

Ville Alho

RAKENNUKSEN VÄHÄHILIISYYDEN ARVIOINTIMENETELMÄ JA SEN TESTAAMINEN

Opinnäytetyö

Insinööri (ylempi AMK)

Talotekniikka

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (ylempi AMK)
Tekijä	Ville Alho
Työn nimi	Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä ja sen testaaminen
Toimeksiantaja	Rejlers Finland Oy
Vuosi	joulukuu 2022
Sivut	59 sivua
Työn ohjaajat	Johanna Arola, Matti Ruuskanen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkitaan rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaisen laskentamenetelmän toteutusta ja siihen liittyviä ominaisuuksia. Tutkimus- ja kehitystyössä lasketaan esimerkkirakennuksen ympäristövaikutukset ja analysoidaan niiden muodostumista.

Tutkimusongelmana työssä on testata laskentamenetelmän soveltuvuutta esimerkkikohteen suunnitteluun ja tarkastella, mitä lähtötietoja ja muita ominaisuuksia laskennassa tulee ottaa huomioon. Tutkimuksessa etsitään keinoja vähähiilisen rakennuksen toteuttamiselle.

Opinnäytetyössä käytettiin kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Tutkimuksessa käytettiin One Click LCA -ohjelmistoa vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaisen laskennan työkaluna. Työkalua käytettiin myös tulosten analysointiin ja vertailuun.

Tutkimuksen tuloksiksi saatiin eri rakennuksen elinkaaren osa-alueiden, materiaalien, kuljetusten ja käytönaikaiset päästöt. Tutkittavan rakennuksen hiilijalanjälki oli 16,29 kgCO₂e/hum²/a. Tulokset laadittiin Ympäristöministeriön ohjeiden ja laajuuden mukaisesti.

Tutkimuksessa löydettiin keinoja vähähiilisyden ja hiilijalanjäljen parantamiselle. Muun muassa uusiutuvien energiamuotojen ja erilaisten kierrätettävien materiaalien käyttö vähentää ympäristövaikutuksia. Lisäksi sähkön tuotantomuodolla on suuri vaikutus todellisille päästöille ja CO₂ vapaata sähköä ostamalla vähennetään huomattavasti päästöjä. Laskentaan liittyen määräluetteloiden ja tietomallien laadintaan ja hankesuunnitteluvaiheen tekniseen vaatimukseen tulee kiinnittää huomiota laskennan mahdollistamiseksi.

Asiasanat: vähähiilisyys, ympäristövaikutukset, energiatehokkuus, hiilijalanjälki, hiilikädenjälki

Degree	Master of Engineering
Author (authors)	Ville Alho
Thesis title	Low carbon building calculation method and its testing
Commissioned by	Rejlers Finland Oy
Time	December 2022
Pages	59 pages
Supervisors	Johanna Arola, Matti Ruuskanen

ABSTRACT

The thesis will research the implementation calculation method of low-carbon evaluation method of construction building and its related features. In this thesis the environmental effects of construction building are calculated, and their formation is analyzed.

The research problem in this thesis to test suitability of the calculation method to design of example project and to examine which initial data and other qualities should be considered to complete the calculation correctly and precisely. This thesis is looking to find ways to implement basics of low-carbon building.

This thesis uses a quantitative research method. In this research, One Click LCA software was used as calculation tool to be able to complete low-carbon assessment method. The tool was used also to analyze and compare calculated results.

The results of this thesis were environmental emissions of different sectors of the building's life cycle, materials, transportation and energy usage during its lifetime. The carbon footprint of example building was 16,29 kgCO₂e/hum² /a. The results were created in accordance with guidelines and scope of the Ministry of Environment of Finland.

Improvement of low carbon and carbon footprint were found in this research. Among other things, the use of renewable forms of energy and recyclable materials will reduce environmental impact. In addition, electricity production method has also a large effect on actual emissions. Purchasing CO₂-free electricity buildings emissions are significantly reduced during it's use. Also, precise lists of quantities, BIM-models and technical requirements of the project needs to be prepared precisely in order to complete the calculation as accurate as possible.

Keywords: low-carbon, environmental effects, energy efficiency, carbon footprint, carbon handprint

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	2
1.1	Toimeksiantaja.....	3
1.2	Tarkoitus ja tavoitteet.....	4
2	UUSI RAKENTAMISEN AIKAKAUSI	4
2.1	Kiertotalous ja kestävä kehitys rakentamisessa.....	5
2.2	Tehokas kiinteistöjen käyttö.....	7
2.3	Energiankulutus kiinteistöissä.....	11
2.4	Taloudellinen viitekehys rakentamisessa.....	12
3	LAIT JA STANDARDIT	13
3.1	Kestävästi rakennetun ympäristön suunnittelun vapaaehtoiset työkalut.....	13
3.2	Kaavoituslaki ja rakentamislaki 2024.....	14
3.3	EN standardit ja direktiivit	15
3.4	Rakennuksen ilmastaselvitys.....	15
3.4.1	Vähähiilisuuden arviointi.....	15
3.4.2	Hiilijalanjälki 6 §.....	16
3.4.3	Hiilikädenjälki 14 §.....	17
3.4.4	Ilmastaselvitys 21 §.....	18
4	RAKENNUKSEN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIOINTIMENETELMÄ	21
4.1	Vähähiilisuuden arviointimenetelmien 2019 ja 2021 keskeiset erot	21
4.2	Vähähiilisuuden arviointimenetelmän tausta	21
4.3	Vähähiilisuuden arviointiin sisältyvät osat ja osa-alueet.....	23
4.4	Arvioinnin sisältö ja määrälaskenta.....	26
4.4.1	Hiilijalanjäljen laskenta.....	26
4.4.2	Hiilikädenjäljen laskenta.....	28
4.5	Kansallinen päästötietokanta.....	29
4.6	Käytettävissä olevat laskentaohjelmat.....	29

5	ONE CLICK LCA -OHJELMISTO	30
5.1	One Click LCA -elinkaariarviointiohjelmisto	30
5.2	Carbon designer -laskentatapa.....	30
5.3	Ohjelman liitännäissovellukset ja laskentametodit	31
5.4	Tulosten analysointimahdollisuudet	31
6	AIEMMAT TUTKIMUKSET JA NIIDEN KESKEISET TULOKSET	32
6.1	Carbon footprint limits for common building types -tutkimus.....	32
6.2	Asiakkaan päästöjen vähentäminen talotekniikkasuunnittelussa diplomityö Valle Raatikainen	34
7	TUTKITTAVA KOHDE SAVONLINNASSA.....	37
7.1	Teollisen puurakentamisen laboratorio Savonlinna	38
7.1.1	Hankkeen ominaisuudet ja toteutus.....	38
8	TUTKIMUKSEN MENETELMÄT.....	40
8.1	Tutkimusprosessi ja menetelmät	40
8.2	Hiilijalanjäljen- ja kädenjäljenlaskenta.....	41
9	LASKENNAN TULOKSET JA ANALYSOINTI	41
9.1	Rakennuksen ilmastaselvitys.....	43
10	ILMASTOSELVITYKSEN ANALYSOINTI.....	44
10.1	Ilmastaselvityksen tulokset	44
10.2	Tuloksien analysointi	48
10.3	Tuloksien luotettavuus	49
11	JOHTOPÄÄTÖKSET	50
11.1	Ilmastaselvityksen tuloksien johtopäätelmä	50
11.2	Keinoja rakennuksen vähähiilisuuden parantamiseksi	53
11.3	Laskentaan liittyvät haasteet ja kehittämistarpeet.....	54
11.4	Laskennan vaikutukset ilmaston hyväksi.....	56
11.5	Laskennan hyödyt Suomen tulevaisuuden rakentamiselle	56
11.6	Tutkimuksen luotettavuus	57

11.7 Tutkimuksen jatkokehitysideat ja näkökulmat.....	58
LÄHTEET.....	60

Käsitteet

Arviointijakso	Ajanjakso, jolle elinkaarilaskenta tehdään. Rakennuksen käyttöikä voi olla pidempi kuin arviointijakso [1, s. 38]
Elinkaaren vaihe	Standardin EN 15643 -mukainen rakennuksen elinkaaren vaihe [1, s.38]
Eloperäinen hiili	Ilmakehästä yhteyttämisen kautta eloperäiseen materiaaliin sitoutunut hiili [1, s. 38]
Fossiilinen hiili	Fossiilisista lähteistä (esim. öljy tms.) peräisin oleva hiili [1, s. 38]
Hiilidioksidiekvivalentti	Eri kasvihuonekaasujen ilmastoa lämmittävä vaikutus muunnettuna hiilidioksidin vastaavaksi vaikutukseksi [1, s. 38]
Hiilijalanjälki	Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonekaasujen yhteissumma [1, s. 38]
Hiilikädenjälki	Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana syntyvien ilmastohyötyjen summa muutettuna hiilidioksidiekvivalentiksi [1, s. 38]

Lyhenteet

CO ₂	Hiilidioksidi [1, s. 38]
CO ₂ e	Hiilidioksidiekvivalentti [1, s. 38]
EPD	Ympäristöseloste (Environmental product Declarations) [1, s. 38]
GWP	Ilmastoa lämmittävä vaikutus (Global warming potential) [1, s. 38]
kWh	Kilowattitunti [1, s. 38]

1 JOHDANTO

Rakentaminen Suomessa ja myös koko maailmassa tulee muuttumaan tulevien vuosien aikana merkittävästi. Kasvihuonepäästöjen pienentäminen ilmaston lämpenemisen ehkäisemiseksi on erityisen tärkeässä roolissa. Rakentamisessa on panostettava kestäväen kehityksen periaatteisiin, ympäristöystävällisiin energiamuotoihin ja vähähiilisiin vaihtoehtoihin päästöjen minimoimiseksi. Vähähiilinen rakentaminen tarvitsee tuekseen uudenlaista näkökulmaa ja osaamista sekä ohjausta. [2, s. 1–3.] Teollisuuden lisääntymisen myötä ihmisen toiminnasta on aiheutunut yhä enemmän luonnolle ja monimuotoisuudelle merkittäviä vaikutuksia. Jotta 1,5 celsiusasteen vuotuisen keskimääräisen lämpötilan nousuun päästään, päästöjen tulisi pienentyä paljon eri osa-alueilla, etenkin rakentamisen, teollisuuden ja kuljetusten aloilla. [2, s. 13–14.] Vähähiilinen rakennus on tarpeenmukaisen ja oikeanlaisen suunnittelun, toteutuksen ja ylläpidon kestäväen kehityksen vaihtoehtojen ja vuorovaikutusten kokonaisuus [2, s. 174].

Opinnäytetyössä keskitytään uuteen rakentamislakiin, joka on tarkoitus julkaista vuonna 2024, jolloin rakennuksen ilmastaselvitys tulee tehtäväksi uudisrakennuksille ja merkittävillä korjaustoimenpiteillä erillisen asetuksen mukaan. Opinnäytetyössä tutkitaan esimerkkirakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän testaamista. Lisäksi opinnäytetyössä pyritään tulosten perusteella löytämään keinoja vähähiilisen rakennuksen toteuttamiseen sekä parantamiseen.

Vähähiilinen rakentaminen tarkoittaa rakennuksen koko elinkaaren aikana syntyvien kasvihuonepäästöjen vähentämistä. Vähähiilisyyteen pyritään erilaisilla toimenpiteillä mm. energiatehokkuuden parantamisella, uusiutuvilla energiamuodoilla, teknisillä ja toiminnallisilla vaatimuksilla sekä vähähiilisiä ja kierrätettäviä materiaaleja käyttämällä. [3, s. 14–15.] Kiertotalous on osa vähähiilistä rakentamista. Se on talouden uusi malli, jonka mukaan tuotteiden, materiaalien ja resurssien arvo pyritään säilyttämään mahdollisimman pitkään palauttaen ne elinkaarensa lopussa kierrätykseen. Tämä pienentää myös

kasvihuonepäästöjen syntymistä. [4, s. 8–9.] Rakentamiseen käytetään vuodessa noin puolet maailman raaka-aineista sekä lisäksi rakennuksissa kulutetaan noin 40 % primäärienergiasta, jota on käytettävissä. Rakennusten lämmitysenergia ja sähköenergia siis tuottaa jopa kolmanneksen koko maailman kasvihuonepäästöistä. [2, s. 18.]

Työssä tutkitaan keskeisesti yhden suunnitteilla/rakenteilla olevan kohteen hiilijalanjälkeä ja hiilikädenjälkeä. Työssä selvitetään rakennuksen elinkaaren aikana syntyvät päästöt mm. kantavan rungon, täydentävien osien ja talotekniikan vaikutuksesta. Työssä käytetään hiilijalanjäljen ja kädenjäljen laskennassa OneClick LCA -ohjelmistoa ja laskentamenetelmänä käytetään Suomen ympäristöministeriön määrittelemää arviointimenetelmää (2019) sekä kansallista päästötietokantaa CO2data.fi. Tutkimuksessa ei tutkita rakennuspaikan vähähiilisyyttä ja sen vaikutusta hiilijalanjälkeen. Rajaus tehdään Suomen ympäristöministeriön laskentatavan mukaisesti, jotta tulos olisi vertailukelpoinen tulevaisuudessa tehtäville kohteille. Tämä laskenta tullaan tekemään rakennuksen tekniselle käyttöiälle 50 vuotta, joka on kuvattu KH 90-00403 ohjekortissa. Työtä tutkitaan rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän laskentatavalla yrityksen ja asiakkaiden näkökulmasta.

1.1 Toimeksiantaja

Työn toimeksiantajana toimii Rejlers Finland Oy / Rakentaminen itä. Rejlers Finland Oy on monialainen moderni insinööritoimisto, jonka toimialoihin kuuluvat mm. rakentaminen, teollisuus, energia ja infra. Rakentamisen yksikkö on mukana valtakunnan tärkeimpien kiinteistöjen taloteknisessä suunnittelussa, energiatehokkuuden kehittämisessä ja useissa haastavissa teollisuuden rakennusprojekteissa.

Toimeksiantajan työanto opinnäytetyöhön tuli yrityksen toivomasta panostamisesta elinkaariajatteluun ja elinkaarisuunnitteluun. Tarkempi aiheen rajaus ja vähähiilisyyden arviointimenetelmän työkalun testaaminen työelämän projektissa tuli työelämäohjaajan ja tutkimuksen tekijän yhteistuloksena ja kiinnostuksen kohteena.

Toimeksiantajan tavoitteena on kehittää uusia palveluita, näkökulmia ja toimintatapoja vähähiilisen rakentamisen edellyttämiseksi Suomessa. Lisäksi tarkoituksena on tuoda vähähiilinen rakentaminen osaksi koko suunnitteluprosessia.

1.2 Tarkoitus ja tavoitteet

Tutkimusongelman taustalla on Suomessa tapahtuva lakimuutos kaavoitus- ja rakennuslakiin, jonka on määrä astua voimaan vuonna 2024. Lakimuutoksessa on esitetty, että lakimuutoksen yhteydessä laaditaan asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä, materiaaliselosteesta ja hiilijalanjäljen laskennasta. [1, s. 8.]

Työssä lasketaan esimerkkikohteen vertailukelpoiset hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen laskennalliset arvot. Työssä tutkitaan myös, miten ja millä tiedoilla laskenta voidaan suorittaa sekä kenelle laskennan tekeminen kuuluisi. Lisäksi pyritään selvittämään eri rakennuksen osa-alueiden vaikutukset vähähiiliseen rakennukseen ja sitä, missä osa-alueissa olisi suurin potentiaalinen hiilijalanjäljen pienentäminen.

Työssä on tavoitteena kehittää rakennuksen vähähiilisyyttä esimerkkiprojektissa ja tuottaa tuloksena esimerkkitutkimus siitä, mitkä rakennuksen osa-alueet vaikuttavat eniten rakennuksen päästöihin. Työn tavoitteena on kehittää Suomen rakennuskannan suunnittelua kestäväen kehityksen ja hiilineutraaliuden suuntaan. Lisäksi opinnäytetyön tulosten pohjalta yritykselle kehitetään vähähiilisen rakentamisen suunnittelun ja toteutuksen tueksi vastuullinen toimintamalli. Mallilla pyritään tuomaan muutosta rakentamisen kestäväen kehityksen ohjaukseen kaikissa rakennushankkeissa.

2 UUSI RAKENTAMISEN AIKAKAUSI

Rakennetulla ympäristöllä ja sen teollisuudella on hyvin suuri yhteiskunnallinen ja taloudellinen merkitys Suomessa. Kiinteistö- ja rakennusala vastaa Suomen bruttokansantuotteesta 15 % ja työllistää vuosittain n. 500 000 ihmistä. Suomessa rakennuksissa käytetään jopa 40 %

kokonaisenergiankulutuksesta, joka vastaa päästöiltään 30 % Suomen koko kasvihuonepäästöistä. [5, s. 5.]

Rakennusteollisuus ja ympäristö ovat suurena päästöjen aiheuttajana ja luonnonvarojen kuluttajan avainasemassa kiertotalouteen ja kestävän kehityksen mukaiseen ajatusmaailmaan siirryttäessä [4, s. 8]. Ilmastonmuutos on yhä keskeisempi käsite jokapäiväisessä arjessa maailmassa. Rakennuksen päästöt syntyvät koko rakennuksen elinkaaren aikaisesta materiaali- ja energiamäärästä. Yhä useammalla kiinteistön sijoittajalla, käyttäjällä, omistajalla ja yksityisillä ihmisillä on omia ilmastotavoitteita. Näihin tavoitteisiin pyritään pääsemään globaalisti ja valtakunnallisesti laadittujen tiekarttojen ja strategioiden perusteella. [2, s. 8.] Olemassa olevien rakennusten osalta ilmastotavoitteisiin pääseminen edellyttää energiatehokkuuden parantamista ja siirtymistä vähähiilisempään energiaan sekä kiinteistön tilojen tehokkuuden lisäämiseen [6, s. 9]. Taloudellisia kannusteita energiatehokkuuden parantamiseen sekä vähähiilisyteen siirtymiseen on myönnetty Suomessa valtion ja yksittäisten rahastojen toimesta. Taloudellisin keinoin ohjataan pääsemään ympäristötavoitteisiin. [7, s. 13–15.]

