



Siiri Rantala

Talotekniikan vähähiilinen suunnittelunohjaus suomalaisessa asuin-kerrostalohankkeessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

13.3.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Siiri Rantala
Otsikko:	Talotekniikan vähähiilinen suunnittelunohjaus suomalaisessa asuinkerrostalohankkeessa
Sivumäärä:	51 sivua + 1 liite
Aika:	13.3.2023
Tutkinto:	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	talotekniikka
Ammatillinen pääaine:	LVI-urakointi
Ohjaajat:	talotekniikkapäällikkö Arttu Sipilä yliopettaja Rauno Holopainen

Taloteknisten järjestelmien materiaalit ja energiankäyttö lisäävät osaltaan rakennusten elinkaarenaikaisia kasvihuonekaasupäästöjä. Insinööritöiden tarkoituksena oli tutkia talotekniikan osuutta rakennuksen laskennallisesta hiilijalanjäljestä ja ratkaisuja talotekniikan päästöjen pienentämiseksi. Työ koostuu kirjallisuustutkimuksesta ja empiirisestä osuudesta.

Työtä varten tutustuttiin rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmään ja talotekniikan rooliin arvioinnissa. Työssä kuvataan arviointimenetelmän lisäksi vähähiilisen rakentamisen ja sen kotimaisen säädösvalmistelun sisältöä. Talotekniikan vähähiilisiä ratkaisuja tarkastellaan aikaisempien tutkimusten pohjalta. Vaihtoehtojen vaikutuksia päästöihin arvioidaan osana varhaisen vaiheen hiilijalanjälkilaskentaa referenssikohteessa, joka on suunnitteilla oleva uusi asuinkerrostalo Helsingissä.

Talotekniikan määrätietojen puuttuessa referenssikohteen varhaisen vaiheen hiilijalanjälkilaskennassa on käytetty kansallisen päästötietokannan pinta-alakohtaisia taulukkoarvoja. Tulosten perusteella talotekniset järjestelmät ja niiden energiankulutus kattaisivat laskennallisesti rakennuksen hiilijalanjäljestä lähes 50 %. Talotekniikan yksittäisten vähähiilisten suunnitteluratkaisujen vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen vaihtelee alle prosentista kymmeneen prosenttiin. Eniten vaikutusta on ostoenergiankulutusta pienentävillä ratkaisuilla, kuten maalämpöjärjestelmällä, joka kaukolämpöön verrattuna pienensi laskentatapauksessa kohteen päästöjä noin 30 %.

Työn tulosten pohjalta laadittiin ohjekortti, jota voidaan hyödyntää vähähiilisessä suunnittelunohjauksessa. Talotekniikka on avainasemassa rakennuksen päästöjen pienentämisessä, mutta kaikki talotekniikan vähähiiliset ratkaisut, kuten energiansäästö kulutusjoustopuulla, eivät toistaiseksi vaikuta laskennalliseen hiilijalanjälkeen. Lisäksi talotekniikan materiaaleihin liittyvien vähähiilisten ratkaisujen vaikutusta rakennuksen laskennalliseen hiilijalanjälkeen ei ole yksinkertaista osoittaa.

Avainsanat: vähähiilisyys, päästöt, talotekniikka, hiilijalanjälki

Abstract

Author: Siiri Rantala
Title: Control of Low-Carbon Design for Building Services in Finnish Apartment Building Project
Number of Pages: 51 pages + 1 appendix
Date: 13 March 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Contracting
Supervisors: Arttu Sipilä, MEP Manager
Rauno Holopainen, Principal Lecturer

The purpose of this final year project was to study the role of building services in the whole life-cycle carbon assessment of buildings. Potential reduction solutions were to be examined and assessed as a part of the building's life cycle carbon footprint.

The thesis consists of literature research and empirical work. Low carbon building services solutions were examined based on earlier studies. The impact on the emissions with selected solutions was assessed in the reference building, a new apartment building under planning in Helsinki.

Without the list of quantities in the reference building, the emissions of building services systems were assessed by using default values. According to the results, building services would account for nearly 50 % of the buildings' carbon footprint, including energy emissions. Solutions that significantly reduce energy-related emissions would have the greatest impact to the carbon footprint.

The thesis resulted in a guide, created to support the work on low-carbon design. Building services play a key role in reducing emissions. However, not all emission reduction solutions are currently acknowledged in the whole life-cycle carbon assessment. In addition, the impact of product-related low-carbon solutions on the calculated carbon footprint can be challenging to demonstrate.

Keywords: low-carbon, emissions, building services, carbon footprint

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Kohti vähähiilisen rakentamisen sääntelyä	2
2.1	Tausta	2
2.2	Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä	4
2.3	Kotimainen säädösvalmistelu	9
3	Talotekniikan hiilijalanjälki	15
3.1	Talotekniikan tuotesidonnaiset päästöt	15
3.1.1	Talotekniikan tuotekohtaiset päästötiedot	16
3.1.2	Talotekniikan päästökertoimet rakennustyypeittäin	18
3.2	Energiankulutuksen päästöt	21
4	Talotekniikkaratkaisujen vaikutus päästöihin	24
4.1	Ilmanvaihtojärjestelmät	24
4.2	Lämmitysjärjestelmät	26
4.3	Jäähdytys- ja viilennysjärjestelmät	29
4.4	Vesi- ja viemärijärjestelmät	31
4.5	Rakennusautomaatio	32
5	Talotekniikan vähähiilinen suunnittelunohjaus referenssikohteessa	34
5.1	Varhaisen vaiheen hiilijalanjälkilaskenta	35
5.2	Talotekniikan hiilijalanjäljen pienentämismahdollisuudet	39
5.3	Tulosten luotettavuuden tarkastelu	43
6	Pohdinta	45
7	Yhteenveto	47
	Lähteet	48

Lyhenteet ja käsitteet

CO₂e:

Hiilidioksidiekvivalentti. Ilmastoja lämmittävien kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta kuvaava yksikkö.

EPD-ympäristöseloste:

Environmental Product Declaration. Kolmannen osapuolen verifi-oima asiakirja tuotteiden elinkaaren ympäristövaikutuksista standar-din EN 15804 -mukaan.

Hiilijalanjälki:

Tarkastelukohteen elinkaaren aikana syntyvien suorien ja epäsuo-rien kasvihuonekaasupäästöjen summa.

Hiilikädenjälki:

Tarkastelukohteen elinkaaren aikana syntyvien positiivisten ilmasto-vaikutusten summa.

Hiilineutraalius:

Tilanne, jossa ihmistoiminnasta johtuvia kasvihuonekaasupäästöjä aiheutuu enintään yhtä paljon kuin ilmakehästä pystytään sitomaan.

Vähähiilisyys:

Kuvaa tarkastelukohteen elinkaaren aikana syntyvien kasvihuone-kaasupäästöjen vähäistä määrää.

1 Johdanto

Rakennuksen olennaisiin teknisiin vaatimuksiin kuuluu terveellisestä ja turvallisesta sisäilmastosta huolehtiminen. Olosuhteiden hallitsemiseksi ja käyttömukavuuden varmistamiseksi rakennuksessa tarvitaan talotekniikkaa. Teknisten järjestelmien materiaalit ja energiankäyttö lisäävät rakennusten elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä, joihin kohdistuu kasvava huoli ilmaston lämpenemisen myötä. Talotekniikalla voidaan kuitenkin pienentää rakennuksen energiankäyttöä ja näin vähentää rakennuksen ilmastovaikutuksia [1, s. 120].

Rakennettu ympäristö vastaa ihmistoiminnasta aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä arvioiden mukaan kolmasosaa, josta rakennusten osuus on noin 90 % [2, s. 5, 8]. Uusi rakentamislaki tulee voimaan astuessaan ohjaamaan rakentamista vähähiiliseksi, eli rakentamisen ilmastotavoitteet tulevat jatkossa velvoittamaan laajasti rakennushankkeen osapuolia [3]. Energiankulutus on yksi suurimmista ympäristökuormittajista rakennuksen elinkaaren aikana, joten uusi tekninen vaatimus vaikuttaa oleellisesti talotekniikan suunnitteluun ja toteutukseen.

Opinnäytetyössä tarkastellaan kirjallisuustutkimuksen pohjalta talotekniikan vaikutusta rakennusten kasvihuonekaasupäästöihin. Tavoitteena on löytää vähähiilisyttä edistäviä ratkaisuja, jotka vaikuttavat laskennalliseen hiilijalanjälkeen. Työn empiirisessä osiossa esitellään suunnitteilla olevan asuinkerrostalon hiilijalanjälkilaskenta, jonka tuloksista arvioidaan talotekniikan osuutta ja sen pienentämismahdollisuuksia. Laskenta on tehty hankkeen alkuvaiheessa, ja arvio talotekniikan perusjärjestelmien osuudesta perustuu tyypillisiin arvoihin.

Työ on tehty Skanska Talonrakennus Oy:lle. Skanska-konsernin maailmanlaajuinen tavoite on olla hiilineutraali vuoteen 2045 mennessä, ja tavoitteen saavuttaminen vaatii vaihtoehtoisia ratkaisuja. Vähähiilisellä suunnittelunohjauksella tunnistetaan hankkeissa potentiaalisia päästövähennyskohteita ja ohjataan hankkeita pienentämään hiilijalanjälkeään. Tämä työ kerää yhteen esimerkkejä talotekniikan vaihtoehtoista vähähiilisen suunnittelunohjauksen tueksi.

2 Kohti vähähiilisen rakentamisen sääntelyä

2.1 Tausta

Ilmastonmuutoksen torjunta ja siihen sopeutuminen ovat maailmanlaajuisesti kriittisiä tavoitteita ja vaativat toimenpiteitä yhteiskunnan kaikilla sektoreilla. Keskeisimmät kansainväliset ilmastopoliittiset linjaukset on tehty YK:n ilmastonmuutosta koskevassa puitesopimuksessa, Kioton pöytäkirjassa ja Pariisin ilmastopoliittisessä sopimuksessa [4]. Kansainväliset sopimukset sitovat myös Suomea ja vaikuttavat sen ilmastopoliittiseen.

Suomen ilmastotavoitteista ja ilmastopoliittikan suunnittelusta ja seurannasta säädetään kansallisessa ilmastolaissa, jonka uudistettu versio (423/2022) astui voimaan kesällä 2022. Ilmastolaissa säädetään tavoitteet ja puitteet kotimaiselle ilmastopoliittikalle. Uuden lain yksi päätavoite on varmistaa, että Suomi saavuttaa vähähiilisyystavoitteensa. Kasvihuonekaasupäästöjen (jatkossa lyhyesti päästöt) odotetaan vastaavan vuonna 2035 enintään määrää, joka ilmakehästä sitoutuu (hiilineutraaliustavoite), ja sitoutuneiden kasvihuonekaasujen suhteen päästöihin tulisi kasvaa edelleen sen jälkeen (hiilinegatiivisuustavoite). [5.]

Päästöjen vähentämisessä rakennussektorin on arvioitu olevan yksi kustannustehokkaimmista osa-alueista. Rakentamisen ilmastovaikutuksia on aikaisemmin pyritty hillitsemään pääasiassa energiatehokkuutta parantamalla, minkä seurauksena yhä suurempi osa päästöistä kohdistuu uusissa rakennuksissa muihin elinkaaren vaiheisiin. [1, s. 18.] Uudessa rakennuksessa on tärkeää huomioida energiankulutuksen rinnalla päästöt koko elinkaaren ajalta.

Vähähiilisen rakentamisen indikaattoreita ovat hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. Rakennuksen hiilijalanjälki kuvaa rakennuksesta johtuvia päästöjä, jotka yhteismittallistetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO_{2e}). Hiilidioksidin lisäksi ilmastoa lämmittäviä kasvihuonekaasuja ovat muun muassa F-kaasut eli fluoratut kasvihuonekaasut, dityppioksidi ja metaani. Hiilidioksidi saa määrällisessä arviossa kertoimen 1, ja muiden kaasujen kerroin riippuu niiden lämmittävästä vaikutuksesta verrattuna hiilidioksidiin. Hiilidioksidiekvivalentti ilmaisee ilmastoa lämmittävää

vaikutusta, jonka 1 kg ilmakehään päässyttä hiilidioksidia aiheuttaa 100 vuodessa. [1, s. 15.]

Rakennuksen hiilikädenjälki kuvaa myönteisiä ilmastovaikutuksia, joita ei synnyisi ilman rakennushanketta. Tällaisia ovat esimerkiksi tontilla tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia, joka vähentää energiantuotannosta aiheutuvia päästöjä, sekä materiaalien uudelleenkäytön tai kierrätyksen avulla vältetyt päästöt tulevaisuudessa. Hiilikädenjälki raportoidaan hiilijalanjäljen tapaan hiilidioksidiekvivalenteina, mutta negatiivisella etumerkillä osoittaen vaikutuksen päästöihin olevan alentava. Hiilikädenjälkeä ei kuitenkaan vähennetä hiilijalanjäljestä. [6.] Sekä hiilijalanjälki että -kädenjälki kuuluvat rakennuksen vähähiilisyyden arviointiin, ja ne yhdessä vaikuttavat rakennuksen päästöprofiiliin, kuten voidaan hahmottaa kuvasta 1.



Kuva 1. Hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen rooli eri päästöprofiilin rakennuksissa [7].

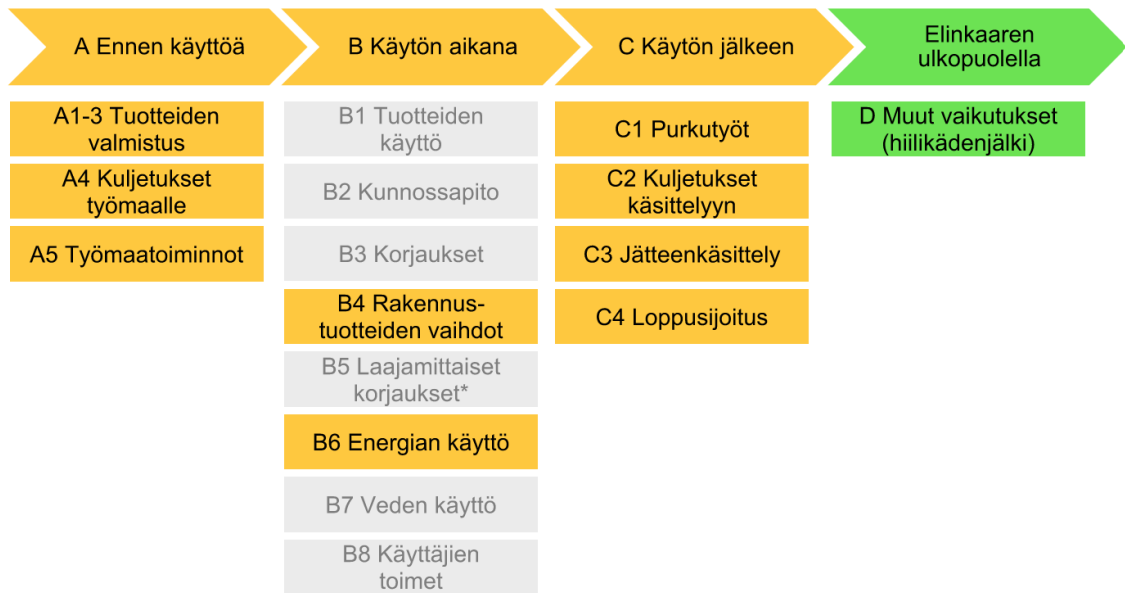
Ympäristöministeriö on esittänyt tavoitteekseen, että rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä ohjattaisiin lainsäädännöllä 2020-luvun puoliväliin mennessä raja-arvoilla. Tätä varten ympäristöministeriö on kehittänyt rakennusten vähähiilisyyden arviointia varten yhdenmukaisen menetelmän ja kansallisen päästötietokannan [8] arvioinnin lähtötietojen keräämistä varten.

2.2 Rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmä

Kansallinen rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmä on keskeisessä asemassa Suomen vähähiilisyysarvioinnin tulevaisuuden säädösohjauksessa. Se on tullut rakennusalan tutuksi arviointimenetelmän ohjeen [6] kautta, jonka ensimmäinen versio julkaistiin käyttöön vuonna 2019 ja joka testausjakson ja sitä seuranneen lausuntokierroksen jälkeen päivitettiin vuonna 2021. Insinööriyön kirjoitushetkellä arviointimenetelmä ja sen ohje ovat edelleen luonnosasteella. Rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmästä on tarkoitus säätää asetustasolla, minkä myötä ohjeluonnos on tarkoitus päivittää [6, s. 5].

Ympäristöministeriön kehittämä arviointimenetelmä pohjautuu Euroopan komission rakentamisen resurssitehokkuuden mittaamiseen kehitettyyn Level(s)-menetelmään ja eurooppalaisiin kestävässä rakentamisessa liittyviin standardeihin [6, s. 8]. Tässä työssä vähähiilisyysarviointimenetelmää kuvataan kirjoitushetkellä olevan viimeisimmän julkaistun tiedon perusteella. Sisältöön on syytä suhtautua sen luonteen mukaisesti luonnoksena.

Rakennuksen vähähiilisyysarvioinnissa on tarkoitus selvittää, mistä osista ja missä elinkaaren vaiheissa rakennuksen päästöt muodostuvat. Tulokset ilmoitetaan rakennukselle ja rakennuspaikalle erikseen hiilijalanjälkenä ja -kädenjälkenä [6, s. 32], jotka kuvattiin edellä. Päästöjen muodostumista arvioidaan tuotteiden valmistuksesta aina elinkaaren loppuun asti. Kuvassa 2 esitetään rakennuksen elinkaaren vaiheet eli moduulit. Kansalliseen vähähiilisyysarviointimenetelmään kuuluvat vaiheet on kuvattu väreillä, harmaaksi värjätyt moduulit jätetään arvioinnin ulkopuolelle.



*ei arvioida uusissa rakennuksissa

Kuva 2. Arvioitavat rakennuksen elinkaaren vaiheet [6, s. 12–13 mukailten].

Vähähiilisyiden arviointi tehdään enintään rakennuksen ensimmäiselle 50 vuodelle, vaikka suunniteltu käyttöikä olisikin tätä pidempi, sillä sen pidemmälle tehtävien arviointien epätarkkuus kasvaisi liian suureksi [6, s. 13]. Rakennuksen elinkaaren aikaiset päästöt eli hiilijalanjälki jaetaan tyypillisesti käyttövaiheen energiankulutuksesta aiheutuviin päästöihin (moduuli B6) sekä ns. tuotesidonnaisiin päästöihin [1, s. 40]. Tuotesidonnaisiksi luetaan kuuluvaksi muista vaiheista: rakennustuotteiden valmistuksesta (A1–A3), kuljetuksista (A4 ja C2), työmaatoiminnoista (A5, B4 ja C1) sekä rakennus- ja purkujätteen käsittelystä ja loppusijoituksesta (C3 ja C4) aiheutuvat päästöt [6, s. 6]. Moduuli D sisältää hiilikädenjäljen osatekijät, joita ei tässä työssä käsitellä tarkemmin. Rakennuksen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki lasketaan kaavan 1 mukaan [6, s. 16].

$$\begin{aligned}
 \text{Hiilijalanjälki} = & GWP_{\text{valmistus}} + GWP_{\text{vaihdot}} + GWP_{\text{jätteenkäsittely}} + \\
 & GWP_{\text{loppusijoitus}} + GWP_{\text{kuljetukset}} + GWP_{\text{työmaa}} + GWP_{\text{käyttöenergia}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Hiilijalanjäljen laskennan osatekijät (GWP_x , Global Warming Potential) koostuvat käytettyjen resurssien määrästä kerrottuna niitä vastaavilla päästökertoimilla. Materiaaleista aiheutuvia päästöjä varten on laadittava määräluettelo.

Mukaan lasketaan maatyöt, perustukset, kantavat rakenteet, täydentävät rakenteet ja taloteknisten järjestelmien keskeiset osat [6, s. 11]. Määräluettelo voidaan laatia suunnitelmien pohjalta tai tietomallipohjaisesti, mikäli tietomalli sisältää kaikki tarvittavat osat ja ne on mallinnettu riittävällä tarkkuudella. Talotekniikan järjestelmien määrätiedot ovat hankkeen alkuvaiheessa tyypillisesti puutteellisia, minkä vuoksi menetelmä sallii talotekniikan osalta käytettävän rakennustyyppikohtaisia neliömetripohjaisia arvoja [6, s. 18].

