

Tomi Nousiainen

# ILMANVAIHTOSANEERAUKSEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLKEEN

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Talotekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Tomi Nousiainen
Työn nimi	Ilmanvaihtosaneerauksen vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen.
Toimeksiantaja	Rakentamista vaille Oy
Vuosi	2024
Sivut	39 sivua
Työn ohjaaja(t)	Johanna Arola

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön kohteena oli 1950-luvulla valmistunut rintamamiestalo. Rakennukseen oli vuosien varrella tehty remontteja energiatehokkuuden parantamiseksi. Rakennuksen ilmanvaihto oli painovoimainen, ja tämän takia rakennuksessa oli ajoittain ollut ongelmia ilmanvaihtuvuuden kanssa. Rakennukseen oli tarkoitus asentaa koneellinen tulo-poistojärjestelmä lämmöntalteenotolla korjaamaan ongelmia.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmanvaihtosaneerauksen laskennallinen vaikutus rakennuksen laskennalliseen ostoenergian määrään ja tätä kautta hiilijalanjälkeen. Tarkoituksena oli selvittää, ovatko saneerauksesta aiheutuvat materiaalisidonnaiset päästöt, vai ostoenergian pienentymisen myötä pienevät käytönaikaiseen energiaan sidonnaiset päästöt merkittävämmät rakennuksen elinkaaren aikana.

Rakennuksen nykytilanteella laadittiin olemassa olevan rakennuksen energiatodistus. Rakennuksen nykyinen talotekniikka ja rakenteet kartoitettiin kohdekäynnillä. Rakennuksen nykytilanteelle laskettiin hiilijalanjälki. Ilmanvaihtosaneerausta mallinnettiin laatimalla energiatodistus kahteen eri tilanteeseen, jossa saneeraus oli suoritettu, ja tämän jälkeen laskettiin rakennukselle uusi hiilijalanjälki.

Opinnäytetyön tuloksena oli, että ilmanvaihtosaneeraus on kannattavaa tehdä rakennuksen hiilijalanjäljen näkökulmasta. Pientalossa ilmanvaihtosaneerauksen materiaalimäärien tuottamat päästöt ovat pienemmät kuin käytönaikaisen energian vähenemisellä saavutettavat positiiviset ilmastovaikutukset.

**Asiasanat:** hiilijalanjälki, rintamamiestalo, ilmanvaihto, saneeraus

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Tomi Nousiainen
Thesis title	Ventilation renovations effect on buildings carbon footprint
Commissioned by	Rakentamista vaille Oy
Time	2024
Pages	39 pages
Supervisor	Johanna Arola

## ABSTRACT

The subject of the thesis was a detached house, which was built in the 1950s. Some renovation had been done to the house in the past to improve the energy efficiency of the house. The building had a natural ventilation system, because of this there had been some problems with the air exchange rate. A mechanical ventilation system with heat recovery was meant to be installed in the building to fix the problems.

The objective of the thesis was to find out the calculated effect of the ventilation renovation on to building's energy efficiency and thus on the carbon footprint. The objective was to find out which one was more significant during the life cycle of the building, material related emissions which were caused by the ventilation renovation or emissions related to the use-phase, which will reduce because of the renovation.

An energy certificate of the existing building was made based on the current state of the building. The current state of the building's systems and structures were determined during an inspection visit. The carbon footprint was calculated for the current state of the building. To model the ventilation renovation, energy certificates were made for two different scenarios where the renovation was already completed. The carbon footprint of the building was calculated to those scenarios as well.

The result of the thesis was that it is beneficial to execute ventilation renovation in the building from carbon footprint's perspective. Increasing material related emissions of the renovation are less significant than the positive climate effects achieved by the reduction of the energy during the use-phase in a detached house.

**Keywords:** carbon footprint, detached house, ventilation, renovation

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	ILMANVAIHTO .....	6
2.1	Painovoimainen ilmanvaihto .....	6
2.2	Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto LTO:lla .....	7
3	ILMANVAIHDON VAIKUTUS RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUTEEN JA SISÄILMASTOON .....	9
4	RAKENNUKSEN ILMASTOSELVITYS.....	12
4.1	Lainsäädäntö .....	12
4.2	Hiilijalanjälki .....	12
4.3	Hiilikädenjälki .....	14
4.4	Rakennusmateriaalien päästötietokanta .....	15
5	MATERIAALIEN JA KÄYTÖNAIKAISEN ENERGIAN OSUUS RAKENNUKSEN PÄÄSTÖISTÄ .....	16
6	AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET .....	17
6.1	Grandlund Oy:n ehdotus talotekniikan oletusarvoiksi .....	17
6.2	Sweco Oy:n talotekniikan päästötietojen selvityshanke .....	18
6.3	Siemensin pääkonttorin LVI-tekniikan hiilijalanjälki .....	20
7	TUTKITTAVA RAKENNUS .....	20
7.1	Kohteen esittely .....	21
7.2	Kohteen ilmanvaihto .....	22
7.3	Rakenneosien U-arvot .....	23
8	MENETELMÄT .....	25
8.1	Rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden tarkastelu .....	25
8.1.1	Painovoimainen ilmanvaihto .....	25
8.1.2	Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä LTO:lla .....	28
8.2	Rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta .....	29
8.2.1	Painovoimainen ilmanvaihto .....	29

8.2.2	Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto LTO:lla .....	30
9	TULOKSET .....	31
9.1	Rakennuksen energiatehokkuus.....	31
9.2	Rakennuksen hiilijalanjälki .....	32
10	TULOSTEN ANALYSOINTI .....	35
11	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	36
	LÄHTEET .....	37

# 1 JOHDANTO

Tutkimuksen kohteena on 1950-luvulla valmistunut rintamamiestalo. Talossa on tällä hetkellä painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä. Talossa on ollut ilmanvaihtuvuusongelmia johtuen nykyisestä järjestelmästä. Ilmanvaihdon saneeraukselle olisi kohteessa tarvetta.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ilmanvaihtosaneerauksen vaikutus rakennuksen laskennalliseen ostoenergiankulutukseen ja tätä kautta hiilijalanjälkeen. Opinnäytetyössä selvitettiin, ovatko ilmanvaihtosaneerauksesta aiheutuvat materiaalisidonnaiset päästöt, vai energiatehokkuuden parantumisen takia pienentyneet käytönaikaiset päästöt merkittävämmät 50 vuoden tarkastelujaksolla.

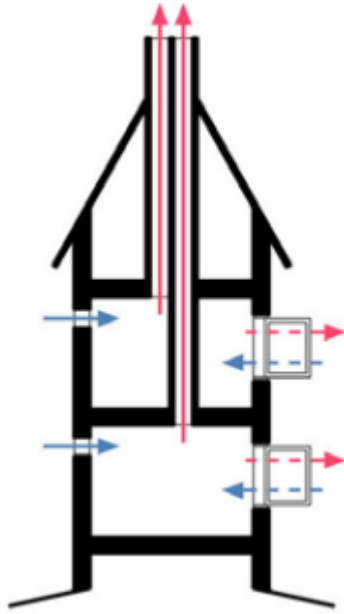
Opinnäytetyössä selvitettiin painovoimaisen järjestelmän vaihtamista koneelliseksi tulo-poistojärjestelmäksi LTO:lla ja sen vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen ja tätä kautta hiilijalanjälkeen. Rakennukselle laadittiin energiatodistus nykytilanteelle ja laskettiin rakennuksen nykyinen hiilijalanjälki. Ilmanvaihtosaneerauksen vaikutusta arvioitiin laatimalla energiatodistus tilanteeseen, jossa ilmanvaihtosaneeraus olisi tehty ja laskemalla rakennuksen hiilijalanjälki uudelleen.

## 2 ILMANVAIHTO

### 2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisella ilmanvaihdolla tarkoitetaan ilmanvaihtojärjestelmää, jonka toiminta perustuu tuulen aiheuttamaan paine-eroon, korkeuseroihin sekä ulko- ja sisäilman lämpötilaeroon. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ei koneellisesti vaihdeta rakennuksen sisäilmaa. [1, s. 1.]

Painovoimaisen ilmanvaihdon periaate on esitetty kuvassa 1. Tuloilma virtaa rakennukseen tuloilmaventtiileistä. Lämmitessään sisätiloissa ilma kevenee, nousee ylöspäin ja poistuu rakennuksesta poistoilmahormien kautta. Ilmanvaihtuvuutta voidaan tehostaa avaamalla ikkunoita, esimerkiksi kesätilanteessa, jolloin ulko- ja sisäilman lämpötilaerot ovat pieniä.



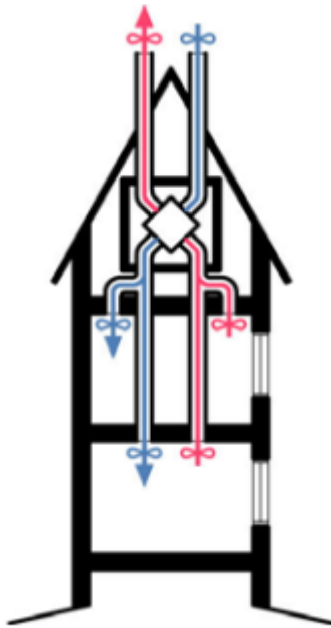
Kuva 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate [2, s. 5]

1950-luvulle asti painovoimainen ilmanvaihto oli suomalaisten rakennusten yleisin ilmanvaihtojärjestelmä. Vuonna 1978 rakennusmääräyskokoelmassa D2 oli ohjeistus painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän suunnitteluun. Vuoden 1987 D2:n julkaisussa ei ole enää ohjetta, vaan mainitaan, että painovoimaista järjestelmää voidaan käyttää lähinnä pientaloissa, kun melu- ja ilma-asteolosuhteet niin sallivat. Nykyisten ilmanvaihto- ja energia-asetusten täyttäminen painovoimaisella ilmanvaihdolla on erityisen hankalaa, joten painovoimaista ilmanvaihtoa käytetään lähinnä pientalojen saneerausten suunnittelussa ja loma-asumiseen suunnitelluissa rakennuksissa. [1, s.1,5.]

## 2.2 Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto LTO:lla

Toisin kuin painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä, koneellisessa tulo-poisto ilmanvaihtojärjestelmässä rakennuksen sisäilmaa vaihdetaan puhaltimilla, jotka sijaitsevat ilmanvaihtokoneessa. Puhaltimien ansiosta ilmamäärien säätö on tarkempaa. Koneellisessa järjestelmässä sisäilman vaihtuvuus on tasaista, ja sitä voidaan tarvittaessa säätää tilanteen mukaan, esimerkiksi jos rakennuksella ei ole käyttöä. Lisäämällä järjestelmään lämmöntalteenotto laite voidaan tuloilmaa lämmittää poistoilmasta saatavalla lämpöenergialla, ja näin saadaan aikaan energiansäästöä.

Kuvassa 2 on esitetty lämmöntalteenotollisen koneellisen tulo-poistojärjestelmän toimintaperiaate. Raitisilma johdetaan ilmanvaihtokoneen ja tuloilmakanaviston läpi oleskelutiloihin. Ilmanvaihtokoneessa on suodattimet, joilla saadaan ulkoilmasta suodatettua epäpuhtauksia pois. Poistoilma johdetaan poistoilmakanaviston kautta takaisin ilmanvaihtokoneelle, jossa suodattimilla saadaan poistettua epäpuhtauksia sisäilmasta. Huoneilmalla lämmitetään tuloilmaa, jonka jälkeen rakennuksesta poistettava ulospuhallusilma johdetaan takaisin ulkoilmaan.



Kuva 2. Lämmöntalteenotollisen koneellisen tulo-poistojärjestelmän toimintaperiaate [2, s. 5]

Asuinrakennuksiin ensimmäisiä koneellisia tulo-poistojärjestelmiä alettiin rakentaa 1970-luvulla kerrostaloihin. Kerrostaloissa koneellinen tulo-poistojärjestelmä yleistyi vasta 1980-luvulla ja pientaloissa 1990-luvulla. 2000-luvulla järjestelmä on yleisin molemmissa talotyypeissä. LTO-laitteita on käytetty teollisuudessa 1930-luvulta asti. 1970-luvulla öljyn kallistuttua ensimmäisiä LTO-laitteita aloitettiin asentamaan myös asuinrakennuksiin. [3; 4, s. 98.]