2.1 Kiertotalous ja kestävä kehitys rakentamisessa

Rakennetun ympäristön kiertotalous tarkoittaa yleisellä tasolla seuraavia seikkoja: rakennuksien ylläpito ja uudelleenkäyttö, toiminnallinen suunnittelu ja lähestymistapa, tekninen suunnittelu muuntojoustavuuteen sekä materiaalien käytön lähestymistapa kestävän kehityksen mukaiseksi [4, s. 13–14.] Kiertotaloudellisessa ajattelutavassa oleellisinta on säilyttää tuotteiden ja materiaalien arvo mahdollisimman pitkään rakennuksessa ja käytössä. Oleellisinta on huomioida kiertotalouden hierarkia, jossa pyritään säilyttämään nykyisiä tiloja mahdollisimman pitkään ja tarvittaessa päivittämällä niitä ennen kuin uutta rakennetaan. [4, s. 17.]

Rakennusten tulee nykypäivänä olla peruslähtökohdiltaan monikäyttöisiä ja joustavia, jotta niitä voidaan käyttää koko elinkaaren aikana mahdollisimman tehokkaasti. Muuntojoustavuus näkyy tänä päivänä suunnittelussa monissa kohteissa. [4, s. 62–63.] Muuntojoustavuudella tarkoitetaan rakentamista, joka

mahdollistaa tilan tai asunnon muokkaamisen käyttäjän tarpeiden mukaiseksi pienin rakennustöin [4, s. 64].

Kiertotalous vaikuttaa rakentamisen eri vaiheisiin ja prosesseihin koko sen elinkaareissa. Eri rakennushankkeiden yleisimmät vaiheet palvelevat kiertotaloutta eri tavoin. Olennaisesti projektin alkuvaiheen suunnittelu ohjaa tekemään valintoja kestävän kehityksen sekä kiertotalouden valintojen ja toteutus- tapojen mukaan. [4, s. 74.] Esimerkiksi hankesuunnittelussa keskeisiä asioita, kiertotalouden näkökulmasta, ovat selvittää laajuus, toimivuus, kustannukset ja rakentamisen ajoitus. Yleisesti tässä vaiheessa rakentamiselle asetetaan tavoitteet ilmastovaikutuksille, käyttöiälle, muuntojoustavuudelle, monikäyttöisyydelle, purettavuudelle sekä uusiutuvien materiaalien mahdollisuuksille. Tästä seuraa monesti rakennuttajan investointipäätös, jossa suurimmat linjaukset rakennuksen toteutukselle rajataan. [4, s. 75.]

Kiinteistöjen elinkaari- ja kiertotalousajattelua olisi tarkasteltava kiinteistön rakentamisen eri osapuolten näkökulmista ja vaikutusmahdollisuuksista. Eri rakennushankkeen roolien vaikutukset ovat kuvattu taulukossa 1. Eri tahojen kiertotalouden toimenpiteet ovat pyritty kuvaamaan eri rakennusvaiheisiin. [4, s. 93–94.]

Taulukko 1. Kiertotalouden keinoja kiinteistön elinkaaren jaottelun mukaan [4, s. 94]

Elinkaaren vaiheet / Osapuolet	Suunnittelu	Rakentaminen	Ylläpito	Purku
Oleelliset osapuolet	Omistaja/rakennuttaja, suunnittelijat, urakoitsijat	Omistaja/rakennuttaja, urakoitsijat, suunnittelijat	Omistaja/salkunhoito, hallinnollinen isännöinti (AM), tekninen isännöinti (PM) sekä huolto ja ylläpito, tilojen hallinta (FM), vuokralaiset	Omistaja/rakennuttaja-purku-urakoitsijat, suunnittelijat
Esimerkkejä kiertotalous-toimenpiteistä	<ol style="list-style-type: none"> Tilatehokkuus ja muuntojoustavuus Suunnitteluratkaisujen resurssitehokkuus Tiedon hallinta ja hyödyntäminen 	<ol style="list-style-type: none"> Materiaalien kiertotalous (työmaatoimintot, uusiomateriaalien hyödyntäminen) Rakentamisen resurssitehokkuus Korjausrakentamisessa purkamisen kiertotalous 	<ol style="list-style-type: none"> Toimintojen materiaali- virtojen kiertotalous Hankintojen kiertotalous Tilajakamisen erilaiset konseptit Jakamistalouden konseptit (mm. yhteiskäyttö- autot, yhteiskäyttöiset laitteet) 	<ol style="list-style-type: none"> Purkumateriaalien kiertotalous (purkukartoitus, kestävän purkamisen Green Dealin mukaiset tehtävät [5]) Suunnittelun ja rakentamisen toimenpiteet saneerauksissa /korjausrakentamisessa

Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttäminen ja niiden kierrättäminen ovat kiertotaloutta rakentamisessa. Kiertotalouden toteutumiseen vaikuttaa rakennushankkeissa monen eri toimijan yhteinen yhteistyö rakennuksen eri elinkaaren vaiheissa. [4, s. 110.] Hiilineutraaliin yhteiskuntaan on tärkeää mennä selaista tietä, että kaikkien erialojen periaatteet tuodaan mukaan jo varhaisessa kaupunkisuunnitteluvaiheessa, jotta luonnolle ja monimuotoisuudelle jää tilaa. Kaavoituksessa otetaan jo huomioon esim. uusien kohteiden vähähiilisyys ja sille asetetut raja-arvot ja suunnittelun lähtötiedot. [4, s. 160.]

Cradle to cradle eli kehdosta kehtoon -ajatusmallin lisääminen kiertotaloudessa on keskeisiä keinoja vähentää päästöjä rakentamisessa valtakunnallisesti ja globaalisti. Kuvassa 1 on kuvattu materiaalien kiertokulku kiinteistöissä ja miten kierrätys sekä uudelleenkäyttö on tehokkaasti mahdollista toteuttaa.

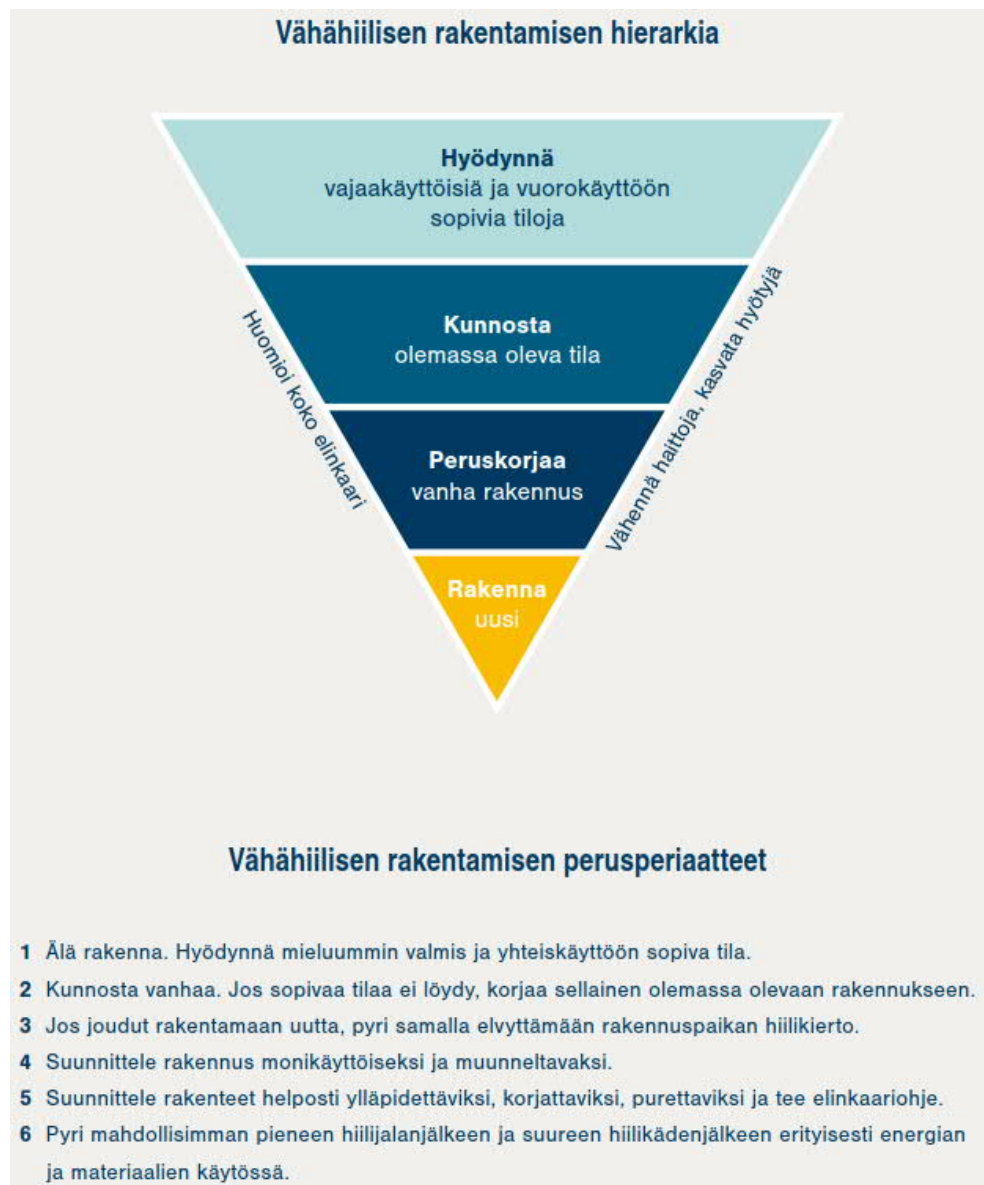


Kuva 1. Cradle to cradle -metodi [8]

2.2 Tehokas kiinteistöjen käyttö

Euroopan unionin (EU) jätedirektiivin tavoitteena on vähentää kaatopaikoille päätyvää purku- ja rakennusjätteen määrää sekä mahdollisuuksia hyödyntää erilaisia purkumateriaaleja rakentamisen kiertotaloudessa [6, s. 11]. Suomessa puretaan jatkuvasti huonokuntoisia kiinteistöjä, jopa 4 000 rakennusta vuodessa. Purkukuntoisten rakennusten lisäksi Suomessa on paljon tyhjiillään ja vajaalla käytöllä olevia kiinteistöjä, joiden jatkokäytön kohtalo on avoinna. [6, s. 12–13.]

Keskeinen osa tehokasta kiinteistön käyttöä on tietenkin koko elinkaaren aikana sen käyttäjien palveleminen. Lisäksi kiinteistön ylläpidolla on erityisen suuri vaikutus koko kiinteistön energiatehokkuuteen ja elinkaareen. Vähähiilisen rakentamisen peruseriaatteet huomioimalla yhteiskunnan rakennuskannassa saavutetaan parhaimmat lopputulokset. Kuvassa 2 on kuvattu peruseriaatteet vähähiiliselle rakentamiselle yleistasolla.

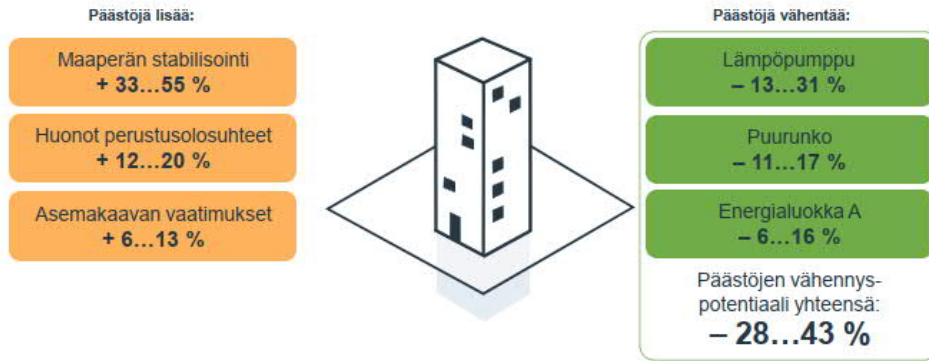


Kuva 2. Vähähiilisen rakentamisen hierarkia [2, s. 174–179]

Vähähiilisyyteen vaikuttavat rakennuksessa monet eri seikat. Kuvassa 3 on nostettu esiin keskeisiä päästöjä lisääviä asioita rakentamisessa ja keskeisiä päästöjä vähentäviä seikkoja. Muun muassa energian osuus ja puupohjaisten

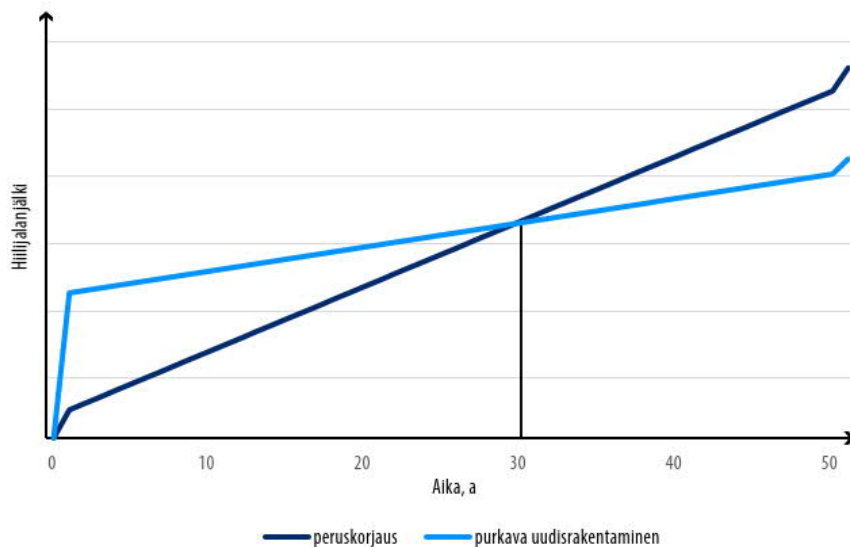
materiaalien käyttö on tässä hyvin suuri. Kuitenkin maaperän stabilointi niillä alueilla, joissa maaperä on epävakaata, voi lisätä päästöjä jopa yli 50 % koko rakennuksen päästöistä. Olisikin erittäin tärkeää kiinnittää huomiota rakennuspaikan sijaintiin ja kaavoitukseen tämän suhteen. [8.]

Mikä vaikuttaa rakennuksen vähähiilisyyteen?



Kuva 3. Rakennuksen vähähiilisyyteen vaikuttavat asiat ja niiden vaikuttavuus [8]

Kiinteistöjen kannalta uudisrakentamisessa ja korjausrakentamisessa on hyvin paljon eroja elinkaaren hiilijalanjäljen osalta. Rakennustapoja vertailtaessa voidaan tehdä johtopäätöksiä yleisellä tasolla peruskorjauksen ja uudisrakennuskohteen osalta. Purkavalla uudisrakentamisella voidaan saavuttaa 50 vuoden aikana pienempi hiilijalanjäljen päästökertymä kiertotalouden periaatteet huomioiden purkutyössä. Kuvasta 4 voidaan havaita miten teoreettisesti peruskorjauksen ja purkavan uudisrakennuksen hiilijalanjälki muodostuu 50 vuoden ajanjaksolle. [6, s. 26–27.]



Kuva 4. Periaatekuva, korjausrakentamisen ja purkautuvan uudisrakentamisen koko elinkaaren hiilijalanjäljen kertyminen [6, s. 26–27]

Hiilikädenjäljen osuutta on tutkittu rakennuksissa. Hiilikädenjäljellä tarkoitetaan positiivisia toiminnasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Hiilikädenjälki on siis laskennallinen arvo siitä, kuinka paljon toiminnasta koituu ympäristölle hyödyksi. [1, s. 30.] Keskeisimpiä tutkimuksissa havaittuja asioita ovat energiaomavaraisuus ja energian myyminen verkkoihin, jolloin saadaan hiilikädenjälkeä suurennettua. Lisäksi esimerkiksi kierrätys, muuntojoustavuus, toimintojen kompensointi ovat keskeisiä keinoja lisätä hiilikädenjälkeä. [9, s. 9–10.] Hiilikädenjälki on kuitenkin rakennuksissa vähän vieraampi käsite ja sen lisäämistä tietoisuudella on lisättävä. Hiilikädenjälki on linkittynyt selvästi hiilijalanjälkeen. Keskeiset seikat hiilikädenjäljen ja hiilijalanjäljen ajatusmallille ovat kuvattu taulukossa 2. Hiilikädenjäljen ajatusmallin mukaista tietoisuutta rakentamisessa on syytä lisätä, sillä se lisää positiivisia ympäristövaikutuksia. [9, s. 12–13.]

Taulukko 2. Hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen keskeinen ajatusmalli [9, s. 13]

Handprint thinking	Footprint thinking
The good we do	The harm we do
Unlimited potential	Limited resources
Recover / restore	Reduce, reuse, recycle
Influence, educate, inspire	Admonish
Count accomplishments	Measure quantities
Appreciate, celebrate	Calculate
Advocate protection	Resist destruction
Entrepreneurism	Problem solving

Keskeisiä ja merkittäviä älykkyyden tuomia etuja ovat kiinteistön johtaminen ja hallinnointi kokonaisuutena. Kiinteistön käytöllä ja ylläpidon optimoinnilla lisätään kiinteistön toiminnallisuutta ja viihtyvyyttä. Ennakoimalla ja tehostamalla kiinteistön ylläpidon toimintaa voidaan vaikuttaa merkittävästi energiatehokkuuteen ja päästöihin. Älykkyydellä, ns. tekoälyllä, voidaan kehittää järjestelmien toimintaa kiinteistöissä yhdessä rakennusautomaation avulla. [10.]

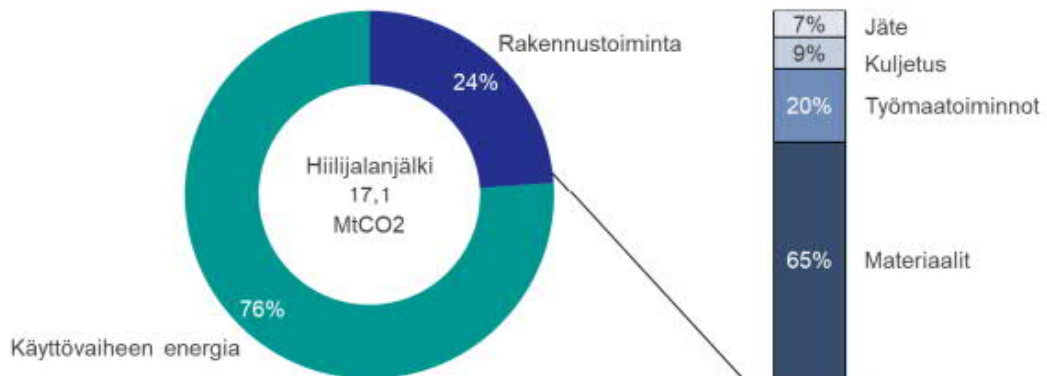
2.3 Energiankulutus kiinteistöissä

Kiinteistön tehokkaan käytön kannalta keskeisimpiä päästövaikutuksia syntyy rakennuksen käytön aikaisesta energiankulutuksesta. Tällä hetkellä käytönaikeisen energian osuus rakennuksien päästöissä on jopa 76 %, mutta oletettavasti se tulee pieneneään jatkossa, kun kaukolämpöyhtiöt ja sähköyhtiöt siirtyvät uusiutuvimpiin energiamuotoihin. Lisäksi kiinteistöjen energiaomavaraisuuden kehittyminen voi muuttaa päästöjä merkittävästi. [5, s. 14.]