Hiilijalanjätkilaskentaa varten tarvitaan myös tieto rakennuksen laskennallisesta ostoenergiankulutuksesta, jonka perusteella käytönaikaisen energiankulutuksen päästöt lasketaan. Ostoenergiankulutus lasketaan rakennuksen energiatehokkuusasetuksen 1010/2017 [9] ja sen laskentaohjeen [10] mukaisesti. Energiankulutukseen liittyvät päästöt aiheutuvat energiapalveluiden hiilijalanjäljestä, eli energian valmistuksen päästöistä. Ne lasketaan käyttämällä energiamuodoittain ilmoitettuja vakioituja päästökertoimia [6, s. 27]. Rakennuksessa käytettyjen resurssien lisäksi hiilijalanjäljen laskennassa huomioidaan rakennusprosessien päästöt kuljetuksista ja työmaatoiminnoista. Näiden laskennassa käytetään arviointimenetelmän mukaisesti ensisijaisesti rakennustyypeille kohdistettuja taulukoarvoja, mutta laskenta hankekohtaisesti on myös mahdollista. [6, s. 15.]

Arviointimenetelmän laajuinen rakennuksen vähähiilisyyden arviointi soveltuu tehtäväksi rakennussuunnittelun aikana, jolloin käytettävissä on riittävästi tietoa rakennuksen materiaaleista ja energiantarpeesta [6, s. 9]. Arviointia on suositeltavaa kuitenkin tehdä myös jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Tällöin arviointi perustuu alustaviin suunnitelmiin eikä siten ole tarkkaa, mutta eri konsepteja ja niiden vaikutusta hiilijalanjälkeen on mahdollista vertailla. Vertailulla voidaan aikaisessa vaiheessa sulkea pois ilmastovaikutuksiltaan sellaisia suunnitteluvaihtoehtoja, joiden valinta tekisi vähähiilisyyden saavuttamisesta hankalaa ja joihin voidaan paremmin aikaisessa vaiheessa vaikuttaa. [1, s. 76.]

Laskentaa varten käytetään tyypillisesti tarkoitukseen laadittua arviointityökalua, kuten SimaPro-, GaBi- tai One Click LCA -ohjelmistoa. Työkalut sisältävät usein valmiiksi päästötietoja tuotteista ja skenaarioista laskentaa varten, helpottaen

näin materiaali- ja energiavirtoihin sekä kuljetuksiin liittyvien päästöjen mallintamista ja arviointia. [1, s. 58.] Se tekee myös aikaisessa vaiheessa tehtävästä vähähiilisyden arvioinnista helpompaa, kun ohjelma täydentää puuttuvia lähtötietoja oletusskenaarioilla. Lupavaiheessa tehtävässä rakennuksen vähähiilisyden arvioinnissa on huomioitava arviointimenetelmän mukainen tietojen käytön ensisijaisuus: päästötietoina tulee ensisijaisesti käyttää soveltuvia tuote- tai tuoteryhmäkohtaisia ympäristöselosteita tai kansallisen päästötietokannan tietoja [6, s. 14–15].

Rakennuksen hiilijalanjälkilaskennassa on tarkoitus käyttää tuotekohtaisina päästötietoina kolmannen osapuolen verifioimia rakennustuotteiden EPD-ympäristöselosteita (Environmental Product Declaration). Ne perustuvat eurooppalaisen standardisointia edistävän CEN:n (European Committee of Standardization) EN 15804 -standardiin. Standardin tarkoituksena on mahdollistaa Euroopan sisällä yhtenäisen menetelmän mukaisten ympäristöselosteiden laatiminen, ja täten julkaistujen selosteiden hyödyntäminen maiden välillä. [11.]

EPD-selosteet käsittävät tuotteen tai tuoteryhmien ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta modulaarisesti esitettynä, kuten vähähiilisyden arviointimenetelmässäänkin. Yksi ympäristövaikutuksia kuvaavista indikaattoreista on vähähiilisyden arvioinnissa käytettävä vaikutuspotentiaali ilmastonmuutokseen, mutta ympäristövaikutuksia kuvataan myös laajemmin. Vuonna 2019 standardista EN 15804 julkaistiin uusi versio EN 15804 + A2, joka korvaa aikaisemman version EN 15804 + A1. Vanhan version mukaisia selosteita oli mahdollista tehdä vuoden 2021 loppuun mennessä, ja niiden voimassaolo on viisi vuotta. [12.] Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmässä arvioinnin luotettavuuden yhtenä perusteena on standardin uuden version käyttäminen [6, s. 36].

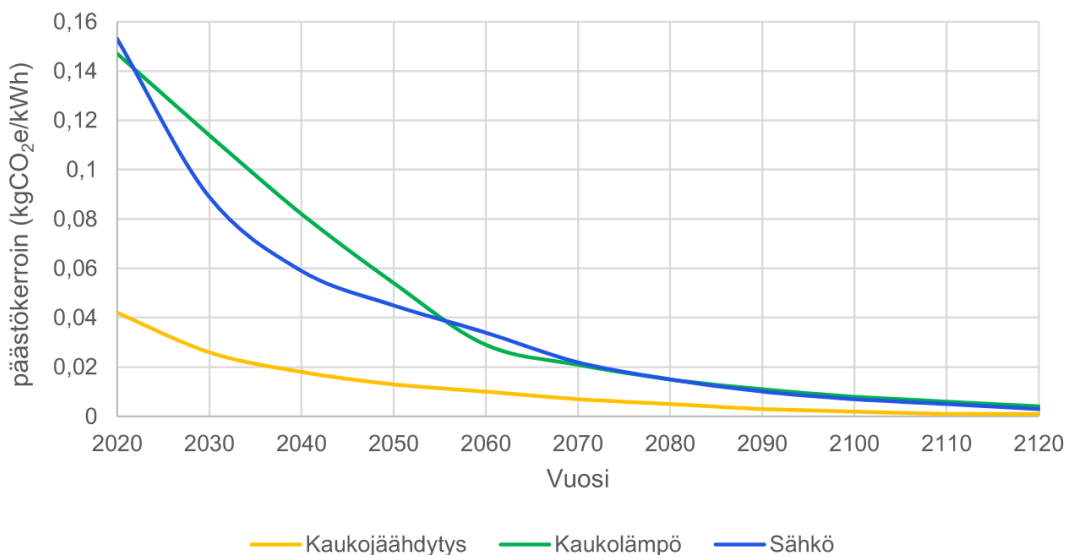
Yleensä tuotekohtaisissa EPD-ympäristöselosteissa ilmoitetut päästöt ovat kansallisessa päästötietokannassa ilmoitettuja konservatiivisia arvoja pienempiä. Valitsemalla tuotteita, joille on laadittu EPD-ympäristöseloste, voidaan rakennuksen vähähiilisyden arvioinnissa päästä pienempään hiilijalanjälkeen ja täyttää tulevaisuudessa lainsäädännön vaatimukset helpommin. [13, s. 6.]

Rakennustuotteita koskevia tuotekohtaisia päästötietoja on kuitenkin toistaiseksi vielä rajallisesti saatavilla, eikä aikaisessa suunnitteluvaiheessa ole välttämättä tiedossa, mitä tuotteita aiotaan käyttää. Vaihtoehtona on kansallisen päästötietokannan tietojen käyttäminen.

Kansallinen päästötietokanta

Rakentamisen päästötietokanta [8] julkaistiin kaikille avoimeen käyttöön maaliskuussa 2021. Päästötietokanta sisältää geneerisiä hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen tietoja, joita voidaan hyödyntää vähähiilisuuden arvioinnissa. Päästötietoja on laadittu tuotteille, palveluille ja prosesseille sekä talotekniikan perusjärjestelmille. Tietokannan tuotteita koskevat päästötiedot kuvaavat tyypillisten Suomessa käytettyjen rakennustuotteiden päästöjä, ja niihin on lisätty 20 %:n konservatiivisuuskerroin, jotta päästöjä ei arvioida liian alhaisiksi [6, s. 19]. Konservatiiviset arvot voivat myös kannustaa laskemaan päästöt hankekohtaisesti käytettyjen tuotteiden mukaan pienemmän hiilijalanjäljen saavuttamiseksi, mikä puolestaan kasvattaisi tuote- ja tuoteryhmäkohtaisten EPD-selosteiden kysyntää.

Vähähiilisuuden arviointimenetelmän mukaan päästötietojen lähteenä tulee ensisijaisesti käyttää kansallista päästötietokantaa kuljetusmatkojen, työmaatoimintojen ja energiamuodon päästöskenaarioissa [6, s. 15]. Eri energiamuotojen päästöjen odotettu väheneminen Suomen energia- ja ilmastostrategian toimenpiteiden mukaisesti on huomioitu päästötietokannan päivittyvissä skenaarioissa, jotka on esitetty kuvassa 3. Sähkön päästöjen odotetaan putoavan nopeammin kuin kaukolämmön, mikä erottuu kuvasta jyrkemmin laskevana sinisenä käyränä. Lisäksi biopolttoaineiden pysyväksi päästökertoimeksi on määritetty 0,027 kgCO₂e/kWh ja fossiilisten polttoaineiden 0,306 kgCO₂e/kWh [8]. Suunnitteilla olevan rakennusten hiilijalanjäljen raja-arvosääntelyn odotetaan tukevan siirtymistä fossiilisesta energiasta muihin, uusiutuvista lähteistä oleviin lämmönlähteisiin [14, s. 38].



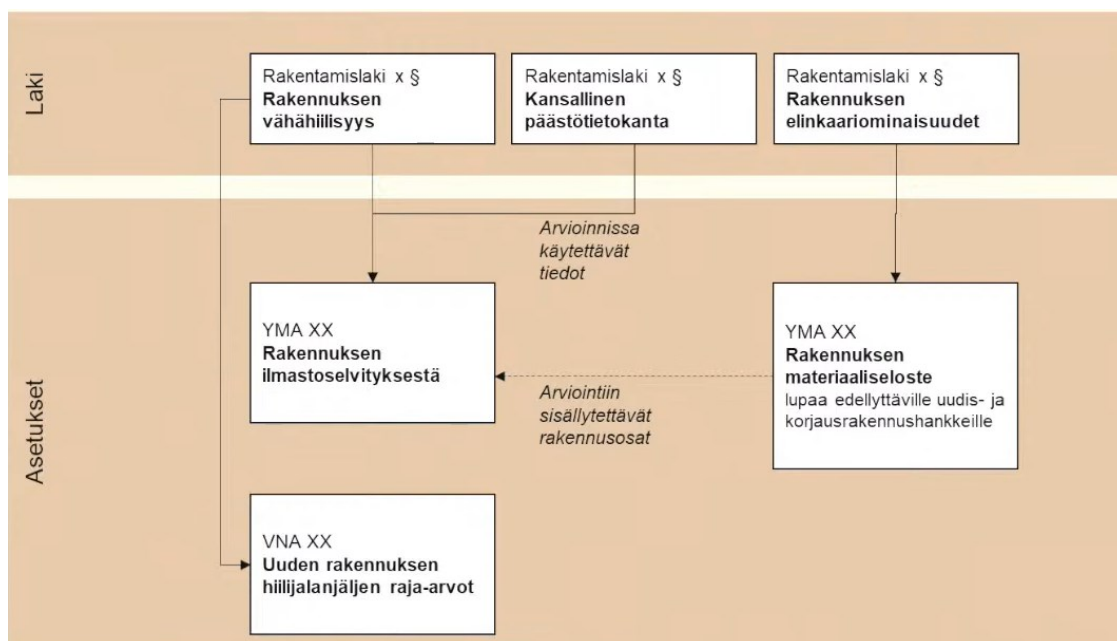
Kuva 3. Energiamuotojen päästökertoimien skenaariot 22.1.2023 [8].

2.3 Kotimainen säädösvalmistelu

Suomen lainsäädäntö ei sisällä insinööriyön tekohetkellä rakennuksen vähähiilisuuden arviointia tai hiilijalanjäljen raja-arvoja koskevaa sääntelyä. Käynnissä on kuitenkin maankäyttö- ja rakennuslain uudistus, jonka keskeisenä teemana on vähähiilisyys [3]. Kaavoitus- ja rakentamislaki -nimellä alkuun kulkenut lakiesitys oli loppuvuodesta 2021 lausuntokierroksella, minkä jälkeen kokonaisuudistuksen sijaan päädyttiin lakiuudistuksen valmistelua jatkaa viemällä rakentamislakia eteenpäin omana kokonaisuutenaan [14, s. 10]. Syyskuussa 2022 eduskuntaan eteni hallituksen esitys uudesta rakentamislakista, joka hyväksyttiin eduskunnassa maaliskuussa 2023. Esitystä on tässä työssä kuvattu sen julkaisuhetkellä olevassa muodossa.

Rakentamislakiesityksen [14] mukaan vähähiilisydestä tulisi rakennusten uusi olennainen tekninen vaatimus. Sen noudattaminen uusissa rakennuksissa osoitettaisiin esimerkiksi alittamalla hiilijalanjäljelle asetettu raja-arvo ilmastaselvityksessä esitetyn vähähiilisuuden arviointimenetelmän mukaisesti. Vähähiilisuuden arviointiin tarvittavia tietoja tarjoava kansallinen päästötietokanta on myös osa ehdotettua säädöskehikkoa (kuva 4). Rakennusten kestävyys ja ekologisuuden edistämiseksi esitetään lakiesityksessä myös elinkaariominaisuuksia

koskevaa vaatimusta, johon sisältyvä velvoite materiaaliselosteen laatimisesta kytkeytyy vähähiilisyteen.



Kuva 4. Rakennuksen vähähiilisyden säädöskehikko [15].

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä oli lausuntokierroksella ensimmäisen kerran kesällä 2021 ja toistamiseen loppuvuodesta 2022. Asetuksessa säädettäisiin rakennuksen vähähiilisyden arvioinnista ja ilmastaselvityksestä, joka tulisi laatia rakennushankkeiden uuden yhteisen lupamuodon, rakentamisluvan yhteydessä [14, s. 1].

Ilmastaselvityksen asetusluonnos vuodelta 2022 [16] sisältää viimeisimmän julkistetun version vähähiilisyden arviointimenetelmästä. Verrattuna ensimmäiseen asetusluonnokseen vuoden 2022 ilmastaselvityksen asetusluonnoksessa ei erikseen luetella arviointiin sisällytettäviä rakennuksen osia, vaan laajuus ja kattavuus määritellään vastaavan sitä, mitä tullaan ilmoittamaan asetuksessa rakennuksen materiaaliselosteesta. Vähähiilisyden arvioinnin tulosten alustava esittämistapa ilmastaselvitystä varten näkyy kuvassa 5.

	Hiilijalanjälki	
	Rakennus	Rakennuspaikka
A1-3 Rakennustuotteiden valmistus	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
A4 Kuljetukset	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
A5 Työmaatoiminnot	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
B4 Rakennustuotteiden vaihdot	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
B6 Energian käyttö	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
C1 Purkaminen	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
C2 Purkujätteen kuljetukset	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
C3 Purkujätteen käsittely	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
C4 Purkujätteen loppusijoitus	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
Hiilijalanjäljen loppusumma	kgCO₂e/m²/a	kgCO₂e/m²/a
	kgCO₂e yhteensä	kgCO₂e yhteensä

	Hiilikädenjälki	
	Rakennus	Rakennuspaikka
D1. Uudelleenkäyttö ja kierrätys	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
D2. Hyödyntäminen energiana	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
D3. Ylimääräinen uusiutuva energia	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
D4. Tuotteiden hiilivarastovaikutus	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
D5. Karbonatisoituminen	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a
D6. Istutettu puusto	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/m ² /a

Kuva 5. Vähähiilisyiden arvioinnin tulosten esitys ilmastaselvityksessä [16].

Rakennuksen hiilijalanjälki ja -kädenjälki ilmoitettaisiin hiilidioksidiekvivalenttikiloina (kgCO₂e) lämmitettyä nettoalaa (m²) ja arviointijakson pituutta vuosina (a) kohti rakennukselle ja rakennuspaikalle. Tulokset pyöristettäisiin kahden desimaaliluvun tarkkuuteen symmetrisesti, eli positiivisena esitettävä hiilijalanjälki ylöspäin ja negatiivisena esitettävä hiilikädenjälki alaspäin. Hiilijalanjäljen osatekijät ilmoitettaisiin erillisinä, minkä lisäksi ne lopuksi summattaisiin yhteen, ilmaisten rakennuksen elinkaaren aikaista hiilijalanjälkeä. Hiilikädenjäljen osatekijät ilmoitettaisiin erillisinä tietoina, niitä ei laskettaisi yhteen. [16.]

Ilmastaselvityksen yhtenä tehtävänä olisi osoittaa hiilijalanjäljen raja-arvoaatiusten täyttyminen niitä koskevissa uusissa rakennuksissa, kun taas hiilikädenjälkeä koskisi vain raportointivelvollisuus. Raja-arvoista säädettäisiin vaikuttavuutensa vuoksi valtioneuvoston asetuksella [14, s. 284]. Asetettavista raja-arvoista on insinööriyön tekohetkellä vain suuntaa antavia arvioita. Kuvassa 6 on esitetty alustavat soveltamisperiaatteet ilmastaselvityksen lisäksi raja-arvoille ja materiaaliselosteelle.

Ilmastaselvitys ja materiaaliseloste tarvitaan, hiilijalanjäljen raja-arvoa ei saa ylittää:

- Rivitalot
- Kerrostalot
- Liikerakennukset
- Toimistorakennukset
- Hoitoalan rakennukset
- Kokoontumisrakennukset (pl jäähallit, uimahallit, uskonnolliset)
- Opetusrakennukset

Ilmastaselvitys ja materiaaliseloste tarvitaan, hiilijalanjäljen raja-arvoa ei saa ylittää:

- Pientalot
- Paritalot
- Ympärivuotiset vapaa-ajan rakennukset
- Liikenteen rakennukset (pl katokset ja huoltorak.)
- Jäähallit
- Uimahallit
- Varastorakennukset (pl lämmittämättömät tai katokset)
- Pelastustoimen rakennukset
- Laajamittaisesti korjattavat lupaa vaativat rakennukset, joiden energiatehokkuutta on parannettava

Ei ilmastaselvitystä, materiaaliselvitystä tai raja-arvoja:

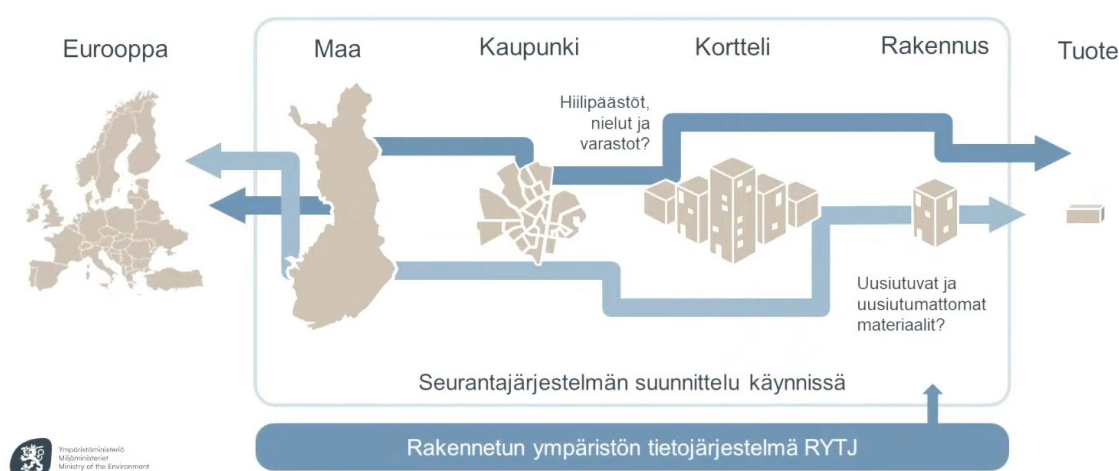
- Osavuotiset vapaa-ajan rakennukset
- Ammatillisen kaluston huoltorakennukset
- Kulkuneuvojen katokset
- Tieto- ja viestintätekniiikan rakennukset
- Uskonnollisten yhteisöjen rakennukset
- Teollisuuden ja kaivannaistoiminnan rakennukset
- Energianhuoltorakennukset
- Yhdyskuntatekniiikan rakennukset
- Lämmittämättömät varastot
- Varastokatokset
- Väestönsuojat
- Maatalousrakennukset ja eläinsuojat
- Muut rakennukset
- Väliaikaiset rakennukset
- Alle 50 m² rakennukset
- Suojellut rakennukset
- Erilliset rakenteet

Kuva 6. Vähähiilisuuden arvioinnin alustava soveltamisala [15, mukailen].