### 3 ILMANVAIHDON VAIKUTUS RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUTEEN JA SISÄILMASTOON

Ilmanvaihdon tehtävä on tuoda rakennukseen puhdasta sisäilmaa ja poistaa sisäilmasta rakennukseen syntyneet epäpuhtaudet. Asuinrakennuksen ulkoilmavirran tulisi olla vähintään  $0,35 \text{ l/s,m}^2$ , mikä vastaa ilmanvaihtokerrointa  $0,5 \text{ 1/h}$ . Tämä tarkoittaa, että rakennuksen sisäilma tulisi vaihtua vähintään kaksi kertaa tunnissa. Rakennuksen ilmanvaihtuvuuden on oltava myös tehostettavissa 30 %. Ilmanvaihtoa voidaan myös väliaikaisesti pienentää 60 %, esimerkiksi jos rakennuksessa ei ole käyttäjiä. [5, s. 5–6.]

Rakennuksen sisäilmastoon voidaan vaikuttaa koneellisessa järjestelmässä suodattamalla rakennukseen tuotavaa tuloilmaa. Painovoimaisessa järjestelmässä tuloilman suodattaminen on huomattavasti haastavampaa, koska se rajoittaa ilman liikkuvuutta tuloilmaventtiileissä. Tuloilman suodatusta tarvitaan etenkin keskusta-alueilla ja tiiviisti liikennöidyillä alueilla. [1, s. 6.] Poistoilman suodatuksella saadaan poistettua epäpuhtauksia sisäilmasta ja estetään ilmanvaihtokoneen osien likaantuminen.

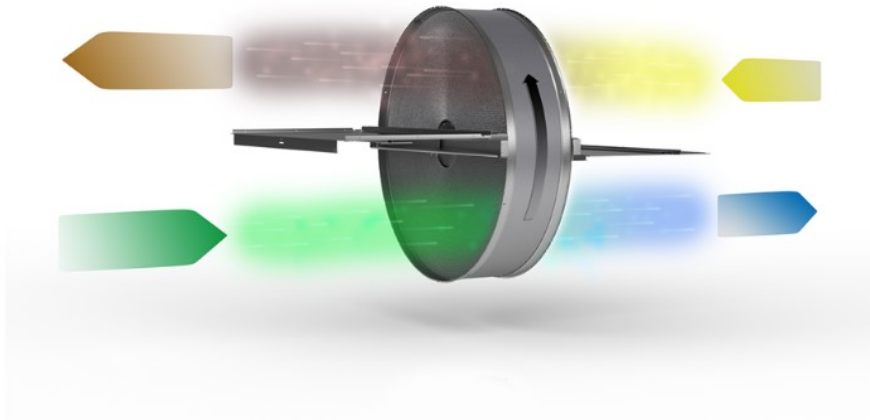
Rakennuksen ilmamäärien säätö on koneellisessa tulo-poistojärjestelmässä puhaltimien avulla säädettävissä tarkemmin. Oikein tasapainotetulla järjestelmällä eri tilojen väliset painesuhteet pysyvät hallinnassa ja ilma liikkuu rakennuksessa suunnitellusti. Huonosti säädetty järjestelmä voi aiheuttaa meluongelmia, ilman seisomista tai pahimmassa tapauksessa ilman liikettä rakennuksen vaipan läpi hallitsemattomasti. Kostean huoneilman liikkeessä rakenteiden läpi ulospäin voi se aiheuttaa rakenteisiin kosteusvauriota. Ulkoilman hallitsematon liike rakennuksen ulkovaipan läpi voi aiheuttaa rakenteisiin vaurioita sekä tuoda sisäilmaan epäpuhtauksia rakenteista. Kanaviston painesuhteet muuttuvat kanaviston likaantuessa, joten toimivuuden kannalta on tärkeää, että kanavistot puhdistetaan säännöllisin väliajoin. [4.]

Ilmanvaihdon energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa varmistamalla sen oikeanlainen toiminta. Ilmanvaihdon energiakulutus muodostuu ilmanvaihtokoneen puhaltimien, tuloilman jäähdyttämiseen tai lämmittämiseen sekä poistoilman kuivattamiseen tai kostuttamiseen käytetystä energiasta.

Tarpeenmukaiseksi suunniteltu ja oikein säädetty ilmanvaihto vähentää tuloilman lämmitystarvetta ja parantaa järjestelmän energiatehokkuutta. Järjestelmän säännöllinen huolto, kuten suodattimien vaihto ja kanavien puhdistus, vaikuttavat energiatehokkuuteen.

Suurimmat vaikutukset rakennuksen energiatehokkuuteen saadaan ilmanvaihdossa lämmöntalteenottoratkaisuilla. Pientalojen ilmanvaihtokoneissa yleisiä lämmöntalteenottoratkaisuja ovat levylämmönsiirtimet ja pyörivät lämmönsiirtimet eli regeneratiiviset lämmönsiirtimet.

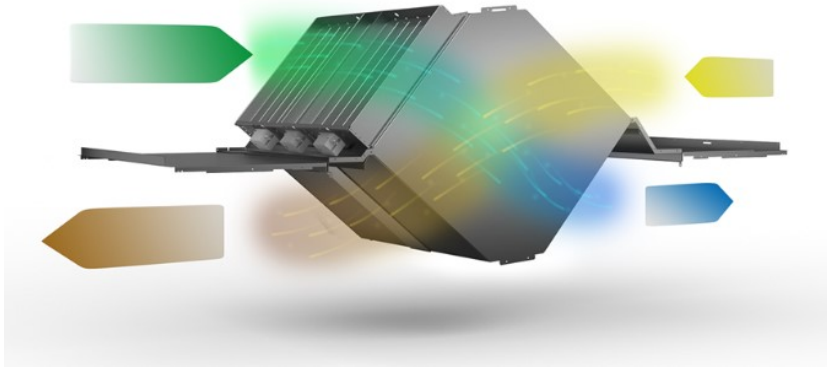
Pyörivillä lämmönsiirtimillä ilmanvaihtokoneessa päästään 60–80 % tuloilman lämpötilasuhteisiin [6, s. 28]. Lämpö- tai jäähdytysenergia siirtyy pyörivän kiekon avulla poistoilmasta tuloilmaan. Kiekkoa pyöritetään moottorin avulla. Tulo- ja poistoilma ovat yhteydessä toisiinsa kiekon välityksellä, ja tässä yhteydessä on mahdollista, että epäpuhtaudet ja kosteus siirtyvät ilmavirroista toisiin. Etuna pyörivissä lämmönsiirtimissä on, että ei tarvita yleensä erillistä kondenssiviemäröintiä. Kuvassa 3 on esitetty pyörivän lämmönsiirtimen toimintaperiaate.



Kuva 3. Ilmavirtojen liikkeet pyörivässä lämmönsiirtimessä [7]

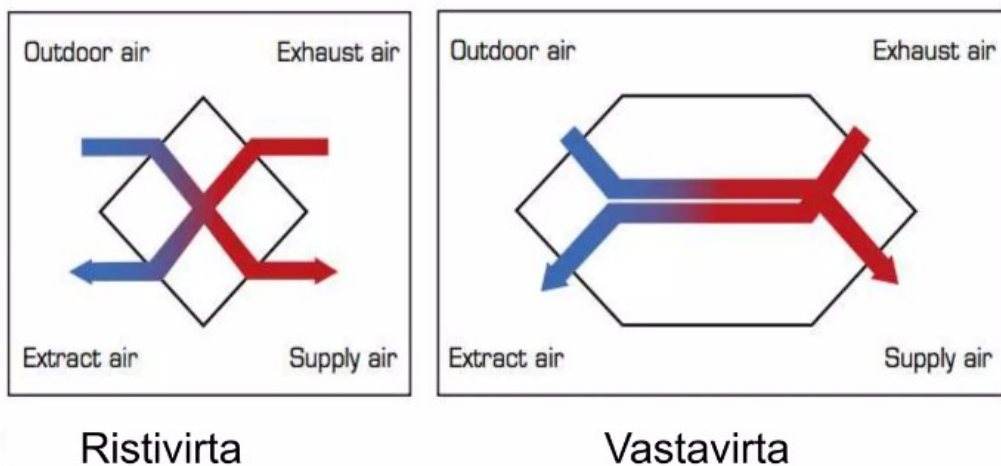
Ristivirtalevyllämmönsiirtimillä päästään 50–70 % tuloilman lämpötilasuhteeseen. Vastavirtalevyllämmönsiirtimillä päästään 60–80 % lämpötilasuhteeseen. Levyllämmönsiirtimissä toimintaperiaatteena on, että poistoilma lämmittää le-

vyjä, joista lämmönsiirrin koostuu, ja levyt lämmittävät tuloilman. Tulo- ja poistoilma virtaavat erillisissä kanavissa, jolloin ilmavirrat eivät pääse sekoittumaan keskenään. Kuvassa 4 on esitetty levylämmönsiirtimen toimintaperiaate.



Kuva 4. Levylämmönsiirtimen ilmavirtojen toimintaperiaate [7]

Ristivirtasiirtimessä ilmavirrat kulkevat nimensä mukaisesti ristikkäin ja vastavirtasiirtimessä ilmavirrat kulkevat enemmän vastakkain, jolloin lämmönsiirtopinta-alaa on enemmän. Kuvassa 5 on havainnollistettu ilmanliikkeet risti- ja vastavirta levylämmönsiirtimissä.



Kuva 5. Ilmanliikkeet risti- ja vastavirtalevylämmönsiirtimissä [8, s.5]

## 4 RAKENNUKSEN ILMASTOSELVITYS

### 4.1 Lainsäädäntö

Vuoden 2025 alusta on tulossa voimaan rakentamislaki (751/2023), jonka 38§ edellyttää, että uudelle tai laajamittaisesti saneerattavalle rakennukselle on tehtävä ilmastaselvitys. Laajamittainen saneeraus määritellään koskemaan niitä saneerauksia, jotka edellyttävät rakennuslupaa. Suomen lainsäädännössä ei tällä hetkellä ole rakennuksen ilmastaselvitystä koskevaa säädäntöä. Ympäristöministeriöllä on valmisteltavana ehdotus asetuksesta rakennuksen ilmastaselvityksestä, jonka on tarkoitus tulla voimaan samaan aikaan rakennuslain (751/2023) kanssa vuoden 2025 alusta alkaen. Asetuksessa säädetään rakennuksen elinkaaren vähähiilisydestä, ilmastaselvityksen laatimisesta ja sisällöstä sekä Suomen oloihin kehitetystä arviointimenetelmästä. Arviointimenetelmässä tullaan säätämään myös hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen laskennasta. [9.]

### 4.2 Hiilijalanjälki

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä, joita syntyy rakennuksen elinkaaren aikana. Ympäristöministeriön luonnoksessa rakennuksen arviointimenetelmäksi rakennuksen elinkaareen luetaan mukaan kaikki keskeiset päästöt, jotka syntyvät ennen rakennuksen käyttöä, käytön aikana ja käytön jälkeen. Laskentajaksona arviointimenetelmässä käytetään 50 vuotta. Hiilijalanjälki ilmoitetaan hiilidioksidiekvivalenttien painona (kgCO<sub>2e</sub>). Taulukossa 1 on esitetty hiilijalanjäljen arvioinnin tulosten esitystapa, jokaiselle rakennuksen elinkaaren vaiheelle jaoteltuna.