Keskeisiä keinoja rakennusten energiatehokkuuden parantamiselle sekä kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi rakennuksissa ovat muun muassa lämpöhäviöiden pienentäminen ja jäähdytystarpeen vähentäminen. Lisäksi sähkönkäytön tehostaminen (led-valaisimet) ja vähäenergiset kodinkoneet ovat yksi keino pienentää kulutusta. Tällä hetkellä energiamuodon vaihtaminen uusiutuvaan esimerkiksi ilma- ja maalämpöpumppuun tai LTO-järjestelmien tehostaminen ovat keskeisiä energiatehokkuustoimia. Kulutuksen ohjaus ja näyttö, etenkin se, miten käyttäjä on tietoinen järjestelmien toiminnasta ja tietoinen päästövähennysratkaisuista, voi vaikuttaa merkittävästi pitkällä mittakaavalla. Lisäksi tekoälyn lisääntyminen ohjauksissa rakennusautomaatiossa ja järjestelmissä ovat keino saada järjestelmät toimimaan optimaalisesti kaikissa olosuhteissa. [5, s.15–16.]

Energiatehokkuuden näkökulmasta LVI-järjestelmillä voi olla jopa 15–36 % vaikutus koko kiinteistön sitoutuneeseen hiileen, sillä järjestelmissä käytetään paljon metalleja. LVI-järjestelmien osuuden arviointi on hyvin vaikeaa, sillä näitä ei ole suuremmin laskettu LCA-laskennassa. [11, s. 2–4.] Keskeisiä keinoja energiatehokkuuden parantamiselle ovat muun muassa lämpöhäviöiden pienentäminen, sähkönkäytön tehostaminen, ilmaisenergioiden hyödyntäminen ja kulutuksen ohjaus sekä seuranta. Eri energialuokissa olevilla kiinteistöillä ja niiden energiatehokkuuden parantamisella on suuri vaikutus kulutuksen vähenemiseen sekä myös päästöjen pienentämiseen. Erilaisia energiatehokkuustoimia on toteutettu pääasiassa kustannussäästönäkökulmasta, mutta päästönäkökulma on jätetty pois. Tällä hetkellä rakennetun ympäristön päästöistä jopa 76 % koostuu käyttövaiheen energiasta. Tämä osuus tulee tosin

pienenemään, sillä energiayhtiöt toteuttavat paljon erilaisia päästövähennys-hankkeita voimalaitoksissaan. [5, s. 16–18.]



Kuva 5. Kokonaishiilijalanjälki rakennuksissa vuonna 2017 [5, s. 16]

2.4 Taloudellinen viitekehys rakentamisessa

Suomessa TALO-hankkeen työpajan yhteydessä on mietitty Suomen tilanteeseen soveltuvia taloudellisia kannusteita. Työpaja on järjestetty vuonna 2019, ja ohjauskeinokokonaisuuksia Suomen vähähiilisyyden tavoitteisiin pääsemiseen ehdotettiin seuraavasti:

1. vähähiilisen rakentamisen rahoitus- ja lainamallit
2. vähähiilisen korjausrakentamisen tukiohjelma
3. rakennusmateriaalien päästökatto
4. lisärakennusoikeuden myöntäminen
5. maksut ja verot. [7, s. 13–14]

Rahoitusmallit julkiselle ja yksityiselle sektorille olivat keskeisessä roolissa työpajassa. Muun muassa öljykattiloista luopumisen ja kuntien omistamien kiinteistöjen energiatehokkuusinvestointeihin kannustettiin tukimalleilla. Energiamontteihin pääsääntöisesti kannustettiin tuilla. [7, s. 15.] Tukia on myönnettävissä tällä hetkellä energiatehokkuustoimiin asumisen rahoitus- ja kehittämisskeskukselta (ARA:n energia-avustukset) vuoteen 2024 asti öljystä ja maakaasusta luopumiseen. Tämän lisäksi Business Finland myöntää rahoitusta päästöjen vähentämiseen pyrkiviin kehityshankkeisiin. Kehityshankkeiksi voidaan lukea mm. energiatehokkuuden parantaminen automaatiojärjestelmän avulla tai osoitus kiinteistön peruskorjauksen yhteydessä vähähiilisemmäksi jne. [5, s. 19–20.]

Työpajassa keskityttiin myös vähähiilisen rakentamisen ohjaukseen ja päästökattojen mukaisiin taloudellisiin kannusteisiin. Selvää oli, että kannusteiden avulla päästään nopeammin ratkaisemaan ilmastokriisiä rakentamisen osalta. [7, s. 18–20.]

3 LAIT JA STANDARDIT

Rakennuksen vähähiilisyyttä ohjaa Suomen rakentamisessa Ympäristöministeriö. Ympäristöministeriö on julkaissut vuonna 2017 tiekartan, jossa rakennusten elinkaaren vähähiilisyys tulee osaksi rakentamismääräyksiä vuonna 2024. [12, s. 5.] Suomen vähähiilisen rakentamisen ohjeistus ja laskentatapa pohjautuvat Euroopan komission laatimaan Level(s)-menetelmään [13] sekä eurooppalaiseen kestävä kehityksen EN-standardeihin (mm. EN 15643, EN 15978 ja EN 15804 ja EN ISO 14067) [1, s. 8]. Lailla ja standardeilla on tarkoitus pienentää rakennuksen kasvihuonekaasupäästöjä sen elinkaaren aikana. Suomen mittakaavassa rakentaminen ja rakennuksen elinkaaren aikaiset päästöt aiheuttavat jopa kolmanneksen Suomen kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä [1, s. 8]. Arviointimenetelmä on tulossa lakisääteiseksi rakentamismääräyksissä vuoteen 2025 mennessä. Arviointimenetelmä on mukana rakentamisen lainsäädännön kokonaisuudistuksessa. [1, s. 8.]

3.1 Kestävästi rakennetun ympäristön suunnittelun vapaaehtoiset työkalut

Markkinoille on kehitetty monia työkaluja arvioimaan kestäväää rakennettua ympäristöä. Eri tahot ovat kehitelleet vapaaehtoisia työkaluja niin globaalisti kuin kansallisestikin kestävä kehityksen mukaisen rakentamisen ohjaukseen.

Hyvänä esimerkkinä vapaaehtoisesta työkalusta on LEED eli Leadership in Energy and Environmental design, joka on globaali ympäristöluokitusjärjestelmä. Työkalun tarkoituksena on säästää rahaa, kehittää tehokkuutta sekä laskea kasvihuonekaasupäästöjä laskemalla ympäristöluokitus. LEED-luokitus on globaaliin rakentamiseen perustuva todistus, joka pisteytetään. Eri luokitusten saaminen edellyttää tietynlaisia kiinteistön kestävä kehityksen mukaisia toimenpiteitä. [14.]

Rakennustieto on kehittänyt oman luokitusjärjestelmän, RTS-ympäristöluokituksen Suomen kiinteistöjen ja sääolojen ominaisuuksiin pohjautuen. RTS-ympäristö on LEED-luokituksen rinnalla vapaaehtoinen luokitusjärjestelmä, joka pohjautuu eurooppalaisiin standardeihin yhdistämällä kotimaisen rakennustavan mukaiset ominaisuudet sekä elinkaarimittarit. Tarkoituksena luokituksella on saada tietoon rakennuksen tavat säästää vettä ja energiaa, tuottaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä ja saada kiinteistönomistajalle säästöjä elinkaaren aikana. Luokituksella on lisäksi tarkoitus parantaa työympäristön hyvinvointia ja lisätä arvostusta rakennusta kohtaan. [15.]

3.2 Kaavoituslaki ja rakentamislaki 2024

Suomen hallitus on päättänyt, maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) sekä -asetuksen (895/1999) uusitaan kokonaisuudessaan. Hallituksen esitys uudesta laista on tarkoitus viedä eduskunnan käsittelyyn syksyllä 2022, lain on tarkoitus astua voimaan vuoden 2024 alusta. Uusi rakentamislaki ja kaavoituslaki ovat uudessa valmistelussa eriytetty toisistaan. Rakentamislaki määrittelee vähähiilisyyttä sekä ympäristövaikutuksia. [16.]

Uudessa rakentamislaisissa on tarkoitus edistää rakentamisen digitalisaatiota ja tuoda ilmastonmuutoksen torjunnan ja ehkäisemisen osaksi rakentamista. Tarkoituksena on leikata rakentamisen kasvihuonekaasupäästöjä ja vähentää raaka-aineiden menekkiä rakentamisessa. Tarkoituksena on myös parantaa rakentamisen laatua eikä toimenpiteillä pyritä sitä heikentämään. Lisäksi rakentamisen elinkaariajattelu otetaan lainsäädännössä huomioon. [16.]

Keskeisiä muutoksia lainsäädännön uusinnassa on se, että rakentamisesta annetaan jatkossa tekniset vaatimukset vähähiilisydestä ja elinkaarivaatimuksista. Rakentamislakiin lisätään myös asetuksenantovaltuudet, jonka tuloksena rakennuksen ilmastaselvityksen, materiaaliselosteen ja hiilijalanjäljen asetus annetaan tiekartan mukaisessa aikataulussa vuoteen 2025 mennessä. [16.]

Rakentamista on tarkoitus myöskin helpottaa ja edistää. Lupamuotoja hakemukselle on enää yksi, samalla harkittaisi digitaalisesti haettavaa lupaa. Tämä tarkoittaa siis, sitä että rakennuslupa haettaisi tietomallimuotoisella suunnitelmalla. [16.]

3.3 EN standardit ja direktiivit

Eurooppalainen standardi EN-15978 on elinkaariarvioinnin laskentatyökalu. Tämä laskentatapa on eurooppalaisittain vakioitunut LCA-laskennan laskentatapa, johon myös Ympäristöministeriön laatima vähähiilisuuden arviointimenetelmä pohjautuu. [1, s. 2.]

Euroopassa on lisäksi säädetty energiatehokkuusdirektiivi EPDB, jonka tarkoituksena on ohjata kansallista strategiaa rakennuksen ja koko rakennuskannan energiatehokkuuden parantamiseksi [17, s. 16].

3.4 Rakennuksen ilmastaselvitys

Ympäristöministeriö on tehnyt päätöksen rakennuksen ilmastaselvityksen laatimisesta säädettäväksi uuden rakentamislain 196 §:n 4 momentin, 213 §:n 2 momentin ja 272 §:n 3 momentin nojalla. Asetukseen kuuluu vähähiilisuuden arvioinnin, hiilijalanjäljen, hiilikädenjäljen ja ilmastaselvityksen asetukset. Asetus on tällä hetkellä luonnosvaiheessa. [17, s. 1.]

3.4.1 Vähähiilisuuden arviointi

Asetuksessa määritellään vähähiilisuuden arvioinnista seuraavia asioita. Pääsuunnittelijan, rakennesuunnittelijan ja erityissuunnittelijan on vastuualueisiin kuuluvien tehtävien mukaisesti arvioitava ilmastaselvitykseen sisältyvä hiilijalanjälki, hiilikädenjälki käyttäen asetuksessa määriteltyä laskentatapaa sekä laajuutta. Hiilijalanjälki ja -kädenjälki tulee arvioida uuden rakennuksen koko elinkaaren ajalta. Peruskorjattavassa rakennuksessa arviointi suoritetaan sen toimenpidealueella korjauksen ja sen jälkeisen rakennuksen elinkaaren ajalle. [17, s. 1.]

Arvioinnin kohteena ovat rakennus ja sen rakennuksen rakennuspaikka materiaaliselosteesta annetun erikseen annettavan asetuksen määritellyn laajuuden mukaan. Arviointi tulee sisältää rakenteiden maanpäälliset osat sekä taloteknisten järjestelmien osat. Rakennuspaikan osalta arviointiin huomioidaan sellaisia rakennuksen osia, jotka sijaitsevat maan alla. Arvioinnista on tietoisesti jätetty pois esimerkiksi rakennuspaikan kasvillisuus ja raivaus, maaperän puhdistustyöt, purettavat rakennukset rakennuspaikalla sekä väliaikaiset telineet ja suojaukset. [17, s. 2.]

Arviointijakso tehdään uuden ja laajamittaisesti korjattavan rakennuksen osille 50 vuodeksi. Rakentamiseen ja purkamiseen kohdistuva aika ei sisälly laskennallisesti arviointijakson pituuteen. Arvioinnissa tulee käyttää kansalliseen päästötietokannan perustuvaa hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen tietoja tai yleisesti hyväksytyä yhtenäistä menetelmää ympäristöominaisuustietojen määrittelyihin. [17, s. 2.]

3.4.2 Hiilijalanjälki 6 §

Eri suunnittelijoiden on vastuualueidensa mukaisesti arvioitava rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki. Eloperäinen sekä fossiilinen kasvihuonekaasupäästö (kgCO_{2e}) sekä näiden poistumat ovat laskettava ennen rakennuksen käyttöä, käytön aikana ja sen jälkeen kaavan 1 avulla.

(kaava 1).

$$C_{\text{jalanjälki}} = GWP_{\text{valmistus}} + GWP_{\text{vaihdot}} + GWP_{\text{jätteenkäsittely}} + GWP_{\text{loppusijoitus}} + GWP_{\text{kuljetukset}} + GWP_{\text{työmaa}} + GWP_{\text{käyttöenergia}}$$

jossa,

$GWP_{\text{valmistus}}$ = rakennustuotteiden raaka-aineiden hankinnasta (A1), niiden kuljetuksesta (A2) ja valmistuksesta (A3) aiheutuva kasvihuonepäästö

GWP_{vaihdot} = rakennustuotteiden vaihdosta aiheutuva päästö (B4)

$GWP_{\text{jätteenkäsittely}}$ =	rakennustyömaalla (A5), rakennustuotteita vaihdettaessa (B4) ja purkutyömaalla (C3) syntyvän purkujätteen käsittelystä aiheutuva kasvihuonepäästö
$GWP_{\text{loppusijoitus}}$ =	purkujätteen loppusijoituksesta aiheutuva kasvihuonepäästö (A5), (B4) ja (C4)
$GWP_{\text{kuljetukset}}$ =	rakennustuotteiden kuljetuksesta aiheutuva kasvihuonepäästö valmistuksesta työmaalle (A4), (B4) sekä purkujätteen kuljetuksesta aiheutuva kasvihuonepäästö jätteenkäsittelyyn (A5), (B4) ja (C2).
$GWP_{\text{työmaa}}$ =	rakennustyömaalla (A5), rakennustuotteita vaihdettaessa (B4) ja purkutyömaalla (C1) kulutetusta energiasta aiheutuva kasvihuonepäästö
$GWP_{\text{käyttöenergia}}$ =	rakennuksen käytön aikana kulutettu energian kasvihuonepäästö (B6)

GWP on lyhenne termistä ”global warming potential”, jolla kuvataan tuotteesta tai palvelusta syntyvää kasvihuonekaasupäästöä. Tähän lisätään siis kaikki päästöt eikä pelkästään hiilidioksidipäästöt. Yksikkö GWP-arvolle on kgCO₂e. Tarkemmin kaavassa esitettyjen laskentaan liittyvien määritelmät sekä erilliset laskukaavat ovat kuvattu ympäristöministeriön asetuksessa ”rakennuksen ilmastaselvitys, luonnos”. [17, s. 1–6.]

3.4.3 Hiilikädenjälki 14 §

Eri suunnittelijoiden on vastuualueidensa mukaisesti arvioitava myös rakennuksen elinkaaren hiilikädenjälki. Hiilikädenjäljen arviointi pitää sisällään ainoastaan sellaiset vältetyt ja poistetut kasvihuonepäästöt, joita ei aiheutuisi ilman rakennushanketta. Nämä päästöt on laskettava kaavalla 2.

(kaava 2).

$$\begin{aligned}
 C_{\text{kädenjälki}} = & GWP_{\text{uudelleenkäyttö ja kierrätys}} + GWP_{\text{kierrätyspolttoaine}} \\
 & + GWP_{\text{polttolaitos}} + GWP_{\text{uuisutuva energia}} + GWP_{\text{hiilivarasto}} \\
 & + GWP_{\text{karbonatisoituminen}}
 \end{aligned}$$

jossa,

$GWP_{\text{uudelleenkäyttö ja kierr.}}$ =	rakennusosien ja -tuotteiden sekä materiaali-kierrätyksellä vältetty kasvihuonepäästö (D1)
$GWP_{\text{kierrätyspolttoaine}}$ =	materiaalin hyödyntämisellä vältetty kasvihuonepäästö (uusiutuva polttoaine) (D2)
$GWP_{\text{polttolaitos}}$ =	vältetty kasvihuonepäästö, kun materiaali on hyödynnetty polttolaitoksessa, jonka energiatehokkuuden hyötysuhde on yli 65 % (D3)
$GWP_{\text{uusiutuva energia}}$ =	rakennuksessa tai tontilla tuotettu ylimääräisellä energialla vältetty kasvihuonepäästö (D3)
$GWP_{\text{hiilivarasto}}$ =	eloperäisen tai teknisen hiilivaraston kautta vältetty kasvihuonepäästö (D4) esim. puuhun sitoutunut hiili
$GWP_{\text{karbonatisoituminen}}$ =	sementtipohjaisten materiaalien karbonatisoitumisella (sitoutuminen materiaaliin) vältetty kasvihuonepäästö (D5)

Termistön tarkempi selitys on kerrottu ympäristöministeriön asetuksessa ”rakennuksen ilmastaselvitys, luonnos” [17, s. 6–9].

3.4.4 Ilmastaselvitys 21 §

Kun suunnitellaan uutta rakennusta tai laajamittaista korjausta, tulee eri suunnittelijoiden vastuualueidensa mukaisesti laatia rakennuksen ilmastaselvitys rakentamislain 196 §:n soveltamisalan pykälän mukaisesti. Ilmastaselvitys tulee päivittää ennen rakennuksen käyttöönottoa, mikäli toteutuslupavaiheen ilmastaselvitykseen on tullut muutoksia. Rakennusvaiheen vastuuhenkilön (pääurakoitsija) tehtävänä on merkitä rakennustyöntarkastusasiakirjaan yhteenveto siitä, että rakennustyö vastaa ilmastaselvitystä. [17, s. 9.]

