariot huomioiden. Hiilijalanjälkilaskennan perusteella pienin hiilijalanjälki voidaan saavuttaa maalämpöpumppujärjestelmällä, mutta varsinkin suurissa kiinteistöissä hybridiratkaisujen avulla voidaan myös saavuttaa elinkaarikustannuksiltaan kohtuullisia, luotettavia ja pitkäikäisiä kokonaisuuksia, joilla energiakulutus ja myös päästöt vähenevät merkittävästi.

Talotekniikan materiaalien osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä on 10,1 - 15,0 prosentin välillä ja talotekniikan materiaalien osuus materiaalien kokonaishiilijalanjäljestä on 17,7 - 19,4 prosentin välillä. Suurimmat päästöt talotekniikan materiaalien hiilijalanjäljestä aiheutuvat ilmastointijärjestelmästä. Selvästi suurin osa ilmastointijärjestelmän päästöistä aiheutuu ilmanvaihtokoneista sekä ilmanvaihtokanavoinnista. Merkittäviä päästöjä aiheutuu myös sähköjärjestelmistä sekä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmistä. Talotekniikan aiheuttamaa hiilijalanjälkeä kasvattaa myös ilmastointi-, sähkö-, lämmitys- ja jäähdytyslaitteiden laskennallisen käyttöiän saavuttaminen, koska osa laitteista joudutaan vaihtamaan ainakin kerran rakennuksen elinkaaren aikana.

Talotekniikan järjestelmiä ja materiaaleja tarkemmin tutkiessa, huomattiin muovipohjaisten tuotteiden ja PEX-putkien aiheuttavan pienen hiilijalanjäljen verrattuna metalleihin lukuun ottamatta kuparin hiilijalanjälkeä. Muovipohjaisilla tuotteilla kuten lattialämmityksellä ja ääntä vaimentavalla viemärillä voidaan vähentää talotekniikan hiilijalanjälkeä tinkimättä teknisistä ratkaisuista. Toisaalta muovien ja varsinkin PEX-putken kierrätettävyys on puolestaan uusiomateriaalina huono. Metallien kierrätettävyys on

pääosin erinomainen jopa yli 90 prosenttia. Taloteknisten tuotteiden päästötietojen ja kierrätettävyyden vertailu voi aiheuttaa tilanteita, jossa joudutaan punnitsemaan pienen hiilijalanjäljen ja huonon kierrätettävyyden sekä suuren hiilijalanjäljen, mutta hyvä kierrätettävyyden eli suuren hiilikädenjäljen välillä.

Taloteknisiä tuotteita vertailtaessa voidaan havaita, että tuotteiden osalta hiilijalanjäljen välinen paremmuusjärjestys voi vaihdella käytetyistä energialähteistä ja käyttö- ja valmistuspaikan maantieteellisestä sijainnista johtuen. Talotekniikan hiilijalanjälkeä pienentäessä täytyy kiinnittää huomiota uusien mahdollisuuksien hyödyntämiseen sekä siihen, että taloteknisten laitteiden ja materiaalien hiilijalan- ja hiilikädenjälki voidaan todentaa ja siten kehittää vähäpäästöisempiä vaihtoehtoja. Tämä kehitys vaatii ympäristöselosteiden tekemistä käytettävistä tuotteista sekä kierrätyksen toteutumista rakennuksen purkuvaiheessa. Suurin osa talotekniikan hiilijalanjäljestä aiheutuu teräksestä ja muista metalleista sekä muovista, jolloin hiilijalanjäljen pienentäminen käyttämällä ja lisäämällä kierrätettävien materiaalien osuutta kanavissa ja putkistoissa voisi edistää talotekniikan hiilineutraaliutta.