Ilmastaselvityksen ja raja-arvojen lisäksi kolmas uusi vähähiilisyyteen liittyvä asetus koskisi rakennuksen materiaaliselostetta. Materiaaliseloste on tarkoitettu laadittavaksi samassa prosessissa ilmastaselvityksen kanssa ja tarjoaisi sille lähtötiedot: tiedot rakennusosista, niiden sisältämisestä materiaaleista ja materiaalien alkuperästä [15]. Myös soveltamisala olisi rakentamislakiesityksen mukaan sama. Materiaaliselosteen asetusluonnos [17] oli ensimmäistä kertaa lausunto-kierröksellä ilmastaselvityksen kanssa loppuvuodesta 2022.

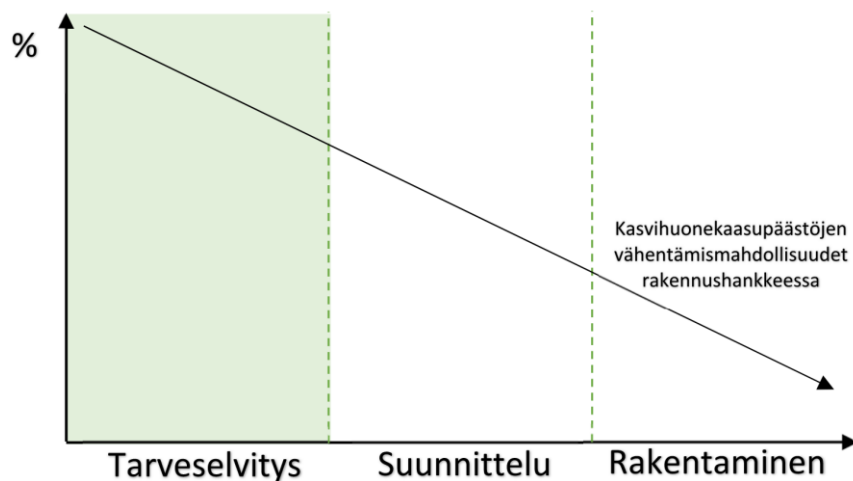
Materiaaliselosteen asetusluonnos sisältää listan rakennusosista, jotka sisältyvät myös ilmastaselvityksessä tehtävään vähähiilisuuden arviointiin. Rakennusosien sisältämisestä materiaaleista ja materiaalien alkuperästä tulisi raportoida asetuksessa ilmoitetun jaottelun mukaisesti – materiaalien massat tulisi ilmoittaa materiaalityypeittäin ja massat jaotella edelleen alkuperän mukaan esimerkiksi uusiutuviin ja uusiutumattomiin materiaaleihin. [17.]

Uuden lainsäädännön yhtenä tavoitteena on, että ilmastoselvityksen ja materiaaliselosteen tietoja voitaisiin hyödyntää rakennetun ympäristön päästöjen seurannassa. Ympäristöministeriössä valmistellaan insinööriyön tekoetkellä rakennetun ympäristön tietojärjestelmää (RYTJ), johon tultaisiin sisällyttämään myös suunnitteilla oleva rakennetun ympäristön hiili- ja materiaalivirtojen seurantajärjestelmä, jonka periaate näkyy kuvassa 7. Seurannan avulla voitaisiin hahmottaa, kuinka hyvin rakennettu ympäristö tukee Suomen hiilineutraaliustavoitetta. [15.]



Kuva 7. Hiili- ja materiaalivirtojen seurantajärjestelmä [15].

Vähähiilisyden tullessa osaksi rakentamisen lainsäädäntöä se tulee vaikuttamaan laajasti rakennushankkeen eri osapuoliin ja asettamaan hankkeille uusia vaatimuksia. Rakentamislakiesityksen säännöskohtaisissa perusteluissa huomioidaan, että rakennusmateriaalien elinkaari- ja hiilijalanjälkilaskentavaatimusten myötä erityissuunnittelun rooli kasvaa entisestään. Erityissuunnittelijoiden mukaantulo hankkeen aikaisessa vaiheessa tunnustetaan tärkeäksi, jotta perusratkaisuiden vaikutusta kokonaisuuteen olisi mahdollista arvioida. [14, s. 210.] Se on vähähiilisyden näkökulmasta tärkeää, sillä päästöjen vähentämispotentiaali on korkeimmillaan rakennushankkeen alkuvaiheessa. Kuvassa 8 havainnollistetaan karkeasti, miten mahdollisuudet vähentää päästöjä muuttuvat hankkeen eri vaiheissa.



Kuva 8. Päästöjen vähentämispotentiaali rakennushankkeessa.

Eri konsepteja ja mahdollisuuksia olisi hyvä arvioida hankkeen aikaisessa vaiheessa, jolloin niihin voidaan paremmin vielä vaikuttaa. Talotekniikan ratkaisuissa on potentiaalisia vaihtoehtoja rakennuksen päästöjen pienentämiseen, kuten seuraavissa luvuissa tullaan esittämään. Kaikkien rakentamisen olennaisien teknisten vaatimusten täyttämiseksi talotekniikan määrä nykyaikaisessa rakennuksessa on jo valmiiksi suuri, ja monet tekniset yksityiskohdat vaikuttavat myös rakennesuunnitteluun, joten taloteknisten järjestelmien huomiointi hankkeen alkuvaiheista lähtien on tärkeää pyrittäessä kohti vähähiilistä rakennuskantaa.

3 Talotekniikan hiilijalanjälki

Talotekniikan osuus rakennuksen hiilijalanjäljestä voidaan katsoa koostuvan materiaalien tuotesidonnaisista päästöistä ja järjestelmien energiankäytöstä aiheutuvista päästöistä. Talotekniikan suunnittelussa on vähähiilisyiden näkökulmasta tärkeää verrata järjestelmien elinkaaren vähähiilisyttä saavutettavaan energiatehokkuuteen – materiaalien valmistuksesta aiheutuvat päästöt eivät saisi olla kohtuuttomia verrattuna ratkaisuille saavutettuihin säästöihin käytön ajan energiankulutuksessa [1, s. 121].

3.1 Talotekniikan tuotesidonnaiset päästöt

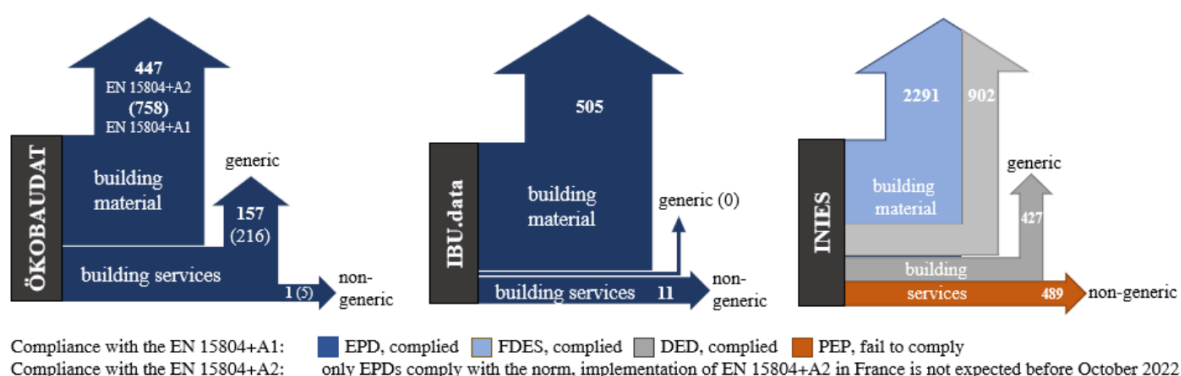
Talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuutta on pidetty pienenä, rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä erään arvion mukaan esimerkiksi vain 3 % [1, s. 29]. Tutkimustulokset ovat vaihtelevia, mikä perustuu oletettavasti osittain vakioimattomaan arviointimenetelmään, ja siten tulkinnanvaraisuuksiin vähähiilisyiden arviointiin sisällytettävistä tekniikkaosista. Taloteknisille järjestelmille laadittuja tyypillisiä arvoja (käsitellään luvussa 3.1.2) käyttämällä talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuus on ollut jopa 10 % rakennuksen hiilijalanjäljestä [18]. Talotekniikan tuotesidonnaisia päästöjä yksityiskohtaisesti käsittelevissä tutkimuksissa osuus on voinut olla vielä suurempi [7].

Talotekniikkaosat ovat suurelta osin valmistettu hiili-intensiivisistä materiaaleista kuten muoveista ja metalleista [1, s. 120]. Talotekniikan laitteiden ja materiaalien teknisiä käyttöikäoletuksia on esitetty mm. ohjekortissa RT 18-10922 (Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot), joka osoittaa useiden laitteiden ja osien tulevan käyttöikänsä päähän vähähiilisyiden arviointijaksoa vastaavan 50 vuoden aikana. Talotekniikan tuotteiden valmistuksesta aiheutuvia päästöjä syntyy siis elinkaaren alkupuolen lisäksi käytön aikana, kun osia joudutaan vaihtamaan. Lisäksi jätteenkäsittelystä, kierrätyksen järjestämisestä ja loppusijoituksesta koituvat päästöt tulee huomioida arvioinnissa [1, s. 121].

Talotekniikan vähähiilisyden arvioinnista tekee työlästä muun muassa suuri komponenttimäärä, minkä vuoksi määrälaskenta voi olla raskasta. Mikäli suunnitelmissa ei ole osia tyyhitetty riittävällä tarkkuudella, on laskennassa turvaututtava oletuksiin. Talotekniikan materiaalien päästöjen arviointia hankaloittaa tiedonpuute järjestelmien ja tekniikkaosien ympäristövaikutuksista. Käytännössä talotekniikan tuotteisiin liittyvien tuotetietojen kasvavasta kysynnästä huolimatta juuri näiden tuotteiden päästötiedot ovat puutteellisimmat [19, s. 2].

3.1.1 Talotekniikan tuotekohtaiset päästötiedot

Rakennushankkeen taloteknisten järjestelmien luotettavaa hiilijalanjälkilaskentaa varten tulisi olla kattavasti tuotekohtaisia päästötietoja. Toistaiseksi talotekniikkatuotteiden ympäristöselosteita on vielä niukasti saatavilla. Suomessa EPD-selosteita julkaiseva taho on Rakennustietosäätiö RTS, jonka sivulla julkaistuja EPD-selosteita oli helmikuun alussa 2023 yhteensä 224. Niistä talotekniikka-aiheisia oli 18, joista viisi oli LVI-järjestelmiin liittyviä tuote- tai tuoteryhmäkohtaisia selosteita. [20.] Määrää voi verrata tuotevalikoimaan – LVI-numerolla tuotenimikkeitä on lähes 170 000 kappaletta [21]. Kuvassa 9 esitetään kolmen suurimman eurooppalaisen rakennustuotetietokannan (ÖKOBAUDAT, IBU.data ja INIES) ympäristötietojen kattavuus, mistä on myös havaittavissa talotekniikkatuotteiden tuotekohtaisten päästötietojen vaje. Saatavilla olevat tiedot ovat lähinnä geneerisiä, yleisluonteisia.



Kuva 9. Ympäristöselosteiden kattavuus kolmessa suurimmassa eurooppalaisessa rakennustuotetietokannassa [19, s. 5].

Puuttuvien taloteknisten tuotteiden päästötietojen ongelmaan on kiinnitetty huomiota useissa talotekniikan päästöjä käsittelevissä tutkimuksissa ja opinnäytteissä [mm. 19; 22; 23; 24]. LVI-INFO yhdessä Taltekan ja STK:n (Sähkötekni- sen Kaupan Liitto) kanssa on käynnistänyt vuoden 2022 lopussa tutkimus- ja kehityshankkeen, jossa talotekniikan ympäristötietoja on tarkoitus kartoittaa ja tallentaa talotekniikka-alan tuoterekistereihin. Talotekniikkatuotteiden päästötietojen kerääminen keskitetysti helpottaisi tuotesidonnaisten päästöjen määräluet- teloon pohjautuvaa laskentaa ja päästöjen vertailua tuotteiden välillä. [25.]

Geneerisiä tietoja voidaan käyttää, mikäli tuotekohtaisia päästötietoja ei ole saatavilla. Arviointimenetelmän mukaan kansallisessa päästötietokannassa esi- tetään yksityiskohtainen luettelo arviointiin sisältyvistä rakennus- ja tekniikka- osista [6, s. 17]. Tietokannassa on kuitenkin insinööriyön tekohetkellä vain sup- pea lista talotekniikan tuoteryhmistä päästötietoineen (kuva 10). Konservatiivis- ta arvoa, johon on lisätty kerroin 1,2, on tarkoitus käyttää vähähiilisuuden ar- vioinnissa. Tietokannan, kuten myös arviointimenetelmän, kehittämistyö jatkuu, joten sisällön voidaan odottaa täydentyvän.

Talotekninen tuote	Tyypillinen arvo kg CO ₂ e/kg	Konservatiivinen arvo kg CO ₂ e/kg	Hiilikädenjälki kg CO ₂ e/kg
Ilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla	3,5	4,2	-2,1
Kylpyhuoneen hana	5,6	6,7	-0,29
Kupariputki	0,65	0,78	0
Kuparilanka	4,2	5	0
Juomavesiputki, PEX	3,2	3,8	-0,84
Sähkökaapelin suojaputki, PVC	2	2,4	0
Sähkökaapeli, matalajännite	4,2	5	-0,85
Sähkökeskus	2,3	2,8	-1,5
Koneellinen poistoilmanvaihto	2,9	3,5	-1,7
Lämmönjakoputki, PEX	2,6	3,1	0
Ilmalämpöpumppu	17	20	-1,5
Keittiön hana astianpesukoneventtiilillä	5,8	6,9	-0,27
Keittiön pesuallas	3,4	4	-1,5
Yleisvalaisin, Led	7,1	8,5	0
Henkilöhissi	3	3,6	-0,59
Vesikiertoinen patteri	3,5	4,2	-1,5
Suihkuhana suihkusetillä	4,1	4,9	-0,54
Aurinkopaneeli, yksikiteinen	19	23	-1,9
Aurinkolämpökeräin, tasokeräin	4,3	5,2	-0,7
Sprinkler-järjestelmän putket	2,6	3,1	-1,4
Ruostumaton teräsputki	3,6	4,3	-1,3
WC-istuin	3,8	4,5	0
Ilmanvaihtokanava, metalli	2,6	3,1	-1,4
Pesuallas	3	3,6	0
Vesipumppu	5,8	7	-0,78

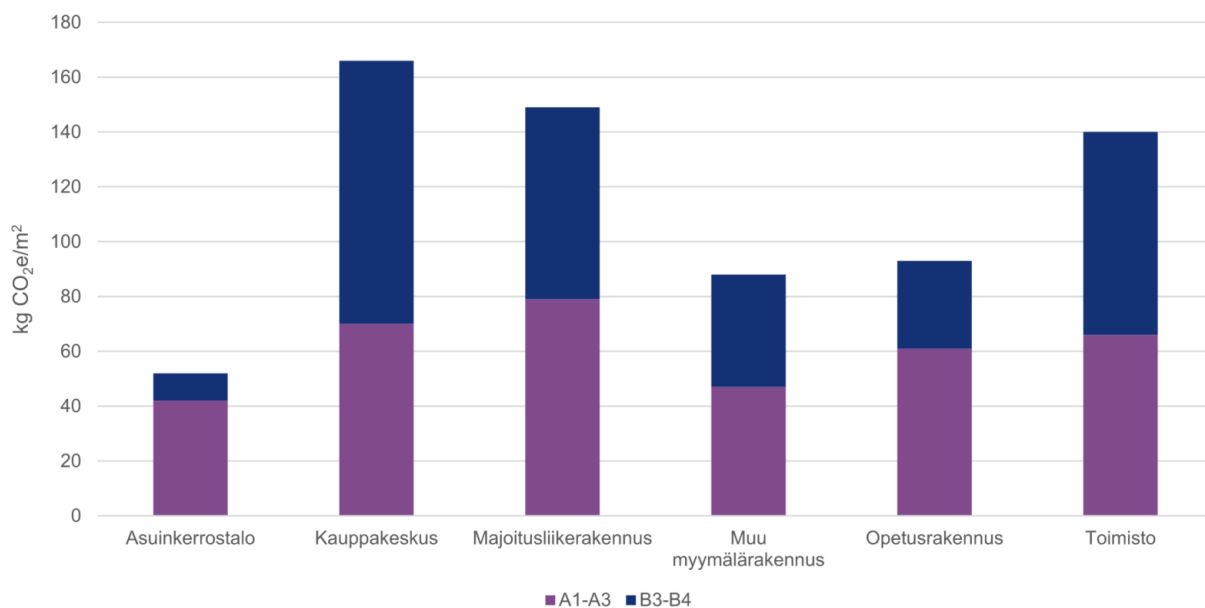
Kuva 10. Kansallisen päästötietokannan taloteknisten tuotteiden tiedot [8].

Kansallisessa päästötietokannassa on myös esitetty taulukoidut, neliömetripohjaiset päästökertoimet talotekniikalle, jotta rakennuksen vähähiilisyys arviointi voidaan tehdä menetelmän kattamassa laajuudessa myös ilman pitkälle vietyjä suunnitelmia. Päästökertoimet perustuvat ympäristöministeriön vuonna 2021 teettämään Sweco Talotekniikka Oy:n selvityshankkeeseen [26], jossa on arvioitu talotekniikan päästöjä eri rakennustyypeissä.

3.1.2 Talotekniikan päästökertoimet rakennustyypeittäin

Sweco Talotekniikka Oy:n selvityksessä [26] arvioitiin talotekniikan perusjärjestelmien päästöt toteutuneissa talonrakennushankkeissa. Selvityksen tarve johtui taloteknisen tietomallinnuksen havaitusta puutteellisuudesta rakennushankkeiden alkuvaiheessa, jossa hiilijalanjälkilaskenta tulisi tehdä. Hankkeessa laadittiin taulukoidut, neliömetripohjaiset päästökertoimet rakennustyypeittäin elinkaaren eri vaiheille. Lisäksi asuinkerroksiin tarvittaessa käytettävää sprinkler- ja jäähdytysjärjestelmää ja opetusrakennusten jäähdytysjärjestelmää varten on määritetty erilliset päästökertoimet.

Selvityshankkeen raportissa ilmoitetaan talotekniikan tuotesidonnaiset päästöt ennen käyttöä (moduulit A1–A3) ja käytön aikana (moduulit B3–B4). Rakennuksen käytönaikaisiin päästöihin näyttää selvityksessä lukeutuvan myös rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmän rajauksen ulkopuolella oleva moduuli B3 (korjaukset), mutta sen osuutta ei kuitenkaan ole laskettu mukaan. Selvityksestä ilmenee, että talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuudet järjestelmäkohtaisesti jakautuvat pitkälti samalla tavalla kuin niiden massojen määrät [26, s. 8]. Talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuudet elinkaaren eri vaiheissa rakennustyypeittäin on esitetty kuvassa 11.