Ilmastaselvitykseen tulee sisällyttää asetuksessa määritellyt osa-alueet. Ilmastaselvityksessä tulee käydä ilmi vähintään taulukossa 3 olevat asiat. Taulukon 3. sisältö tulee osoittaa vapaamuotoisessa muodossa ilmastaselvityksen raportissa. Yleensä taulukkoa käytetään selventämään rakennuksen perustietoja.

Taulukko 3. Ilmastaselvityksen sisältö [17, s. 9–10]

1.	vähähiilisuuden arvioinnin tulokset
2.	rakennuksen tunnus
3.	rakennuksen käyttötarkoitusluokka tai -luokat
4.	uuden rakennuksen tai laajamittaisen peruskorjauksen toimenpidealueen lämmitetty huoneala (netto)
5.	rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus (E-luku)
6.	käytettyjen arviointijaksojen pituudet
7.	uudisrakennuksen kantavien rakenteiden pääasiallinen materiaali
8.	rakennuksen tavoitteellinen käyttöikä (esim. 100 vuotta)
9.	arvioinnissa käytetyt laskentaohjelmistot
10.	ilmastaselvityksen päiväys
11.	selvityksen laatijan nimi ja titteli

Asetuksessa määritellään, mille osa-alueille arvioinnin tulokset ilmoitetaan elinkaaren vaiheet jaoteltuna. Ympäristöministeriö on laatinut taulukon tuloksien esittämiseksi. Taulukkoa voidaan käyttää ilmastaselvityksen (raportti) tuloksien esittämisen selkeyttämiseksi ja malliksi. [17, s. 10–11.]

Kuvassa 6 on kuvattu esimerkki siitä, miten hiilijalanjälki ja hiilikädenjäljen laskennan tulokset tulee esittää. Esitettävä on eri rakentamisen vaiheiden hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen laskennalliset arvot. [17, s. 10–11.]

	Hiilijalanjälki	
	Rakennus	Rakennuspaikka
A. Ennen käyttöä	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/rp-m ² /a
B. Käytön aikana	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/rp-m ² /a
C. Käytön jälkeen	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/rp-m ² /a
Hiilijalanjäljen loppusumma A+B+C	kgCO₂e/m²/a	kgCO₂e/rp-m²/a
	kgCO₂e yhteensä	kgCO₂e yhteensä
<p>A tarkoittaa rakennustuotteiden valmistusvaihetta (A1-A3) sekä rakennuksen työmaavaihetta siihen liittyvine kuljetuksineen ja työmaan aputoimintoineen (A4-A5);</p> <p>B tarkoittaa rakennuksen käyttöä, johon sisältyvät käytön aikainen energian kulutus (B6), rakennustuotteiden vaihdot sekä niihin liittyvät kuljetukset ja työmaatoiminnot (B4);</p> <p>C tarkoittaa rakennuksen purkutyömaata (C1), purkumateriaalien kuljetusta (C2) jätteenkäsittelyyn (C3) tai loppusijoitukseen (C4).</p>		

	Hiilikädenjälki	
	Rakennus	Rakennuspaikka
D1. Uudelleenkäyttö ja materiaali kierrätys	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/rp-m ² /a
D2. Hyödyntäminen energiana	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/rp-m ² /a
D3. Ylimääräinen uusiutuva energia	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/rp-m ² /a
D4. Hiilivarastovaikutus	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/rp-m ² /a
D5. Karbonatisoituminen	kgCO ₂ e/m ² /a	kgCO ₂ e/rp-m ² /a
Hiilikädenjäljen loppusumma D1+D2+D3+D4+D5	kgCO₂e/m²/a	kgCO₂e/rp-m²/a
	kgCO₂e yhteensä	kgCO₂e yhteensä
<p>D tarkoittaa rakennuksen elinkaaren ulkopuolisia nettomääräisiin ilmastohyötyihin vaikuttavia tekijöitä;</p> <p>Rakennus sisältää tämän asetuksen 3 §:n mukaiset uuden tai laajamittaisesti korjattavan rakennuksen rakenteiden maanpäälliset osat sekä taloteknisten järjestelmien pääosat;</p> <p>Rakennuspaikka sisältää tämän asetuksen 3 §:n mukaiset sellaiset uuden tai laajamittaisesti korjattavan rakennuksen osat, jotka sijaitsevat maan alla sekä rakennuspaikalla olevat muut rakenteet;</p> <p>kgCO₂e tarkoittaa aiheutettuja, vältettyjä tai poistettuja kasvihuonekaasuja ilmoitettuna hiilidioksidiekvivalenttikiloina pyöristettynä symmetrisesti kahden desimaalin tarkkuuteen;</p>		
<p>m² lämmitettyjen kerrostasoalojen summaa kerrostasoja ympäröivien ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna;</p> <p>rp-m² rakennuspaikan kokonaispinta-alaa;</p> <p>a tarkoittaa 4 § mukaista arviointijakson pituutta vuosina.</p>		

Kuva 6. Ilmastaselvityksen tuloksien osoittaminen [17, s. 10–11]

Ilmastaselvityksessä voi olla elinkaaren hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen lisäksi muita ympäristö- tai sosiaalivaikutuksia. Etenkin sosiaaliset vaikutukset voivat olla merkittäviä kiinteistöissä tulevaisuuden kannalta. Erilliset vaikutukset tulee kuitenkin raportoida erikseen. [1, s. 36.]

Ilmastaselvityksessä arvioinnin luotettavuus tulee arvioida. Ilmastaselvityksen tuloksien luotettavuus todennetaan, mikäli seuraavat ehdot täyttyvät:

1. Arvioinnin kohde on rakennusmääräysten mukainen.
2. Vähähiilisuuden arviointi on tehty ympäristöministeriön asetuksen mukaan.
3. Lähtötietoina on käytetty kansallista päästötietokantaa tai ympäristöselosteita, jotka perustuvat EN 15804+A2 standardiin.

Päästötiedot katsotaan riittävän laadukkaiksi, jos ne ovat peräisin rakennustuotteen ympäristöselosteesta tai kansallisesta päästötietokannasta. Arvioinnin rakennuksen määrätiedot ovat riittävät, jos ne sisältävät kuvan 10 (s. 24) mukaisen laajuuden. [17, s. 36–37.]

4 RAKENNUKSEN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIOINTIMENETELMÄ

Suomen ympäristöministeriö on laatinut uusimman luonnoksen rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmästä lausuntokierrokselle vuonna 2021. Tutkimuksessa käytetään arviointimenetelmän vuoden 2019 mukaista laskentatapaa, mutta uusin lausuntokierroksella ollut arviointimenetelmä on otettu teoriaosuuden tarkasteluun sen yksityiskohtaisuuksien vuoksi. [1, s. 5.] Menetelmien erot kuvataan erillisessä kappaleessa kohdassa 4.1.

4.1 Vähähiilisuuden arviointimenetelmien 2019 ja 2021 keskeiset erot

Keskeisimpiä eroja 2019 laadittuun ensimmäiseen laskentatavan versioon on se, että arviointijakso on kaikkien rakennusten osalta vakioitu 50 vuoden pituiseksi. Tässä on lisäksi tarkennettu väliaikaisiksi tai siirrettäväksi tarkoitettujen rakennusten arviointia. Tarkennuksia on tullut mm. eloperäistä hiiltä sisältävien tuotteiden hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen arviointiin. Kansallista päästötietokantaa on laajennettu rakennusosien, taulukkoarvojen ja energiamuotojen päästökiertoimen osalta. Merkittäviä muita muutoksia, jotka vaikuttaisivat laskennan tuloksiin ei ole tullut, joten tulokset ovat vertailukelpoisia tutkittavan rakennustyyppin osalta. [1, s. 5.]

4.2 Vähähiilisuuden arviointimenetelmän tausta

Suomessa on linjattu tavoitteet hiilineutraaliuden osalta vuoteen 2035 mennessä. Tavoitteeseen pääseminen edellyttää merkittäviä päästövähennyksiä rakennusten ja rakentamisen osalta, sillä ne ovat Suomessa merkittävässä

osassa vallitsevien ulkoilmaolosuhteiden ja muiden ominaisuuksien myötä. [1, s. 6–7.]

Vähähiilinen rakennus on sellainen, jonka hiilijalanjälki on pieni ja hiilikädenjälki on suuri. Vähähiilisen rakentamisen ohjeistuksella pyritään ohjamaan rakentamisen kokonaispäästöjen vähentämistä. Rakennettu ympäristö ja rakentaminen ovat merkittävä materiaalien, resurssien ja energiankuluttajia. Arviointimenetelmä ei ole lakisääteistä, mutta ympäristöministeriön tiekartan mukaan ohjaus on tulossa osaksi rakennusmääräyksiä vuoteen 2025 mennessä. [17, s.7–8.]

Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä voidaan tehdä kaikille rakennuksille ja sitä voidaan soveltaa moniin eri rakennusmuotoihin sekä uudis- ja korjausrakentamiseen. Koko rakennus, tontti sekä keskeiset osat taloteknisistä järjestelmistä huomioidaan arviointimenetelmässä. [1, s. 8–9.]

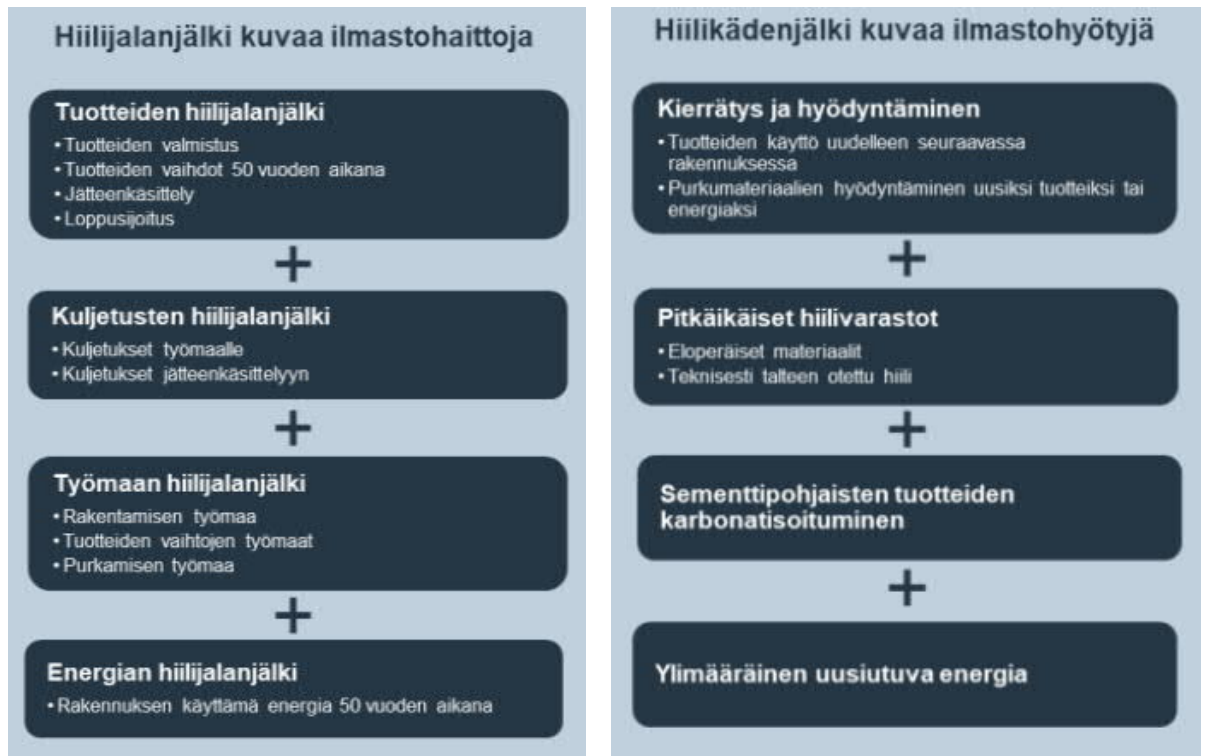
Vähähiilisyden arviointi on tarkoitettu kattamaan koko rakennuksen elinkaari. Rakennuksen elinkaari lyhykäisyydessään on kuvattu kuvassa 7.



Kuva 7. Rakennuksen elinkaari [1, s.10]

Vähähiilisyteen liittyy myös termistöt hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. Näiden osa-alueiden pohjalta ympäristöministeriö on laatinut seuraavanlaiset ohjeet ilmastohaittojen ja -hyötyjen kuvaamiseen rakentamisessa. Keskeisimpänä näissä osa-alueissa ovat elinkaareen pohjautuvat päästöt ja vähenemät. [1, s. 8–10.]

Kuvassa 8. on kuvattu ilmastohaittojen ja ilmastohyötyjen eroja toisiinsa.



Kuva 8. Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki rakennuksessa [1, s.10]

Vähähiilisyiden arvioinnin tulokset ilmoitetaan erikseen rakennukselle ja rakennuspaikalle. Tuloksien esitystapa on kuvattu ympäristöministeriön asetuksessa. [17, s. 10.]



Kuva 9. arvioinnin tuloksien rajaus [1, s. 10]

4.3 Vähähiilisyiden arviointiin sisältyvät osat ja osa-alueet

Arviointiin sisällytetään vuoden 2021 laskentatavan mukaan osa-alueet, jotka ovat kuvattu kuvassa 10. Arviointiin sisältyy alueosat, rakennusosat, tilaosat ja talotekniikka. [17, s. 11.] Täydellinen luettelo rakennusosista on osana päästö-tietokantaa (www.CO2data.fi), josta voi tarkistaa arviointiin sisältyvät osat [18].

Taulukko 1. Arviointiin sisältyvät osat.
Numerot viittaavat Talon 2000 –luokitukseen. Tarkempi rajausta kansallisessa päästötietokannassa.

	Sisältyy arviointiin	Ei sisälly arviointiin
Alueosat	1.1.1 Maaosat 1.1.2 Tuennat 1.1.3 Päällysteet 1.1.5 Alueen rakenteet	- Raivaukset, kaivannot ja kanaalit (1.1.1.1 – 1.1.1.3) - Alueen varusteet (1.1.4) - Tuotteiden pakkaukset - Uuden rakennuksen tieltä purettavat rakenteet tai rakennukset - Kasvillisuus, maaperä ja vesistö
Rakennusosat	1.2.1 Perustukset 1.2.2 Alapohja 1.2.3 Runko 1.2.4 Julkisivut, ovet ja ikkunat 1.2.5 Ulkotasot ja parvekkeet 1.2.6 Kattorakenteet	- Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Savunpoistorakenteet - Tuotteiden pakkaukset
Tilaosat	1.3.1 Jako-osat (väliseinät, ovet, portaat) 1.3.2 Tilapinnat (lattiat, sisäkatot, seinät) pintakäsittelyineen 1.3.3 Tilavarusteet (kiintokalusteet, keittiölaitteet) 1.3.4.2 Hormit ja tulisijat 1.3.5 Tilaelementit (mm. kylpyhuonemuodulit)	- Listat ja kulmavahvikkeet - Kaiteet (1.3.1.4) - Tilaopasteet (1.3.3.5) - Tuotteisiin kuulumattomat erilliset naulat, ruuvit, liimat, tiivisteet, saumaukset ja muut kiinnikkeet - Tuotteiden pakkaukset
Talotekniikka	- Lämmitysjärjestelmän pääosat - Vesi- ja viemärijärjestelmän pääosat - Ilmastointijärjestelmän pääosat - Jäähdytysjärjestelmän pääosat - Sprinklerijärjestelmän pääosat - Sähköjärjestelmän pääosat - Hissit ja liukuportaat	- Tietotekniset järjestelmät - Taloautomaation järjestelmät - Varavirtajärjestelmät - Erilliset koneet ja laitteet - Tuotteiden pakkaukset
Arvioinnin tarkkuus	Voit jättää arvioinnin ulkopuolelle enintään yhden painoprosentin arviointiin sisältyvistä rakennusosista.	
Taulukkoarvojen käyttö	Voit käyttää kansallisessa päästötietokannassa olevia taulukkoarvoja helpottamaan rakennusosien arviointia.	

Kuva 10. vähähiilisyden arviointiin sisältyvät osat [1, s. 11]

Elinkaaren arvioinnin vaiheet ovat jaettu neljään kategoriaan A – D: A-kategoria on ennen rakennuksen käyttöä, B-kategoria on rakennuksen käytön aikana, C-kategoria on rakennuksen käytön jälkeen ja D-kategoria on muut rakentamisen vaikutukset, jotka arvioidaan osana hiilikädenjälkeä [1, s. 12–13]. Arviointikategorioiden toimet on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 4. Arvioitavat rakennuksen elinkaaren vaiheet [1, s. 12–13]

Vaihe	Rajausta	Peruste
A1-A3 Tuotteiden valmistus	Arvioidaan	Rakennusmateriaalien ilmastovaikutukset ovat merkittäviä. Niiden määrä voidaan arvioida suunnitteluvaiheessa.
A4 Kuljetukset työmaalle	Arvioidaan	Kuljetukset arvioidaan osana elinkaaren hiilijalanjälkeä. Kuljetuksien vähentämisestä on hyötyä ympäristölle.

A5 Työmaatoiminnot	Arvioidaan	Työmaatoimintojen vähähiilisyysparannuksia tuodaan esille laskennassa.
B1 Tuotteiden käyttö	Ei arvioida	Ei juurikaan vaikutusta ja arviointi vaikeaa.
B2 Kunnossapito	Ei arvioida	Vaikutus on vähäinen.
B3 Korjaukset	Ei arvioida	Vaikea arvioida luotettavasti äkillisiä toimia.
B4 Rakennustuotteiden vaihdot	Arvioidaan	Tekniseen käyttöikään liittyvät tuotteiden vaihdot voidaan arvioida hyvin luotettavasti sillä ne noudattavat yleensä KH kortistoa.
B5 Laajamittaiset korjaukset	Ei arvioida uusissa rakennuksissa	Yleensä merkittäviä muutoksia, vaikutuksia kaikkiin järjestelmiin. Yleensä uusi arviointi (peruskorjaushanke).
B6 Energian käyttö	Arvioidaan	Keskeinen vähähiilisyysvaikuttava tekijä.
B7 Veden käyttö	Ei arvioida	Veden käyttö on vähäinen, arviointi on haastavaa.
B8 Käyttäjien toimet	Ei arvioida	On lähes mahdoton tehdä.
C1 Purkutyöt	Arvioidaan	Purettavien materiaalien määrä pohjautuu tarkasti suunnitelmiin.
C2 Kuljetukset kierrätykseen	Arvioidaan	Voidaan arvioida, tiedetään yleensä loppusijoituspaikka.
C3 Jätteenkäsittely	Arvioidaan	Jätteenkäsittelyprosessin päästöt on yleensä tiedossa.
C4 Loppusijoitus	Arvioidaan	Loppusijoitus materiaaleille voidaan selvittää.
D muut vaikutukset	Osana hiilijälkeä	Kiertotalouden ja muiden ilmatoratkaisujen hyötyjen arviointi tehdään EN- ja EN ISO standardien pohjalta.