7 YHTEENVETO

Valmistunut rakennushanke on usean lähtöarvon, tavoitteen ja näkökulman lopputulos. Kaikkien hankkeiden lähtökohtana tulee kuitenkin olla toimiva, turvallinen ja pitkäaikainen rakennus. Rakennusympäristön hiilijalanjäljen pienentämisessä ennalta asetettavat tavoitteet, suunnittelun aikainen ohjaus ja kiertotalous ovat tehokkaita keinoja vähentää rakentamisen negatiivisia ilmastovaikutuksia. Kiertotalousajattelu, rakennuttajien hiilineutraaliustavoitteet ja ympäristösertifioinnit kannustavat suunnittelemaan ja toteuttamaan rakennushankkeet myös ympäristönäkökulmaa ajatellen. Hiilijalanjäljen laskentaa tarvitaan erityisesti päästöjen vähentämisen todentamiseen. Hiilijalanjälkilaskennan avulla voidaan esimerkiksi miettiä, kannattaako jokin kohde purkaa ja rakentaa kokonaan uusi vai peruskorjata olemassa olevaa rakennusta. Hiilijalanjälkilaskennalla voidaan saavuttaa merkittäviä vähennyksiä materiaalien päästöissä ja vertailla eri lämmitysmuotojen vaikutuksia hiilijalanjälkeen. Hiilijalanjälkilaskennan kautta saadaan valtavasti tietoa hankeen ilmastokuormasta kokonaisvaltaisesti sekä materiaalien päästöarvoista ja kierrätysmahdollisuuksista.

Kaikki rakennustekniset ratkaisut eivät ole kuitenkaan aina realistisia vaihtoehtoja toteutuksen kannalta ja eivät siten myöskään ole verrattavissa toisiinsa. Talotekniikan eri järjestelmiä ja materiaaleja kuitenkin tarvitaan ja niille voidaan vertailun ja suunnittelun avulla löytää sopivat käyttökohteet niin toimivuuden kuin ympäristönäkökulman kannalta. Rakennus voi sijaita kaukolämmön ja -kylmän ulottumattomissa tai tontilla, jossa ei ole mahdollisuuksia maalämmön hyödyntämiseen. Aina ei myöskään voida teknisten rajoitteitten takia käyttää vaihtoehtoisia materiaaleja. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös esimerkiksi radiaattoreiden tehokas lämmönluovutusteho kokoonsa nähden, lattialämmityksen optimaalinen lämmönjakautuminen tilaan tai säteilypaneelien valmius jäädytykseen. Tämän takia päätöksiä ei pystytä tekemään pelkästään talotekniikan ilmastokuormaan ajatellen.

Tämä työ antaa tuloksia eri talotekniikan järjestelmien ja materiaalien päästöarvoista, joita voidaan käyttää päätöksen teon tukena. Tärkeintä talotekniikan sekä koko rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämisessä on löytää tehokkaita ja kestäviä energiatuottotapoja sekä

ratkaisuja valmistaa laitteita vähäpäästöisesti ja kestävästi. Se on haaste, jonka ratkaisemiseen tarvitaan päästötietojen todentamista, jatkuvaa kehitystä ja yhteistyötä sekä edistyksellistä ajattelua.

LÄHTEET

Ahola, R. & Liljeström, K. 2018. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratilohteissa. [verkkojulkaisu] [viitattu 11.2.2021] Saatavissa: https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2018/12/Hiilijalanj%C3%A4ljen-pienent%C3%A4minen-kustannustehokkaasti_2018.pdf

Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. [verkkojulkaisu] [viitattu 21.1.2021] Saatavissa: <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

Business Finland, 2020. Energiatuki. [verkkojulkaisu] [viitattu 4.2.2021] Saatavissa: <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Business Finland, 2018. Carbon handprint. [verkkojulkaisu] [viitattu 4.2.2021] Saatavissa: https://www.businessfinland.fi/4a4ce6/globalassets/finnish-customers/news/news/2020/carbon_handprint_guide-8.pdf

Euroopan komissio, 2021. EU taxonomy for sustainable activities. [verkkojulkaisu] [viitattu 25.5.2021] Saatavissa: https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_fi

Granlund Oy 2020, Vähähiilinen rakentaminen. [Sisäinen dokumentti]. [Viitattu 15.1.2021]

Green Building Council Finland, 2013. Rakennusten elinkaarimittarit. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: https://figbc.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/03/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf

Green Building Council Finland, 2020. [verkkojulkaisu] [viitattu 21.1.2021] Saatavissa: Rakennusten elinkaarimittarit. <https://figbc.fi/elinkaarimittarit/>