Taulukko 1. Hiilijalanjäljen arvioinnin tulosten esitystapa

Hiilijalanjälki	yksikkö
A1-3 Rakennustuotteiden valmistus	kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
A4 Kuljetukset	kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
A5 Työmaatoiminnot	kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
B4 Rakennustuotteiden vaihdot	kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
C1 Purkaminen	kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
C2 Purkujätteen kuljetukset	kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
C3 Purkujätteen käsittely	kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
C4 Purkujätteen loppusijoitus	kgCO <sub>2e</sub> /m <sup>2</sup> /a
Hiilijalanjäljen loppusumma	kgCO <sub>2e</sub> yhteensä

Ennen käyttöä rakennuksen hiilijalanjälkeen arvioidaan rakennustuotteiden valmistuksesta, tuotteiden kuljetuksesta ja työmaan toiminnoista syntyvät päästöt. Rakennusmateriaalien ilmastovaikutukset ovat suuret, ja niillä voidaan vaikuttaa merkittävästi rakennuksen hiilijalanjälkeen. Kuljetuksen ja työmaatoimintojen arvioinnilla pyritään vaikuttamaan rakentamisen vähähiilisyyteen kannustavasti, vaikka näiden ympäristövaikutukset rakennuksen koko elinkaaren aikana eivät ole kovin merkittävät. [10, s.12.]

Rakennuksen käytön aikana päästöjä arvioidaan energiankulutuksesta ja rakenneseosien vaihdoista syntyvien päästöjen osalta. Energiankulutuksella on käytön aikana suurin merkitys rakennuksen vähähiilisyyteen. Rakenneseosien teknisen käyttöiän perusteella voidaan arvioida vaihtotarpeen aiheuttama hiilijalanjälki elinkaaren aikana. Rakenneseosien vaihtojen arviointi kannustaa suosimaan pitkäikäisiä ratkaisuja rakentamisessa. Käytön ajalta jätetään arviomatta kunnossapidon ja korjausten vaikutus rakennuksen päästöihin. Edellä mainittujen vaikutus on vähäinen elinkaaren aikana ja vaikea arvioida laskentavaiheessa. Veden käyttö on myös rajattu pois arvioinnista, mutta lämpimän käyttöveden lämmitykseen kuluva energia sisältyy arviointiin. Rakennuksen laajamittaisia korjauksia, kuten talotekniikkajärjestelmien-, tila- tai rakennemuutoksia, ei oteta huomioon käytönaikaisessa arvioinnissa. Laajamittaiset korjaukset eivät ole suunnitteluajankautana selvillä, joten niitä tehtäessä on suoritettava korjauksen osalta uusi vähähiilisyyden arviointi. [10, s.12–13.]

Käytön jälkeisiin arvioitaviin kohteisiin kuuluvat purkutyöt, kuljetukset käsitteilyyn, jätteenkäsittely ja loppusijoituspaikka. Purkutöiden ja kuljetusten arvioinnissa käytetään samaa menetelmää kuin rakentamisvaiheessa. Jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen suhteen arvioinnissa käytetään kansallisen päästötietokannan taulukkoarvoja. [10, s. 13, 22.]

Kuvassa 6 on esitetty ympäristöministeriön luonnoksen rakennuksen hiilijalanjäljen arvioinnin mukainen laskukaava.

$$\text{Hiilijalanjälki} = \text{GWP}_{\text{valmistus}} + \text{GWP}_{\text{vaihdot}} + \text{GWP}_{\text{jätteenkäsittely}} + \text{GWP}_{\text{loppusijoitus}} + \text{GWP}_{\text{kuljetukset}} + \text{GWP}_{\text{työmaa}} + \text{GWP}_{\text{käyttöenergia}}$$

jossa:

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

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

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

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

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

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

$\text{GWP}_{\text{käyttöenergia}}$  on rakennuksen käytön aikana kulutetusta energiasta aiheutuva kasvihuonekaasupäästö (B6).

Kuva 6. Hiilijalanjäljen arvioinnin kaava [10, s. 16]

### 4.3 Hiilikädenjälki

Hiilikädenjäljen arvioinnissa otetaan huomioon sellaiset ilmastohyödyt, joita ei tapahtuisi ilman rakennushanketta. Hiilikädenjälkeä ei vähennetä rakennuksen hiilijalanjäljestä, vaan se ilmoitetaan erillisenä lukuna ilmastaselvityksessä. Hiilikädenjälki ilmoitetaan negatiivisena hiilidioksidiekvivalenttien painona ( $\text{kgCO}_2\text{e}$ ). [10, s. 28.] Taulukossa 2 on esitetty hiilikädenjäljen arvioinnin tulosten esitystapa.

Taulukko 2. Hiilikädenjäljen arvioinnin tulosten esitystapa.

Hiilikädenjälki	yksikkö
D1. Uudelleenkäyttö ja kierrätys	- $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$
D2. Hyödyntäminen energiana	- $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$
D3. Ylimääräinen uusiutuva energia	- $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$
D4. Tuotteiden hiilivarastovaikutus	- $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$
D5. Karbonatisoituminen	- $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$
D6. Istutettu puusto	- $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$

Hiilikädenjälkeen voidaan lukea rakennusosien uudelleenkäytön tai materiaalien kierrätyksen kautta vältettävissä olevat kasvihuonekaasupäästöt. Määrien arvioinnissa käytetään kansallisen päästötietokannan arvoja tai tuotteiden ympäristöselosteita. Hiilikädenjälkeen voidaan ottaa mukaan vain ne tuotteet, jotka ovat olleet mukana hiilijalanjäljen laskennassa.

Jos rakennuksessa tai rakennuspaikalla tuotetaan ylimääräistä uusiutuvaa energiaa, kuten sähköä, lämpöä tai kylmää, voidaan ne lukea osaksi hiilikädenjälkeä [10, s. 28].

Rakennusmateriaaleihin ilmakehästä sitoutuva eloperäinen hiili voidaan lukea hiilikädenjälkeen mukaan. Eloperäisen hiilen määrä rakennustuotteissa on ilmoitettu kansallisessa päästötietokannassa tai tuotteiden ympäristöselosteissa. Jos rakennustuotteissa on käytetty teknisin menetelmin ilmakehästä, tehtaista, laitteista, maaperästä tai vesistöistä poistettua hiilidioksidia, voidaan niiden sisältämä tekninen hiilivarasto lukea mukaan hiilikädenjälkeen. [10, s. 29.]

Sementtipohjaisiin tuotteisiin sitoutuu hiilidioksidia ilmakehästä, kun tuote on kosketuksessa ilmakehän kanssa. Hiilikädenjälkeen voidaan ottaa mukaan tuotteisiin sitoutuva hiilidioksidin määrä, mikä tapahtuu rakennuksen elinkaaren jälkeen. Niitä osuuksia tuotteista, jotka eivät päädy lopulliseen rakennustuotteeseen, ei oteta huomioon arvioinnissa. [10, s. 30.]

#### **4.4 Rakennusmateriaalien päästötietokanta**

CO2DATA on Suomen ympäristökeskuksen keräämä rakennusten ja rakennusmateriaalien päästötietokanta. Päästötietokanta on kerätty ympäristöministeriön pyynnöstä ja yhteistyössä elinkaariasiiantuntijoiden (LCA = Life cycle assessment) kanssa. Materiaalitietokannan keräämisen yhteydessä tehtiin myös tiivistä yhteistyötä Ruotsin ja muiden pohjoismaiden kanssa. Ruotsissa kehitettiin samanlaista tietokantaa yhtä aikaa, ja yhteistyö auttoi molempia maita ratkaisemaan ongelmia ja löytämään ratkaisuja. Tietokannan avulla pystytään suunnittelemaan vähähiilisiä ja materiaalitehokkaita ratkaisuja. Tietokannan on myös tarkoitus toimia pohjana rakennuksen vähähiilisyyden arvioinnissa ja auttaa arvioimaan rakennusten ominaislämmitysvaikutusta (GWP = Global Warming Potential). [11, s. 2.]

Päästötietokannasta löytyy arvoja tyypillisille suomalaisille rakennuksille, rakennusmateriaaleille, rakennustyömaille ja talotekniikalle. Päästötietokanta on kehitetty kattamaan koko rakennuksen elinkaari, rakentamisesta purkuun asti. GWP-arvot rakennustuotteille on laskettu vertailemalla isoimpien valmistajien

tuotteiden ympäristöselosteita ja muodostamalla niiden keskiarvosta tyypillinen arvo tuotteelle. Päästötietokannasta löytyy myös konservatiivinen arvo, joka saatu kertomalla tyypillinen arvo 1,2:lla. Konservatiivista arvoa voidaan käyttää suunnittelussa rakennuslupavaiheessa, jos ei ole vielä tiedossa tarkkoja materiaaleja tai jos materiaaleista ei löydy ympäristöselosteita. [11, s. 2, 20.]

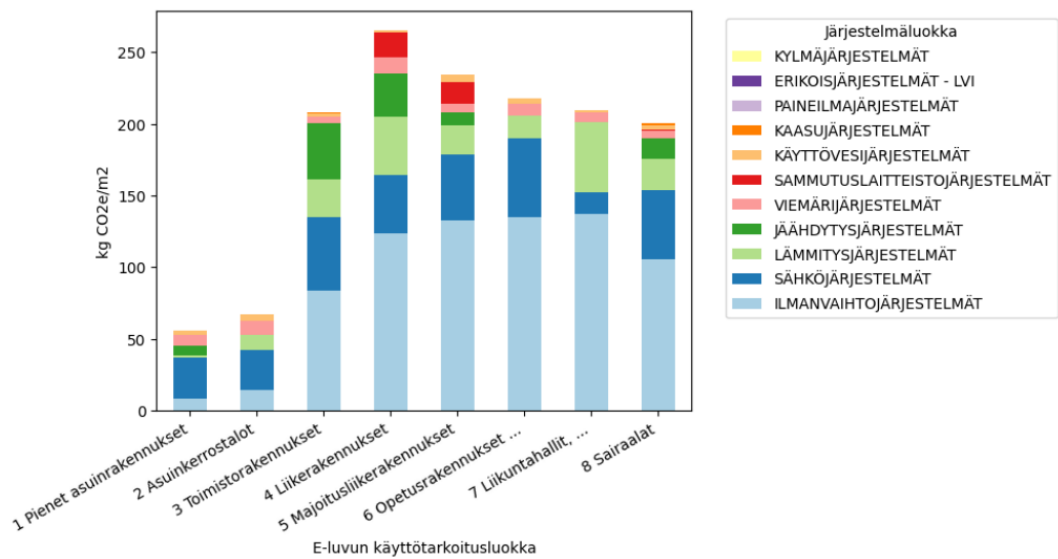
Talo- ja sähkötekniikalle päästötietokannasta löytyy järjestelmäkohtaiset arvot, koska tuotteissa on puutteita ympäristöselosteissa eikä tuotteilla ei ole sellaista kategorisointia, jolla saataisiin tarpeeksi tarkat tiedot arviointia varten. Sähkö- ja talotekniikkatuotteita on paljon, ja niiden paino ja GWP-arvot ovat koko rakennuksen mittakaavassa usein pieniä. Järjestelmille on annettu neoliöperusteinen GWP-arvo vertailemalla toteutuneiden rakennusten materiaalitietoja ja eri rakennustyyppien materiaalmääriä. [10, s. 11–12.]

## **5 MATERIAALIEN JA KÄYTÖNAIKAISEN ENERGIAN OSUUS RAKENNUKSEN PÄÄSTÖISTÄ**

Euroopan tasolla tarkasteltuna useassa Euroopan maissa rakennuskanta on vanhaa ja energiatehokkuudessa on puutteita, joten joudutaan turvautumaan lämmitysjärjestelmiin, joissa käytetään suurta lämpötilaeroa. Rakennukset kuluttivat yli kaksi viidesosaa käytetystä kokonaisenergiasta, mikä teki niistä yhden suurimmista kasvihuonekaasujen aiheuttajista. Asuinrakennusten osuus kokonaisenergiankulutuksesta oli noin kaksi kolmasosaa. Suurin osa käytönaikeisesta energiasta menee tilojen ja veden lämmittämiseen. [12.]