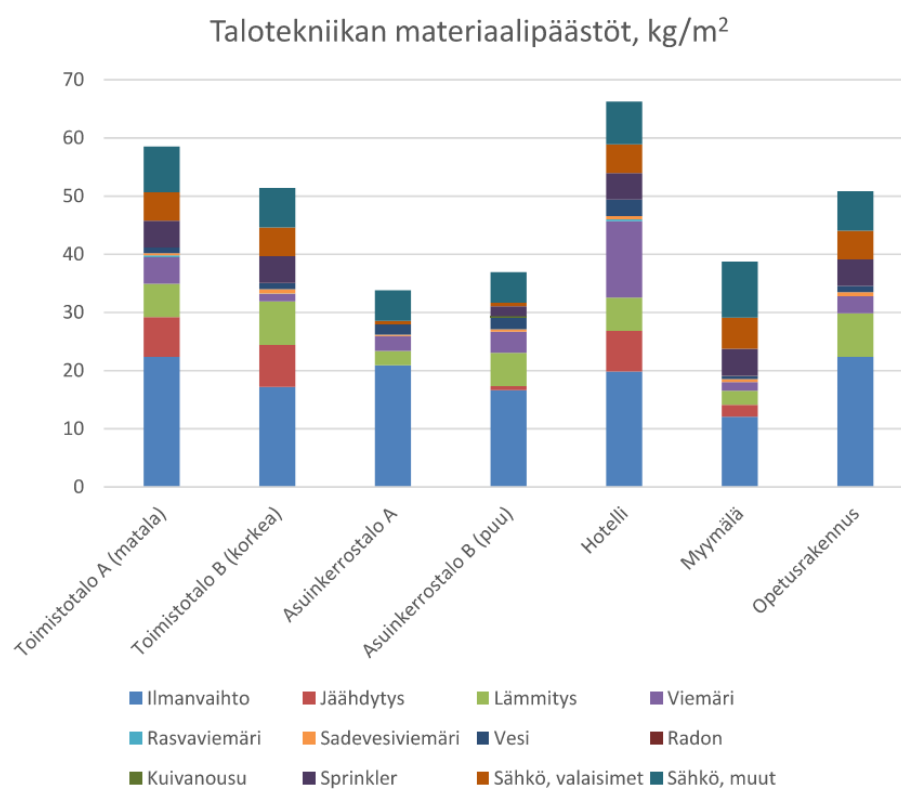


Kuva 11. Talotekniikan materiaalipäästöt ennen käyttöönottoa ja käytön aikana [26, mukailten].

Tuloksista on havaittavissa, että asuinkerrostaloissa taloteknisten järjestelmien laitteista ja osista aiheutuvat päästöt ovat rakennustyypeistä pienimmät. Tämän selitetään johtuvan talotekniikan pienemmistä massaosuuksista asuinrakennuksissa. Asuinkerrostaloissa talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen kertoimeksi on saatu 52 kgCO₂e/m², joka kattaa päästöt ennen rakennuksen käyttöönottoa (42 kgCO₂e/m²) ja käytön aikana (10 kgCO₂e/m²). Käytönaikaiset päästöt osoittautuivat selvästi pienimmiksi asuinkerrostaloissa, joissa muutostöitä ei juuri tehdä ennen laitteiden teknisen käyttöiän päättymistä. Tarvittaessa asuinkerrostaloihin tulevasta jäähdytyksestä lisätään rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen 2 kgCO₂e/m² ja sprinkler-järjestelmästä 7 kgCO₂e/m². [26, s. 9, 11]

Talotekniikan päästöjä ei ole raportissa verrattu rakennusten kokonaishiilijalanjälkeen, eikä talotekniikan osuuteen siinä oteta kantaa. Tuloksista voi kuitenkin tehdä tulkintoja eri taloteknisten järjestelmien päästövaikutusten suhteesta toisiinsa. Esimerkiksi ilmanvaihto osoittautui kaikissa rakennustyypeissä taloteknisten järjestelmien suurimmaksi tuotesidonnaisten päästöjen aiheuttajaksi, vaihteluvälin ollessa noin 35–65 %. Seuraavaksi suurimmat osuudet vaihtelivat rakennustyypeittäin, esimerkiksi asuinkerrostaloissa lämmitys-, viemäri- ja

sähköjärjestelmät olivat ilmanvaihdon jälkeen suurimpia päästölähteitä. Kuvassa 12 näkyvät raportissa esitetyt talotekniikan materiaali-päästöt moduuleissa A1–A3 järjestelmäkohtaisesti. Tarkastelua tehdessä on syytä huomioida, että selvityshankkeessa käytetty aineisto on varsin suppea – referenssikohteita oli kutakin rakennustyyppiä kohden vain 1–2.



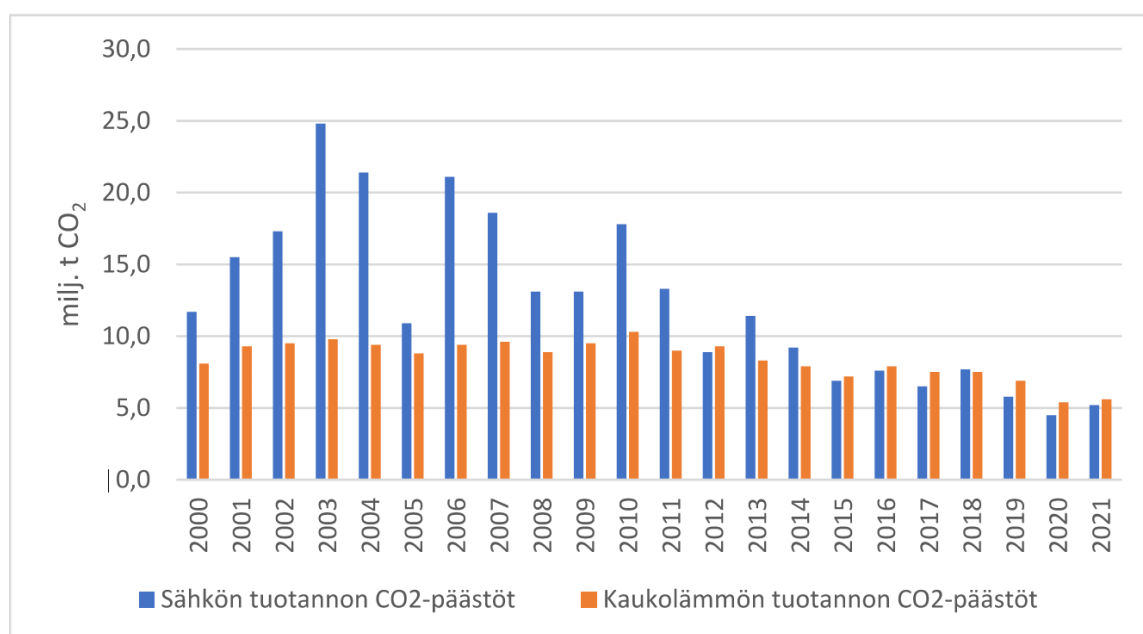
Kuva 12. Talotekniikan materiaali-päästöt ennen käyttöönottoa A1–A3 [26, s. 7].

Tätä insinööriyötä varten on tarkastelua talotekniikan tuotesidonnaisista päästöistä tehty eri järjestelmien osalta käyttäen lähteenä edellä esitetyn selvityksen lisäksi muita aikaisempia tutkimuksia aiheesta. Päästökertoimet helpottavat päästöjen arviointia hankkeen alkuvaiheessa, mutta luotettavan, kohdetta vastaavan tuloksen saisi laskemalla päästöt määräluetteloon perustuen. Taloteknisten järjestelmien lisääntyessä rakennuksissa myös tuotesidonnaisten päästöjen odotetaan lisääntyvän [18, s. 35]. Lisääntynyt talotekniikka voi toisaalta energiatehokkuuden parantamisen myötä johtaa pienempään hiilijalanjälkeen.

3.2 Energiankulutuksen päästöt

Energiankäyttö on tunnustettu rakennusten keskeisimmäksi hiilijalanjälkeen vaikuttavaksi tekijäksi. Käytönaikainen energiankulutus vastasi yli 75 % rakennusten hiilijalanjäljestä Gaia Consulting Oy:n vuonna 2020 laatiman raportin tuloksissa [2, s. 8]. Päästöt aiheutuvat energian valmistuksesta, jossa käytetään hiilipohjaisia polttoaineita.

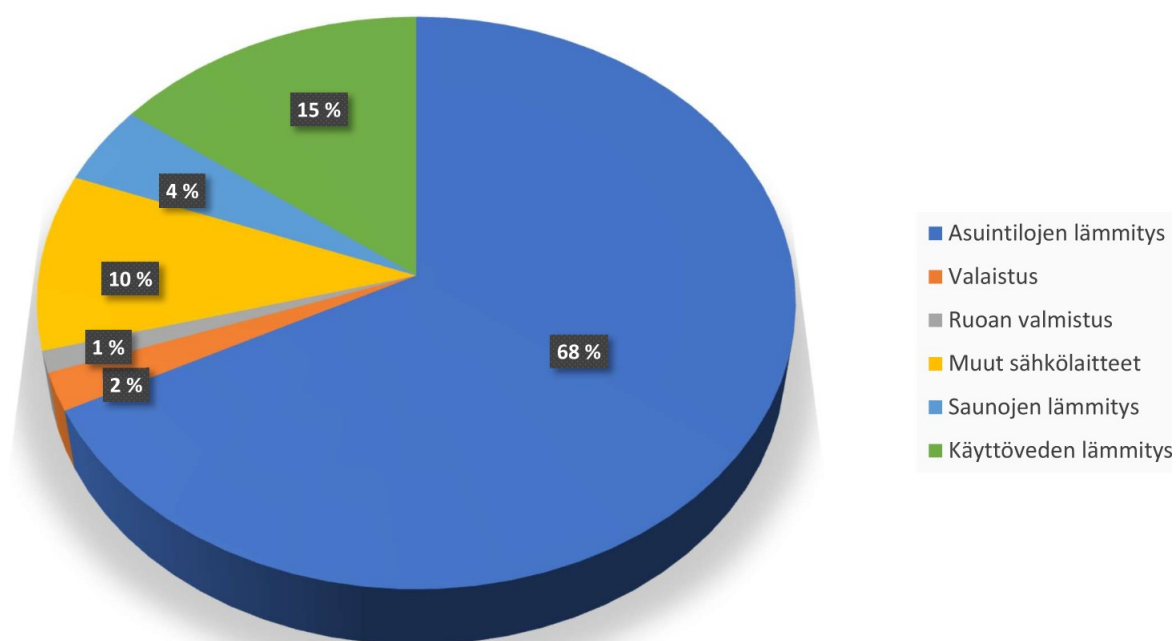
Energian valmistuksesta aiheutuvat päästöt ovat laskeneet Suomen energia- ja ilmastopolitiikan vaikutuksesta, kuten kuvasta 13 voi havaita. Suomen ilmastolain ja hiilen energiakäytön kieltoa vuonna 2029 koskevan lain ennustetaan tulevan entisestään vähentämään energian tuotannosta aiheutuvia päästöjä lähitulevaisuudessa. [1 s. 40–41.] Fossiilisesta energiasta luopuminen eli vihreä siirtymä vaikuttaa näin välillisesti rakennusten vähähiilisyyteen. Lisäksi rakennusten energiatehokkuuden parantuessa energiantuotannon tarve vähenee, jolloin myös rakennukseen kohdistuvat päästöt pienenevät.



Kuva 13. Energiantuotannon päästöjen muuttuminen vuosina 2000–2021 [27].

Rakennuksen käyttövaiheen energiankulutuksesta aiheutuvien päästöjen voidaan katsoa sisältyvän talotekniikan hiilijalanjälkeen, sillä talotekniset

järjestelmät kuluttavat merkittävän osan rakennuksen vuotuisesta energiankulutuksesta. Energiaa kulutetaan esimerkiksi lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmissä, käyttöveden lämmittämisessä sekä erilaisissa kiinteistösähköä käyttävissä toiminnoissa. Kuvassa 14 esitetään asuinrakennuksissa käytetyn energiankulutuksen jakautuminen vuonna 2021. Esimerkiksi tilojen lämmitykseen voi havaita kuluneen 68 % ja käyttöveden lämmitykseen 15 % kokonaisenergiankulutuksesta [28]. Tuloksissa tilojen lämmitykseen sisältyvät ilmanvaihtoon ja lämmönjakoon liittyvien laitteiden sähkönkulutus.



Kuva 14. Asumisen energiankulutus vuonna 2021 [28].

Energiaa kuluu myös jäähdytykseen, joka ei vielä asuinrakennuksissa ole kovin yleistä. Ilmaston keskilämpötilan kohoamisen takia jäähdytystä tullaan kuitenkin jatkossa tarvitsemaan yhä useammissa rakennuksissa. Jäähdytyksellä tarkoitetaan sisäilman lämpötilan pitämistä asetusarvossaan kuumissakin olosuhteissa, viilennyksellä taas viitataan lämpötilan nousun rajoittamiseen [23, s. 11–12]. Kumpikin järjestelmä kuluttaa energiaa ja vaatii enemmän tekniikkaa rakennukseen, mikä lisää päästöjä. Jäähdytystä kuitenkin tarvitaan, mikäli jäähdytysraja ylitetään. Määräysten mukaisesti uusiin rakennuksiin on osana energiaselvitystä tehtävä kesäajan sisälämpötilatarkastelu. Tarkastelulla tulee osoittaa, ettei

kesäajan huonelämpötila ylitä jäähdytysrajaa, joka on esimerkiksi asuinkerrostaloissa 27 °C, enemmän kuin 150 astetuntia kesäkuun ensimmäisen ja elokuun viimeisen päivän välisenä aikana. [9.]

Ensisijaisesti määräystenmukaisuus tulisi pyrkiä varmistamaan passiivisilla keinoilla, eli kuluttamatta energiaa. Esimerkiksi ikkunoiden määrää, suuntausta ja teknisiä ominaisuuksia pyritään optimoimaan niin, että jäähdytysrajaa ei ylitetä [1, s. 111], mikä on energiatehokkuuden lisäksi vähähiilisyiden kannalta edullisinta. Koneellinen jäähdytys lisää materiaaleista ja erityisesti energiasta aiheutuvia päästöjä rakennuksissa, mutta passiiviset ratkaisut eivät tuskin yksin tule tulevaisuudessa riittämään viihtyisän ja terveellisen sisälämpötilan ylläpitämiseksi keskilämpötilojen kohotessa. Arvioiden mukaan jäähdytyksen tarve tulee kasvamaan 13–19 % vuoteen 2030 mennessä [18, s. 42].

Energiatehokas rakentaminen on olennainen osa vähähiilisen rakentamisen strategiaa. Energiatehokkuuden merkitys ei tule laskemaan tulevaisuudessaan, vaikka energiantuotanto tulee jatkossa perustumaan yhä enemmän päästöttömiin energialähteisiin. [1, s. 108.] Elinkaarinäkökulmasta päästöjen pienentämiseksi tulisi keskittyä niin taloteknisten järjestelmien energiatehokkuuteen kuin pitkäikäisyyteen. Pitkäikäisyyteen sisältyy varautuminen tulevaisuuden tuomiin muutoksiin toimintaympäristössä.

4 Talotekniikkaratkaisujen vaikutus päästöihin

Tässä luvussa tutkitaan taloteknisten järjestelmien päästöjä aikaisempien tutkimusten pohjalta ja vertaillaan erilaisten ratkaisujen vaikutusta hiilijalanjälkeen. Sähköjärjestelmät on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Talotekniikan rooli vähähiilisessä rakentamisessa on erityisesti energiankulutuksen takia suuri, mutta rakennusten energiatehokkuuden parantuessa uusille rakennuksille laskettavassa hiilijalanjäljessä energian osuus ei vastaa enää yhtä suurta osuutta, jolloin tuotesidonnaisten päästöjen osuus rakennuksen hiilijalanjäljestä kasvaa.

Tutkimuksia taloteknisten järjestelmien päästöistä sekä tuotesidonnaiset että energiankäytöstä aiheutuvat päästöt huomioiden on vielä rajallisesti saatavilla. Tämän takia alalla ei ole vielä laajempaa käsitystä siitä, miten taloteknisessä suunnittelussa voitaisiin vähähiilisyttä parhaiten edistää. [7, s. 3.] Tiedon puute voi johtaa haitalliseen osaoptimointiin, esimerkiksi tuotesidonnaisten päästöjen alentamiseen energiatehokkuuden kustannuksella, tai toisin päin. Suunnittelussa tulisi verrata järjestelmän elinkaaren vähähiilisyttä energiatehokkuudella saavutettuihin etuihin ja pyrkiä optimaaliseen tulokseen koko elinkaaren hiilijalanjäljen osalta [1, s. 120].

4.1 Ilmanvaihtojärjestelmät

Luvussa 3.1.2 esitetyn selvityshankkeen mukaan ilmanvaihtojärjestelmät aiheuttavat talotekniikan tuotesidonnaisista päästöistä rakennustyyppistä riippumatta merkittävimmät päästöt. Tulosta tukevat useat tutkimukset [mm. 7; 24]. Päästöjä kasvattavat erityisesti hiili-intensiiviset metallituotteet. Asuinrakennusten välisten ratkaisujen vertailussa tutkimuksissa on saatu toisistaan poikkeavia tuloksia.

Sweco Talotekniikka Oy:n selvityksessä asuntokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän laskennallinen osuus talotekniikan päästöistä oli yli 60 %, kun se keskitetyn ilmanvaihdon tapauksessa oli vain 45 % [26, s. 6]. Sara Lindvallin diplomityössä tuotteiden valmistuksesta aiheutuvien päästöjen yhteenlasketut osuudet

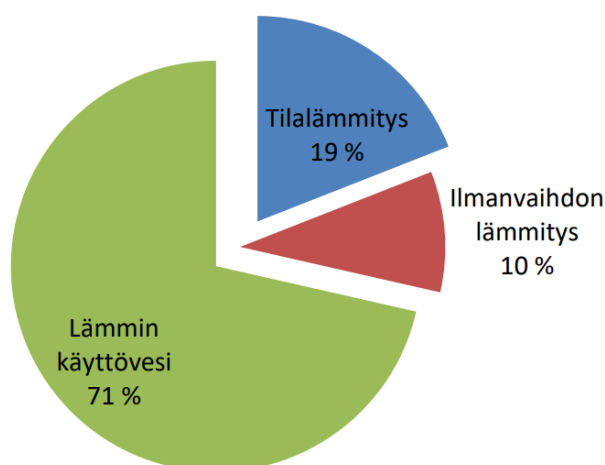
järjestelmien välillä osoittautuivat puolestaan suunnilleen yhtä suuriksi. Keskite-
tyssä järjestelmässä kuumasinkityn teräksen kulutus ja sen päästöt vaikuttivat
olevan kanavoinnin suuremman tarpeen takia merkittävämpiä, kun taas hajau-
tetussa järjestelmässä mm. lyijyn, sinkin ja hopean kulutus ilmanvaihtokoneissa
muodostivat laskennallisesti suuremmat päästövaikutukset. [29.] Vesitaito Kon-
sultointi Oy:n selvityksessä keskitetty ilmanvaihto näytti kasvattavan rakennuk-
sen tuotesidonnaisia päästöjä hajautettuun järjestelmään verrattuna, laskennan
pohjautuessa karkeisiin arvioihin neliöperusteisista päästötiedoista [30, s. 22–
23]. Tuloksiin vaikuttavat kohteen ominaisuudet ja asuntojen lukumäärä, joten
kohteiden ei voida olettaa olevan vertailukelpoisia.

Janika Torkin diplomityössä vähähiilisen asunrakennuksen LVI-suunnittelusta
[22] referenssikohteen ilmanvaihto on toteutettu keskitettynä, eikä vertailua ha-
jautettuun järjestelmään ole tehty. Ilmanvaihdon hiilijalanjälkeä on sen sijaan
vertailtu kolmen eri energiatehokkuudeltaan erilaisen ilmanvaihtokoneen välillä.
Hiilijalanjäljen näkökulmasta suositeltavin vaihtoehto oli energiatehokas, mas-
saltaan mahdollisimman pieni kone. Vaihtoehtoista vähähiilisimmäksi ei näin ol-
len osoittautunut energiatehokkain vaihtoehto – konekoon kasvusta ja sen
myötä myös kanavien kasvusta seuranneiden lisääntyneiden tuotesidonnaisten
päästöjen takia energiatehokkain kone jäi toiselle sijalle. Lähtökohtaisesti ener-
giatehokkuus kuitenkin tunnistettiin myös hiilitehokkaaksi. [22, s. 44.]

ARAn (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus) vuoden 2018 tutkimuksessa
vuokratalokohteen hiilijalanjäljen pienentämisestä painotettiin myös ilmanvaihto-
järjestelmien energiatehokkuutta. Energiatehokkuudeltaan paremmaksi vaihto-
ehdoksi tunnistettiin hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä, selvityksessä tarkasteltiin
kuitenkin keskitettyä järjestelmää. Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon ohjausmah-
dollisuuden lisäämisen todettiin olevan potentiaalinen keino vähentää päästöjä.
Lisäämällä huoneistokohtainen ohjausmahdollisuus rakennuksen hiilijalanjäljen
arvo putoaisi tutkimuksen mukaan 4,3 %. Päästövaikutus perustuu tarpeenmu-
kaisella ilmanvaihdolla oletettuun pienentyneeseen ilmanvaihdon puhallinsäh-
kön sekä lämmitys- ja jäähdytysenergian tarpeeseen. [18, s. 45, 69.]