Green Building Council Finland, 2020. Ympäristöluokitukset. [verkkajulkaisu] [viitattu 21.1.2021] Saatavissa: <https://figbc.fi/ymparistoluokitukset/>

Hiilineutraalisuomi.fi, 2020. [verkkajulkaisu] [viitattu 15.1.2021]
<https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Hinku>

Itula, 2021. ItuGraf - lämmitys- ja jäähdytyspaneeli. [verkkajulkaisu] [viitattu 2.5.2021]
Saatavissa: <https://www.itula.fi/itugraf>

Kangas H.-L., Sankelo P., Kautto P. Ruokamo E., Lazarevic D., Mattinen-Yuryev M., Turunen T. ja Nissinen A. (2019) Taloudellisten kannusteiden käyttö vähähiilisen rakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019. [verkkajulkaisu] [viitattu 29.1.2021] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-039-2>

Kiamili, C. Hollberg, A & Habert, G. (2020). Detailed Assessment of Embodied Carbon of HVAC Systems for a New Office Building Based on BIM. Sustainability, vol. 12, p 3372

Motiva, 2020. Rakentaminen ja rakennukset [verkkajulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa:
https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset

Motiva, 2018. Energiatehokkuuden rahoitus. [verkkajulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/15127/Energiatehokkuuden_rahointus_tautaselvitys.pdf

One Click LCA 2020. Life Cycle Assessment software FAQ. [verkkajulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/sup-port/faq/>

Rakennustekniikka, 2020. Vähähiilisen rakentamisen muutosvauhti tulevina vuosina on kova. [verkkajulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa:
<https://www.ril.fi/fi/rakennustekniikka/teemat/vahahiilisen-rakentamisen-muutosvauhti-tulevina-vuosina-on-kova.html>

Rakennusteollisuus, 2020a. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys_uudet/rt-raportti1_rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila.pdf

Rakennusteollisuus, 2020b. Kestävän rakentamisen standardit luovat yhdenmukaiset pelisäännöt. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa:

<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Rakentaminen-ja-vaaralliset-aineet/CENCT-350-Kestava-rakentaminen/>

RT 103170, 2020. Ilmastonmuutos, Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä.

Ruuska, A., Häkkinen, T., Vares, S., Korhonen, M., & Myllymaa, T. (2013) Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 8/2013. [verkkojulkaisu] [viitattu 20.1.2021]. Saatavissa: <https://www.ym.fi/download/noname/%7B1FAF46B2-2649-41ED-B3AA-5EA789C9512F%7D/37571>

Röck, M., Ruschi, M., Saadeb, M., Balouktsic, M., Rasmussend, F., Birgisdottird, H., Frischknechte, R., Habertf, G., Lützkendorfc, T. & Passer, A. (2020). Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy*, vol. 258, p 114107

Sisäilmautiset, 2016. Rakennustuotteiden kansalliset ympäristöselosteet ovat valmiina [verkkojulkaisu] [viitattu 20.1.2021]. Saatavissa:

<https://www.sisailmautiset.fi/rakentaminen-2/rakennustuotteiden-kansalliset-ymparistoselosteet-ovat-valmiina/>

Suomen ympäristökeskus, 2021. Rakentamisen päästötietokanta. [verkkojulkaisu] [viitattu 19.4.2021] Saatavissa: <https://co2data.fi/>

Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 2020. Rakennuksissa käytettävien

putkimateriaalien arviointi. [verkkojulkaisu] [viitattu 19.4.2021] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5227-6>

Ympäristöministeriö, 2017a. Vihreä julkinen rakentaminen. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4744-9>

Ympäristöministeriö, 2017b. Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4746-3>

Ympäristöministeriö, 2019. Kiertotalous julkisissa purkuhankkeissa. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-038-5>

Ympäristöministeriön raportteja, 2017. Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelmasta vuoteen 2030. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4748-7>

Valtioneuvoston julkaisuja, 2019. [verkkojulkaisu] [viitattu 15.1.2021] Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>

Valtionalouden tarkastusvirasto, 2019. Elinkaariajattelu tulee huomioida valtion omaisuuden hallinnassa. [verkkojulkaisu] [viitattu 19.4.2021] Saatavissa: <https://www.vtv.fi/hyva-hallinto-artikkeli/elinkaariajattelu-tulee-huomioida-valtion-omaisuuden-hallinnassa/>