Rakennuksien osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta on lähes 40 %. Noin 30 % Suomen hiilidioksidipäästöistä aiheutuu rakentamisesta, rakennusten lämmittämisestä ja sähkönkäytöstä. Rakennuksissa n. 85 % hiilijalanjäljestä aiheutuu käytönaikeisen energian päästöistä. Loppuosa hiilijalanjäljestä muodostuu työmaatoiminnoista, kuljetuksesta ja rakennusmateriaaleista ja rakennusmateriaalien osuus on yli 80 % loppuosan hiilijalanjäljestä. [13, s. 5, 56–57.]

Talotekniikalla on suuri merkitys rakennuksen hiilidioksidipäästöihin, koska materiaalit ovat suurimmalta osin ilmastoa saastuttavia, esim. metallit ja muovit. Talotekniikan materiaalimäärät vaihtelevat käyttötarkoituksittain. Asuinrakennuksissa talotekniikan materiaalimäärät ovat usein pienempiä, kuin julkisissa käytössä olevissa rakennuksissa. Suurimmat yksittäiset materiaalipäästöt aiheutuvat yleensä ilmanvaihtojärjestelmästä, johtuen kanavien suuresta määrästä ja ilmanvaihtokoneiden suuresta massasta. Kuvassa 7 on esitetty talotekniikan oletuspäästöt käyttötarkoituksittain.



Kuva 7. Talotekniikan oletuspäästöt rakennusten käyttötarkoituksittain [14, s. 7]

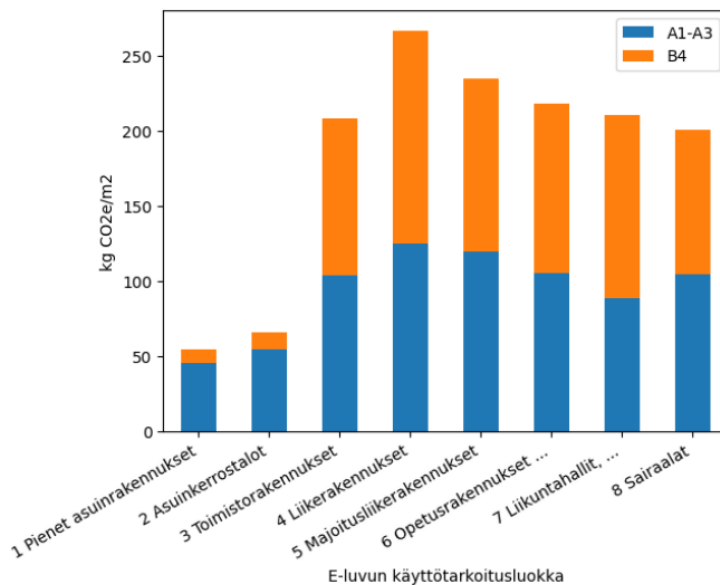
Talotekniikalla voidaan myös vaikuttaa merkittävästi käytönaikaisiin päästöihin, koska suurin osa käytönaikaisesta energiasta menee tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Valitsemalla energiatehokkaita ratkaisuja, voidaan käytönaikaista energiaa ja tätä kautta päästöjä vähentää. Ilmanvaihdolla voidaan vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen ulkoilmavirran lämmittämisen ja sisäilman lämmöntalteenottoratkaisuiden kautta suuresti.

## 6 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

### 6.1 Grandlund Oy:n ehdotus talotekniikan oletusarvoiksi

Grandlund Oy teki vuonna 2023 selvityksen talotekniikan hiilijalanjäljestä ja materiaalisällöistä käyttötarkoituksilleen tyypillisistä rakennuksista. Selvityksen oli tarkoitus luoda oletusarvot talotekniikan hiilijalanjäljestä ja materiaa-

lisisällöistä rakennustyypeittäin uusille rakennuksille. Selvitys tehtiin LVI-tekniikan osalta 35 kohteesta ja sähköjärjestelmien osalta 36 kohteesta. LVI-tekniikan osalta hyödynnettiin suunnittelukohteista tehtyjä tietomalleja ja laiteluetteiloita. Sähköjärjestelmien osalta selvityksessä käytettiin urakoitsijan määrälaskentoja, jotta saatiin mukaan myös sähköjohtojen vaikutus. Oletusarvoiksi valittiin laskennassa suurimman hiilijalanjäljen saanut kohde. [14, s. 3–4.] Kuvassa 8 on esitetty talotekniikan hiilijalanjäljen oletusarvot eri elinkaaren vaiheissa.



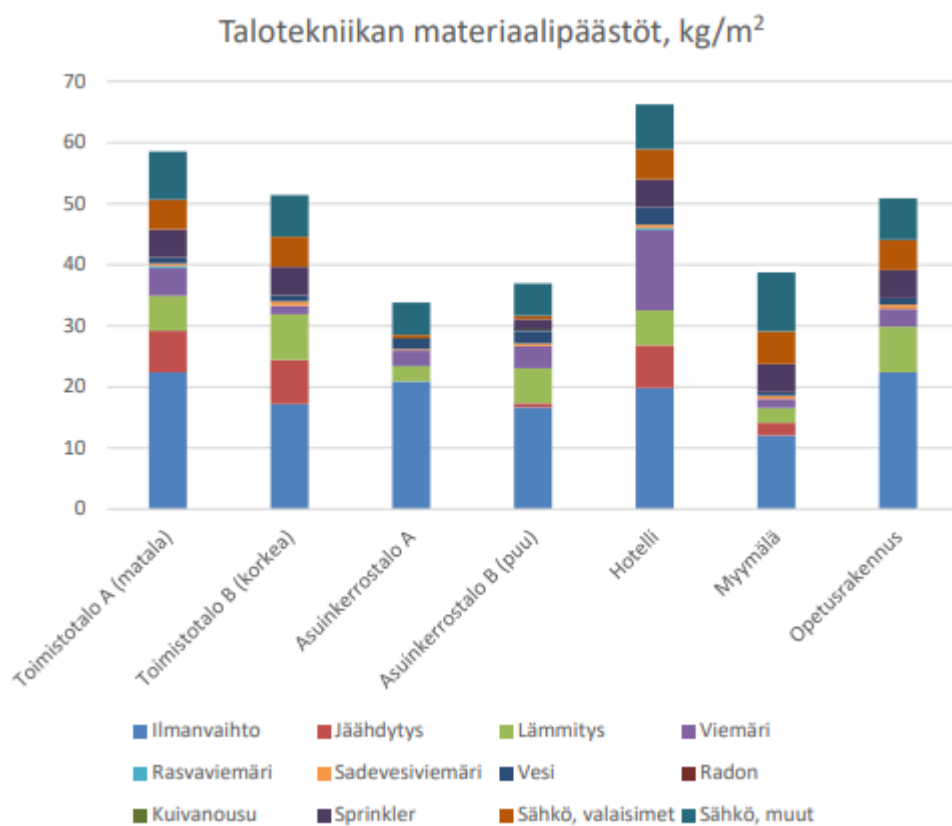
Kuva 8 Talotekniikan oletusarvot elinkaaren eri vaiheissa [14, s. 6]

Pienissä asuinrakennuksissa ja asuinkerrostaloissa selvityksen mukaan sähköjärjestelmä on suurin hiilijalanjäljen aiheuttaja. Muissa luokissa Ilmanvaihtojärjestelmä oli suurin hiilijalanjäljen aiheuttaja. Suurin osa kaikista päästövaikutuksista muodostuu ilmanvaihtojärjestelmästä, sähköjärjestelmästä, lämmitysjärjestelmästä ja mahdollisesta jäähdytysjärjestelmästä selvityksen mukaan. Vesi- ja viemärijärjestelmällä on pienempi vaikutus. Sammutuslaitteistojärjestelmän vaikutus on samansuuruinen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän kanssa. [14, s. 5–7.]

## 6.2 Sweco Oy:n talotekniikan päästötietojen selvityshanke

Sweco Oy:n vuoden 2021 talotekniikan päästötietojen selvityshankkeessa on kerätty tietoja toteutuneista rakennushankkeiden talotekniikan materiaolimää-

ristä ja niiden perusteella luotu talotekniikkaosien neliöperäiset materiaali-  
päästöarvot. Selvityksessä oli mukana kaksi toimistorakennusta, kaksi asuin-  
kerrostaloa, kaksi myymälärakennusta ja yksi majoitusliike. LVI-materiaalit ke-  
rättiin tietomalleista ja laiteluetteloista. Laskennasta poisjätetyt tarvikkeet on  
kompensoitu conservative-kertoimella. Sähköjärjestelmien osalta tietomal-  
leissa oli puutteita, joten sähkökomponentit on kerätty referenssikohteiden  
suunnitelmista. Massatiedot kerättiin valmistajien tuotetiedoista ja päästöker-  
toimet on haettu SYKE:n päästötietokannasta. [15, s. 1.] Kuvassa 9 on esitetty  
talotekniikan materiaali-päästöt järjestelmittäin laskettuna kohderakennuksissa.



Kuva 9. talotekniikan materiaali-päästöt kohderakennuksista järjestelmittäin [15, s. 7]

Selvityksen mukaan kaikissa tarkastelluissa rakennustyypeissä suurimmat  
materiaali-päästöt aiheutuvat ilmanvaihtojärjestelmistä. Toimistojen ja kauppa-  
keskusten osalta huomattiin, että jopa suurempi osa materiaali-päästöistä ai-  
heutuu käytönaikana. Tämä johtuu siitä, että näissä rakennustyypeissä teh-  
dään paljon talotekniikan muutostöitä ennen laitteiden teknisen käyttöiän päät-  
tymistä. Rakennusvaiheen materiaali-päästöt vaihtelivat rakennustyyppistä riip-  
puen 46–79 kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup> välillä. Käytönajan materiaali-päästöt vaihtelivat välillä  
10–96 kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>. [15, s. 11–12.]

### 6.3 Siemensin pääkonttorin LVI-tekniikan hiilijalanjälki

Vuonna 2020 julkaistussa tutkimuksessa tutkittiin Sveitsiläisen toimistorakennuksen materiaaliperäistä hiilijalanjälkeä LVI-järjestelmien osalta. Tutkimuksen kohteena oli Siemensin pääkonttori. Rakennus oli seitsemän kerroksinen ja pinta-ala oli 32 000 m<sup>2</sup> [16, s. 7].

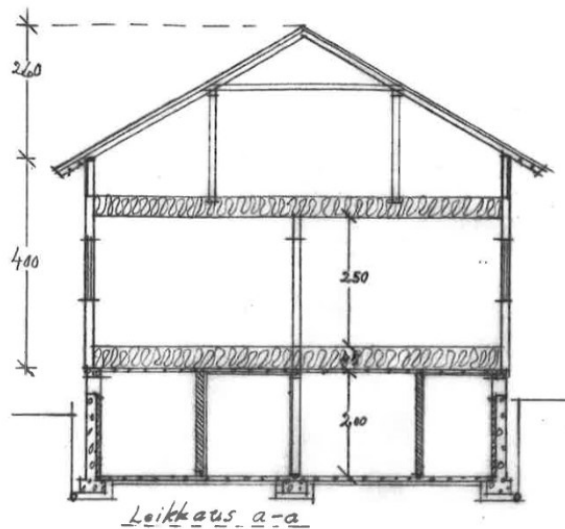
Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää rakennuksen todellinen LVI-järjestelmien materiaaliperäinen hiilijalanjälki käyttäen hyväksi rakennuksen tietomallia. Tietomallista eroteltiin kaikki järjestelmien osat ja niille määritettiin todellinen hiilijalanjälki osa osalta. Tuotteita tietomallissa oli n. 60 000 kappaletta. Tuotteiden geometriset tiedot eroteltiin tietomallista ja niiden perusteella laskettiin tuotteille paino ja materiaalisisältö. Materiaalien ja painon perusteella tuotteille laskettiin hiilijalanjälki. Useissa tuotteissa elinkaariarviointi tietokannat olivat puutteellisia ja materiaalit jouduttiin selvittämään valmistajalta ja lisäämään käsin laskentaan. Hiilijalanjälkiarviointi tehtiin tutkimuksessa 60 vuoden ajanjaksolle. [16, s. 4–8.]