Arviointijakson pituutena käytetään 50 vuotta, vaikkakin kiinteistö olisi pidempään käytössä. Tämä siksi, että epävarmuus elinkaaresta on epävarmaa kyseisen ajan jälkeen ja arviointi on vaikeaa. [1, s. 13.]

4.4 Arvioinnin sisältö ja määrälaskenta

Arvioinnin sisällössä noudatetaan taulukon 4 (s. 24–25) mukaisia elinkaaren vaiheita. Erittäin tärkeää laskennan mahdollistamiseksi on tarkistaa, että rakennuksen kaikkien osien suunnittelu on toteutettu riittävän tarkasti, jotta määrälaskenta rakennusmateriaalien ja tekniikkaosien osalta on mahdollista tehdä. Määrälaskennassa tehdään materiaaliluettelo rakennukselle, tontille ja keskeisiin talotekniikan järjestelmiin erikseen, sillä tämä helpottaa laskentaohjelmaan tietojen syöttämistä. Määrälaskennan ulkopuolelle jätetään kasvillisuus, luonnolliseen maaperään kohdistuvat muutokset sekä väliaikaiset rakennelmat. [17, s. 17.]

4.4.1 Hiilijalanjäljen laskenta

Hiilijalanjäljen laskennassa on otettava huomioon hankkeessa uudelleen käytettävät rakennusosat, tuotteet tai materiaalit. Näiden materiaalien osalta laskenta tulee jättää pois. Työmaalta ylijääneisiin tuotteisiin ei saa kohdistaa laskentaa, vaikka niitä ei olisi aiemmin käytetty. [17, s. 18.]

Tietomallipohjaista määrälaskentaa voidaan myös käyttää. Ympäristöministeriö on antanut ohjeita tietomallipohjaiselle laskennalle. Taulukon 5 seikkoja tietomallipohjaisessa laskennassa tulee olla laskennan mahdollistamiseksi. [17, s.18.]

Taulukko 5. Ohje tietomallipohjaiseen määrälaskentaan [17, s.18]

1.	Mallinna rakennus siten, että se sisältää kaikki tarvittavat osat
	a. Käytä johdonmukaisia materiaali- ja tuotetunnisteita
	b. Mallina kaikki arvioitavat osat tarpeeksi tarkasti. Älä mallinna onttoja elementtejä umpinaisina (esim. ristikoita, ontelolaattoja, kuiluja, kanavia tai putkia).

	c.	Voit käyttää varhaisessa suunnitteluvaiheessa talotekniikan järjestelmien mallintamiseen kansallisen päästötietokannan tietoja. (valmis taulukkoarvo)
2.		Tarkista malli soveltuvalla tarkastusohjelmalla, jotta havaitset mahdolliset virheet tai elementtien kaksoiskappaleet
3.		Muodosta tietomallissa luettelo rakennusosista sellaisessa muodossa, joka soveltuu käyttämäsi elinkaariarvioinnin ohjelmistoon
4.		Siirrä määräluettelo elinkaarilaskennan ohjelmistoon ja tee vähähiilisyysarviointi

Rakennustuotteiden ja tekniikkaosien vaihtojen osalta huomioidaan ensimmäisten 50 vuoden aikana vaihdettavaksi suunnitellut tuotteet (B4). Vaihdetta-
vaksi määriteltyjen rakennuksen osien osalta noudatetaan KH-kortiston järjes-
telmien teknisiä käyttöikiä. Rikkoutumisesta ja ilkivallasta aiheutuneet tuotteet
ja materiaalit jätetään laskennan ulkopuolelle. [17, s. 20.] Mukaan laskentaan
tulee ottaa myös jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen hiilijalanjäljen arviointi
(C3 ja C4). Arvoina käytetään yleensä vakioituja skenaarioita. [17, s. 22.]

Kuljetuksien osalta voidaan käyttää kansallisen päästötietokannan arvoja hiili-
jalanjäljen laskennassa. Taulukossa ovat keskimääräiset kuljetusetäisyydet ja
kuljetusmuotojen hiilijalanjäljet rakennusmateriaaleille. Kaikki rakentamiseen,
vaihtamiseen ja purkamiseen liittyvät kuljetukset tulee huomioida lasken-
nassa. [17, s. 23–24.]

Työmaan osalta hiilijalanjälki muodostuu rakentamiseen ja sen mahdollistami-
seen kulutetusta energiasta. Päästötietokannassa on taulukkoarvo eri raken-
nustöiden ja rakennustyyppien osalta. Laskennassa voidaan käyttää myös to-
dellista rakentamisen aikana mitattua dataa energiankulutuksesta. Arvioin-
nissa tulee huomioida myös vaihtojen ja purkamiseen kohdistuva energianku-
lutus. Uusiutuvan energian käyttö jätetään pois hiilijalanjäljen arvioinnista. Mi-
käli työmaalla tuotetaan ylimääräistä energiaa, voidaan se huomioida hiilikä-
denjäljessä. [17, s. 24.]

Energian osalta hiilijalanjälki lasketaan kertomalla rakennuksen laskennallinen ostoenergian kulutus eri energiamuodon päästökertoimella. Energiankulutuksen hiilijalanjälkeen ei voida sisällyttää sellaisia järjestelmiä, joita ei ole lueteltu energiatehokkuusasetuksessa. Päästötietokannan taulukkoarvoja voidaan käyttää laskennassa. Nämä arvot ovat vakioituja, ne ovat ilmoitettu erikseen eri energiamuodoille. Näiden päästövähennykset vuositasolla on Suomen energia- ja ilmastostrategian toimenpiteiden mukaisesti laskettu ja päästöjen vähennyksen oletus on mukana päästötietokannassa. Lisätietona voidaan ilmoittaa kaukolämmön ja -kylmän päästötiedot paikallisilla arvoilla, jos niitä on käytettävissä voimalaitoskohtaisesti. Tämä ilmoitetaan lisätietona laskennassa, eikä sillä voida korvata kansallisen päästötietokannan arvoa. [17, s. 27.]

4.4.2 Hiilikädenjäljen laskenta

Hiilikädenjälkeen luetaan rakennuksen materiaalien kierrätyksen tai uudelleenkäytön kautta vältetty kasvihuonepäästö sekä materiaalien hyödyntäminen kierrätyspolttoaineena. Lisäksi rakennuksella tai tontilla tuotettu uusiutuva energia ja sitoutunut eloperäinen hiili rakennusmateriaaleihin sekä sementtipohjaisiin tuotteisiin kohdistuva karbonatisoituminen ja ilmakehän hiilidioksidi lasketaan osana rakennuksen hiilikädenjälkeä. [17, s. 28.]

Uudelleenkäytettävien rakennusosien ja kierrätettävien materiaalien määrä tulee arvioida. Nettokasvihuonekaasupäästöt tulee laskea ulkopuolelle poistuvien, kierrätettävien tai energiana hyödynnettävien materiaalien osalta. Arvioinnissa voidaan huomioida vain ne osat ja tuotteet, jotka kuuluvat vähähiilisyiden arviointimenetelmän mukaiseen laajuuteen. [17, s. 28.]

Uusiutuvan energian käyttö arvioidaan vuosittain yksikössä (kWh/a). Tämän jälkeen kansallisen päästötietokannan päästökertoimella kertominen muuttaa tuloksen yksikköön hiilidioksidikilo (kgCO₂). [17, s. 29.]

Laskennassa voidaan huomioida yhteyttämisen kautta varastoitunut ilmakehän eloperäinen hiili (hiilidioksidi), joka sitoutuu puuhun tai muihin eloperäisiin

materiaaleihin. Kansallisessa päästötietokannassa on arvoja sitoutuneelle hiilille ja hiilidioksidille eloperäisten materiaalien osalta. [17, s. 29.]

Sementtipohjaisiin materiaaleihin sitoutuva ilmakehässä oleva hiilidioksidi voidaan laskea päästötietokannan tai rakennustuotteen ympäristöselosteen avulla. Laskenta voidaan tehdä vain niille sementtipohjaisille materiaaleille, jotka ovat ilmakehän kanssa kosketuksissa. Tuotannon sivuvirrat ja tuotantojätteet tulee jättää arvioinnin laskennan ulkopuolelle. [17, s. 30–31.]

4.5 Kansallinen päästötietokanta

Kansallisen päästötietokannan tehtävänä on toimia Suomessa käytössä olevien rakennustuotteiden, prosessien ja palveluiden keskimääräisistä kasvihuonekaasupäästöistä olevana työkaluna. Päästötietokanta yhdenmukaistaa rakennuksen elinkaaren aikaisten ilmastovaikutusten päästöt laskennan tueksi sekä vähähiilisen rakentamisen ohjaamiseksi. Päästötiedot tietokantaan on koottu eri luokkiin: tuotteet, palvelut ja prosessit sekä järjestelmät. Päästötietokannan ylläpidosta vastaa Suomen ympäristökeskus SYKE. [18.]

4.6 Käytettävissä olevat laskentaohjelmat

Rakennusten elinkaariarviointi ja -suunnittelu tarvitsee laskentaohjelman, jotta rakennuksesta aiheutuvia päästöjä voidaan mitata. Elinkaariarviomenetelmästä käytetään lyhennettä LCA (Life Cycle Assessment), missä tarkastellaan rakennuksen ympäristövaikutuksia koko elinkaaren aikana. Elinkaariarvio on kvantitatiivista arviointia. Se mahdollistaa erilaisten rakennusmateriaalien ja energiamuotojen vertailun jo ennen rakennuksen rakentamista. [2, s. 52.]

Hiilijalanjäljen ja ilmastonselvityksen mukaiseen laskemiseen on markkinoilla käytössä useita web-pohjaisia ohjelmistoja. Niistä yksi ympäristöministeriön hyväksymistä ohjelmista on One Click LCA. Ohjelmalla voidaan laskea ympäristöministeriön mukainen vähähiilisuuden arviointi mille tahansa kiinteistöille. Lisäksi ympäristöministeriön laajuus ja tietojen luotettavuuden tarkastus on sisällytetty ohjelmaan kansallisen päästötietokannan tietojen lisäksi. [19.]

5 ONE CLICK LCA -OHJELMISTO

One Click LCA on elinkaarilaskentaan ja -arviointiin kehitetty ohjelmisto. Ohjelmistolla voidaan laskea eri rakennusten elinkaaren ympäristövaikutuksia, päästöjä tai toteuttaa eri sertifikaatteja kiinteistöille. One Click LCA on selainpohjainen laskentapalvelu, joka on vahvistettu standardin EN15978 -mukaiseksi. [19.]

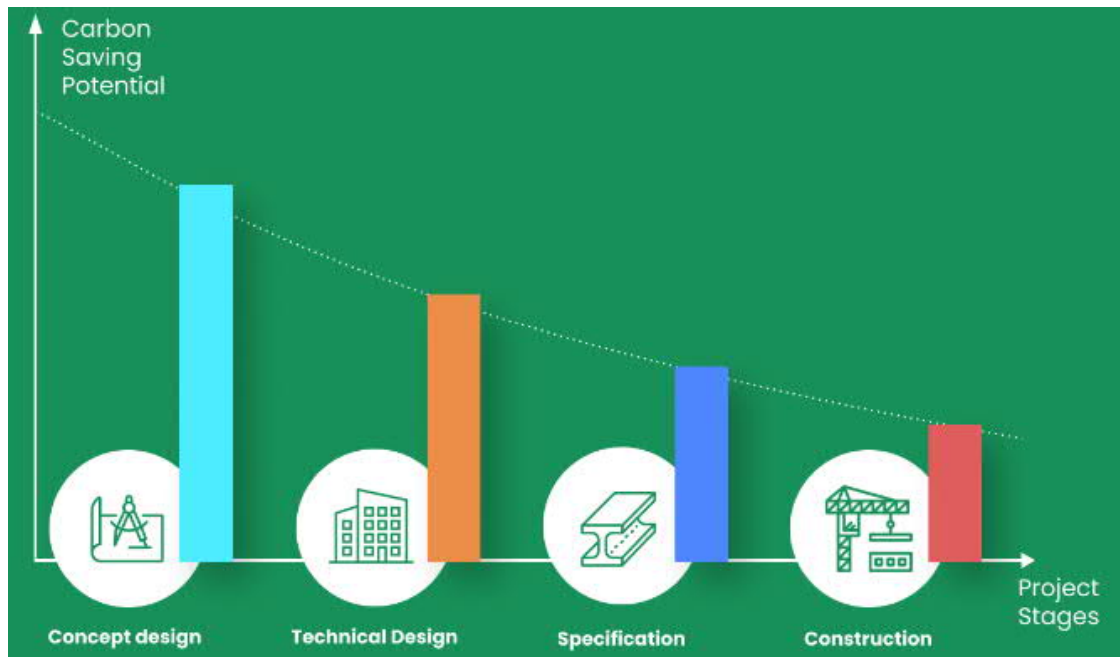
5.1 One Click LCA -elinkaariarviointiohjelmisto

One Click LCA:n materiaalitietokanta pohjautuu standardin EN-15804 mukaiseen ympäristöselosteiden päästötietoihin. One Click LCA materiaalitietokantaa päivitetään jatkuvasti, kolmas osapuoli hyväksyy ympäristöselosteiden mukaiset päästöt ennen ohjelmaan valikoituja päästötietoja. Ohjelmistossa valitaan laskentaan liittyvä arviointimenetelmä. Ohjelmistossa on mm. LEED- ja BREEAM-sertifikaatin mukaiset arviointimenetelmät. Suomen ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmien vuosien 2019 ja 2021 mukaiset laskentamenetelmät ovat tuotu ohjelmaan laskentapohjiksi. Ohjelmistossa on mm. modernit IFC-integraatiot, jolloin rakennushankkeen kaikkien materiaalien massat saadaan tuotua laskentaohjelmaan automaattisesti. Esimerkiksi revit-integraatio on saatavilla ohjelman lisäosana. IFC-pohjaiset käännökset ohjelmaan helpottavat huomattavasti päästölaskentaa. Ohjelmassa on lisäksi kiertotaloustyökalu, jolla voidaan seurata ja määrittää hankkeen materiaalikierroja. Lisäksi elinkaarikustannuslaskenta on otettu osaksi ohjelman lisäosia. Tällä lisäosalla voidaan saada lisätietoa LCA-laskentaan liittyvästä materiaalien kustannusrakenteesta. Näin voidaan optimoida kiinteistöä ekologisiin ja kustannustehokkaisiin ratkaisuihin jo hankesuunnittelussa. [19.]

5.2 Carbon designer -laskentatapa

Carbon designer -laskentatapa on tarkoitettu esiselvitysvaiheessa olevan hankkeen päästöjen arviointiin. Työkalulla voidaan arvioida ympäristövaikutukset hetkessä ja vertailla mm. eri energiamuotojen tai runkoratkaisujen vaikutuksia hiilijalanjälkeen. Esiselvitysvaiheessa olevalla hankkeella voidaan vaikuttaa eniten rakennuksen ympäristövaikutusten vähenemiseen. Laskentatyökalulla on tarkoitus luoda haluamansa suunta rakennuksen vähähiilisydelle

ennen teknistä suunnitteluvaihetta. Kuvassa 11 on kerrottu, miten eri rakennusvaiheissa voidaan vaikuttaa hiilipäästöjen säätöön. [19.]



Kuva 11. Hiilipäästöjen potentiaalinen säästö eri rakennusvaiheissa [19]

5.3 Ohjelman liitännäissovellukset ja laskentametodit

Ohjelmassa on mahdollista hyödyntää modernimpien suunnitteluohjelmistojen eri integraatioita laskennan helpottamiseksi. Esimerkiksi Revit, Solibri ja Trimble Connect -integraatioita hyödyntämällä voidaan laskea tarkat päästöt erittäin luotettavasti ja nopeasti. Ohjelmassa on myös kansainvälisen standardin ISO 16739 BIM-tuki eri IFC-muodoille, jolloin suoraan IFC-mallin lataamalla ohjelmaan voidaan saada massat luettua suoraan päästölaskentaan. Integraatiossa on erittäin tarkkaa, että malli on rakennettu alusta alkaen siten, että kaikkien rakennusten materiaalit on kerrottu selkeässä tietomuodossa IFC-tiedostoon, jolloin laskentaohjelma osaa laskea sen oikein. Mikäli tiedoissa on päällekkäisyyksiä tai puutteita, malleja ei pysty käyttämään, jonka jälkeen yleensä turvaudutaan Excel-luetteloiden mahdollisuuksiin. [19.]

5.4 Tulosten analysointimahdollisuudet

Tuloksia voidaan analysoida monella eri tasolla ja laskentatavasta riippuen osa-alueittain. Tarkoituksenmukaista ohjelmalla on vertailukelpoisten tuloksien

tuottaminen muihin laskentaprojekteihin liittyen mm. materiaalien elinkaari-päästöt verrattuna vastaaviin ohjelmalla laskettuihin kiinteistöihin tietyn kiinteistöluokan mukaan. Lisäksi kaikki vaikutuskategoriat, elinkaarenvaiheet ja elementit voidaan vertailla keskenään. Ohjelmasta on lisäksi saatavilla erilaisia taulukkoja, kuvia ja luetteloita tulosten analysoimiseksi. Tulokset ovat erittäin selkeitä, niitä voidaan käyttää suoraan esimerkiksi vähähiilisuuden arviointimenetelmän raportin laadinnassa. [19.]

6 AIEMMAT TUTKIMUKSET JA NIIDEN KESKEISET TULOKSET

Suomen ympäristöministeriö on valmistellut asetusta, sekä rakennuksen vähähiilisuuden arvioinnista, että rakennuksen vähähiilisuuden raja-arvoista. Ympäristöministeriö on teettänyt tutkimuksen aiheesta. Lisäksi Valle Raatikainen on laatinut diplomityön siitä, miten talotekniikkasuunnittelussa voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä rakentamisen aikana sekä kiinteistön käytön aikana.