4.2 Lämmitysjärjestelmät

Lämmitysjärjestelmistä aiheutuvat päästöt liittyvät pitkälti lämmitysenergian kulutukseen. Rakennuskannan uudistuessa energiatehokkuusvaatimusten mukaisesti, lämmitysenergian osuus energiankulutuksesta pienenee. Motivan julkaisun [31] mukaan käyttöveden lämmityksen, sähkölaitteiden ja valaistuksen energiankulutuksen suhteellinen osuus voi olla yli puolet uusissa energiatehokkaissa rakennuksissa. Tätä tukee ARAn tutkimus [18], jossa asuinkerrostalon lämmitysenergiasta jopa 71 % osoittautui kuluvan lämpimään käyttöveteen (kuva 15).



Kuva 15. Uuden asuinkerrostalon lämmitysenergian jakautuminen [18, s. 42].

Lämmityksestä johtuvat energiankulutuksen päästöt ovat pitkälti riippuvaisia siitä, millä lämmitysmuodolla rakennusta lämmitetään. Asuinrakennusten yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö, mutta sen rinnalla ovat yleistyneet maalämpö ja sähkölämmitys [1, s. 120]. Sähkön ja kaukolämmön tuotanto tulee jatkossa perustumaan yhä enemmän uusiutuviin energialähteisiin Suomen energia- ja ilmastopolitiikan vaikutuksista, mikä vaikuttaa tontille sijoitettavan uusiutuvan energiantuotannon kannattavuuteen vähähiilisyyden näkökulmasta [1, s. 116].

Maalämpö on tunnistettu yhdeksi merkittävimmistä rakennusten hiilijalanjälkeä alentavista tekijöistä, ja sen suosio kannattavana investointikohteena on myös

kasvanut. Vuonna 2022 maalämpöpumppuja myytiin Suomessa yhteensä 12 000 kappaletta, ja suosion takia projektien rakennuslupien käsittely on paikoitellen ruuhkautunut. Lämmityksen päästöjä lämpöpumpuilla arvioidaan voivan potentiaalisesti vähentää jopa yli 80 %. [32.] Maalämmöstä saatava hyöty riippuu rakennuksen sijainnista ja lämmitysjärjestelmästä. Esimerkiksi lattialämmityksessä käytettävän matalan lämpötilan vuoksi maalämpöjärjestelmän tehokkuus kasvaa, kun taas perinteisen radiaattoriverkoston vaatima korkea lämpötila alentaa hyötysuhdetta, jolloin suurempi osuus lämmöstä on tuotettava osotosähköllä [22, s. 22].

Maalämpöjärjestelmän energiankäytöstä johtuvat päästöt olivat Janika Torkin työssä lattialämmitteisessä asuinkerrostalossa 3,34 kgCO_{2e}/m²a pienemmät kuin kaukolämmön tapauksessa, tuotesidonnaisten päästöjen kasvaessa noin 0,2 kgCO_{2e}/m²a. Rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen verrattuna maalämmön päästöt ovat Torkin työn perusteella arviolta 30 % pienemmät kuin kaukolämmöllä. [22, s. 19, 33.] Vesitaito Konsultointi Oy:n selvityksessä maalämpöratkaisulla energiankulutuksen vähennys pienensi asuinrakennuksen energiankäytöstä johtuvia päästöjä 2,1 kgCO_{2e}/m²a ja kokonaishiilijalanjälkeä noin 16 %. Maalämpöjärjestelmän tapauksessa tuotesidonnaisten päästöjen arvioitiin kasvavan noin 0,03 kgCO_{2e}/m²a. [30, s. 18.] Erojen maalämpöratkaisujen vaikutuksissa voidaan olettaa johtuvan pitkälti energialaskentaan vaikuttavista tekijöistä. Torkin työssä korostetaan, ettei maalämpöjärjestelmien tuotesidonnaisia päästöjä ole julkisesti saatavilla, joten laskenta perustuu karkeisiin arvioihin [22, s. 32.]

Maalämpöpumppujen lisäksi ilma-vesilämpöpumput ovat varteenotettava vaihtoehto uusiutuvan energian hyödyntämiseksi lämmityksessä. Ilma-vesilämpöpumppu hyödyntää ulkoilman lämpöenergiaa ja siirtää sitä vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Hyötysuhteeltaan ratkaisu on huonompi kuin maalämpöjärjestelmän tapauksessa. Matalalämpötilaisessa lämmitysverkostossa myös ilma-vesilämpöpumppujen vuosittainen ilmaisenergian tuotanto kasvaa. [33.]

Lämmitysmuodon lisäksi lämmitysenergian kulutuksen pienentämisellä päästöjä on mahdollista vähentää. Lämmöntalteenotto (LTO) poistoilmasta on yksi keskeisimmistä keinoista pienentää lämmitysenergian kulutusta [18, s. 46]. Hukka-lämmön hyödyntämisessä rakenteellisilla ratkaisuilla on suuri merkitys – tiiviissä rakennuksessa lämmöntalteenotolla saadaan poistoilman lämpö talteen suurimaksi osaksi ilman, että sitä poistuu ilmavuotojen kautta [23, s. 10]. Uudisrakennuksissa määräysten mukainen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, eli talteen otettavan lämpöenergian määrä poistoilmasta ilmanvaihdon tarvitsemasta lämpömäärästä on vähintään 55 % [9]. ARAn tutkimuksessa LTO-vuosihyötysuhteen parantaminen 66,9 %:sta 78 %:iin alensi rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeä laskennallisesti 4,2 % [18, s. 69].

Myös jäteveden lämmöntalteenotolla voidaan vähentää energiasta aiheutuvia päästöjä. Lämpimään käyttöveteen sitoutunut hukkalämpö vastaa arvioiden mukaan 17–19 %:a rakennuksesta poistuvasta lämpövirrasta. Lämpö otetaan talteen jätevesistä käyttämällä lämmönsiirintä tai lämpöpumppua, joista jälkimmäinen on tehokkaampi. Jätevesien lämmöntalteenoton tehokkuuteen vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat jäteveden määrä ja lämpötila. [34, s. 9.] Vesitaito Konsultointi Oy:n toteuttamassa selvityksessä jäteveden LTO-järjestelmän hyödyntäminen vähensi vertailuskenaariossa rakennuksen vuosittaista energiankulutusta laskennallisesti lähes 12 % ja päästöjä yli 5 %. Energiankulutuksen päästöt vähenivät rakennuksen elinkaaren ajalta 0,72 kgCO_{2e}/m²a. Tarvittavat talotekniikan materiaalit laitejärjestelmän asiantuntijan avulla laskettuna kasvativat tuotesidonnaisia päästöjä noin 0,03 kgCO_{2e}/m²a. [30, s. 20–21.]

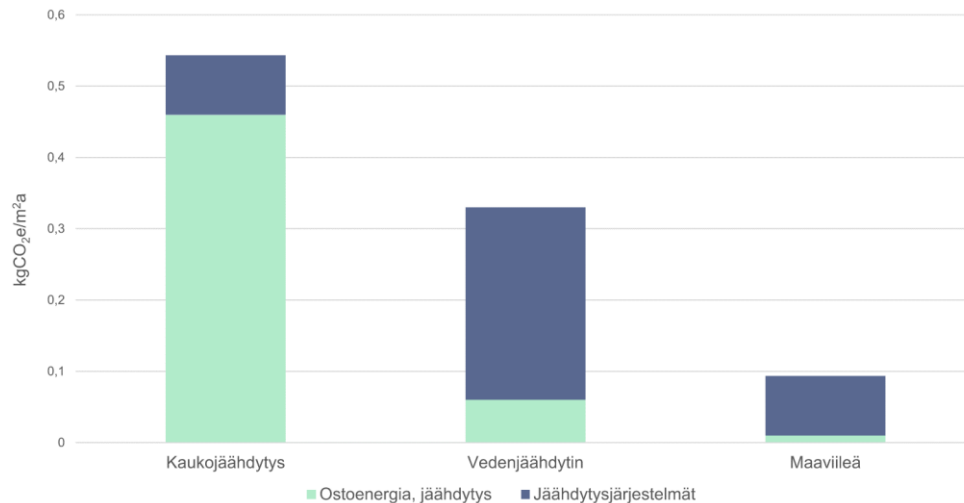
Taloteknisten järjestelmien eristyksellä vaikutetaan myös lämpöhäviöiden minimointiin. Eristyksellä pienennetään lämpöhäviöiden lisäksi meluhaittoja ja kondensoitumisongelmia sekä estetään bakteerikasvuston syntymistä putkistoissa. Käytettäviä materiaaleja ovat esimerkiksi mineraalivilla (kivi- ja lasivilla) sekä solukumi. [23, s. 14.] Janika Torkin diplomityössä paksumpi eristesarja 25 pienensi laskennallisia energiankulutuksen päästöjä lähes 3 % eristesarjaan 24 verrattuna, kasvattamatta juurikaan tuotesidonnaisia päästöjä [22, s. 35].

Lämmitysjärjestelmien tuotesidonnaiset päästöt kattavat keskimäärin 10 % talotekniikan tuotesidonnaisista päästöistä [26, s. 5]. Tyypillisiä materiaaleja järjestelmissä ovat kupari, muovi ja teräs. Putkistojen päästöt ovat pienemmät kuin ilmanvaihtokanavista aiheutuvat päästöt, johtuen terästuotteiden vähäisemmästä määrästä [7, s. 33]. Lämmönjakotapoja ovat esimerkiksi vesikiertoinen lattia- tai radiaattorilämmitys sekä tuloilman avulla lämmitys [23, s. 20].

Lämmitysjärjestelmien tuotesidonnaisten päästöjen osuus lattialämmitteisessä asuinkerrostalossa osoittautui noin puolet suuremmaksi kuin radiaattorilämmitteisen talon Sweco Talotekniikka Oy:n selvityshankkeessa [26, s. 7]. Tulos poikkeaa Valle Raatikaisen diplomityön tuloksista, joissa lattialämmitys todettiin merkittävästi (liki 70 %) radiaattorilämmitystä vähähiilisemmäksi vaihtoehdoksi [24, s. 63]. Janika Torkin työssä vastaava tulos oli yli 70 % [22, s. 34]. Henna Näsäsen toimistorakennuksen talotekniikan päästöjä käsittelevässä diplomityössä lämmitysjärjestelmän tuotesidonnaiset päästöt olivat lattialämmitystapauksessa myös pienemmät kuin radiaattoriverkoston, mutta vain 6 % [7, s. 68]. Lämmitysjärjestelmä kattaa lämmönjakolaitteiden lisäksi esimerkiksi lämmönjakokeskuksen ja siirtoputkiston, joiden mitat ja massa vaikuttavat tuloksiin, eivätkä kohteet ole täten välttämättä vertailukelpoisia.

4.3 Jäähdytys- ja viilennysjärjestelmät

Jäähdytystä voidaan tuottaa esimerkiksi vedenjäähdytyskoneilla, ilmalämpöpumpuilla tai kaukojäähdytyksen avulla. Jäähdytyksessä voidaan myös hyödyntää uusiutuvia energianlähteitä, kuten maalämpöjärjestelmän maapiiristä saatavaa viilennystä, hilliten energiankulutuksen päästöjä. [23, s. 21.] Raatikaisen työssä [24] päiväkodin jäähdytyksestä aiheutuvia päästöjä vertailtiin eri tapauksissa, ja ne jäivät merkittävästi pienemmäksi maalämpöjärjestelmän tapauksessa, kuten kuva 16 osoittaa. Suurimmat tuotekohtaiset päästöt syntyivät vedenjäähdytinjärjestelmästä, mutta kokonaisuudessaan suurimmat elinkaarenaikeiset päästöt aiheutuivat kuitenkin kaukojäähdytyksestä.



Kuva 16. Jäähdytysjärjestelmien materiaalien ja käytön päästöt [24, mukailen].

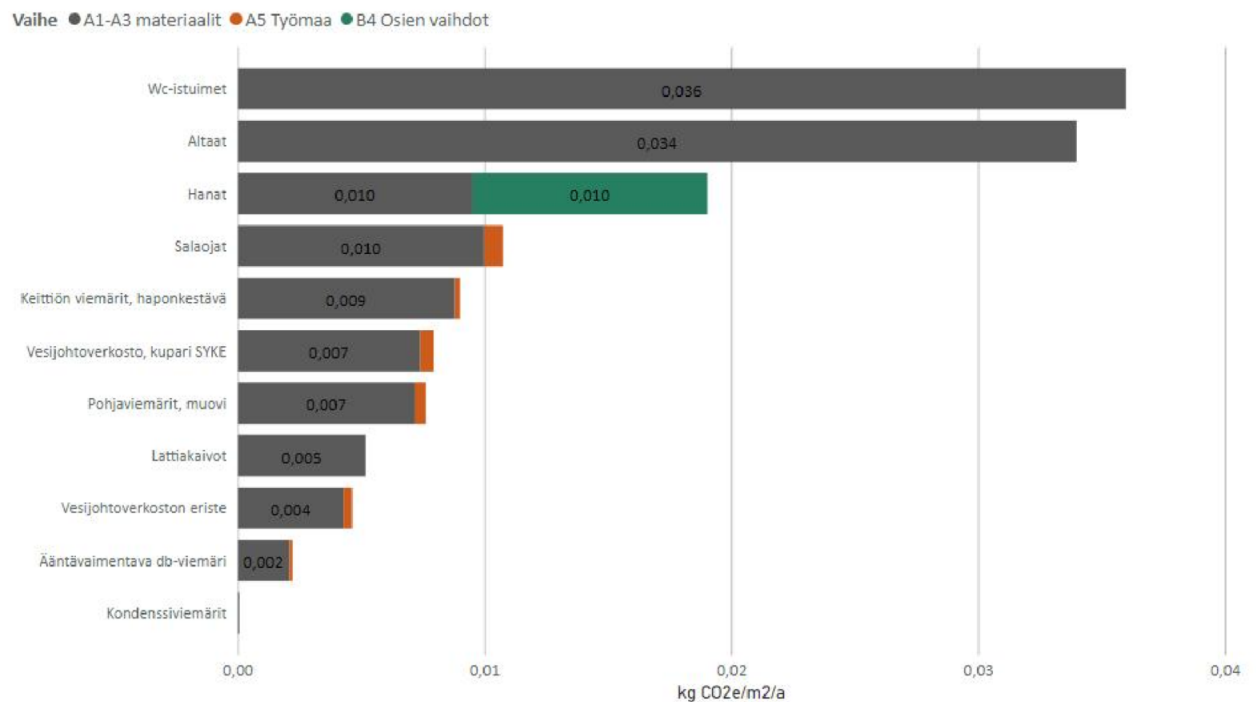
Mikäli lämmönjakoputkistoa voidaan hyödyntää kesällä jäähdytysenergian siirtoon, ei järjestelmän materiaaleista koidu ylimääräisiä päästöjä, kuten lattiaviilennyksen tapauksessa. Lattiaviilennys ei kuitenkaan ole välttämättä riittävän tehokas hallitsemaan sisälämpötilaa kesällä [23, s. 21]. Lattiaviilennyksen rinnalla tai sellaisenaan on mahdollista esimerkiksi tuloilman avulla jäähdyttää tiloja esimerkiksi ilmanvaihtokoneen sisäänrakennetun jäähdytysjärjestelmän tai jäähdytyspatterin kautta ilman ylimääräisiä reititystarpeita ja niistä johtuvia päästöjä. Jäähdytyspatteria varten jäähdytysenergia saadaan esimerkiksi vedenjäähdytyskoneella [23, s. 12]. Koneen sisäänrakennettu jäähdytysjärjestelmä tuottaa jäähdytysenergian itse. Tuloilman avulla jäähdytettäessä on huolehdittava kanavien huolellisesta eristyksestä, jotta vältetään kondensoitumisongelmat. Lisäeristys lisää vähäisesti materiaalipäästöjä.

Puhallinkonvektorit ovat yksi vaihtoehto kylmän jakamiseen asuntoihin, mutta laitteet ja putkistot aiheuttavat vähähiilisuuden kannalta tuotesidonnaisten päästöjen kasvua. Päästöt johtuvat pitkälti tuotteiden valmistamiseen käytetystä hiili-intensiivisestä sinkitystä teräksestä [7, s. 36]. Sweco Talotekniikka Oy:n raportissa puhallinkonvektoreilla ja vedenjäähdytyskoneella varustetun toisen referenssikohteen perusteella asuinkerrostalojen jäähdytyksen tuotesidonnaisten päästöjen kertoimeksi rakennuksen elinkaaren aikana on asetettu 2 kgCO₂e/m² [26, s. 9, 11]. Raatikaisen työssä päiväkotikohteen konvektoreilla toteutetun

jäähdytysjärjestelmän tuotesidonnaiset päästöt jäivät alle 0,5 kgCO₂e/m² vedenjäähdytyskoneen laskentatapauksessakin, alittaen selvästi jo asuinrakennuskohteille asetetun päästökertoimen [24]. Opetusrakennuksille vastaava kerroin on rakennuksen elinkaaren ajalta 6 kgCO₂e/m² [26, s. 9, 11].

4.4 Vesi- ja viemärijärjestelmät

Vesi- ja viemärijärjestelmien päästöt asuin kerrostaloissa olivat Sweco Talotekniikka Oy:n selvityksen mukaan noin 15 % talotekniikan tuotesidonnaisista päästöistä [26, s. 7]. Järjestelmät koostuvat pääosin muoviputkista (PP, PVC, PEX, PEH), jotka ovat kevyempiä kuin esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä käytetyt teräsputket [7, s. 27], aiheuttaen vähemmän päästöjä. Valle Raatikaisen työssä osoitettiin vesi- ja viemärijärjestelmien päästöjen aiheutuvan pitkälti kalusteista – WC-istuimista, hanoista ja altaista, kuten voidaan havaita kuvasta 17.



Kuva 17. Vesi- ja viemärijärjestelmien tuotesidonnaiset päästöt [24].

Tuotesidonnaisten päästöjen lisäksi myös vesi- ja viemärijärjestelmien kohdalla energiankäyttö ja siitä aiheutuvat päästöt on syytä huomioida. Käyttöveden paineella on yhteys lämpimän käyttöveden energiankulutukseen ja käyttövesipiirin painehäviöihin ja sitä kautta energiankulutuksesta aiheutuviin päästöihin. Vakio-paineventtiiliä käyttämällä näitä päästöjä voidaan tehokkaasti vähentää. Vakio-paineventtiili vähensi Janika Torkin työssä energiankulutuksesta aiheutuvia päästöjä 6 % [22, s. 29]. Laskennallisen ostoenergiankulutuksen laskennassa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeena voidaan käyttää 15 % pienempää arvoa kuin käyttötarkoituserityksittäin on määritetty, mikäli verkosto varustetaan vakio-paineventtiilillä tai sitä vastaavalla tekniikalla [9].

Kulutuksen seurannan mahdollistamisen ja kulutuksen mukaan laskuttamisen on todettu vaikuttavan kulutustottumuksiin. Esimerkiksi huoneistokohtaisen vedenkäytön laskuttaminen on tutkimusten mukaan laskenut kulutusta 10–30 % [18, s. 46]. Vaikka veden käyttö (moduuli B7) ei ympäristöministeriön laskentamenetelmään vähähiilisyiden arvioinnista sisällykään, on veden säästöllä alen-tava vaikutus lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluvaan energiaan. Kulu-tuksen seurannan mahdollista vaikutusta ei huomioida laskennallisessa os-toenergiankulutuksessa, eikä se siten vaikuta laskennalliseen hiilijalanjälkeen.

4.5 Rakennusautomaatio

Taloteknisten järjestelmien toiminnan ohjaukseen ja säätöön tarvittavalla raken-nusautomaatiolla on suuri merkitys rakennuksen energiatehokkuuteen. Siihen voidaan kytkeä monia eri järjestelmiä, joita ohjataan mittauksetietojen avulla. Au-tomaatiojärjestelmät eivät sisälly rakennuksen vähähiilisyiden arviointiin, eikä niiden tuotesidonnaisia päästöjä taten lasketa mukaan hiilijalanjälkeen [6, s. 11]. Rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeen automaatiolla joka tapauksessa voidaan vaikuttaa energiaa säästävien toimintojen avulla. Esimerkiksi ilmanvaihtoa, huone-lämpötiloja ja valaistusta tarpeenmukaiseksi säätämällä voidaan energianku-lutuksessa säästää huolehtimalla samalla sisäilmaolosuhteista. [1, s. 121.]