Suurimmat materiaalmäärät, joita rakennuksen LVI-tekniikassa oli olivat galvanoitu teräs (66 %), alumiini (13 %) ja mineraalivilla (10%). Tuotekategorioitain tutkittuna tutkimuksessa huomattiin, mekaanisten laitteiden osalta käyttövaiheen materiaalisidonnaiset päästöt olivat tuplasti suuremmat kuin rakennusvaiheen 60 vuoden ajanjaksolla. Osienvaihdolla (B4) oli rakennuksessa kaikista suurin vaikutus materiaalisidonnaiseen hiilijalanjälkeen (1,70 kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>/a). Rakennus- (A1-A3, 1,32 kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>/a) ja käyttövaiheen (B6, 1,25 kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>/a) vaikutus oli samankaltainen. Yhtenä huomiona tutkimuksessa oli, että suodattimien osuus oli 65 % ilmanvaihtokoneiden ja 11 % koko LVI-tekniikan käytönaikaisista materiaalisidonnaisista päästöistä. LVI-tekniikan hiilijalanjälki kokonaisuudessaan osa osalta tarkasteltuna, jopa kolme kertaa suurempi kuin SIA 2040- työkalun neliöperäiset raja-arvot. [16, s. 8–10, 13–14.] SIA 2040 on ensimmäisenvaiheen suunnittelun avuksi tehty työkalu, joka antaa tyypillisiä neliöperäisiä arvoja järjestelmille [17.]

## 7 TUTKITTAVA RAKENNUS

Rintamamiestalot ovat 1,5-kerroksia, ja usein niihin on rakennettu myös kellarit. Talot ovat neliön muotoisia, ja talon keskellä on hormi, jonka ympärille

huoneet ovat perustettu. Ensimmäisen kerroksen asuintilojen pinta-ala on tyypillisesti n. 70–80 m<sup>2</sup>. Kellarikerroksessa on tyypillisesti alun perin ollut pesutupa ja sauna. Kellaritiloissa on myös ollut toissijaisia tiloja, kuten varasto, autotalli, perunakellari tai polttoainevarasto. Ylin kerros on tyypillisesti muutettu vasta jälkikäteen asuinkäyttöön. [18.] Yläkerta on ollut alun perin käytössä vain kesäaikaan tai ollut käyttöullakkona [19]. Ensimmäinen kerros on yleensä normaalikorkuinen, n. 2,5 m korkea. Tyypillisesti yläkerta ja kellarikerros ovat matalampia. Kuvassa 10 on esitetty tyypillisen rintamamiestalon rakennekuva ja kerroskorkeudet.



Kuva 10. 1950-luvun rintamamiestalon rakennekuva ja kerroskorkeudet [18]

## 7.1 Kohteen esittely

Tukittavana kohteena on vuonna 1953 rakennettu rintamamiestalo, joka sijaitsee Etelä-Savossa. Rakennuksessa on kolme kerrosta. Kellarikerroksessa on alun perin ollut maakellari ja saunatilat. Maakellarin osuus on otettu asuinkäyttöön remonttien myötä. Ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevat keittiö, olohuone ja yksi makuuhuone. Yläkerrassa on makuuhuoneen lisäksi molemmin puolin puolilämpimät ullakkosäilytystilat. Rakennukseen on tehty vuosien varrella paljon remontteja, mm. huonejärjestyksiä on muutettu, katto ja ulkovooraus on saneerattu.

Rakennuksen alapohja on maanvastainen betonilaatta. Kellarin seinät ovat maanvastaiset betoniseinät. Ulkoseinien rakenne on puurunkoinen, purueristetty ja lautaverhoiltu seinä. Väliseinät ja välipohjat ovat puurakenteisia. Katto on puurunkoinen ja huopaverhoiltu.

Rakennuksen pääasiallisena lämmitysmuotona on suora sähkölämmitys ja lämmönjako tapahtuu sähköpattereilla. Ensimmäisessä kerroksessa on pönttöuuni varalämmönlähteenä. Pönttöuuni on saneerattu vuonna 2018. Lämmönlähteitä on alun perin ollut useampi, mutta ne on ajan myötä purettu pois. Rakennukseen on asennettu ilmalämpöpumppu kahdella sisäyksiköllä. Sisäyksiköt sijaitsevat kellarikerroksessa ja ensimmäisessä kerroksessa.

Rakennuksen viemärit on uusittu alkuperäisistä valurautaviemäreistä muoviviemäreiksi. Käyttövesijohdot kulkevat rakenteissa suojaputkessa olevassa PEX-putkessa. Käyttövesiputket on uusittu saneerauksien yhteydessä. Vanha sinkittyteräksinen käyttöveden syöttöjohto on uusittu PEM-putkeksi. Käyttöveden lämmitykseen käytetään sähköistä lämminvesivaraajaa. Lämminvesivaraaja on malliltaan Kaukora Oy:n VLK-100. Varaaja on tilavuudeltaan 100 litraa ja teholtaan 2 kW. Rakennuksessa ei ole käyttöveden paineenalennusventtiiliä. Taulukossa 3 on esitetty kohteen perustiedot.

Taulukko 3. Kohteen perustiedot

Rakennuksen perustiedot	
Rakennuskohde	Mäntylä
Rakennusosa	Päärakennus
Osoite	Koivukuja
Paikkakunta	Savonlinna
Rakennusvuosi	1953
Kerroslukumäärä	K+1,5
Lämmitetty nettoala	135 m <sup>2</sup>
Rakennuksen käyttötarkoituksluokka	Luokka 1: Pientalot
Lämmitysjärjestelmä	Sähköpatterilämmitys
Käyttöveden Lämmitysjärjestelmä	Sähköinen lämminvesivaraaja
Ilmanvaihtojärjestelmä	Painovoimainen
Ulkoseinät	Puurunko+eriste/maanvastainen betoni
Alapohja	Maanvastainen betonilaatta
Katto	Huopakate

## 7.2 Kohteen ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihto on painovoimainen. Rakennuksen keskellä on tiilestä muurattu tiilihormisto, joka toimii poistoilmahormistona. Tutkimuksen aikana kartoitettiin ilmanvaihtoventtiilien paikat. Ilmanvaihtolaitteiden paikat on

esitetty kuvassa 11, tuloilmaventtiilit on esitetty sinisellä ja poistoilmaventtiilit on esitetty punaisella.

Kellarikerroksen seinissä on 3kpl tuloilmaventtiileitä, ja saunaan on tuotu saunankäyttöä varten erillinen tuloilmakanava. Kellarikerroksessa on 3 kpl poistoilmaventtiileitä, jotka on johdettu talon keskellä sijaitsevaan ilmahormistoon.

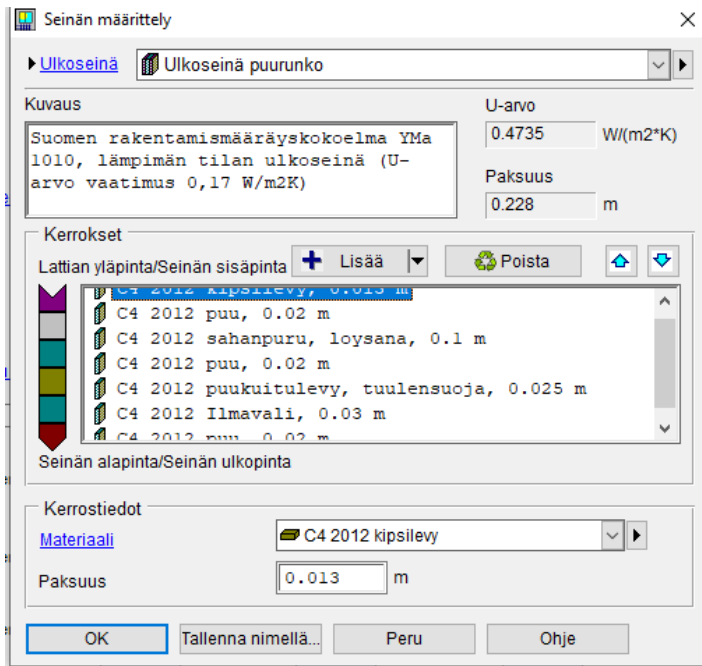
Ensimmäisessä kerroksessa on WC:ssä poistoilmaventtiili ja keittiössä on liesituuletin, joka ei ole normaaliolosuhteessa käytössä. Olohuoneen ikkunaan on asennettu ikkunan karmiin tuloilmaventtiili. Yläkerrassa on yksi poistoilmaventtiili ja ikkunan karmiin asennettu tuloilmaventtiili.



Kuva 11. Rakennuksen ilmanvaihtolaitteiden sijainnit

### 7.3 Rakenneosien U-arvot

Rakennuksessa on suoritettu vuosien aikana saneerauksia, jotka ovat muuttaneet rakenteiden U-arvoja. Kattosaneerauksen yhteydessä on lisätty eristettä kattoon. Kellarikerroksen tiloja on muutettu asuintiloiksi, jolloin on tehty muutoksia seinien ja alapohjan rakenteisiin. Ulkovuorisaneerauksen yhteydessä oli lisätty tuulensuojalevy. Energiatodistuksen laadintaa varten kohdekäynnillä selvitettiin rakenteiden materiaaleja, joiden perusteella laskettiin rakenteille uudet U-arvot. Uudet U-arvot eli lämmönläpäisykertoimet laskettiin rakenteille käyttämällä IDA ICE -ohjelmistoa. IDA ICE -ohjelmistosta löytyy rakenteiden määrittämisosio, jossa on yleisimmät rakennusmateriaalit ja niiden lämmönläpäisykertoimet. Ohjelmisto laskee rakenteelle sille ominaisen lämmönläpäisykertoimen. Kuvassa 12 on esitetty ulkoilmanvastaisen puurunkoisen seinän U-arvon laskenta.



Kuva 12. Ulkoseinän U-arvon laskenta

Muille rakenteille laskenta suoritettiin samalla periaatteella. Ikkunat ja ulko-ovi oli saneerattu 2000-luvulla. Ikkunoille ja ovelle ei ollut saatavilla materiaaliselosteita, joista olisi selvinnyt niille ominaiset U-arvot. Edellä mainituille on käytetty 2000-luvun rakenteille ominaista U-arvoa [20, s.3]. Taulukossa 4 on esitetty energiatodistuksen laskennassa käytetyt U-arvot.

Taulukko 4. Rakenteiden U-arvot

Osa	koko [m <sup>2</sup> ]	U-arvo
Maanvastainen seinä, uusi osa	41,4	0,35
Maanvastainen seinä, vanha osa	16,0	0,58
Maanvastainen alapohja, uusi osa	31,4	0,30
Maanvastainen alapohja, vanha osa	20,1	0,59
Ulkoseinä	70,7	0,47
Yläpohja	50,8	0,29
Yläkerran ullakon vastaiset seinät	31,7	0,36
Ulko-ovi	1,9	1,4
Ikkunat pohjoinen	3,4	1,4
Ikkunat itä	5,0	1,4
Ikkunat etelä	2,1	1,4
Ikkunat länsi	2,7	1,4

## **8 MENETELMÄT**

Rakennuksen energiatehokkuutta tutkittiin laatimalla rakennukselle olemassa olevan rakennuksen energiatodistus. Energiatodistusta varten suoritettiin kohdekäynti, jolla kerättiin tarvittavat tiedot laskentaa varten. Energiatodistuksen laadinnassa käytettiin Laskentapalvelut.fi:n energiatodistuslaskuria. Laskentapalvelut.fi on selainpohjainen laskentasovelluksia tarjoava internetsivusto, jonka tarjoavat D.O.F tech Oy ja Saint-Gobain Finland Oy. Energiatodistuksien ja -selvityksien lisäksi sivustolta löytyy muitakin ohjelmistoja, jotka auttavat rakentamiseen liittyvää laskentaa. Energiatodistus on laadittu käyttäen ympäristöministeriön asetusta 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuudesta, joka on tullut voimaan 1.1.2018. [21.]

Opinnäytetyö on toteutettu kvantitatiivisena tutkimuksena. Aineistoa on kerätty kohdekäynnillä. Laskentojen tulokset on käsitelty taulukkomuodossa ja sitä verrataan aikaisempaan tutkimusaineistoon.