6.1 Carbon footprint limits for common building types -tutkimus

Tässä tutkimuksessa käytettiin rakennusten laskennassa One Click LCA -ohjelmiston tietokantaa. Rakennusten otosmäärä laskennassa oli 482, jonka pohjalta laskenta ja eri osa-alueiden kasvihuonekaasupäästöjen arviointi tehtiin. Tutkimuksessa ajanjaksona käytettiin 60 vuoden laskentaa. Suurin osa tutkimuksen tutkimusaineistosta oli asuinrakennuksia (n. 65 % tutkimusaineistosta). Tutkimusaineisto koostui ainoastaan Suomeen rakennetuista rakennuksista. [20, s. 8.]

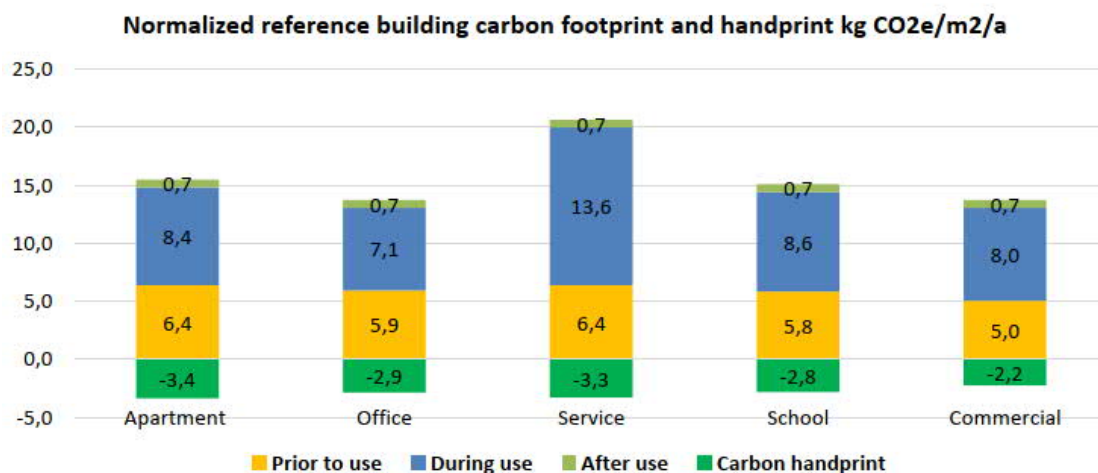
Rakennusten ostoenergiankulutus hiilijalanjäljen laskentaan tulee rakennusten energiatodistuksesta. Laskentatapa energiatodistuksille rakennuksissa on sama ja se on lainsäädännöllisesti säädettyä. Aineistoa kiinteistöjen energiatodistuksille kertyi 3 748 kappaletta. Energiatodistus lasketaan rakennustyyppittäin, joten tutkimuksessa otettiin tämäkin huomioon eri rakennustyyppien päästöjen osalta. [20, s. 11.]

Rakennustyömaiden päästötietoja saatiin 28 eri rakennustyömaasta. Otanta on hyvin pieni verrattuna siihen, kuinka paljon energiatodistuksia saatiin

vertailukohteiksi. Pääosa rakennustyömailta syntyvistä päästötiedoista oli peräisin asuinrakennusten työmailta (20 kpl). [20, s. 13.]

Tutkimuksen valituille kiinteistöille tehtiin hiilijalanjälkilaskenta käyttäen One Click LCA:n Carbon designer -ohjelmistoa. Laskennassa otettiin huomioon materiaalien tekninen käyttöikä, 50 vuoden laskentajakso, purkutilanne taulukkoarvolla sekä energiankulutus ennustetun kaukolämmön päästövähennemän mukaan. LCA-laskentaprofiilissa käytettiin Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) antamia lähtötietoja. Karbonatisaatiota ei huomioitu hiilikädenjäljen laskennassa, se huomioitiin kierrättäessä purun yhteydessä. [20, s. 16–18.]

Laskenta suoritettuna rakennustyypeittäin (asuinrakennus, toimistorakennus, palvelurakennus, koulurakennus ja kaupallinen rakennus) saatiin hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki rakennuksen pinta-alakohtaisesti [20, s. 17]. Kuvassa 12 on esitetty hiilijalanjäljen ja hiilikädenjäljen referenssiarvot eri kiinteistötyypeille.



Kuva 12. Normalisoitu referenssirakennuksen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki [20, s. 17]

Tuloksien luotettavuutta arviointiin erillisessä kappaleessa. Perusratkaisut on jätetty laskennasta pois, koska ne vaihtelevat todella paljon riippuen kohteesta, maaperästä ja muista ominaisuuksista. Asuinrakennuksien otanta oli niin suuri, että näiden osalta tuloksien vaihtelevuutta ja luotettavuutta arvioitiin eniten. Perusratkaisulla, jossa joudutaan käyttämään paljon materiaaleja, voi olla hiilijalanjälkeen vaikutusta jopa 20 %. Lisäksi maaperänvaihdolla ennen työmaata voi olla jopa kolmannes koko kiinteistön hiilijalanjäljen arvosta. [20, s. 22–23.]

Tutkimuksen laskentatapa ja tulokset pohjautuivat Suomen ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmän vuoden 2019 laskentatapaan. Tuloksissa tuotiin esille karbonatisoitumisen merkitys hiilikädenjäljen suuruudessa. Jopa 20 % hiilikädenjäljestä voi koostua karbonatisoitumisesta, minkä huomiointi lisää merkittävästi kädenjäljen osuutta. [6, s. 33.] Tuloksissa esiteltiin hiilijalanjäljen alustavat raja-arvot rakennustyypeittäin. Huomioitavaa on kuitenkin poisjätettyjen laskentaosien vaikutukset tulevaisuudessa ja laskennan tarkempi määrälaskenta osoittaa esitettyihin arvioihin tarkennuksia. Taulukossa 6 on kerrottu tutkimuksessa esitetyt raja-arvot hiilijalanjäljelle ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$) rakennustyypeittäin. [20, s. 35.]

Taulukko 6. Ehdotettu hiilijalanjäljen raja-arvo rakennustyypeittäin [20, s. 35]

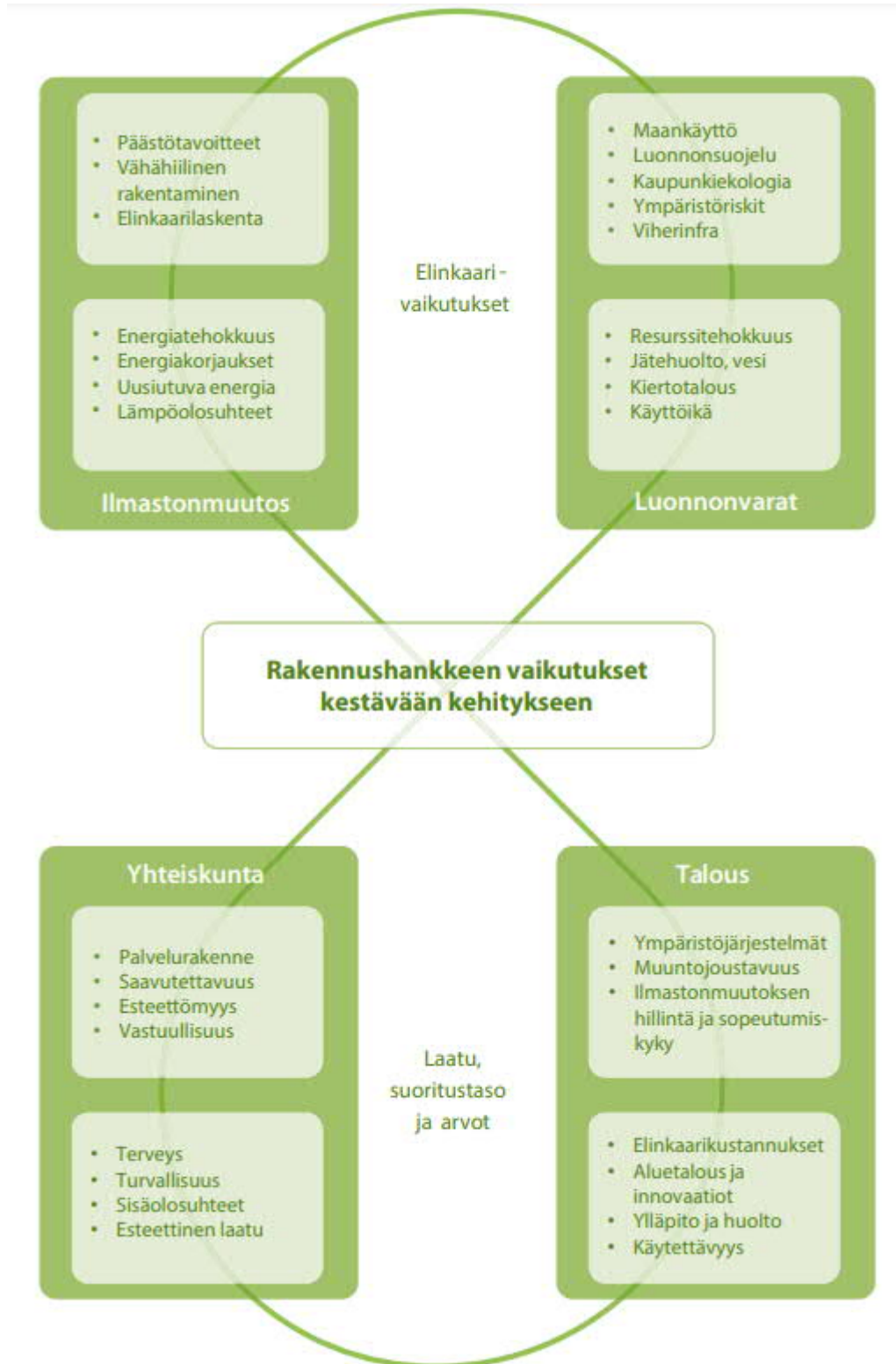
Results	Residential	Office	Service	School	Commercial
Reference carbon footprint (see 5)	14,0	12,3	19,2	13,6	12,3
Variance outside projects' control (see 10.3)	+8 %	+4 %	+3 %	+5 %	+2 %
Variance-adjusted reference carbon footprint	15,1	12,8	19,8	14,3	12,5
Proposed decarbonisation from variance-adjusted reference carbon footprint (see 10.2)	25 %	20 %	30 %	25 %	20 %
Variance-adj. carbon footprint less reduction	11,3	10,2	13,8	10,7	10,0
Proposed preliminary limit value	11,5	10,0	14,0	11,0	10,0

6.2 Asiakkaan päästöjen vähentäminen talotekniikkasuunnittelussa diplomityö Valle Raatikainen

Valle Raatikaisen [21] diplomityön tavoitteena oli selvittää ja verrata erilaisen taloteknisten toteutusratkaisujen ja materiaalien kasvihuonepäästöjä ja hiilijalanjälkeä. Tarkoituksena oli löytää sellaiset tekniset toteutusratkaisut, joilla voidaan vähentää mahdollisimman paljon kasvihuonepäästöjä. Työssä vertailtiin myös elinkaarikustannuksia energiankulutuksen osalta. Laskenta toteutettiin One Click LCA -ohjelmistolla. [21, s. 7.]

Edellisten vuosien aikana energiatehokkuuden parantuminen kiinteistöissä ja energian tuotannon päästöjen vähentymisen myötä energiankulutus ei ole enää yksin vähähiilisen rakennuksen päästöjen kanssa, vaan tämän lisäksi tarvitaan myös kestäviä rakenteellisia ja materiaalillisia ratkaisuja. Suunnitteluvaiheessa voidaan arvioida ja ohjata tehokkaasti vähähiilistä rakentamista ja tunnistaa kaikista kustannustehokkaimmat päästöjen vähennyspotentiaaliset ominaisuudet. Tehokasta kiinteistöä oli tarkasteltava monesta eri

näkökulmasta esim. elinkaari-vaikutusten, laadun, suoritustason ja muuntojoustavuuden kannalta energiatehokkuuden lisäksi. [21, s. 24.] Kestävän kehityksen tavoitteita ja lähtökohtia rakennushankkeille oli kuvattu kuvassa 13 [21, s. 25].



Kuva 13. Rakennushankkeen ympäristövaikutuksen näkökulmat [21, s. 25]

Raatikaisen [21] tutkimuksessa talotekniikalla oli erityisen suuri merkitys rakennuksen elinkaari- ja käyttökustannuksiin. Talotekniikkaan sisältyy lämmön- tuotanto- ja jakelujärjestelmät, käyttövesijärjestelmä, ilmanvaihtojärjestelmä, jäähdytysjärjestelmät sekä rakennusautomaatio sisältäen muut erillisjärjestelmät. Näiden järjestelmien tehokkuutta ohjasi rakennusautomaatio, jonka toiminnalla ja tarpeenmukaisilla ohjauksilla sekä logiikoilla oli suuri rooli järjestelmien toiminnallisuudessa. Keskeisiä käytönaikaisia alueita LVI-järjestelmissä olivat lämmön ja jäähdytyksen tuotantotapa ja energiatehokas ilmanvaihto. [21, s. 25–26.]

Diplomityön laskenta suoritettiin ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmän 2019 ja EN 15978 -standardin mukaisesti. Laskennassa käytettiin energiankäytön hiilijalanjäljessä 50 vuoden tarkastelujaksoa. Eri päästökertoimia käytettiin energiamuotoja vertailtaessa. Tiedot oli saatu ympäristöministeriöltä ja ne ovat taulukossa 7. Laskennassa käytettiin suunnittelijoilta saatuja tietomalleja määräluettelon tekemiseen taloteknisten järjestelmien osalta. [21, s.30–32.]

Taulukko 7. Energiamuotojen päästöjakaumat [21, s. 32]

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

Laskennan tuloksissa esitettiin hiilijalanjäljen laskenta-arvot energiantuottojärjestelmäkohtaisesti. Hiilijalanjälkeä laskiessa paras vertailuluku oli neliöperusteisesti laskettuna kg CO₂e/n-m²/a. Pienin hiilijalanjälki laskennassa oli maa- lämmöllä alle 15 kg CO₂e/n-m²/a, kun taas suurin oli kaukolämmöllä ja kyl- mässä melkein 20 kg CO₂e/n-m²/a. [21, s. 34.] Tutkimukseen otettiin vertai- luarvona myös taloteknisten järjestelmien sijoittuminen koko kiinteistön hiilija- lanjäljen suuruuteen. Se, millä energiajärjestelmällä kiinteistöön energia

tuotettiin, vaikutti kokonaishiilijalanjäljen suuruuteen. Maalämmöllä lämmitetyn kiinteistön energiankulutus oli heti runkorakenteiden ja sähköjärjestelmän jälkeen kolmanneksi suurin vaikuttava tekijä hiilijalanjälkeen. Kaukolämmöllä lämmitettäessä ja vedenjäähdyttimellä jäähdytettäessä suurin hiilijalanjälkivaikutus tuli nimenomaan talotekniikasta, eikä runkoratkaisu tai sähköjärjestelmä päässyt lähellekään sitä. Kaukolämmön osuus oli jopa 45 % suurempi vaikuttava tekijä kuin kiinteistön runkoratkaisu. [21, s. 37–41.]

Tutkimuksessa saatiin tuloksiksi energiakäytön kannalta hiilijalanjäljen vertailutaulukko järjestelmäkohtaisesti, jotka näkyvät taulukossa 8.

Taulukko 8. Energiakäytön hiilijalanjäljen vertailu [21, s. 61]

	Hiilijalanjälki, t CO₂e	Muutos, t CO₂e	Muutos, %
Kaukolämpö, vedenjäähdytin	1 521	lähtötaso	lähtötaso
Kaukolämpö ja -kylmä	1 502	- 19	- 1,3
Hybridi KL + ML	1 273	- 248	- 16,3
Maalämpö	1 143	- 378	- 24,8

Johtopäätöksinä voitiin todeta, että energiantuotantojärjestelmällä voidaan vähentää käytönaikaista hiilijalanjälkeä jopa 24,8 %. Käytönaikainen energiankulutus kokonaishiilijalanjäljestä oli 22,7–41,5 % välillä. Pienin hiilijalanjälki saavutettiin maalämmöllä tutkimukseen valikoitujen energiamuotojen perusteella. Suurin kasvihuonekaasupäästö talotekniikan materiaaleista aiheutui ilmanvaihtolaitteista ja järjestelmästä. Merkittävä osuus tästä oli metallin käyttö järjestelmissä. Kierrätettyjen metallien käyttäminen järjestelmissä pienensi merkittävästi hiilijalanjälkeä. Kuitenkin koko talotekniikan materiaalien osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä oli n. 10–15 %. [21, s. 66–67.]

7 TUTKITTAVA KOHDE SAVONLINNASSA

Tutkimukseen valikoitui työelämälähtöinen projekti, johon opinnäytetyön toimeksiantaja teki LVIA-suunnittelun. Projektissa tehtiin määräluettelot muiden

suunnittelijoiden toimesta laskennan mahdollistamiseksi. Projektin IFC-malleja testattiin Trimble Connect integraation avulla One Click LCA:han, mutta liian suuri prosenttiosuus materiaaleista ja massoista olisi pitänyt syöttää käsin ja korjata, joten päädyttiin Excel-luetteloiden tekemiseen virheiden välttämiseksi. Projektin hiilijalanjäljen ja kädenjäljen laskenta toteutettiin hankkeen toteutus-suunnitteluvaiheessa suunnitelmiin perustuvilla tiedoilla.

7.1 Teollisen puurakentamisen laboratorio Savonlinna

Hanke käsitti Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Teollisen puu- ja hybridirakentamisen ja teknisen testauksen laboratorion Savonlinnassa. Rakennuksen on tarkoitus toimia testaus-, tuotekehitys- ja tutkimuslaboratoriona. Laboratorion lisäksi kiinteistöä tullaan käyttämään Xamkin opiskelijoiden oppimisympäristönä. Rakennukseen on suunniteltu erilaisia materiaalien tutkimus- ja testauskoneita ja -tiloja.



Kuva 14. Teollisen puurakentamisen laboratorio

7.1.1 Hankkeen ominaisuudet ja toteutus

Rakennuksen runkoratkaisuna käytetään hybridirunkoa, joka koostuu puurakenteista, betonirakenteista ja teräsrakenteista. Julkisivussa ja testaushallin osalla kattorakenteissa on pyritty hyödyntämään mahdollisimman paljon puuta. Myös toimisto-osan kattorakenteissa puuta on käytetty mahdollisimman paljon. Koko rakennuksessa on tarkoitus käyttää mahdollisimman paljon puupohjaisia rakenneratkaisuja hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

Rakennuksen keskellä, korkeassa osassa on hallitilaa, joka on tarkoitettu testaustilaksi, johon sijoitetaan erilaisia testauskoneita ja -alueita. Oikeassa päädyssä (kaakossa) on tekniset tilat puun- ja betoninkäsittelylle. Lisäksi niiden päälle on sijoitettu ilmanvaihtokonehuone.