Kustannuslaskelman investointi- ja huoltokustannukset

KL+VJK		KL+MLP	
Korkokanta	3,0 %	Korkokanta	3,0 %
Inflaatio	0,0 %	Inflaatio	0,0 %
Lämmityksen eskalaatio	2,0 %	Lämmityksen eskalaatio	2,0 %
Sähkön eskalaatio:	2,0 %	Sähkön eskalaatio:	2,0 %
Jäähdytyksen eskalaatio:	0,0 %	Jäähdytyksen eskalaatio:	0,0 %
Lämmitysenergian kustannus	6 080 €/a	Lämmitysenergian kustannus	2 628 €/a
Sähköenergian kustannus	5 886 €/a	Sähköenergian kustannus	8 253 €/a
Jäähdytysenergian kustannus	0 €/a	Jäähdytysenergian kustannus	0 €/a
Lämmityksen tehomaksu	8 220 €/a	Lämmityksen tehomaksu	3 600 €/a
Sähkön tehomaksu	2 196 €/a	Sähkön tehomaksu	2 196 €/a
Jäähdytyksen tehomaksu	0 €/a	Jäähdytyksen tehomaksu	0 €/a
Investointikustannukset	56 000 €/a	Investointikustannukset	135 000 €/a
Vuosihuolto	500 €/a	Vuosihuolto	1 000 €/a
Kertakorjaus	0 €	Kertakorjaus	6 000 €
Vuonna	15	Vuonna	15
Ajanjakso	20	Ajanjakso	20
Lämmityskustannus	14 300 €/a	Lämmityskustannus	6 228 €/a
Sähkön kustannus	8 082 €/a	Sähkön kustannus	10 449 €/a
Jäähdytyksen kustannus	0 €/a	Jäähdytyksen kustannus	0 €/a
Vuosikustannukset	22 882 €/a	Vuosikustannukset	17 677 €/a
Huoltokustannukset yhteensä	7 439 €	Huoltokustannukset yhteensä	18 729 €
Energiakustannukset yhteensä	404 685 €	Energiakustannukset yhteensä	301 541 €

MLP

Korkokanta	3,0 %
Inflaatio	0,0 %
Lämmityksen eskalaatio	2,0 %
Sähkön eskalaatio:	2,0 %
Jäähdytyksen eskalaatio:	0,0 %
Lämmitysenergian kustannus	0 €/a
Sähköenergian kustannus	10 188 €/a
Jäähdytysenergian kustannus	0 €/a
Lämmityksen tehomaksu	0 €/a
Sähkön tehomaksu	2 196 €/a
Jäähdytyksen tehomaksu	0 €/a
Investointikustannukset	136 000 €/a
Vuosihuolto	1 000 €/a
Kertakorjaus	6 000 €
Vuonna	15
Ajanjakso	20
Lämmityskustannus	0 €/a
Sähkön kustannus	12 384 €/a
Jäähdytyksen kustannus	0 €/a
Vuosikustannukset	13 384 €/a
Huoltokustannukset yhteensä	18 729 €
Energiakustannukset yhteensä	223 918 €

KL+KK

Korkokanta	3,0 %
Inflaatio	0,0 %
Lämmityksen eskalaatio	2,0 %
Sähkön eskalaatio:	2,0 %
Jäähdytyksen eskalaatio:	0,0 %
Lämmitysenergian kustannus	6 080 €/a
Sähköenergian kustannus	5 706 €/a
Jäähdytysenergian kustannus	577 €/a
Lämmityksen tehomaksu	8 220 €/a
Sähkön tehomaksu	2 196 €/a
Jäähdytyksen tehomaksu	3 600 €/a
Investointikustannukset	40 000 €/a
Vuosihuolto	500 €/a
Kertakorjaus	0 €
Vuonna	15
Ajanjakso	20
Lämmityskustannus	14 300 €/a
Sähkön kustannus	7 902 €/a
Jäähdytyksen kustannus	4 177 €/a
Vuosikustannukset	26 878 €/a
Huoltokustannukset yhteensä	7 439 €
Energiakustannukset yhteensä	463 571 €