### **8.1 Rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden tarkastelu**

#### **8.1.1 Painovoimainen ilmanvaihto**

Energiatodistuksen laadinta aloitettiin määrittämällä laskuriin rakennuksen perustiedot. Rakennuksesta ei ollut saatavilla pohjapiirustuksia, joista olisi selvinnyt rakennuksen mitat. Mitat määritettiin kohdekäynnillä mittaamalla. Rakennusluvan hakemisvuodesta ei ollut tietoa saatavilla, joten on käytetty valmistusvuodesta kahta vuotta aikaisempaa vuosilukua. Taulukossa 5 on esitetty laskuriin syötetyt rakennuksen perustiedot.

Taulukko 5. Rakennuksen perustiedot

Perustiedot	
Rakennuksen nimi	Mäntylä
Rakennusosa	Päärakennus
Katusoite	Koivukuja 1
Postinumero	57230 Savonlinna
Rakennusluvan hakemisvuosi	1951
Valmistumisvuosi	1953
Yhteys, jossa todistus annetaan	Olemassa olevan kohteen laskenta
Rakennuksen käyttötarkoitus 2018	Yhden asunnon talot (luokka 1 a-c)
Käyttötarkoituksen kuvaus	Pientalo
Runkomateriaali	Puurakenne
Kerroslukumäärä	3
Rakennustilavuus (m <sup>3</sup> )	391
Maanpäällinen kerrostasoala (m <sup>2</sup> )	119,4
Lämmitetty nettoala (m <sup>2</sup> )	135
Lämpökapasiteetti (Wh/m <sup>2</sup> K)	70

Seuraavaksi laskentaohjelmaan määriteltiin rakennuksen rakenneosat. Rakenneosien U-arvojen osalta on käytetty kohdekäynnillä määritettyjä rakenteiden U-arvoja. Taulukossa 6 on esitetty laskentaohjelmaan syötetyt arvot. Rakenneosien välisten kylmäsiltojen arvioinnissa on käytetty 10 % korotusta, rakennuksen ulkovaipan johtumishäviöihin [20, s. 6.]

Taulukko 6. Laskentaohjelmaan syötetyt rakenteiden tiedot

Rakenneosat				
Osa	koko [m <sup>2</sup> ]	U-arvo	g-arvo	Fkehä x Fverho
Maanvastainen seinä, uusi osa	41,4	0,35		
Maanvastainen seinä, vanha osa	16,0	0,58		
Maanvastainen alapohja, uusi osa	31,4	0,30		
Maanvastainen alapohja, vanha osa	20,1	0,59		
Ulkoseinä	70,7	0,47		
Yläpohja	50,8	0,29		
Yläkerran ullakon vastaiset seinät	31,7	0,36		
Ulko-ovi	1,9	1,4		
Ikkunat pohjoinen	3,4	1,4	0,6	0,5
Ikkunat itä	5,0	1,4	0,6	0,5
Ikkunat etelä	2,1	1,4	0,6	0,5
Ikkunat länsi	2,7	1,4	0,6	0,5

Tutkittavaan rakennukseen ei ole tehty ilmanvuotomittausta, joten rakennuksen ilmavuotolukuna käytettiin rakennusvuodelle ominaista n<sub>50</sub>-ilmanvuotolukua 6 1/h. Rakennuksen n<sub>50</sub>-luku muutettiin nykyisin käytettyyn q<sub>50</sub>-lukuun kaavalla 1. Rakennuksen q<sub>50</sub>-luvuksi saatiin 6,67 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>). Ilmanvuotoluvun

avulla laskentaohjelma määrittää vuotoilman määrän kaavan 1 avulla ja tätä kautta vuotoilman lämmittämiseen tarvittavan energian. [20, s 7–8].

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{vaippa}} V \quad (1)$$

jossa:

$q_{50}$ =	rakennusvaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine erolla.	[m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> )]
$n_{50}$ =	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine erolla.	[1/h]
$V$ =	rakennuksen tilavuus	[m <sup>3</sup> ]
$A_{vaippa}$ =	rakennusvaipan pinta-ala(alapohja mukaan luettuna)	[m <sup>2</sup> ]

Rakennuksen ilmanvaihto on painovoimainen, joten laskentaohjelmassa on käytetty lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena 0 % ja ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehona 0,0 kW/m<sup>3</sup>/s [20, s. 7].

Käyttöveden lämmitystietoihin saatiin laskentaohjelmiston tietokannasta varaajan lämpöhäviöiden vuositiedot. Käyttöveden siirron hyötysuhteena on käytetty suojaputkissa olevan vesijohdon arvoa. Rakennuksessa ei ole käyttöveden kiertojohtoa eikä vakiopaineventtiiliä. Käyttöveden lämmityksen osalta laskenta ohjelmaan syötetyt tiedot löytyvät taulukosta 7.

Taulukko 7. Käyttöveden lämmityksen tiedot

<b>Sähköinen käyttövesivaraaja, Kaukora VLK-100</b>	
<b>Käyttöveden varaajahäviöt (kWh/vuosi)</b>	356,0
<b>Häviöt lämmittämättömään tilaan (kWh/vuosi)</b>	0,0
<b>Käyttöveden varaajahäviöiden lämpökuormaosuus (%)</b>	50,0
<b>Käyttöveden siirron hyötysuhde</b>	0,85
<b>käyttövesiverkosto varustettu vakiopaineventtiilillä</b>	Ei
<b>Sähkölämmityksen hyötysuhde (käyttövesi)</b>	1,0

Tilojen pääasiallinen lämmitysmuoto rakennuksessa on suora sähkölämmitys sähköpattereilla. Lisälämmönlähteinä rakennuksessa on yksi varaava tulisija, sekä ilma-ilmalämpöpumppu. Laskentaohjelmaan syötettiin näille järjestelmille ominaiset tiedot taulukon 8 mukaisesti. [20, s 10–15.]

Taulukko 8. Lämmitysjärjestelmän tiedot laskentaohjelmaan

<b>Suora sähkölämmitys, Sähköpatterit</b>	
<b>Lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde</b>	0,95
<b>Varaavien tulisijojen lukumäärä</b>	1
<b>Maks. tuotto / tulisija (kWh)</b>	3000
<b>Tulisijojen kokonaisvuosihyötysuhde</b>	0,6
<b>Lisäilmalämpöpumppujen lukumäärä</b>	1
<b>Lisäilmalämpöpumppujen SPF-luku</b>	2,8
<b>Sähkölämmityksen hyötysuhde (tilojen lämmitys)</b>	1

### 8.1.2 Koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä LTO:lla

Rakennukselle laadittiin energiatodistus kuvaamaan sitä tilannetta, jos rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmäksi asennettaisiin tulo-poistojärjestelmä LTO:lla. Ensimmäisessä laskennassa käytettiin vuoden 2018 alussa voimaan tulleiden säädösten minimiarvojen mukaisia lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdetta ja ilmanvaihdon ominaissähkötehoa. Laskennan tiedot saatiin laskentaohjelman tietokannasta. Taulukossa 9 on esitetty laskentaohjelmaan syötetyt arvot. Muita arvoja ei muutettu rakennukselle aiemmin laskettuun energiatodistukseen verrattuna.

Taulukko 9. LTO-kone asetuksen vertailuarvoilla syötettynä laskentaohjelmaan

<b>LTO-kone asetuksen 2018 vertailuarvoilla</b>	
<b>Pääilmanvaihtokoneen lämpötilasuhde %</b>	55
<b>IV-järjestelmän kokonaisvuosihyötysuhde %</b>	55
<b>Ominaissähköteho/SFP-luku (kW/m<sup>3</sup>/s)</b>	1,8
<b>Tuloilman lämpötilan asetusarvo</b>	18
<b>Ulospuhallusilman minimilämpötila (jäätymisenesto)</b>	5
<b>Tuloilman suhde poistoilmavirtaan</b>	1
<b>Lämpötilan nousu puhaltimessa</b>	0,5

Toisessa laskennassa käytettiin laskentaohjelman tietokannasta löytyvää ilmanvaihtokonetta Vallox 096 MV. Perusmallin tietoja muutettiin vain ilmanvaihtokoneen osalta. Taulukossa 10 on esitetty muutetut arvot laskentaohjelmaan.

Taulukko 10. Laskenta Vallox 096 MV ilmanvaihtokoneen arvoilla

<b>Vallox 096 MV (10-86 L/s)</b>	
<b>Pääilmanvaihtokoneen lämpötilasuhde %</b>	78
<b>IV-järjestelmän kokonaisvuosihyötysuhde %</b>	77,6
<b>Ominaissähköteho/SFP-luku (kW/m<sup>3</sup>/s)</b>	1,17
<b>Tuloilman lämpötilan asetusarvo</b>	18
<b>Ulospuhallusilman minimilämpötila (jäätymisenesto)</b>	-5,4
<b>Tuloilman suhde poistoilmavirtaan</b>	1
<b>Lämpötilan nousu puhaltimessa</b>	0,5

## 8.2 Rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta

Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi on tehty käyttäen OneClickLCA Ltd:n tekemää ohjelmistoa. OneClickLCA on selainpohjainen sovellus, joka on kehitetty rakentamisen elinkaariajattelun apukeinoksi. Ohjelmistosta löytyy rakennuksen hiilijalanjäljen arviointityönkalun lisäksi apua mm. vähähiiliseen suunnitteluun. OneclickLCA:n on käytössä yli 170 maassa, ja sen tietokannoista löytyy yli 200 000 varmennettua ja ajantasaista ympäristöselostetta. Tietokannoista löytyy myös yli 80 maailmanlaajuista rakentamisen ympäristöluokitusta, kuten esimerkiksi Suomessakin käyttävät BREEAM ja LEED. [22.]

### 8.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Rakennuksen hiilijalanjäljen määrittäminen aloitettiin luomalla rakennuksen perusmalli OneClickLCA-ohjelmistoon. Perusmallin luonnissa käytettiin Carbon Designer -työkalua. Malli luotiin rakennuksen perustietojen mukaan, mutta rakenteiden osalta käytettiin tyypillisen suomalaisen asuintalon tietoja, ei kohderakennuksen tietoja. Rakennuksen tarkempi mallintaminen rakenteiden osalta rajattiin pois tästä tutkimuksesta, koska tarkoitus on selvittää hiilijalanjäljen muuttumista ilmanvaihtojärjestelmän muutoksien suhteen. Rakennuksen rakenteiden hiilijalanjälki pysyy perusmallissa samana, joten sillä ei ole vaikutusta hiilijalanjäljen arviointiin.

Talotekniikan osalta perusmalliin luotiin sähkölämmityksestä ja vesi- ja viemäritekniikasta materiaalmäärien arviot käyttäen arviointimenetelmän neliöperäistä päästötietoa. Myös ilmalämpöpumppu huomioitiin arvioinnissa. Näiltä osin arvioinnissa käytettävät tiedot pysyivät samana eri arvioinnin vaiheissa.

Painovoimaisen ilmanvaihdon osalta perusmalliin määritettiin manuaalisesti tällä hetkellä rakennuksessa olevat ilmanvaihto-osat. Osat kartoitettiin kohdekäynnillä. Taulukossa 11 on esitetty perusmalliin määritellyt painovoimaisen ilmanvaihdon osat ja talotekniikan osuus.

Taulukko 11. Materiaalimäärät painovoimainen ilmanvaihto

	yksikkö	määrä
Juomavesiverkosto	m <sup>2</sup>	135
Viemäriverkosto	m <sup>2</sup>	135
Ilmalämpöpumppu	kpl	1
Sähkölämmittimet	kW	25
Sähköjärjestelmä	m <sup>2</sup>	135
Ilmanvaihtokanava 100 mm	m <sup>2</sup>	5
Tulo/Poistoilmaventtiili DN-100, galvanoitua terästä	kpl	5
Tuloilmaventtiili, PVC DN-100	kpl	5
Ilmanvaihtokanava, 125 mm	m <sup>2</sup>	1
Muunto-osa, 125-100 mm	kpl	2
Ulkosäleikkö, DN 125 mm	kpl	4

Laskennallisen ostoenergian määränä perusmallissa käytettiin sähkön osalta 27 085 kWh/a ja puun ostoenergian määränä käytettiin 5 000 kWh/a. Laskennalliset ostoenergiamäärät saatiin painovoimaista ilmanvaihtoa varten tehdystä energiatodistuksesta.