Vasemmassa päädyssä (ilmansuunta lounas) on aula- ja kahviotilat. Näiden lisäksi kahdessa kerroksessa on toimistotilaa sekä laboratoriotilat. Kuvassa 14 (s. 38) näkyvä lasi-ikkunaseinä on ilmansuunnassa etelään. Lisäksi vasemmassa päädyssä on toinen ilmanvaihtokonehuone, johon toimisto-osan ilmanvaihtolaitteisto on sijoitettu.

Rakennuksen lämmitysmuotona on kaukolämpö ja jäähdytysratkaisuna käytetty perinteistä vedenjäähdytintä perinteisellä R401A kylmäaineella. Rakennukseen on tehty energiaselvitys ja energiatodistus. Rakennuksen energialuokka on B ja laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku on $120 \text{ kWh}_e/(\text{m}^2\text{a})$. Laskennalliset ostoenergiakulutukset kiinteistössä ovat kaukolämmölle 214,1 MWh ja kiinteistösähkölle 95,2 MWh. Käyttäjien sähkөөn on energiaselvityksessä laskettu 362,6 MWh. Näihin ostoenergiakulutuksiin pohjautuen hiilijalanjälkilaskenta tehtiin.

Toimisto-osan ja halliosan ilmanvaihtokoneet ovat varustettu jäähdytyksellä. Lisäksi toimisto-osalla on käytetty S1 -sisäilmaluokan saavuttamiseksi jäähdytyspalkkeja. Ilmanvaihtona on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla pois lukien erillispoistot mm. vetokaapit. Ilmanvaihtokoneita on kohteessa 5kpl, joista kaksi on ns. palakoneita ja kolme on pystymallisia. Putkistomateriaalina on käytetty pääosin kuparia, viemärit ovat muovia. Lämmönjakotapana on lattialämmitys ja puhallinkonvektorit sekä patterit niihin soveltuvissa tiloissa. Rakennuksessa on myös paineilmaverkosto, jonka kompressorihuone sijaitsee oikeassa päädyssä. Rakennus on varustettu digitaalisella rakennusautomaatiojärjestelmällä.

Rakennuksen vähähiilisydenarviointi toteutettiin ennen hankkeen urakkalaskentaa. Suunnitelmat pyrittiin saamaan niin valmiiksi ennen urakkalaskentaa, ettei muutoksia urakkalaskennan aikana työpiirustuksiin enää tarvittaisi. Näin vähähiilisydenarviointia voitiin pitää luotettavana. Mikäli suunnitelmien

mukaiset toteutusratkaisut, tuotteet tai tilaratkaisut muuttuvat työmaan aikana, ei näitä muutoksia ole tuotu esille laskennassa. Laskenta pohjautuu 100 %:sti digitaaliseen suunnitelma-aineistoon ja IFC-malleihin.

8 TUTKIMUKSEN MENETELMÄT

Tutkimuksessa käytetään kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tutkitaan erilaista luokittelun, syy- ja seuraussuhteiden ja vertailuarvojen numeraalisia tuloksia. [22.] Kvantitatiivinen tutkimus pyrkii vastamaan keskeisiin kysymyksiin numeerisen tiedon pohjalta. Lisäksi tutkimuksessa otetaan kantaa eri tuloksien kokonaisprosenttiosuuksiin. Kvantitatiivinen tutkimus selvittää hyvin tarkasti vakioidun laskentatavan perusteella tilanteen, mutta harvemmin numeraalisten arvojen syyt saadaan täysin selville. [23, s. 8.]

8.1 Tutkimusprosessi ja menetelmät

Tutkimusprosessissa pyrittiin noudattamaan tilastollisen tutkimuksen oppaan kvantitatiivisen tutkimusprosessin vaihteita ja menetelmiä. Tutkimusprosessi, jota opinnäytetyössä hyödynnettiin, on kuvattu kuvassa 15. [23, s. 9.]



Kuva 15. Kvantitatiivinen tutkimusprosessi [23, s. 9]

Tutkimusongelma määriteltiin tarkasti aihealueen rajauksella ja tavoitteiden asettamisella. Aikaisempiin tutkimuksiin ja niiden keskeisiin tuloksiin perehdyttiin ja pyrittiin löytämään näiden keskeiset näkökulmat tukemaan tätä opinnäytetyötä. Muut prosessit menivät yhdessä tutkimussuunnitelman laatimisen kanssa vakioitua tutkimuksen prosessikaavion mukaista reittiä.

8.2 Hiilijalanjäljen- ja kädenjäljenlaskenta

Rakennuksen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki laskettiin syöttämällä ohjelmaan määrälaskennan mukaiset rakennustuotteiden sekä materiaalien ja energiankulutuksen tiedot. Kuljetusten ja työmaatoimintojen osalta käytettiin taulukkoarvoja. Taulukkoarvot ovat kuvattu taulukossa 9. Näiden lisäksi energian (kaukolämpö ja sähkö) päästökertoimina käytettiin Suomen ympäristökeskuksen ennustusta näiden energiamuotojen kehittymisestä. Taulukkoarvot mahdollistavat vertailun eri kiinteistöjen laskentatuloksien välillä. Purkutyömaan ja jätteenkäsittelyn osalta C-osiossa käytettiin taulukkoarvoja. Muutoin jalanjäljen laskennalliset arvot pohjautuvat suunnitelmiin ja määräluetteloihin. Laskenta tehtiin One Click LCA -ohjelmistolla Suomen ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmä vuoden 2019 laskentatavan mukaisesti.

9 LASKENNAN TULOKSET JA ANALYSOINTI

Laskennan tuloksia analysoitiin ilmastaselvityksessä vaaditulla tarkkuudella rakennuksen osalta. Rakennuspaikan hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki jätettiin laskennasta pois. Taulukossa 9 on kuvattu hiilijalanjäljen yhteenveto ennen rakennuksen käyttöä, käytön aikana ja käytön jälkeen.

Taulukko 9. Hiilijalanjäljen yhteenveto

Osatekijät	Hiilijalanjälki	
	Rakennuksen hiilijalanjälki kgCO ₂ e/hum ² /a	Rakennuspaikan hiilijalanjälki kgCO ₂ e/ rp-m ² /a
A. Ennen käyttöä	7,84	0
B. Käytön aikana	7,77	0
C. Käytön jälkeen	0,67	0

Hiilijalanjälki yhteensä A+B+C	16,29	0
--------------------------------	-------	---

Taulukko 10. Hiilijalanjälki ilmastaselvityksen mukaan

Osatekijät	Hiilijalanjälki	
	Rakennuksen hiilijalanjälki kgCO ₂ e/hum ² /a	Rakennuspaikan hiilijalanjälki kgCO ₂ e/ rp-m ² /a
A1-A3 Tuotteiden valmistus	6,74	0
A4 Kuljetus	0,2	0
A5 Työmaatoiminnot (taulukko)	0,55	0
B3 Korjausten energiankulutus	0,04	0
B4 Rakennusosien vaihto	2,26	0
B6 Energian käyttö	5,47	0
C1 Purkutyömaan toiminnot (taul.)	0,16	0
C2 Kuljetus jatkokäsitteilyyn (taul.)	0,2	0
C3 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus (taul.)	0,31	0
Hiilijalanjälki yhteensä A+B+C	16,29	0

Hiilikädenjäljen laskenta pohjautuu myöskin OneClick LCA -ohjelmistolla tehtävään laskentaan. Laskennassa on käytetty määrälaskennan materiaalien ympäristöselosteiden mukaisia arvoja massoineen, joiden perusteella laskennan tulokset ovat saatu. Tulokset ovat lueteltu taulukossa 11.

Taulukko 11. Hiilikädenjälki rakennukselle

Osatekijät	Hiilikädenjälki	
	Rakennuksen hiilikädenjälki kgCO ₂ e/hum ² /a	Rakennuspaikan hiilikädenjälki kgCO ₂ e/ rp-m ² /a
D1. Uudelleen- käyttö ja materiaali- kierrätys	-4,47	0
D2. Hyödyntäminen energiana	0	0
D3. Ylimääräinen uusiutuva energia	0	0
D4. Hiilivarastovai- kutus	-3,61	0
D5. Karbonatisoitu- minen	-0,26	0
Hiilikädenjälki yh- teensä D1+D2+D3+D4+D5	-8,34	0

9.1 Rakennuksen ilmastaselvitys

Rakennuksen ilmastaselvityksen tulokset ja niiden laajuudet tulee esittää tarkoituksen mukaisilla ja mahdollisimman hyödynnettävillä tavoilla.

Ympäristöministeriön luonnoksissa ei ole tarkkaan määritetty, miten tulokset tulee esittää ja missä muodossa niitä analysoidaan. Jokaisella palveluntuottajalla lienee omat ohjeet ilmastaselvityksen laadintaan ja sisältöön. Ympäristöministeriön ohjeistuksen valmistuttua voidaan olettaa sisällön ja laajuuden jollain tavalla vakiintuvan. Kappaleessa 3 on kuvattu ilmastaselvityksessä vähintään esitettävät asiat, mutta asiakkaan näkökulmasta tietojen esittäminen useassa muodossa rikastaa hankkeen päästöraportointia. Taulukossa 12 on esitetty eri elinkaaren vaiheiden ilmaston lämpenemisen vaikutukset prosentuaalisesti.

Taulukko 12. Ilmaston lämpeneminen kg CO₂e/m²/a, elinkaaren vaiheet

A1-A3 Tuotteiden valmistus	6,7	kg CO ₂ e/m ² /a	42.27 %
A4 Kuljetus työmaalle (taulukkoarvo)	0,2	kg CO ₂ e/m ² /a	1.28 %
A5-YM Uudisrakennustyömaan toiminnot (taulukko)	0,55	kg CO ₂ e/m ² /a	3.47 %
B3-4 Korjausten energiankulutus (taulukko)	0,04	kg CO ₂ e/m ² /a	0.27 %
B4 Rakennusosien vaihto	2,26	kg CO ₂ e/m ² /a	14.20 %
B6 Energiankäyttö	5,47	kg CO ₂ e/m ² /a	34.29 %
C Käytön jälkeen (C)	0,67	kg CO ₂ e/m ² /a	4.21 %

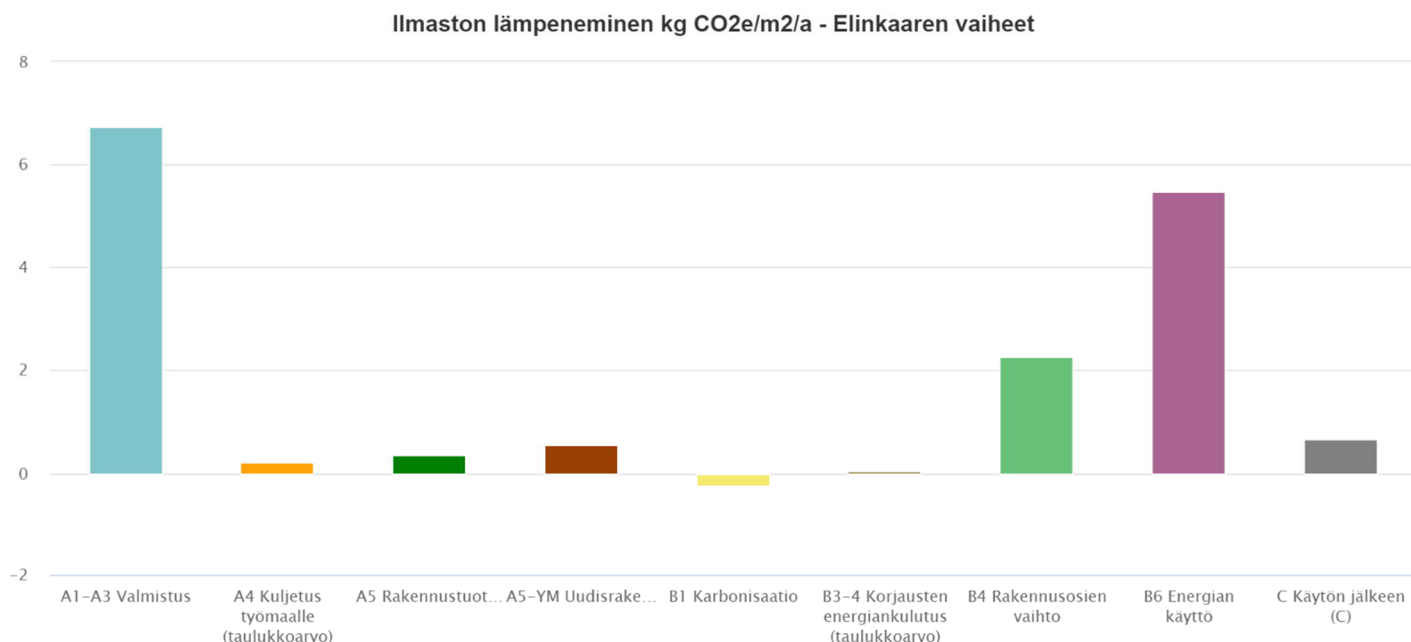
10 ILMASTOSELVITYKSEN ANALYSOINTI

Ilmastaselvityksen mukaisia tuloksia pyrittiin analysoimaan osa-alueittain, resurssityypeittäin ja massoittain. Kaikki resurssityypit, joita laskennassa käytettiin, on kuvattu yhdessä taulukossa. Analysointiin käytettiin lisäksi ohjelman sisäistä vertailua rakennushankkeiden materiaalien päästöluokituksesta vastaavista rakennuksista.

10.1 Ilmastaselvityksen tulokset

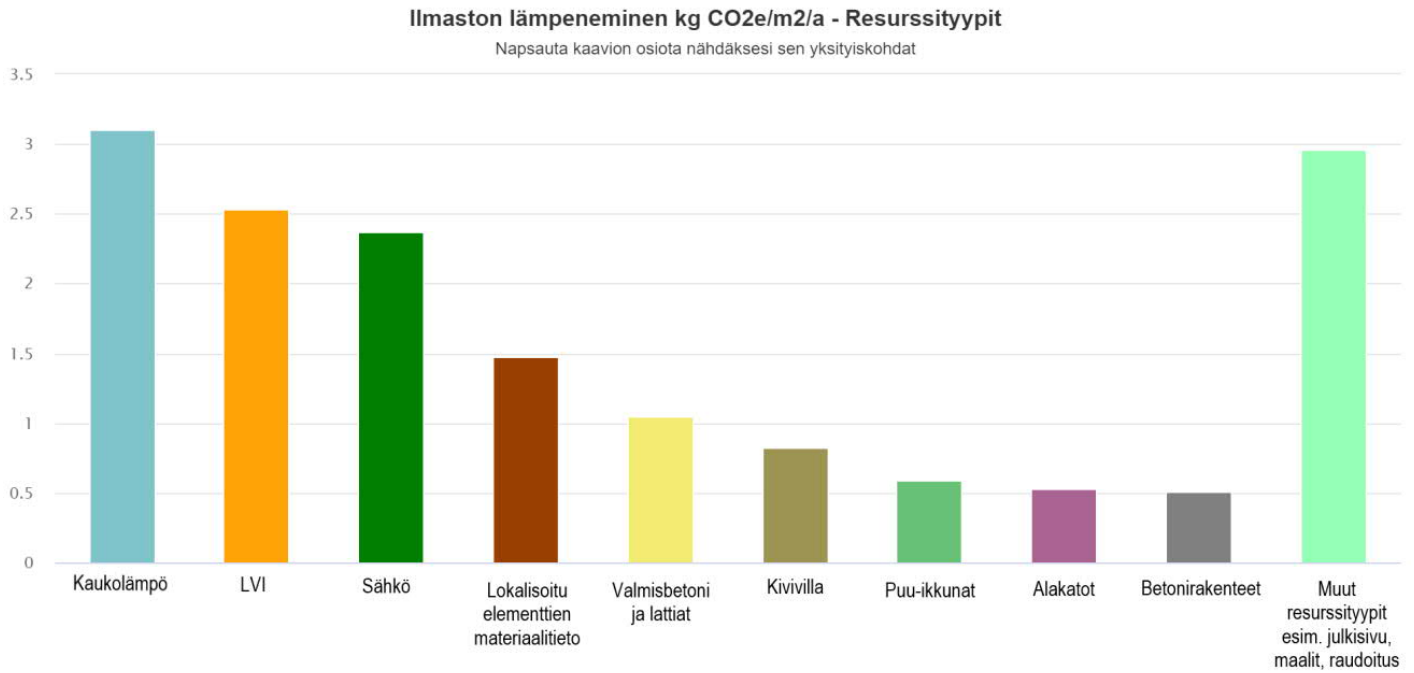
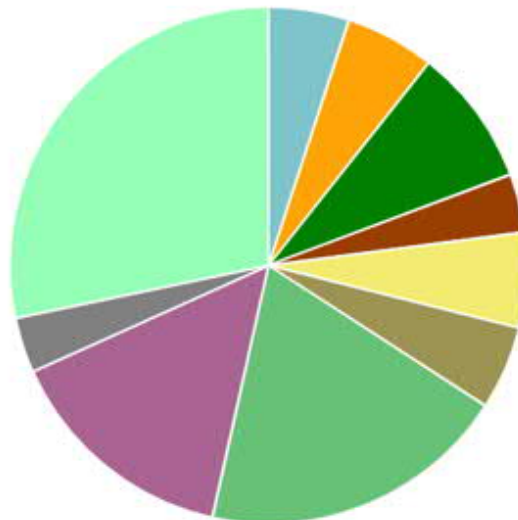
Rakennuksen ilmastaselvityksen tuloksien analysointiin on ohjelmassa monia taulukkomahdollisuuksia. Taulukoiden avulla on tarkoitus löytää helposti ymmärrettävissä ja esitettävissä olevia päästöraportoinnin keinoja. Taulukoiden tarkoitus on olla yksinkertaisia, jotta niiden ymmärtäminen ja vertailu ovat helppoa. Elinkaaren vaiheet on kuvattu eniten vaikuttavina pylväinä kuvassa 16.