Automaatiolla voidaan vaikuttaa myös energiankulutuksen ajoitukseen ja täten vähentää huippukulutuksen aikoina rakennuksen energiankulutusta, jotta saastuttavaa huipputuotantoa ei tarvittaisi markkinoilla niin paljon [1, s. 176]. Tätä kutsutaan kulutusjoustoksi (tai kysyntäjoustoksi), ja sillä tarkoitetaan kulutuksen hetkellistä vähentämistä tai lisäämistä energian tuotantotilanteen mukaisesti. Kulutusjoustoön soveltuvat energiapalvelut tulevat arvioiden mukaan lisääntymään markkinoilla, ja niillä on merkitystä energiankulutuksen ja -tuotannon ilmastovaikutusten pienentämisessä. [35.]

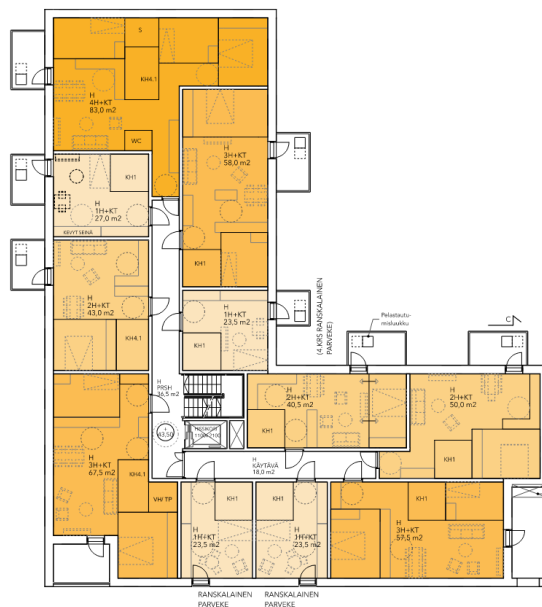
Asuinrakennuksia pidetään vähäriskisenä joustomahdollisuutena, mutta edellytyksenä kulutusjoustoille ovat tarvittavat mittaus- ja säätöjärjestelmät, joita toistaiseksi on vielä vähän käytössä [36]. Älyteknologian avulla rakennuksissa voidaan optimoida energiankulutusta esimerkiksi uusiutuvan energian tuotantoennusteen, sähkön spot-hinnan, sääennusteiden ja rakennuksen käytön ja joustopotentialin perusteella. Ennusteiden avulla energiankäyttöä siirretään mahdollisuuksien mukaan ajalle, jolloin uusiutuvan energian tuotanto on korkealla. Älykäs järjestelmä oppii ajan kanssa hallitsemaan rakennusta paremmin. Energiankulutuksen optimoinnin on älyteknologian avulla arvioitu säästävän energiaa ja siitä aiheutuvia päästöjä jopa 15–20 %. [37.]

Kulutusjoustoratkaisut ovat oletettavasti tärkeässä roolissa päästöjen ja kulutuspiikkien hallinnan kannalta energiamurroksessa, kun rakennusten on sopeuduttava vaihtelevaan energiantuotantoon uusiutuvan, sääriippuvaisen energian korvattessa fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Käytönaikaisen energiankulutuksen päästöjen vähennyistä kulutusjouston avulla ei kuitenkaan toistaiseksi huomioida E-luvun laskennassa, eikä sen tuomia päästövähennyksiä täten lasketa mukaan vähähiilisyden arvioinnissa, jossa energiankulutuksen tietoina on käytettävä laskennallista ostoenergiankulutusta.

5 Talotekniikan vähähiilinen suunnittelunohjaus referenssi-kohteessa

Tässä luvussa esitellään referenssi-kohteena toimivan Skanskan suunnitteilla olevan asuinkerrostalon vähähiiliseen suunnittelunohjaukseen kuuluva varhaisen vaiheen hiilijalanjälkilaskenta. Osana vähähiilistä suunnittelunohjausta arvioidaan talotekniikan osuutta hiilijalanjäljestä ja vähähiilisiä vaihtoehtoja. Talotekniikan hiilijalanjälkeen sisällytetään tuotesidonnaisten päästöjen lisäksi energiankulutuksesta aiheutuvat päästöt. Laskenta suoritettiin vähähiilisyysarviointimenetelmän laajuudessa, mutta lähtötiedot perustuvat osittain karkeisiin arvioihin suunnittelun oltua laskennan hetkellä vasta alkuvaiheessa.

Kohde muodostuu yhdestä, kaksisiipisestä 7/5-kerroksisesta asuinkerrostalosta, lämmitetty nettoala on 3 488 m². Rakennuksessa on 54 asuntoa ja huoneistotyytit vaihtelevat kokoluokkien 1 h + kt ja 4 h + kt välillä. Rakennus suunnitellaan A-energialuokkaan. Asuntojen ilmanvaihto toteutetaan keskitettynä ja tilojen lämmönjakotapana on vesikiertoinen radiaattorilämmitys. Kohteeseen on suunniteltu asennettavaksi aurinkopaneeleja. Kuvassa 18 on kohteen peruserroksen pohjakuva.



Kuva 18. Referenssi-kohteen peruserroksen pohjakuva (L Arkkitehdit Oy:n työpiirustus).

Arviointimenetelmän mukaisesti tulokset jaettaisiin erikseen rakennukselle ja rakennuspaikalle, mutta tässä työssä tarkastellaan vain rakennuksen päästöjä. Hiilikädenjälki on rajattu myös tarkastelun ulkopuolelle. Laskennassa käytettiin One Click LCA -elinkaariarviointiohjelmistoa, joka tukee asianmukaisia standardeja sekä sisältää ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmän mukaisen laskentatyökalun.

5.1 Varhaisen vaiheen hiilijalanjätkilaskenta

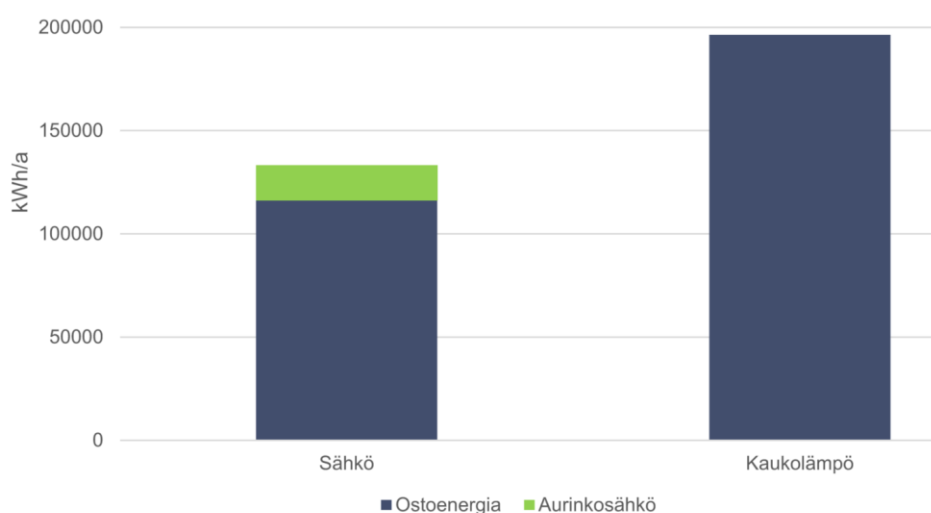
Hiilijalanjätkilaskennan lähtötietoina käytettiin saatavilla olevia suunnitelmia, käsitellen pääpiirustukset ja rakennetyypit. Lisäksi käytössä oli arkkitehdin laatima ensimmäinen versio tietomallista, josta sai kerättyä sellaisia määrätietoja, jotka olisivat olleet työlästä laskea pohjakuvista, kuten ikkunoiden ja ulko-ovien pinta-alat. One Click LCA -laskentaohjelmisto tarjoaa pinta-aloihin perustuvia arvioita rakennusosista, joita voi hyödyntää varhaisessa laskentavaiheessa. Päästöihin oleellisesti vaikuttavien rakennusosien käsin laskeminen varmistaa kuitenkin todennukaisemman laskentatuloksen. Suunnitelmista kerättyjä lähtötietoja on esitetty kuvassa 19.

Lämmitetty nettoala	3488	m ²
Korkeus	23,1	m
Leveys	33,9	m
Syvyys	29,6	m
Huonekorkeus	2,74	m
Lattian paksuus	0,3	m
Ulkokuoren paksuus	0,5	m
Alapohja (ontelolaatta)	586	m ²
Välipohjat (kantava teräsbetoni-laatta)	3115	m ²
Yläpohja (kantava teräsbetoni-laatta, kevytsoralla eristetty)	586	m ²
Ulkoseinät (betoni/muurattu)	2022	m ²
Parvekkeet (betonisia parvekelaattaelementtejä)	299	m ²
Kantavat sisäseinät (betoni)	2381	m ²
Kevyet sisäseinät (teräsranka + kipsi)	1714	m ²
Ulko-ovet	40	m ²
Ikkunat	514	m ²

Kuva 19. Kohteen hiilijalanjätkilaskennan lähtötietoja.

Päästötietoina käytettiin pääasiassa kansallisen päästötietokannan päästötietoja laskentahetkellä esitetystä laajuudesta. Kaikille tyypillisille rakennushankkeissa käytettäville materiaaleille ei löytynyt päästötietokannan päästötietoja, joten näiden osalta käytettiin laskentaohjelmiston tietokannan geneerisiä materiaalitietoja. Rakennusmateriaalien kuljetuksen (A4, C2), rakennus- ja purkutyömaan toimintojen (A5, C1) sekä rakennusmateriaalien jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen (C3, C4) päästöjen arvioinnissa on käytetty kansallisen päästötietokannan tarjoamia tietoja arviointimenetelmän ohjeen mukaisesti.

Energiankulutus varhaisessa vaiheessa arvioitiin hyödyntämällä Energiatodistusrekisterin (<https://www.energiatodistusrekisteri.fi/>) vastaavista asuinrakennuskohteista kerättyjen energiatodistusten tietoja ostoenergiankulutuksesta. Version (2018) ja soveltuvan käyttötarkoitukseluokan lisäksi aineiston rajauksessa huomioitiin vain A-energialuokan rakennukset valmistumisvuodesta 2018 alkaen. Aineistosta rajattiin vielä erikseen kohteita, joissa lämmitysmuotona oli kaukolämpö, lämmönjakotapana vesikiertoinen radiaattorilämmitys ja ilmanvaihtona keskitetty järjestelmä. Aineiston rakennusten (42 kpl) kaukolämmön kulutuksen keskiarvo oli 56,3 kWh/m²a (46,3–65,1 kWh/m²a) ja sähkön kulutuksen keskiarvo 38,2 kWh/m²a (34,8–41,3 kWh/m²a). Kohteen arvioitu energiantarve keskiarvojen perusteella on esitetty kuvassa 20.

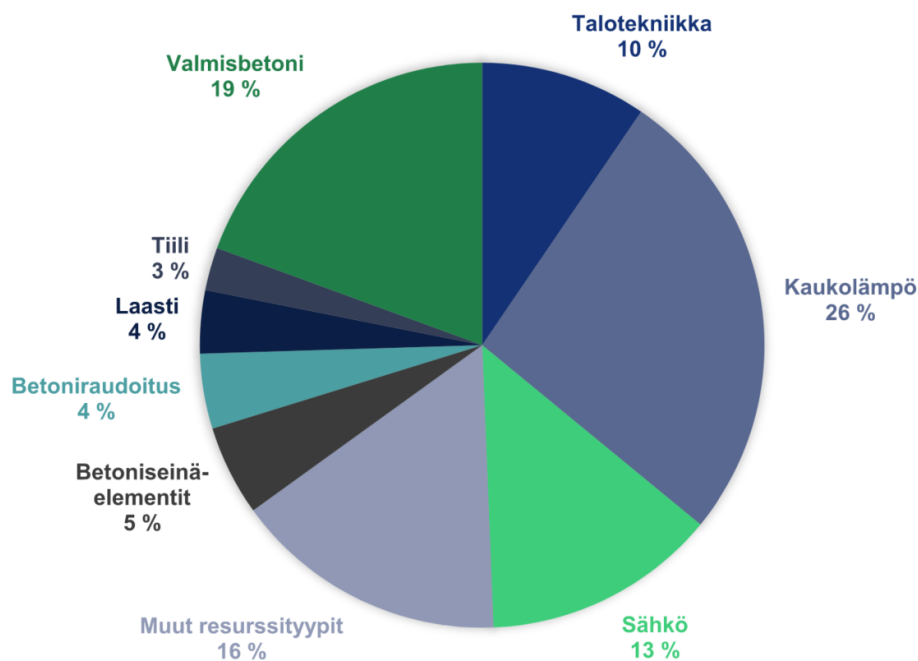


Kuva 20. Referenssikohteen arvioitu energiankulutus ja -tuotto.

Kuvassa on esitetty myös kohteeseen suunniteltujen aurinkopaneelien laskennallinen tuotto, joka vähennettiin ostosähköenergian tarpeesta. Aurinkopaneelien määrä arvioitiin Skanskan toteutuneiden kohteiden aurinkopaneelien määrän perusteella ja tehot ja niiden arvioitu tuotto tyyppillisesti käytetyillä paneeleilla. Laskennassa oletettiin, että kaikki paneelien tuottama sähkö voidaan käyttää rakennuksessa.

Varhaisen vaiheen hiilijalanjälkilaskennan tulokset

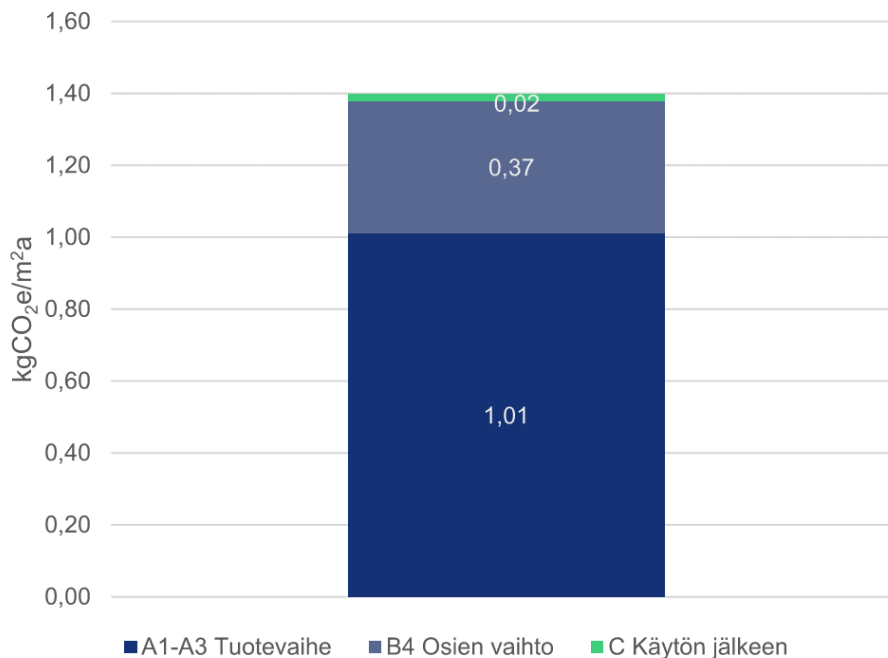
Kohteen elinkaaren hiilijalanjälki laskennan mukaan oli 14,68 kgCO₂e/m²a. Laskennan tulokset osoittivat, että suurin vaikutus tuotesidonnaisiin päästöihin on kantavilla runkorakenteilla, kuten ulkoseinillä, välipohjilla ja kantavilla väliseinillä, eli runsaasti betonia sisältävillä rakennusosilla. Myös talotekniikan järjestelmien päästöjen osuus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä yksittäisenä tekijänä oli suuri – noin 10 %. Kuvassa 21 on esitetty päästöjen jakautuminen elinkaaren aikana suurimmille yksittäisille ryhmille.



Kuva 21. Kohteen päästöjen jakautuminen.

Energiankulutus kattoi odotusten mukaisesti suuren osan hiilijalanjäljestä. Kaukolämmön osuus laskennan tuloksista oli 26 % ja sähkön 13 %. Talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen ja ostoenergian kulutuksesta syntyvien päästöjen yhteenlaskettu osuus oli täten lähes puolet rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä.

Talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuudesta (1,40 kgCO₂e/m²a) kattavat LVI- ja sähköjärjestelmät noin 75 % ja aurinkopaneelit ja hissi loppuosuuden. Kuvassa 22 näkyy talotekniikan laskennallisten tuotesidonnaisten päästöjen jakautuminen elinkaaren eri vaiheissa.



Kuva 22. Talotekniikan laskennalliset tuotesidonnaiset päästöt.

Varhaisen vaiheen hiilijalanjälkilaskennan ohella tarkasteltiin talotekniikan osalta vertailuskenaarioita erilaisilla ratkaisuilla mahdollisten päästövähennystoimenpiteiden esiin nostamiseksi. Jäähdytysjärjestelmien osalta tarkastelua ei tehdä, sillä kohteeseen ei ole suunniteltu jäähdytys- tai viilennysjärjestelmää.

5.2 Talotekniikan hiilijalanjäljen pienentämismahdollisuudet

Talotekniikan tuotesidonnaisista päästöistä ilmanvaihtojärjestelmät vastaavat tutkimusten mukaan suurinta osaa, ja niillä on myös suuri vaikutus energiankulutuksesta aiheutuviin päästöihin. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän tapauksessa vähähiilisyttä voidaan edistää muun muassa suunnittelemalla kanavareitit tehokkaasti ja varustamalla järjestelmä energiatehokkaalla, massaltaan pienellä ilmanvaihtokoneella. Vertailua hajautettuun järjestelmään ei tehty. Huoneistokohtaisten ilmavirtojen ohjauksen mahdollistamisen laskennallisesta vaikuttavuudesta päästöihin tehtiin vertailulaskelma.