### 8.2.2 Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto LTO:lla

Perusmallia muutettiin ilmanvaihdon osalta tulo-poistojärjestelmää varten. Ilmanvaihtosaneerauksen aiheuttamaa muutosta kuvaamaan käytettiin arviointiohjelmasta löytyvää suomalaisen asuinrakennuksen ilmanvaihdon neliöpe-  
räistä arvoa. Arvo sisältää keskimääräiset materiaalmäärät ja ilmanvaihtokoneen. Minimivaatimusten mukaisen LTO-koneen ja Vallox 096 MV -koneen arvioinnissa ei tehty muutoksia materiaalien osalta.

Eri vaihtoehtoja arvioitiin muuttuneen laskennallisen ostoenergian kulutuksen osalta. Arviointiohjelmassa määritettiin muuttuneet laskennalliset energiankulutukset, jotka saatiin laadituista energiatodistuksista. Taulukossa 12 on esitetty ilmanvaihdon materiaalmäärät ja energiankulutukset, joiden mukaan LTO perusvaatimuksen ja Vallox 096 MV koneiden hiilijalanjälkiarvioinnit tehtiin.

Taulukko 12. Arviointityökaluun syötetyt arvot koneellisen ilmanvaihdon osalta

	yksikkö	määrä
Ilmanvaihtojärjestelmä asuinrakennukselle	m <sup>2</sup>	135
	ostoenergia sähkö [kWh/a]	ostoenergia uusiutuva[kWh/a]
Tulo-poisto LTO 2018.	22913	5000
Vallox 096 MV	20804	5000

## 9 TULOKSET

### 9.1 Rakennuksen energiatehokkuus

Laskennassa laadittuja energiatodistuksia käsiteltiin niiltä osin, mitä muutoksia ilmanvaihtojärjestelmän vaihto aiheutti. Pääpainona oli selvittää laskennallisen ostoenergian määrä sähkölle, jota käytetään rakennuksen käytön aikaisen hiilijalanjäljen laskennassa. Energiatodistuksista on myös selvitetty laskennallinen lisäys energian määrään, jonka ilmanvaihtokone ja apulaitteet aiheuttavat. Ilmanvaihtokoneen lämmityspatteri oli laskennassa sähköinen. Tuloilman lämmittämiseen käytettävää energiaa ei ole eritelty, koska se sisältyy sähkön kulutukseen ja painovoimaisessa ilmanvaihdossa tuloilma on lämmitetty sähköllä seinäpattereilla. Taulukossa 13 on esitetty energialaskennan tulokset.

Taulukko 13. Energialaskennan tulokset

	Painovoimainen ilmanvaihto	Tulo-poisto LTO 2018	Vallox 096MV
Energialuokka	E	D	D
E-luku [kWhE/m <sup>2</sup> / a]	260	223	204
E-luku erotus [kWhE/m <sup>2</sup> / a]		-37	-56
Ostoenergian määrä [kWh/a]	32 085	27 913	25 804
ostoenergia sähkö [kWh/a]	27 085	22 913	20 804
ostoenergia uusiutuva [kWh/a]	5 000	5 000	5 000
IV-kone energian lisäys [kWh/a]		850,5	553,5
Energian säästö [kWh/a]		<b>-4 172</b>	<b>-6 281</b>

Energiatodistuksessa on huomioitu lisälämmönlähteenä toimivalle pönttöuunille ostoenergian määräksi 5000 kWh/a, joka pysyi kaikissa laskennoissa vakiona. Vähentämällä kokonaisostoenergian määrästä puun osuus on saatu sähkön ostoenergian määrä. IV-koneen energian lisäys sisältyy sähkön os-

toenergian määrään. Energiansäästön määrä on saatu vähentämällä LTO-ratkaisujen ostoenergian määrä painovoimaisen ratkaisun ostoenergian määrästä.

## 9.2 Rakennuksen hiilijalanjälki

Rakennukseen tehtiin hiilijalanjälkiarviointi kolmeen eri tilanteeseen: nykytilanteeseen, minimivaatimusten tasoiseen LTO-koneeseen ja Valloxin 096 MV-koneeseen. Ensimmäiseksi hiilijalanjälki arvioinnista kerättiin muun talotekniikan materiaalien tuottama materiaalipäästöjen osuus, jonka arvioinnin tulokset on esitetty taulukossa 14. Muun kuin ilmanvaihtojärjestelmän materiaalipäästöiksi saatiin 1,47 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Hiilikädenjäljeksi saatiin -0,21 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Muun talotekniikan osuus pysyi vakiona kaikissa laskennoissa.

Taulukko 14. Arvioinnin tulokset, talotekniikka ilman ilmanvaihtoa

	Juomavesiverkosto	Viemäriverkosto	Ilmalämpöpumppu	Sähkölämmittimet	Sähköjärjestelmä
<b>A1-A3</b>	0,018	0,0087	0,15	0,16	0,4
<b>A4</b>	0,000056	0,00004	0,000081	0,00073	0,00085
<b>A5</b>	0,0011	0,00052	0,0015	0,0016	0,004
<b>B4</b>			0,15	0,16	0,41
<b>C2</b>	0,000056	0,00004	0,000081	0,00073	0,00085
<b>C3</b>			0,000015	0,00014	
<b>C4</b>	0,0003	0,00021			
<b>YHT.</b>	<b>0,019512</b>	<b>0,00951</b>	<b>0,301677</b>	<b>0,3232</b>	<b>0,8157</b>
<b>Hiilijalanjälki [kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a]</b>		<b>1,47</b>			
<b>D1+D2</b>	-0,0081	-0,0057		-0,11	-0,084
<b>D4</b>	0	0	0	0	0
<b>YHT.</b>	<b>-0,0081</b>	<b>-0,0057</b>	<b>0</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,084</b>
<b>Hiilikädenjälki [kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a]</b>		<b>-0,21</b>			

Painovoimaisen ilmanvaihdon materiaalipäästöjen osalta arvioinnin tulokset on esitetty taulukossa 15. Painovoimaisen ilmanvaihdon materiaalipäästöiksi saatiin 0,02 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Hiilikädenjäljeksi saatiin 0,00 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a.

Taulukko 15. Painovoimaisen ilmanvaihdon materiaalipäästöt

	Ilmanvaihto- kanava 100 mm	Tulo/Poistoilma- venttiili DN-100, galvanoitua terästä	Tuloilmavent- tiili, PVC DN=100	Ilmanvaihto- kanava, 125 mm	Muunto- osa, 125- 100 mm	Ulko- säleikkö, DN 125 mm
<b>A1-A3</b>	0,0075	0,00057	0,0028	0,00079	0,00021	0,00032
<b>A4</b>	0,000011	0,0000022	0,0000065	0,0000027	0,00000054	0,00000083
<b>A5</b>	0,000075	0,0000057	0,00021	0,0000079	0,0000021	0,0000032
<b>B4</b>	0,0076	0,00058	0,0031			
<b>C2</b>	0,000011	0,0000022	0,0000065	0,0000027	0,00000054	0,00000083
<b>C3</b>	0,0000021	0,00000041				
<b>C4</b>			0,000035	0,000014	0,0000029	0,0000044
<b>YHT.</b>	<b>0,0151991</b>	<b>0,00116051</b>	<b>0,006158</b>	<b>0,0008173</b>	<b>0,00021608</b>	<b>0,00032926</b>
<b>Hiilijalanjälki [kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a]</b>		<b>0,02</b>				
<b>D1+D2</b>	-0,0017	-0,000095	-0,00095	0	-0,000082	-0,00013
<b>D4</b>	0	0	0	0		
<b>YHT.</b>	<b>-0,0017</b>	<b>-0,000095</b>	<b>-0,00095</b>	<b>0</b>	<b>-0,000082</b>	<b>-0,00013</b>
<b>Hiilikädenjälki [kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a]</b>		<b>0,00</b>				

Koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän materiaalipäästöt on esitetty taulukossa 16. Materiaalipäästöt minimivaatimukset täyttävälle LTO-järjestelmällä ja Vallox 096 MV -koneella ovat samat, koska laskennassa on käytetty asuinrakennuksen neliöperäistä arvoa, joka sisältää myös IV-koneen. Ilmanvaihtojärjestelmien materiaalipäästökseksi saatiin 0,25 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Hiilikädenjäljeksi saatiin -0,01 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a.

Taulukko 16. Koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien materiaalipäästöt

	Ilmanvaihtojärjestelmä asuinrakennukselle
<b>A1-A3</b>	0,12
<b>A4</b>	0,00014
<b>A5</b>	0,0012
<b>B4</b>	0,13
<b>C2</b>	0,00014
<b>C3</b>	0,000025
<b>C4</b>	
<b>YHT.</b>	<b>0,251505</b>
<b>Hiilikädenjälki yht [kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a]</b>	<b>0,25</b>
<b>D1+D2</b>	-0,01
<b>D4</b>	0
<b>YHT.</b>	<b>-0,01</b>
<b>Hiilikädenjälki yht [kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a]</b>	<b>-0,01</b>

Käytönaikaisen energian osalta arvioinnin tulokset on esitetty taulukossa 17. Arvioinnissa on käytetty laskennallisia ostoenergiankulutuksia, jotka saatiin eri tilanteille luoduista energiatodistuksista. Biopolttoaineiden osuus muodostuu poltettavasta puusta.

Taulukko 17. Käytönaikaisen energian päästöt.

	Biopolttoaineet	Sähkön käyttö	yht [kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a]
Painovoimainen ilmanvaihto	1	11,37	12,37
Tulo- poisto LTO. 2018	1	9,62	10,62
Vallox 096 MV	1	8,74	9,74

Eri tilanteiden arviointien kokonaispäästömäärät on esitetty taulukossa 18. Rakennus-rivillä olevat arvot sisältävät koko muun rakennuksen päästöt, jotka saatiin perusmallinnuksesta. Painovoimaisella ilmanvaihdolla varustetun rakennuksen kokonaishiilijalanjälki on 22,73 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Vuoden 2018 energia-asetusten minimivaatimusten mukaisen ilmanvaihtojärjestelmän hiilijalanjälki on 21,21 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Vallox 096 MV koneella varustetun ilmanvaihtojärjestelmän hiilijalanjälki on 20,23 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Ilmanvaihtosaneeraukset nostavat rakennuksen hiilijalanjälkeä 0,23 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Käytönaikaisen energian säästöjen kautta, minimivaatimusten mukainen ilmanvaihtojärjestelmä vähentää rakennuksen hiilijalanjälkeä 1,75 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a ja Vallox 096 MV koneella varustettu järjestelmä pienentää hiilijalanjälkeä 2,63 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Kun huomioidaan materiaalipäästöt, minimivaatimusten mukainen järjestelmä pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä 1,52 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a ja Vallox 096 MV koneella varustettu järjestelmä 2,40 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a.

Taulukko 18. Hiilijalanjäljen arviointien tulokset

	Painovoimainen ilmanvaihto	Tulo-poisto LTO 2018	Vallox 096 MV
Rakennus	8,87	8,87	8,87
Muu talotekniikka	1,47	1,47	1,47
Ilmanvaihtojärjestelmä materiaalit	0,02	0,25	0,25
Käytönaikainen energia	12,37	10,62	9,74
Yht. [kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a]	<b>22,73</b>	<b>21,21</b>	<b>20,33</b>
Materiaalien päästöjen erotus		0,23	0,23
Käytönaikaisien päästöjen erotus		-1,75	-2,63
yht [kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a]		<b>-1,52</b>	<b>-2,40</b>

## 10 TULOSTEN ANALYSOINTI

Laskennallisesti koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:lla asentaminen vähentää rakennuksen ostoenergiankulutusta. Laskennallinen energiankulutuksen lasku oli minimivaatimusten mukaisella LTO-ratkaisulla 4 172 kWh vuodessa ja paremmalla LTO-ratkaisulla 6 281 kWh vuodessa. Todellisuudessa ostoenergian määrän lasku voi olla hieman pienempi, kun tarkastellaan rakennuksen toteutuneita ostoenergianmääriä, jotka ovat laskennallisia määriä pienempiä. Eroa laskennallisen ja toteutuneen kulutuksen välillä voi selittää rakennuksen ilmanvuotoluku, jota ei ollut mitattu. Energiatodistuksen laskennassa käyttäjien osuus on myös vakioitu, eikä ota huomioon todellista käyttäjien vaikutusta.

Laskennallisilla energiankulutuksilla laskettu käytönaikaisen energian päästöt olivat merkittävämmät kuin lisääntyneet ilmanvaihtojärjestelmän materiaalien päästöt rakennukseen elinkaarena aikana. Minimivaatimusten mukaisella LTO-järjestelmällä varustetun rakennuksen laskennallinen hiilijalanjälki pieneni 1,52 kgCO<sub>2</sub>e/m vuodessa ja Vallox 096 MV järjestelmällä rakennuksen hiilijalanjälki pieneni 2,40 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> vuodessa. Vaikka todellinen ostoenergian määrä olisi hieman pienempi, voidaan olettaa, että rakennuksen hiilijalanjälki pienenee, koska lisääntyneiden materiaalien määrä ja siten materiaaliperäiset päästöt olivat kohteessa pienet.

Tulokset ovat samansuuntaisia kuin aikaisemmissa tutkimuksissa pientalojen materiaalimäärien osalta. Asuinrakennuksissa materiaalimäärät ilmanvaihtojärjestelmän osalta olivat merkittävästi pienemmät kuin muissa käyttötarkoituksissa, tämä tukee opinnäytetyön tutkimusta. Pientalojen ilmanvaihtojärjestelmissä ilmanvaihtokoneet ovat pienikokoisia ja niistä ei aiheudu huomattavaa hiilijalanjälkeä.

Tulosten luotettavuutta arvioitaessa on otettava huomioon, että aikaisempia tutkimuksia ilmanvaihtosaneerauksen vaikutuksesta pientalon hiilijalanjälkeen ei ollut saatavilla, joten vertailukohtaa ei ole. Aikaisempien tutkimusten tulokset, ilmanvaihdon materiaalimäärä pientaloissa ja käytönaikaisen energian suuri osuus rakennuksen hiilijalanjäljestä, tukevat kuitenkin tämän opinnäytetyön tuloksia.

## 11 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Koneellisen tulo-poistojärjestelmän LTO:lla asentaminen painovoimaiseen rintamamiestaloon pienentää laskennallisesti rakennuksen hiilijalanjälkeä 50 vuoden tarkastelujaksolla. Ilmanvaihtojärjestelmän vaihdossa on myös otettava huomioon, että rakennus on vanha. Rakenteet eivät ole yhtä tiiviitä kuin uusissa rakennuksissa, joten ilmanvaihdon säädössä on oltava tarkkana, ettei ilmavirtojen liikkeet ole rakenteille haitallisia.

Pienissä asuinrakennuksissa talotekniikan osalta materiaalimäärät ovat pieniä, joten käytönaikainen energia on merkittävämpi tekijä ilmastoja lämmittävien kasvihuonekaasupäästöjen osalta rakennuksen elinkaaren aikana.

Koneellisten ilmanvaihtojärjestelmien osalta on käytetty tyypillisen suomalaisen asuinrakennuksen neliöperäistä hiilijalanjälkiarvoa. Jos ilmanvaihtosaneeraus suoritetaan, olisi syytä arvioida hiilijalanjälki toteutuneiden tuotteiden perusteella ja tutkia miten paljon tämä vaikuttaa arvioinnin tulokseen.

Kun lainsäädäntö tulee voimaan, tulisi rakennusten ja talotekniikan tuotteiden tietomallintamiseen panostaa, jotta hiilijalanjälkiarvioinnista saataisiin myös isompien kohteiden osalta tarkempia ja totuudenmukaisia tuloksia. Laskentojen yleistyttyä ja kun useampia tuloksia on saatu, tulisi järjestelmäkohtaisia neliöperäisiä arvoja tarkastella uudestaan.

Jatkotutkimusehdotuksena ehdottaisin, että ilmanvaihtosaneerauksen vaikutusta rakennuksen hiilijalanjälkeen tutkittaisiin pientaloissa, joissa on eri lämmitysmuoto. Myös eri aikakausien rakennusten ja erilaisten pohjaratkaisuiden ja rakenteiden vaikutusta ilmanvaihtosaneerauksen hiilijalanjälkeen tulisi tutkia myös. Materiaalimäärät voivat vaihdella ilmanvaihtojärjestelmässä paljonkin, riippuen rakennuksen pohjaratkaisusta. Rakennuksen vaipparakenteet ja -materiaalit vaikuttavat paljon rakennuksen tiiveyteen ja lämmöneristävyyteen ja tätä kautta käytönaikaiseen energiaan. Asuinkerrostaloissa ilmanvaihdon materiaalimäärät olivat samansuuntaiset kuin pientaloissa, joten painovoimaisen ilmanvaihdon saneerausta koneelliseksi järjestelmäksi tutkimalla voitaisiin selvittää ovatko tulokset samansuuntaiset rakennuksen hiilijalanjälkeen kuin pientaloissa.

## LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. Painovoimainen ilmanvaihtopas. 2018. Saatavissa: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PVIV-OPAS-3729E8C3\\_9173\\_4EA5\\_ADB9\\_CD33C1432A01-143101.pdf/2ab85b97-a5fd-cee7-c096-930b297a8435/PVIV-OPAS-3729E8C3\\_9173\\_4EA5\\_ADB9\\_CD33C1432A01-143101.pdf?t=1603260091107](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/PVIV-OPAS-3729E8C3_9173_4EA5_ADB9_CD33C1432A01-143101.pdf/2ab85b97-a5fd-cee7-c096-930b297a8435/PVIV-OPAS-3729E8C3_9173_4EA5_ADB9_CD33C1432A01-143101.pdf?t=1603260091107) [viitattu 14.12.2023]
2. Museovirasto. PDF-dokumentti. Painovoimainen ilmanvaihto käyttö- ja huolto-ohje. 2021. Saatavissa: [https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/PVIV\\_korjauskortti.pdf](https://www.museovirasto.fi/uploads/Meista/Julkaisut/PVIV_korjauskortti.pdf) [viitattu 14.12.2023]
3. Käyhkö, K. Ilmanvaihto eri vuosikymmeninä. WWW-dokumentti. 2023. Päivitetty 3.3.2023. Saatavissa: <https://www.asuinrakennukset.fi/jarjestelmat/ilmanvaihtojarjestelmat-eri-aikakausina/> [viitattu 20.12.2023]
4. Sisäilmayhdistys ry. Ilmanvaihdon perusteet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet> [viitattu 31.12.2023]
5. FINVAC ry. Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. PDF-dokumentti. 2019. Saatavissa: [https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas\\_asuinrakennusten\\_ilmanvaihdon\\_mitoitukseen\\_2019.pdf](https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf) [viitattu 31.12.2023]
6. Ympäristöministeriö. Tasauslaskentaopas. PDF-dokumentti. 2018. Saatavissa: [https://learn.xamk.fi/pluginfile.php/1823421/mod\\_resource/content/0/Tasauslaskentaopas%202018.pdf](https://learn.xamk.fi/pluginfile.php/1823421/mod_resource/content/0/Tasauslaskentaopas%202018.pdf) [viitattu 13.1.2024]
7. Swegon. Lämmön talteenotto ilmanvaihdossa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.swegon.com/fi/oppaat/tekniikat/erilaiset-lammonsiirintyyppit/> [viitattu 14.1.2024]
8. Ekocoil. Levylämmönvaihtimet. Powerpoint-diasarja. 2016. Saatavissa: <https://www.slideshare.net/Ekocoil/levaritkoulutus-v01> [viitattu 14.1.2024]
9. Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastoselvityksestä. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://ym.fi/hankesivu?tunnus=YM027:00/2021> [viitattu 15.1.2023]
10. Ympäristöministeriö. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä lausuntokierrokselle. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://learn.xamk.fi/mod/folder/view.php?id=1341119> [viitattu 20.1.2024]

11. Häkkinen, T. Emission database for building products, services and systems. PDF-dokumentti. 2021. Saatavilla: [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen\\_paastotietokanta/Usein\\_kysytyt\\_kysymykset\(59988\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen_paastotietokanta/Usein_kysytyt_kysymykset(59988)) [viitattu 21.1.2024]
12. European Environment Agency. Decarbonising heating and cooling — a climate imperative. WWW-dokumentti. 2023. Päivitetty 28.3.2023. Saatavissa: <https://www.eea.europa.eu/publications/decarbonisation-heating-and-cooling> [viitattu 2.3.2024]
13. Gaia Consulting Oy. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2023, Osa 1. Rakennetun ympäristön hiilielinkaaren nykytila. PDF-dokumentti. 2020. Saatavilla: <https://rt.fi/wp-content/uploads/2023/11/rt-1-rakennetun-ympariston-hiilielinkaaren-nykytila.pdf> [viitattu 2.3.2024]
14. Grandlund Oy. Talotekniikan hiilijalanjälki ja materiaalisältö. PDF-dokumentti. 2023. Saatavilla: [https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/034d0bd9-2c32-4131-9dd1-796facde0f86/74e169cf-4739-4b1b-8e61-0ce942dedd2a/RAPORTTI\\_20230912053814.pdf](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/034d0bd9-2c32-4131-9dd1-796facde0f86/74e169cf-4739-4b1b-8e61-0ce942dedd2a/RAPORTTI_20230912053814.pdf) [viitattu 3.3.2024]
15. Sweco. Talotekniikan päästötietojen selvityshanke. PDF-dokumentti. 2021. Saatavilla: <https://learn.xamk.fi/mod/folder/view.php?id=1385581> [viitattu 3.5.2024]
16. Kiamili, C., Hollberg, A. & Habert, G. Detailed Assessment of Embodied Carbon of HVAC Systems for a New Office Building Based on BIM. PDF-dokumentti. 2020. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3372> [viitattu 5.3.2024]
17. Energytools. Tool SIA 2040 Effizienzpfad Energie. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.energytools.ch/index.php/de/downloads/tools/download/2-tools/66-tool-sia-2040-d> [viitattu 5.3.2024]
18. Asuinrakennukset.fi. 1950-luvun omakotitalot. WWW-dokumentti. Päivitetty 11.4.2023. Saatavissa: <https://www.asuinrakennukset.fi/rakennukset/1950-luvun-omakotitalo/#esimerkkirakennus--1950luvun-rintamamiestalo> [viitattu 19.9.2023]
19. Raksystems. Mitkä ovat 1950-luvun rintamamiestalon ongelmat?. WWW-dokumentti. Päivitetty 5.7.2023. Saatavissa: <https://raksystems.fi/ajankohtaista/mitka-ovat-1950-luvun-rintamamiestalojen-ongelmat/> [viitattu 19.9.2023]
20. Ympäristöministeriö. Laskentaliite ympäristöministeriön asetuksen ”rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä”. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://learn.xamk.fi/pluginfile.php/2553385/mod\\_resource/content/0/Laskentaliite-perustelumuiistioon-E6B413C1\\_DAB5\\_4433\\_9D0F\\_F4C81AC6EF00-31398.pdf](https://learn.xamk.fi/pluginfile.php/2553385/mod_resource/content/0/Laskentaliite-perustelumuiistioon-E6B413C1_DAB5_4433_9D0F_F4C81AC6EF00-31398.pdf) [viitattu 27.1.2024]

21. Laskentapalvelut.fi. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.laskentapalvelut.fi/index\\_for\\_JRF.php](https://www.laskentapalvelut.fi/index_for_JRF.php) [viitattu 11.2.2024]
22. OneClickLCA Ltd. Yrityksen kotisivu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/> [viitattu 11.2.2024]