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten energiatehokkuudesta [9] säädetään, että asuinkerrostalossa voidaan rakennuksen E-luvun laskennassa käyttää ulkoilmavirran arvon $0,5 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$ sijaan arvoa $0,4 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$, mikäli asukkaalle tarjotaan mahdollisuus ohjata tulo- ja poistoilmavirtoja vähintään 30 % suuremmaksi sekä vähintään 40 % pienemmäksi. Pienempi laskennassa käytetty ulkoilmavirran arvo vaikuttaa suoraan E-lukuun pienentämällä ilmanvaihdon energiankulutusta. Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimen sähkötehoon vaikuttaa ilmavirta, joten tarpeenmukaisen ilmanvaihdon mahdollistava pienempi laskennallinen ulkoilmavirran arvo pienentää ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoa eli SFP-lukua. [38, s. 15.] Pienempää ulkoilmavirtaa vastaavaan arvoon SFP-luku korjataan kaavan 2 mukaisesti [38, s. 15]:

$$SFP_{miv} = SFP_{mitoitus} \left(\frac{q_{E-luku,miv}}{q_{E-luku,std}} \right)^{1,7} \quad (2)$$

SFP_{miv} on tarpeenmukaisella ilmanvaihdolla varustetun rakennuksen E-luvun laskennassa käytettävä SFP-luku ($\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$)

$SFP_{mitoitus}$ on mitoitettu SFP-luku ($\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$)

$q_{E-luku,miv}$ on tarpeenmukaisen ilmanvaihdolla varustetun rakennuksen E-luvun laskennassa käytettävä käyttöajan ulkoilmavirta (dm^3/sm^2)

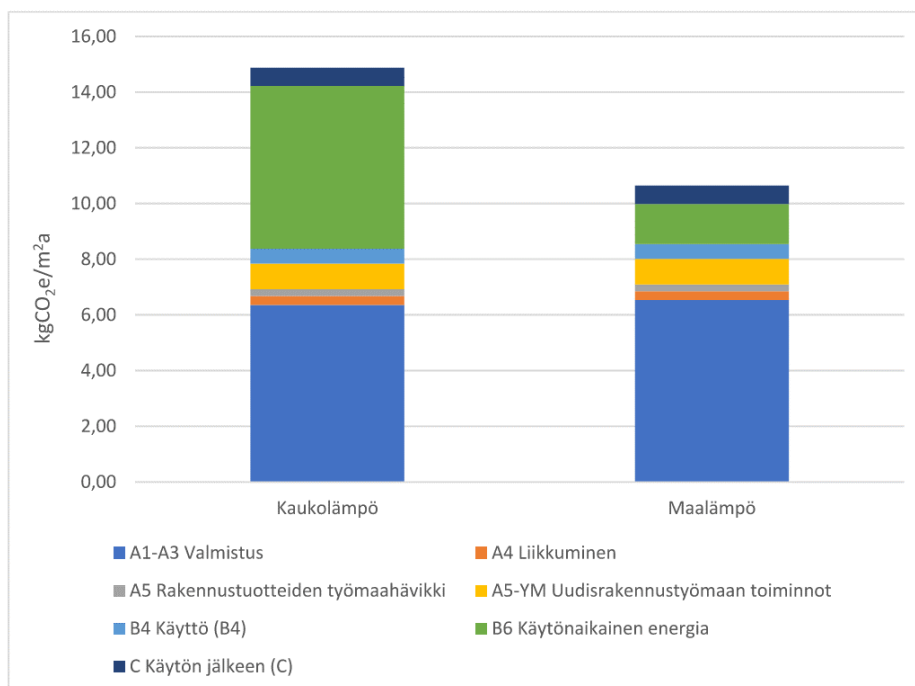
$q_{E-luku,std}$ on E-luvun laskennassa käytettävä vakioitu käyttöajan ulkoilmavirta (dm^3/sm^2)

Referenssikohteen tapauksessa ilmanvaihtokoneen SFP-luvun suunnitteluarvo on $1,6 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Ulkoilmavirran arvona $0,4 \text{ dm}^3/\text{sm}^2$ asetuksen mukaan käytettävässä laskennassa käytettävä SFP-luku laskisi arvoon $1,09 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, minkä seurauksena ilmanvaihdon käyttämä laskennallinen sähköenergia vähenisi yli $7\,500 \text{ kWh/a}$ energiatehokkuuden laskentaohjeen kaavan 8.1 mukaan laskettuna [10, s. 57]. Tämän lisäksi pienemmän ilmavirran käyttäminen pienentäisi ilmanvaihdon laskennallista lämmitysenergian tarvetta noin $5\,000 \text{ kWh/a}$, laskentaohjeen kaavan 3.10 mukaan laskettuna [10, s. 23]. Sähkö- ja lämmitysenergiassa huomioitun muutoksen yhteisvaikutus olisi noin $-12\,500 \text{ kWh}$, mikä pienentäisi rakennukselle laskettua hiilijalanjälkeä suunnilleen $1,5 \%$.

Lämmityksen merkittävät vähähiiliset ratkaisut liittyvät energiamuotoon, esimerkiksi maalämmöllä on todettu olevan yksittäisenä ratkaisuna valtava vaikutus päästöihin. Tämän työn referenssikohteenä toimivassa hankkeessa maalämpöä lähdettiin selvittämään vaihtoehtona tilaamalla kaupungilta rakennettavuusselvitys. Helsingissä rakennettavuusselvitys maalämpökaivoja varten tilataan johtotietopalvelusta, ja sen perusteella nähdään mahdolliset rajoitteet maalämmölle. Referenssikohteen alueella todettiin selvityksen perusteella olevan maalämpökaivojen poraamisen estäviä maanalaisia rakenteita (tunneleita), minkä vuoksi vaihtoehto jouduttiin sulkea pois. Tässä työssä esitetään kuitenkin teoreettinen laskentatapaus, mikä vaikutus maalämmöllä olisi voinut olla.

Maalämpöjärjestelmässä lämmitykseen kuluva ostoenergia on sähköenergiaa, jonka osuus lasketaan energiatehokkuuden laskentaohjeen kaavan 7.8 mukaan [10, s. 54]. Tekemällä olettamuksia laskentaohjeen perusteella maalämpöjärjestelmän kausisuorituskykykertoimista (SPF-luvut) ja lämpöpumpun lämmitysenergian kattavuudesta [10, s. 55, 74] lämmitykseen kuluvan sähköenergian osuudeksi saadaan noin $85\,000 \text{ kWh/a}$. Ostoenergian tarve vähenisi laskelman mukaan yli $200\,000 \text{ kWh/a}$. Tuotesidonnaisten päästöjen oletetaan nousevan lisääntyneiden materiaalien osalta, mutta vaikutuksen kokonaispäästöihin arvioidaan olevan enintään 1% . Hiilijalanjälki laskisi näin lähes 30% rakennuksen elinkaaren ajalta, mikä on esitetty kuvassa 23. Vaikutus olisi suurempi, mikäli

radiaattorilämmityksestä vaihdettaisiin lattialämmitykseen, jolloin lämpöpumpun hyötysuhde paranisi menoveden lämpötilan laskiessa.



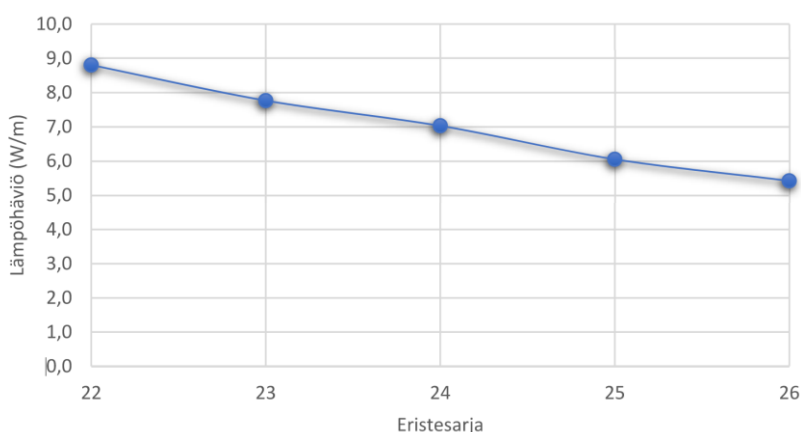
Kuva 23. Kaukolämpö- ja maalämpöjärjestelmän vertailu.

Lattialämmitys oli vaihtoehtona aikaisempien tutkimusten perusteella talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osalta jopa 70 % vähäpäästöisempi vaihtoehto kuin radiaattorilämmitys (luku 4.2). Talotekniikan tuotesidonnaisista päästöistä lämmityksen osuudeksi asuinkerrostaloissa arvioidaan kuitenkin keskimäärin vain noin 10 %, joten mahdollinen kokonaispäästövähennys lämmönjakotavan vaihtamisesta ei oletettavasti olisi tuntuva. Vertailun vuoksi lämmitysjakotavan vaikutusta päästöihin arvioitiin kohteen peruserroksen osalta.

Kohteen peruserroksessa radiaattoreita on 35 kpl, ja niiden päästöt laskettiin käyttämällä kansallisesta päästötietokannasta saatavaa arvoa radiaattoreille, 4,2 kgCO₂e/kg. Radiaattoreiden massatiedot haettiin valmistajan (Purmo) verkkosivuilta. Teräsputkien päästötietona käytetään ympäristöministeriön sivuilta [39] löytyvän Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalun päästökerrointa 2,538 kgCO₂e/kg. Laskelman perusteella kohteen peruserroksen päästöt

lämmityksen osalta tuotevaiheen A1–A3 ajalta olisivat lähes 5 000 kgCO_{2e}. Vertailukohteena olevan lattialämmityksen päästötietona käytetään Valle Raatikaisen työssä [24] esitettyä 2,1 kgCO_{2e}/m², johon sisältyvät jakotukkikaapit, jakotukit ja lattialämmityspotket. Runkoputkien, eristeiden ja putkistovarusteiden osuus huomioidaan tässä työssä kertoimella 1,2. Peruskerroksen asuntojen yhteispinta-ala on 493 m², ja lattialämmityksen päästöt olisivat täten laskennallisesti noin 1 200 kgCO_{2e}. Lattialämmitys olisi karkean arvion mukaan yli 70 % vähähiilisempi ratkaisu verrattuna radiaattorilämmitykseen, mikä vastaa Janika Torkin työn [22] tuloksia. Lämmönjakotapaa vaihtamalla rakennuksen hiilijalanjälki laskisi arviolta 1–2 %.

Eristevalinnoilla vaikutetaan rakennuksen lämpöhäviöihin. Kuvassa 24 on hahmoteltu eristepaksuuden vaikutus lämpöhäviöihin putken lämmönsiirtoon [40] perustuen. Esimerkkinä on kupariputki, jonka ulkohalkaisija on 54 mm ja seinämäpaksuus 1,5 mm. Kuparin lämmönjohtavuutena on käytetty 375 W/mK. Eristeenä on mineraalivilla, jonka lämmönjohtavuutena on käytetty 0,035 W/mK. Tulokset osoittavat lämpöhäviöiden pienenevän noin 1 W/m eristesarjojen välillä. Eristepaksuudet muuttuvat eristesarjojen välillä 10–20 mm putken koon mukaan [41, s. 91]. Vaikutus laskennalliseen ostoenergiankulutukseen vaatisi kuitenkin yksityiskohtaisen tarkastelun energiatehokkuuden laskentaohjeessa [10] esitettyjen ohjearvojen sijaan rakennuksen LVI-suunnitelmiin perustuen, minkä oletetaan olevan työstä laskennassa saavutettuun hyötyyn nähden.



Kuva 24. Eristesarjan vaikutus putken lämpöhäviöihin.

Aurinkopaneelien on aikaisemmissa töissä todettu vähentävän rakennuksen päästöjä [mm. 7; 22]. Tässä opinnäytetyössä ei ole tutkittu aurinkopaneelien päästöjä tarkemmin, mutta hiilijalanjälkilaskennassa havaittiin, että paneelit kattavat kansallisessa päästötietokannassa aurinkopaneeleille esitetyn päästökerroimen (23 kgCO₂e/kg) mukaan laskettaessa noin 2 % rakennuksen elinkaaren aikaisista päästöistä. Paneelien arvioitu sähköntuotanto ei riittäisi kattamaan elinkaaren aikana aiheutuvia tuotesidonnaisia päästöjä, ja paneelien poisjättäminen osoitti täten laskevan rakennuksen hiilijalanjälkeä 0,04 kgCO₂e/m²a. Aurinkopaneelit tuodaan pääasiassa Kiinasta, ja niiden tuotesidonnaiset päästöt aiheutuvat pitkälti materiaaleista ja valmistusprosesseista [8]. Vähähiilisempiä paneeleita käyttämällä vaikutus hiilijalanjälkeen kääntyisi toivottavaksi.

Rakennusautomaation osuus rakennuksen vähähiilisydessä ei toistaiseksi nouse keskeisesti esiin arviointimenetelmän hiilijalanjälkilaskennassa. Energiaa säästävien tarpeenmukaisten ohjaus- ja säätötoimintojen vaikutusta ei laajasti huomioida laskennallisen ostoenergian laskennassa. Täten esimerkiksi aikaisemmin esitetyn kulutusjoustopuutteen vaikutusta referenssikohteen hiilijalanjälkeen ei tässä työssä arvioida, vaikka sen vaikutuksen toteutuneisiin päästöihin oletetaan olevan merkittävä.

5.3 Tulosten luotettavuuden tarkastelu

Referenssikohteen varhaisen vaiheen hiilijalanjälki laskettiin vuoden 2021 ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmällä. Hiilijalanjälkeen vaikuttavimmiksi oletettujen rakenteiden pinta-alat laskettiin pohjakuivista, ja alustavaa tietomallia hyödynnettiin ikkunoiden ja ovien määrälaskennassa. Muiden rakenneosien osalta käytettiin aikaisessa suunnitteluvaiheessa puuttuvista lähtötiedoista arvioita, joita muun muassa käytetyn laskentaohjelman työkalu tarjosi. Varhaisen vaiheen hiilijalanjälkilaskennan on tarkoitus olla suuntaa antava ja vähähiilisiin suunnitteluratkaisuihin ohjaava, joten arvioiden ja oletusten epävarmuustekijät hyväksyttiin tarkastelussa. Tarkempi, todentava hiilijalanjälkilaskenta suoritetaan kohteessa rakentamislupavaiheessa suunnitelmien täydennyttä.

Taloteknisten perusjärjestelmien päästöt laskettiin kansallisen päästötietokannan pinta-alaperusteisilla rakennustyyppikohtaisilla taulukkoarvoilla. Talotekniikan tuotesidonnaiset päästöt ovat riippuvaisia muun muassa valituista järjestelmistä ja muista tekniikkaan vaikuttavista ratkaisuista, joita päästötietokannan arvo ei erota. Arviointimenetelmä hyväksyy teknisten järjestelmien arvioinnin perustuvan tyypillisiin päästövaikutuksiin, joten hiilijalanjälkilaskennan kannalta taulukkoarvojen käyttöä voidaan pitää luotettavana.

Vähähiilisiä ratkaisuja verratessa käytettiin karkeita arvioita ja oletuksia tarkemman arvioinnin mahdollistavien pidemmälle vietyjen suunnitelmien puuttuessa. Lämmönjakotapojen vertailussa hyödynnettiin peruserroksen lämpösuunnitelmaa. Päästötietojen osalta hyödynnettiin aikaisempia tutkimuksia ja kansallisen päästötietokannan tietoja, joten tulokset voidaan olettaa oikeansuuntaisiksi. Tulokset olivat myös osittain samaa suuruusluokkaa kuin tarkastelluissa tutkimuksissa. Varsinaisessa hiilijalanjälkilaskennassa ei vähähiilisiä materiaaleihin liittyviä ratkaisuja ole kuitenkaan mahdollista huomioida, ellei talotekniikan päästötietoja lasketa kokonaisuudessaan yksityiskohtaisesti määrätietoihin perustuen.

6 Pohdinta

Vähähiilisyiden arviointimenetelmää on kehitetty Suomessa useita vuosia. Talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osalta arvioinnin sisältö on edelleen tulokinnanvarainen – menetelmässä puhutaan talotekniikan ”keskeisistä osista” ja ”pääjärjestelmistä” identifioimatta niitä tarkemmin. Arvioinnin kattavamman sisällön ilmoitetaan löytyvän kansallisesta päästötietokannasta, jossa arvioinnin kuvattu sisältö on kuitenkin insinööriyön tekohekellä suppea. Tulokinnanvaraisuus vaikeuttaa osaltaan talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen kattavaa arviointia ja toisaalta kyseenalaistaa saatujen tulosten vertailukelpoisuuden.

Talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen osuuden arviointia hankaloittaa lisäksi laskentaprosessin raskaus. Talotekniset järjestelmät sisältävät valtavasti eri komponentteja, jotka koostuvat useista materiaaleista. Haastetta lisää myös puute tuotekohtaisista päästötiedoista, joiden tarvetta peräänkuulutetaan lähtökohtaisesti kaikissa aihetta käsittelevissä töissä. Puutteellisten päästötietojen takia arvioinnissa päädytään tyypillisesti käyttämään kansallisen päästötietokannan rakennustyyppikohtaisia tyypillisiä arvoja teknisistä perusjärjestelmistä.

Päästötietokannan taloteknisten järjestelmien taulukkoarvot edustavat vain pientä otantaa (1–2 rakennus/rakennustyyppi), mikä saa pohtimaan, kuinka hyvin arvot kuvaavat taloteknisten järjestelmien tyypillisiä päästövaikutuksia. Arviointimenetelmässä ohjataan käyttämään taulukkoarvoja, mutta todetaan, että talotekniikan määrätietoihin perustuvalla arvioinnilla saavutetaan tarkempi lopputulos. Tämä voidaan tulkita suositukseksi. Lisäksi taulukkoarvoja käyttämällä ei yksittäisen järjestelmän muutosta päästöihin voida arvioida laskematta talotekniikan päästöjä kokonaisuudessaan yksityiskohtaisesti. Talotekniikan tuotesidonnaiset päästötiedot riippuvat pitkälti järjestelmävalinnoista, minkä vuoksi luotettavamman kuvan päästöistä vähähiilisyiden arvioinnissa voisivat tarjota järjestelmäkohtaiset päästökertoimet.

Merkittävimmät vaikutukset talotekniikan hiilijalanjälkeen on tunnistettu olevan niillä ratkaisuilla, joilla voidaan vaikuttaa teknisten järjestelmien

energiankulutukseen ja sen kautta energiasta aiheutuviin päästöihin. Etenkin lämmitysmuodolla on suuri merkitys. Tämä tunnistettiin myös referenssikohdeesta tehdyssä laskelmassa, jossa maalämpöjärjestelmä kaukolämmön sijaan aiheuttaisi rakennukselle laskennallisesti noin 30 % pienemmän hiilijalanjäljen.

Talotekniikka tarjoaa jo nyt paljon vähähiilisiä ratkaisuja, joista kuitenkin kaikki eivät vaikuta laskennalliseen hiilijalanjälkeen. Esimerkiksi rakennusautomaation älykkäät energiapalveluita tarjoavat järjestelmät, kuten kulutusjousto, voivat vaikuttaa merkittävästi käytönaikaisen energiankulutuksen päästöihin. Jotta päästövähennys voitaisiin ottaa huomioon hiilijalanjälkilaskennassa, tulisi ratkaisujen vaikutus olla mahdollista huomioida arviointimenetelmän mukaisesti lasketussa energiankulutuksessa. Todelliseen tavoite-energiankulutukseen ja kulutusprofiiliin perustuva laskenta voisi motivoida uuden teknologian investointeihin.

Vaikka talotekniikan hiilijalanjäljessä painottuvat energian päästöt, niitä ei ole kannattavaa kaikissa tapauksissa pienentää tuotesidonnaisten päästöjen kustannuksella. Energiatehokkaissa ratkaisuissa lisäkomponenteista aiheutuvat päästöt voivat kumota energiansäästöistä aiheutuneen hyödyn ja muuttaa tuloksen epätoivotuksi. Esimerkiksi hiili-intensiivisten aurinkopaneelien käyttö voi kasvattaa rakennuksen hiilijalanjälkeä. Vähähiilisten energiamuotojen käyttö tuotteiden valmistuksessa pienentää aiheutuvia päästöjä, ja valmistajan ratkaisut vaikuttavat siihen, osoittautuvatko esimerkiksi aurinkopaneelit päästöjä vähentäviksi vai eivät. Pelkästään vähähiilisyyden näkökulmasta ratkaisuja ei tehdä, mutta energiaa säästävien vaihtoehtojen hyöty on usein myös taloudellinen.

Tässä työssä ei tarkasteltu talotekniikan vähähiilisten ratkaisujen kustannusvaihteluja. Osa ratkaisuista, kuten lämpöpumppujen ja aurinkopaneelien käyttö, kasvaa markkinavetoisesti. On kaikkien kannalta toivottava tilanne, että ympäristöystävälliset valinnat olisivat myös taloudellisesti kannattavia. Yhteiskunnassa ratkaisuja on hankalaa perustella pelkästään ympäristönäkökulmasta, mutta jos ilmastovaikutukset sidotaan kiinni rahaan, on helpompi tehdä ympäristön kannalta toivottavia valintoja.

7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä perehdyttiin kansalliseen rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmään ja siihen liittyvään säädöskehitykseen sekä tutkittiin talotekniikan osuutta rakennusten vähähiilisyydessä ja sen päästövähennysmahdollisuuksia. Osana referenssikohteen varhaisen vaiheen hiilijalanjälkilaskentaa arvioitiin talotekniikan mahdollisten päästöjä pienentävien ratkaisujen vaikutusta. Työn tuloksena syntyi talotekniikan vähähiilisyyden ohjekortti, jota voidaan hyödyntää erityisesti uusien asuinkerrostalohankkeiden vähähiilisessä suunnittelunohjauksessa.

Talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen vertailukelpoisessa arvioinnissa on haasteita muun muassa vakioimattoman arviointimenetelmän ja sen tulkinnanvaraisuuden takia. Referenssikohteen hiilijalanjälkilaskennan perusteella talotekniikka voi vastata 50 %:sta rakennuksen hiilijalanjäljestä uusissa asuinkerrostaloissa. Talotekniikan laskennallisesta hiilijalanjäljestä noin 80 % aiheutui referenssikohteessa käytönaikaisesta energiankulutuksesta ja loput tuotesidonnaisista päästöistä. Suurin päästövähennyspotentiaali on siis niillä ratkaisuilla, joilla saadaan vähennettyä ostoenergiankulutusta, erityisesti maalämpöjärjestelmän valinnalla kaukolämmön sijaan.

Vertailua tässä työssä lasketulle talotekniikan hiilijalanjäljelle päästötietokannan neliöpohjaisiin taulukkoarvoihin perustuen voitaisiin tehdä määrätietoihin perustuvalla laskennalla suunnitelmien täydentyessä. Vastaavaa vertailua on tehty vielä vähän, ja sille olisi tarvetta ottaen huomioon, että taulukkoarvot perustuvat esimerkiksi asuinkerrostalon kohdalla vain kahden rakennuksen tietoihin. Energiaan liittyen mielenkiintoinen jatkotutkimusaihe olisi tontilla uusiutuvan energian hyödyntämisestä aiheutuvat tuotesidonnaiset päästöt, kuten aurinkopaneelien vaikutus vähähiilisyyteen eri valmistajien paneeleita vertaamalla tai maalämpöjärjestelmän tuotteisiin ja työmaatoimintoihin liittyvät päästöt.

Lähteet

- 1 Häkkinen, Tarja & Kuittinen, Matti. 2020. Kohti vähähiillistä rakentamista. Opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 2 Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 4. Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisyyden tiekartta 2020–2035–2050. 2020. Gaia Consulting Oy. Helsinki: Rakennusteollisuus RT ry.
- 3 Hallitus antoi eduskunnalle rakentamisen päästöjä vähentävät ja digitalisaatiota edistävät lakiesitykset. 2022. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://mrluudistus.fi/uutiset/hallitus-antoi-eduskunnalle-rakentamisen-paastoja-vahentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lakiesitykset/>>. 15.9.2022. Luettu 22.10.2022.
- 4 Kansainvälinen ilmastopolitiikka. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/kansainvalinen-ilmastopolitiikka>>. Luettu 6.1.2023.
- 5 Ilmastolaki. 2022. 423/1.7.2022.
- 6 Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2021 (luonnos lausunto-kerrosta varten). Helsinki: Ympäristöministeriö. Raportti 6/2021.
- 7 Näsänen, Henna. 2021. Taloteknisten järjestelmien elinkaaren ilmastovai-
kutukset. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aalto-
doc-tietokanta.
- 8 Rakentamisen päästötietokanta. 2022. Verkkoaineisto. Suomen ympäris-
tökeskus. <<https://co2data.fi/rakentaminen/>>. Päivitetty 6.12.2022. Luettu
22.1.2023.
- 9 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.
2017. 1010/2017.
- 10 Energiatehokkuus – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon-
tarpeen laskenta. 2018. Helsinki: Ympäristöministeriö. Suomen rakenta-
mismääräyskokoelma.
- 11 SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. Kestävä rakentaminen. Rakennustuottei-
den ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt. 2019. Helsinki: Suomen
Standardisoimisliitto.
- 12 Getting ready for EN 15804+A2. Verkkoaineisto. One Click LCA.
<<https://www.oneclicklca.com/getting-ready-for-en-15804-a2-whats-changed-and-how-to-prepare-for-it/>>. Luettu 30.1.2023.

- 13 Lindqvist, Elisa. 2022. EPD-ympäristöselosteet rakennusalan ympäristövaikutusten ohjaamisessa. Insinöörityö. LAB-ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 Hallituksen esitys HE 139/2022 vp.
- 15 Vähähiilisen rakentamisen vuosiseminaari. 2022. Ympäristöministeriö. <<https://www.youtube.com/watch?v=m1WhkSxo2-0>>. 4.4.2022. Katsottu 11.9.2022.
- 16 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä (luonnos lausuntokierrosta varten). 2022. Ympäristöministeriö.
- 17 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen materiaaliselosteesta (luonnos lausuntokierrosta varten). 2022. Ympäristöministeriö.
- 18 Ahola, Riina & Liljeström, Kimmo. 2018. Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen pienentäminen kustannustehokkaasti vuokratilohteissa. Verkkoaineisto. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. <https://joutsenmerkki.fi/wp-content/uploads/2022/08/Hiilijalanjaljen-pienentaminen-kustannustehokkaasti_2018.pdf>. Luettu 20.1.2023.
- 19 Rochlitzer, Daniel & Lützkendorf, Thomas. 2022. Management and communication of HVAC specific life cycle-related information - filling the gaps for sustainability assessment of buildings. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1078, Art.-Nr. 012104.
- 20 RTS EPD -ympäristöseloste. Verkkoaineisto. Rakennustietosäätiö RTS. <<https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/>>. Luettu 9.2.2023.
- 21 Tuotehaku. Verkkoaineisto. LVI-info. <<https://www.lvi-info.fi/tuotehaku/>>. Luettu 9.2.2023.
- 22 Torkki, Janika. 2021. Vähähiilisen asuinrakennuksen LVI-suunnittelu. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Aaltodoc-tietokanta.
- 23 Polojärvi, Joel. 2022. Talotekniikan päästövaikutukset ja niiden vähentäminen. Julkaisut, C-sarja: Raportteja, 99. Joensuu: Karelia-ammattikorkeakoulu.
- 24 Raatikainen, Valle. 2021. Asiakkaan päästöjen vähentäminen talotekniikkasuunnittelussa. Diplomityö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. LUTPub-tietokanta.

- 25 Talotekniikkatuotteiden ympäristötietojen ylläpitäminen tuotetietorekisteissä ja hyödyntäminen koko liiketoimintaketjussa. 2022. Verkkoaineisto. KIRAhub. <https://kiratilanne.impact.page/kiratilanne/Hanke-Kortti#?__duid=talotekniikkatuottei-sfv18t8n>. Luettu 12.2.2023.
- 26 Laasonen, Niina; Pluuman, Karoliina & Suur-Uski, Tuomas. 2021. Talotekniikan päästötietojen selvityshanke. Verkkoaineisto. Sweco Talotekniikka Oy. <https://co2data.fi/rakentaminen/reports/YM_TATE_Paastot_loppuraportti.pdf>. 19.3.2021. Luettu 16.10.2022.
- 27 Sähköiset julkaisut. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2022/html/suom0011.htm>. Luettu 10.2.2023.
- 28 Vuoden 2021 kylmä sää nosti asumisen lämmitysenergian kulutusta 7 TWh:lla. 2022. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <<https://stat.fi/julkaisu/ckfwmfrsg03h3015636dbwcpq>>. 15.12.2022. Luettu 30.1.2023.
- 29 Lindvall, Sara. 2018. Comparison of centralized and decentralized ventilation in a multifamily building in Stockholm. Diplomityö. Kungliga Tekniska högskolan. DiVA-tietokanta.
- 30 Kustannusoptimaalisuustarkastelut. 2022. Verkkoaineisto. Vesitaito Konsultointi Oy. <<https://www.rt.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/kekri/kustannusoptimaalisuustarkastelut---12092022.pdf>>. 12.9.2022. Luettu 9.1.2023.
- 31 Mihin energiaa kuluu? 2020. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/mihin_energiaa_kuluu>. Päivitetty 17.3.2020. Luettu 31.1.2023.
- 32 Kannattaako siirtyä maalämpöön? Se riippuu osittain siitä, missä päin Suomea talo sijaitsee. 2022. Verkkoaineisto. Helsingin Sanomat. <<https://www.hs.fi/talous/art-2000009347585.html>>. 28.1.2023. Luettu 28.1.2023.
- 33 Ilma-vesilämpöpumppu (IVLP). 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu>. Päivitetty 21.12.2022. Luettu 22.2.2023.
- 34 Kaksonen, Juho. 2020. Lämmöntalteenottomenetelmät suomalaisessa asuinkerrostalossa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto. LUTPub-tietokanta.

- 35 Sähkön kulutusjousto – Joustavaa ja älykästä sähkönkäyttöä. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/sahkon_kulutusjousto>. Päivitetty 26.9.2022. Luettu 8.1.2023.
- 36 Energian hinnan nousun vaikutusten lieventämiseksi löytyy keinoja. 2022. Verkkoaineisto. Teknologiateollisuus. <<https://teknologiateollisuus.fi/fi/ajankohtaista/uutinen/energian-hinnan-nousun-vaikutusten-lieventamiseksi-loytyy-keinoja>>. 10.8.2022. Luettu 8.1.2023.
- 37 Bee Solution. 2022. Verkkoaineisto. Eeneman Oy. <<https://eeneman.com/services/bee/>>. Luettu 8.1.2023.
- 38 Laskentaopas: Tarpeenmukaisen ilmanvaihdon huomioiminen energiatehokkuuden vertailuluvun (E-luvun) laskennassa. 2018. Ympäristöministeriö. Asetuksen 1010/2017 taustamateriaali.
- 39 Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>>. Luettu 16.10.2022.
- 40 Valkeapää, Aki. 2020. Lämpötilajakauman laskenta monikerroksisessa seinässä. Putken lämmönsiirto – perusteet. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 41 LVI-rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Luku 1 Lämmitys. 1992. LVI-RYL 92. Helsinki: Rakennustieto.

Liite 1. Talotekniikan vähähiilisyden ohjekortti

SKANSKA

Talotekniikan vähähiilisyden ohjekortti

Tämä ohjekortti sisältää esimerkkejä taloteknisistä ratkaisuista rakennuksen hiilijalanjäljen pienentämiseksi rakennushankkeessa.

Talotekniikka on avainasemassa rakennusten energiatehokkuuden ja vähähiilisyden kannalta. Teknisten järjestelmien kuluttama energia ja niihin käytetyt materiaalit voivat vastata valtaosaa rakennuksen kasvihuonekaasupäästöistä. Suurin päästövähennyspotentiaali on energiatehokkailla toimenpiteillä. Niillä on taipumus samalla kasvattaa talotekniikan tuotesidonnaisia päästöjä, joiden lisääntynyt osuus tulisi olla vähäinen verrattuna energian päästöjen pienemiseen.

Talotekniikan perusjärjestelmien tuotesidonnaiset päästöt lasketaan tyypillisesti teknisten järjestelmien tyypillisillä arvoilla, joihin on lisätty konservatiivisuuskertoimen estämään päästöjen arvioimisen liian alhaiseksi. Laskennallista hiilijalanjälkeä voidaan pienentää laskeamalla talotekniikan tuotesidonnaiset päästöt kohteen määrätietojen perusteella. Näin myös vähähiilisempien tuotesidonnaisten ratkaisujen vaikutus voidaan laskennassa huomioida.

Uusiutuvan energian hyödyntäminen tontilla

Uusiutuva energia on luonnosta saatavaa, päästötöntä energiaa. Uusiutuvan energian käyttö vähentää ostoenergian tarvetta ja siitä aiheutuvia päästöjä. Talotekniikan osat ja laitteet uusiutuvan energian käyttämiseksi lisäävät rakennuksen tuotesidonnaisia päästöjä. Kaikista järjestelmistä ei löydy vielä kattavasti tuotekohtaisia päästö tietoja, jolloin laskenta perustuu karkeisiin arvioihin.

Maalämpöjärjestelmä

Maalämpö on todettu potentiaalisimmaksi yksittäiseksi ratkaisuksi rakennuksen hiilijalanjäljen pienentämiseksi – vaikutus hiilijalanjälkeen voi olla kymmeniä prosentteja. Maalämmöstä saatava hyöty riippuu rakennuksen sijainnista ja lämmitysjärjestelmästä. Esimerkiksi matalalämpötilainen lämmitysjärjestelmä (kuten lattialämmitys) kasvattaa maalämpöjärjestelmän hyötysuhdetta, jolloin pienempi osuus lämmöstä on tuotettava ostosähköllä. Lisäksi jos kohteessa tarvitaan jäähdytystä/viilennystä, voidaan maalämpöjärjestelmän maapiiristä saatavaa viilennystä hyödyntää, jolloin myös kylmän tuottamiseen kuluva energia on pääosin päästötöntä ilmaisen energiaa.

Maalämmön soveltuvuus kohteessa selvitetään tilaamalla kaupungilta rakennettavuusselvitys, jonka perusteella nähdään mahdolliset rajoitteet maalämmölle. Mikäli maalämpö soveltuu kohteeseen, sitä suositellaan vähähiilisyden näkökulmasta käytettäväksi. Lisääntyneiden talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen suhde saavutettuihin energian päästövähennyksiin oletetaan olevan pieni.

Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppujen käyttömahdollisuuksia suositellaan selvittävän kohteissa, joihin ei sovellu maalämpöjärjestelmä. Vuositasolla ilmaisenergiaa ei saada yhtä paljon kuin maalämmöstä, mutta lämmitysenergiasta voidaan kuitenkin kattaa valtaosa. Investointikustannukset ovat pienempiä kuin maalämpöjärjestelmässä. Lisääntyneiden talotekniikan tuotesidonnaisten päästöjen suhde saavutettuihin energian päästövähennyksiin oletetaan olevan pieni.

Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelilla tuotettu sähkö laskee ostoenergian kulutusta ja siitä aiheutuvia päästöjä. Aurinkopaneelit kuitenkin itsessään voivat olla erittäin hiili-intensiivisiä, ja niistä johduvat talotekniikan tuotesidonnaiset päästöt voivat ylittää energian päästöissä saavutetun vähennyksen. Paneelien valinnalla on keskeinen merkitys sille, osoittautuvatko paneelit rakennuksen hiilijalanjälkeä nostavaksi vai laskevaksi tekijäksi. Aurinkopaneelita valittaessa tulisi suosia EPD-ympäristöselosteita julkaisseita valmistajia, joiden mahdollisesti vähähiilisempien paneelien päästötietoja voidaan käyttää kansallisen päästötietokannan konservatiivisen arvon sijaan hiilijalanjälkilaskennassa.

Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotolla (LTO) vähennetään rakennuksen lämpöhäviöitä ja energiantarvetta. Lämpöä voidaan talotekniikan avulla ottaa talteen poistoilmasta ja jätevedestä.

Ilmanvaihdon LTO-vuosihyötysuhteen parantaminen

Lämmöntalteenotto poistoilmasta on yksi keskeisimmistä keinoista pienentää rakennuksen lämmitysenergian kulutusta. Ilmanvaihtokoneiden LTO-vuosihyötysuhteen olisi energiatehokkuuden ja vähähiilisuuden näkökulmasta toivottavaa olla vähintään 75 %. Korkeimpia hyötysuhteita esiintyy pyörivillä lämmönsiirtimillä, joiden käyttö esimerkiksi asuin-kerrostaloissa voi olla rajoitettua kosteuden ja hajujen siirtymisen vuoksi. Niiden käyttömahdollisuutta voidaan kuitenkin tarkastella asuntokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän tapauksessa. Hyötysuhteeseen vaikuttavat myös rakenteelliset ratkaisut – tiiviissä rakennuksessa lämmöntalteenotolla saadaan poistoilman lämpö talteen suurimmaksi osaksi ilman, että sitä poistuu ilmavuotojen kautta.

Jäteveden lämmöntalteenotto

Lämpimään käyttöveteen sitoutunut hukkalämpö vastaa arvioiden mukaan 17–19 % rakennuksesta poistuvasta lämpövirrasta. Lämpö otetaan talteen jätevesistä käyttämällä lämmönsiirintä tai lämpöpumppua, joista jälkimmäinen on tehokkaampi. Jätevesien lämmöntalteenoton tehokkuuteen vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat jäteveden määrä ja lämpötila, eli hyöty korostuu suurissa ja korkeissa rakennuksissa. Vaikutus hiilijalanjälkeen on sitä suurempi, mitä enemmän lämpöä voidaan potentiaalisesti saada jätevedestä talteen.

Tarpeenmukainen käyttö

Energian tarpeenmukainen käyttö vähentää energiankulutusta ja rakennuksen laskennallista hiilijalanjälkeä, mikäli laskennallisen ostoenergiankulutuksen arvioinnissa huomioidaan tarpeenmukainen ohjaus. Tällä hetkellä E-luvun laskennassa voidaan tarpeenmukaisesta ohjauksesta seuraava pienempi energiantarve osoittaa valaistuksen, ilmanvaihdon ja käyttöveden paineen osalta.

Valaistuksen älykäs ohjausjärjestelmä

Valaistuksen laskennallinen sähköenergian kulutus vastaa sen lämpökuormaa, johon voidaan vaikuttaa valaistuksen tarpeenmukaisella ohjauksella. E-luvun laskennassa valaistuksen sisäisen lämpökuorman keskimääräisen arvon sijaan voidaan käyttää valaistus-suunnitelman mukaista pienempää arvoa, jos suunnitelmasta voidaan määrittää lämpökuorma tilatyypikohtaisesti valaistuksen tehosiheyden ja valaistuksen ohjauksen perusteella.

Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Asuinkerrostaloissa, joissa asukkaille tarjotaan mahdollisuus ohjata huoneiston tulo- ja poistoilmavirtoja vähintään 30 % suuremmaksi ja 40 % pienemmäksi, voidaan rakennuksen ulkoilmavirran arvona käyttää E-luvun laskennassa 20 % pienempää arvoa, ja täten pienentää ilmanvaihdon laskennallista puhallinsähkön sekä lämmitys- ja jäähdytysenergian tarvetta. Lisäksi niissä tiloissa, joita ohjataan läsnäoloon tai olosuhdemittaukseen perustuvalla rakennusautomaatiojärjestelmällä, voidaan käyttää 20 % pienempää tai ilmanvaihtosuunnitelmiin perustuvaa ulkoilmavirran arvoa.

Käyttöveden paineen laskeminen

Käyttöveden paineella on yhteys lämpimän käyttöveden energiankulutukseen ja käyttövesipiirin painehäviöihin, ja sitä kautta energiankulutuksesta aiheutuviin päästöihin. Vakio-paineventtiili leikkaa vesijohtoverkoston ylipaineen pois pitäen vesikalusteille tulevan paineen halutulla tasolla. Laskennallisen ostoenergiankulutuksen laskennassa lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeena voidaan käyttää 15 % pienempää arvoa kuin mitä käyttötarkoituksuokittain on määritetty, mikäli verkosto varustetaan vakio-paineventtiilillä tai muulla sitä vastaavalla painetasoa säätävällä tekniikalla.

Tuotesidonnaisten päästöjen yksityiskohtainen laskenta

Talotekniikan laskennalliset tuotesidonnaiset päästöt voivat vastata 10 % rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljestä. Perusjärjestelmien päästöt arvioidaan vähähiilisen rakennuksen arviointimenetelmän mukaan rakennustyyppi-kohtaisten taulukkoarvojen mukaan, mikäli yksityiskohtaisempaa laskentaa ei tehdä. Kohteen määrätietoihin perustuva laskenta odotettavasti vähentää laskennallisia päästöjä, sillä taulukkoarvoihin on lisätty 20 % varmuuskerroin. Yksityiskohtainen laskenta on toistaiseksi työlästä tuotekohtaisten päästö-tietojen ollessa puutteellisia, mutta tarkastelua olisi suotavaa kokeilla soveltuviissa hankkeissa, jotta vaikutuksia laskennalliseen hiilijalanjälkeen voidaan arvioida.

Taloteknisten perusjärjestelmien laskennallisiin tuotesidonnaisiin päästöihin voidaan vaikuttaa vähähiilisillä ratkaisulla, mikäli päästöt lasketaan yksityiskohtaisesti. Alla on esitetty esimerkkejä vaikutusmahdollisuuksista:

- Soveltuvia ympäristöselosteita tarjoavien valmistajien tuotteiden käyttö (erityisesti aurinkopaneelit)
- Vesikiertoinen lattialämmitysjärjestelmä radiaattoreiden tilalle
- Vähähiiliset vesi- ja viemärikalusteet
- Tehokkaan kanava-/putkireittien suunnittelun mahdollistaminen

Vähähiilisiä, laskentaan kuulumattomia ratkaisuja

Talotekniikan kaikkia vähähiilisiä, energiaa säästäviä ratkaisuja ei toistaiseksi ole mahdollista huomioida arviointimenetelmässä. Ne eivät siis vaikuta laskennalliseen hiilijalanjälkeen, mutta vaikuttavat todellisiin päästöihin ja helpottavat esimerkiksi asukkaita vaikuttamaan omaan hiilijalanjälkeensä.

Esimerkkejä tällaisista ratkaisuista ovat:

- Kulutusjousto
 - Sähkön kulutusjousto
 - Kaukolämmön kulutusjousto
- Asukkaalle kulutuksen seurannan (vesi/sähkö/lämpö) mahdollistaminen esimerkiksi huoneistonäyttöjen avulla
- Energiatohokkaat/vettä säästävät kalusteet