Kuva 16. Ilmaston lämpeneminen, elinkaaren vaiheet



Kuvasta 16 voidaan havaita, että valmistus ja energian käyttö ovat suurimpia yksittäisiä vähähiilisyiden arviointimenetelmän osa-alueita päästövaikutuksissa. Tuloksia voidaan arvioida rakennuksen resurssityypeittäin. Resurssityyppeihin lukeutuu taulukko- ja pylväsmuodossa yksittäisiä eniten vaikuttavia osa-alueita esim. kaukolämpö, LVI-tekniikka ja sähkö. Resurssityypeittäin arviointi on kuitenkin haastavaa, sillä ohjelma ei pysty lajittelemaan kaikkia pitkäksi taulukoksi, jolloin muut resurssityypit taulukkoon menee iso liuta rakennuksen osa-alueita. Todellinen vertailu, etenkin betonin ja raudoitusten osalta, on hyvin vaikeaa. Kuitenkin rakenteellisia kokonaisuuksia voidaan arvioida paremmin kuvan 17 mukaan. Kuvasta voidaan havaita, että lämmityksen, LVI-järjestelmien ja sähkön osuus on yksi suurimmista ilmaston lämpenemiseen vaikuttavista kiinteistön resursseista. Kuvan 17 tuloksia hämää lokalisoituneisiin tietoihin perustuvat materiaalit, jotka ovat pylväässä neljä. Tähän sijoittuu muun muassa sokkelit, seinärakenteet, jotka ovat ohjelmaan syötetty valmiina muotteina. Oletin betonin olevan suurin rakenteellinen vaikuttava tekijä hiilijalanjälkeen, mutta vaikutus jäikin oletettua pienemmäksi. Betonin ilmastovaikutuksia voi vähentää myös se, että rakenteissa ja julkisivussa käytettiin paljon puuta betonin sijaan.

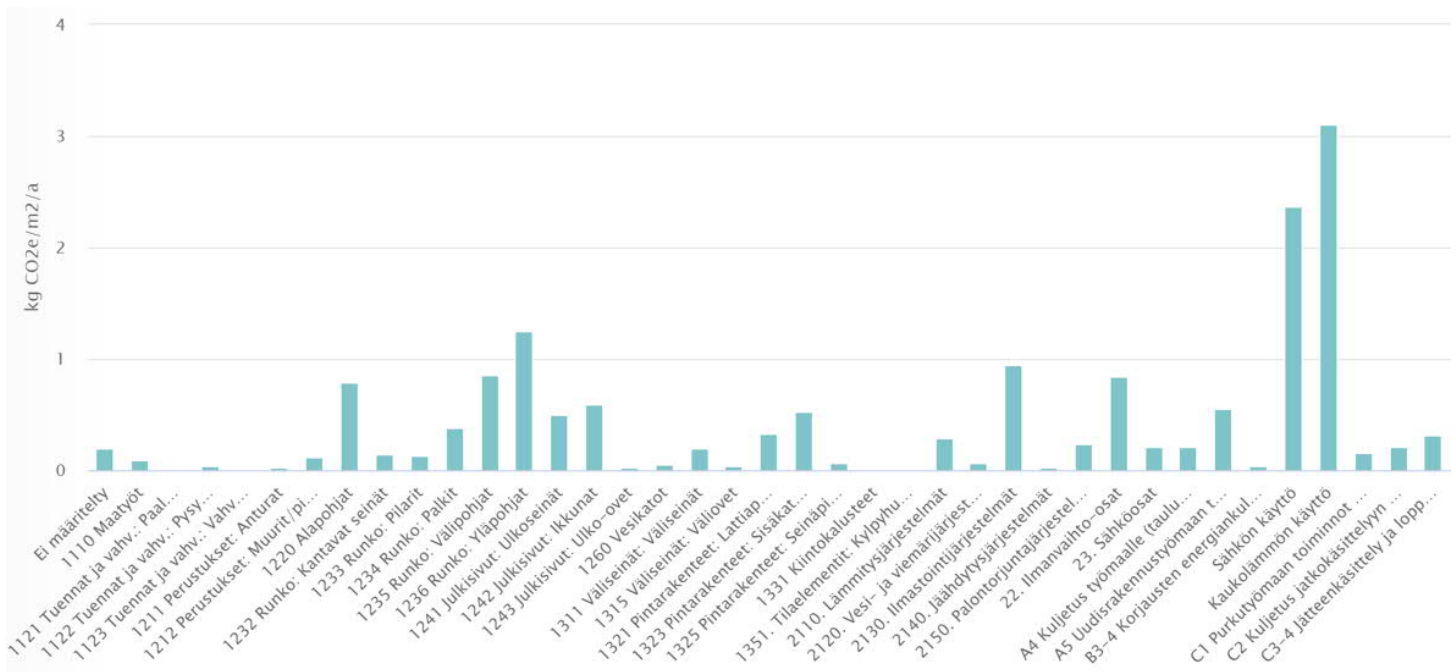
Kuva 17. Ilmaston lämpenemisen resurssityypit

Ilmaston lämpeneminen kg CO₂e/m²/a - Rakennuksen osat

Kuva 18. Ilmaston lämpeneminen, rakennuksen osat

Suurimmat vaikutukset ilmaston lämpenemiselle rakennuksen osista tulee luokittelemattomista resursseista. Kuvassa 18 on kuvattu eri rakennuksen osien ilmaston lämpenemisen vaikutukset. Kaikki materiaalit on kuitenkin luokiteltu ohjelmaan. Luokittelemattomissa resursseissa on muun muassa rakennuksen pintamateriaaleihin ja kalusteisiin liittyvät päästöt. Pintamateriaalien lisäksi tähän on laskettu myös perustuksiin liittyvät maa-ainekset, jolloin vaikutukset näkyvät suurimmin. Laskennan tarkentamiseksi tietomallipohjaista laskentaa hyödyntämällä saataisiin realistisempi tulos eri rakennuksien osille sekä resurssityypeille.

Kuva 19. Resurssityyppien päästöt

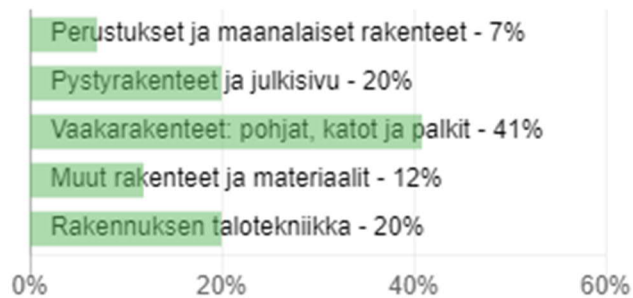
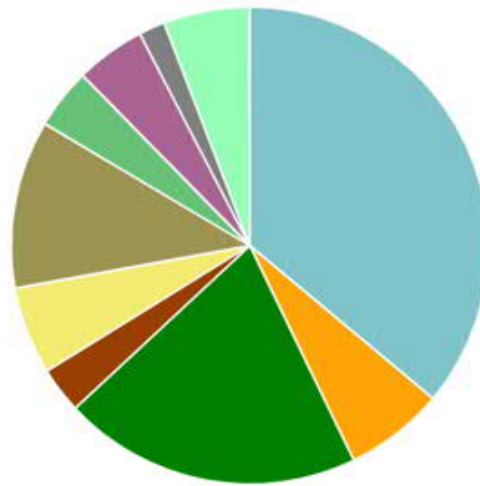


Kuvasta 19 voidaan havaita, missä resurssityypeissä on suurimmat yksittäiset vaikutukset päästöille. Näitä ovat kaukolämpö, sähkö ja LVI-tekniikka sekä runkorakenteisiin liittyvät materiaalipäästöt. Tämä kuva antaa paremman kokonaiskäsityksen myös rakennuksen eri osa-alueiden päästöistä. Kohteen rakenteellisissa ratkaisuissa on pyritty käyttämään mahdollisimman paljon puuta, sillä puun päästöt ovat hyvin pienet betoniin verrattuna. Runkorakenteiden osalta päästöjä on saatu vähennettyä puunkäytön lisäämisellä.

Kohteen massat materiaalien osalta ovat esitetty kuvassa 20. Kuten kuvasta voidaan havaita, suurin vaikutus perustustöihin ja rakennuksen ympäristöön

on rakentamiseen liittyvillä maatöillä. Seuraavaksi suurin massana oleva osa-alue ovat alapohjat. Laskentateknisistä syistä alapohjakategoriassa on mukana myös perustuksiin liittyviä massoja.

Massa kg - Rakennuksen osat




Kuva 20. Rakennuksen osien massa kg% ja %-osuudet

10.2 Tuloksien analysointi

Vertailu vastaaviin betonirunkoisiin opetuskäyttöön tuleviin rakennuksiin saadaan ohjelman tuloksista. Vertailemalla tuloksia ateriaalien osalta vastaaviin laskentatuloksiin saadaan rakennusluokittelu. Rakennus sijoittuu vertailu benchmark-tuloksissa luokkaan D (luokitus benchmark-tuloksille on A-G).

Benchmark-tulos on kuvattu kuvassa 21. Huomionarvoista tässä on se, että kohteessa on paljon tekniikkaa, jota ei vastaavissa oppilaitoskiinteistöissä ole. Rakennuksen toiminnan kannalta runko- ja perustusratkaisut on tehty tavanomaista kiinteistöä järeämpinä. Rakennuksen käyttötarkoitus on yli 50 % pinta-alastaan testaus- ja laboratoriokäytössä, joten benchmark -tulos ei tämän vuoksi sijoitu vertailussa parhaimpiin luokkiin.

Kehdosta hautaan (A1-A4, B4-B5, C1-C4)	kg CO ₂ e/m ²
(< 260) A	
(260-360) B	
(360-460) C	
(460-560) D	553
(560-660) E	
(660-760) F	
(> 760) G	



Kuva 21. Rakennusmateriaalien benchmark

Lisäksi tuloksien analysointiin laskettiin koko elinkaaren päästövaikutus CO₂e-määrittelyssä laajuudessa. Laskennalliselle elinkaaren ajalle (50 vuotta) rakennuksen päästöt ovat 1 937 Tonnia CO₂e. Lisäksi ohjelma antaa tulosten muodossa hiilen sosiaaliset kustannukset SCC-rakennuksen elinkaaren ajalle. Sosiaaliset kustannukset kohteelle ovat 96 831 €. Sosiaalisilla kustannuksilla tarkoitetaan arviota fossiilisten polttoaineiden ja materiaalien aiheuttavista terveys- ja ympäristökatastrofeista [24].

10.3 Tuloksien luotettavuus

Tutkimuksessa tehtiin myös tulosten luotettavuuden arviointi, jossa oli mukana kaikki arviointimenetelmän osa-alueet sillä tarkkuudella, mitä suunnitelmissa olevista määrälaskentatiedoista on ollut mahdollista hyödyntää.

LCA-checker sovelluksen yleisarvosana on A eli paras mahdollinen. Arvosana on tarkoitettu LCA-laskennan uskottavuuden arviointiin. LCA-checker toimintoa on kuvattu kuvassa 22. Laskennasta puuttuu suositeltuja osia, mm. väestönsuojat ja väliseinät. Nämä ovat otettu huomioon materiaaliikohtaisesti eri

osioissa. Esimerkiksi kaikkia sähköjärjestelmiä on lähes mahdoton arvioida suunnitelmissa olleilla tiedoilla, sillä rakennuksen sähkösuunnitelmista ei saatu tarkkaa määräluettelo.

▼ Kattavuuden ja luotettavuuden tarkistus

🚩 Löytyvät suositellut elementit ovat: [7 / 25].
Seuraavat rakennusosat vaaditaan, jos niitä on rakennuksessa ja niitä ei ole katettu taulukkoarvoilla.

Puuttuvat elementit:
[1130 Tontin päällysteet, 1150 Ulkopuoliset rakennukset tontilla, 1231 Runko: Väestönsuojat, 1250 Ulkotasot, 1312 Väliseinät: Lasiväliseinät, 1316 Väliseinät: Erityisovet, 1317 Väliseinät: Tilaportaat, 1340 Hormit ja tulisijat, 1353. Tilaelementit: Sauna, 1354. Tilaelementit: Talotekniikan, 1355. Tilaelementit: Hormi, 2511. Hissit, S1. Asennus- ja apujärj., S212. Sähkön tuotantojärj. ja -laitteistot, S220. Sähkön pääjakelu, S230. Sähköistys, S250. Valaistusjärjestelmät, S260. Sähkölämmitys]

👍 Kaikki tarvittavat ja suositellut rakennusosat löytyvät suunnitelmasta laajuudelle: YM:n menetelmän laajuus

👍 LCA Checker yleisarvosana: A. Arvosana perustuu antamiisi tietoihin..

LCA Checker yleisarvosana: A

LCA Checker tarkistaa toteutuneiden vaikutusten luotettavuuden. Nämä tulokset heijastavat 2378.0 m² kokoista uudisrakennus -tyypin projektia, jolla on runko-osa betonirunko, ja jonka laajuus on perustukset, runko ja ulkovaippa, pintamateriaalit, talotekniikka. Näiden parametrien muokkaamiseksi avaa LCA-parametrien kysely. Tulos on tarkoitettu uskottavuuden arviointiin; ja poikkeuksia voi esiintyä.

Kuva 22. Kannattavuuden ja luotettavuuden tarkistus One Click LCA:ssa

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tulokset ovat kokonaisuudessaan hyvin oletettuja kyseisten järjestelmien, rakenteiden ja koko rakennuksen ominaisuuksiin pohjautuen. Tuloksiksi saatiin laskentamenetelmän mukaisessa laajuudessa vaaditut arvot. Päätelmissä pyritään analysoimaan laskentaa, haasteita ja prosessin kulkua kokonaisvaltaisesti.

11.1 Ilmastaselvityksen tuloksien johtopäätelmä

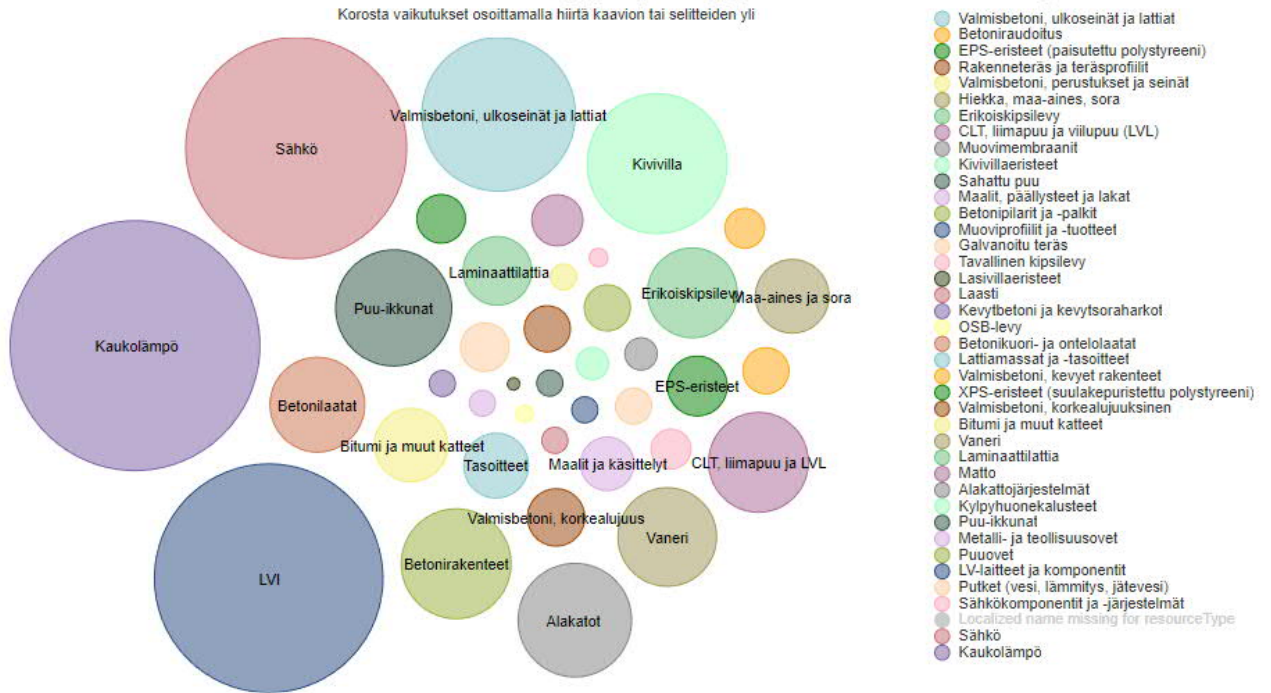
Tuloksista on havaittavissa itse laskentaan pohjautuvia päästöjen arvoja. Päästölaskennan tuloksena suurimpia vaikutuksia rakennuksen elinkaaren päästöihin ovat energia ja sen kulutus, betoniset rakenteelliset ratkaisut sekä talotekniikka. Lisäksi kohteessa tehtävillä maatöillä on erityisen suuri vaikutus päästöihin.

Energian päästöt kiinteistön osalta ajoittuvat sen koko laskennallisen elinkaaren ajalle (50 vuotta). Energiankulutukseen ja sen päästöjen pienenemiseen eri energiamuodoilla on tehty ennusteita kansallisten ja globaalien päästötavoitteiden pohjalta. Energiankulutus ja rakennuksen energiatehokkuus vaikuttavat erityisen suuresti päästöihin. Tässä on kiinteistöhuollolla sekä jatkuvalla ylläpidolla ja seuraamisella erityisen suuri vaikutus. Mikäli kiinteistöä ei käytetä tai huolleta oikein, voi energiankulutus nousta ja tällöin vaikuttaa suoraan

päästöihin. Tätä ei Suomen ympäristöministeriön vähähiilisyiden arviointimenetelmän mukainen laskentatapa ota huomioon, mikä on lisäksi lähes mahdollista. Mielestäni rakennusten energiankulutusta ja päästölaskennan seuranta tulisi niiden valmistumisen jälkeen vaatia laissa, jolloin todelliset päästöt energiankulutuksesta ja sen poikkeamista saadaan raportoitua kiinteistön käytön aikana. Tätä tehdään mm. KETS energiaseurannalla, mutta tässä ei ole otettu huomioon yksittäisten kiinteistöjen osalta päästötavoitteita energiankulutuksen osalta. KETS tarkoittaa kuntien energiatehokkuussopimusta, jolla kunnat sitoutuvat tiettyyn energiankulutuksen säästöön vuosina 2017–2025. Laskennan valmistuttua kiinteistön omistajaa pitäisi mielestäni velvoittaa seuraamaan kulutusta yhdistettynä päästöihin.

Kuplakaaviosta (kuva 23) on havaittavissa yksittäiset ja suurimmat elementit, jotka vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen. LVI-osuus sisältää siis kaiken talotekniikan putkistoineen ja laitteineen. LVI-laitteissa käytetään paljon metalleja. Tästä syystä sen materiaalipäästöt kasvavat suureksi. Olisikin erityisten tärkeää voida käyttää uusiutuvia materiaaleja LVI-järjestelmissä päästöjen pienentämiseksi. Lisäksi kaikkien betonien ja kivivillojen osuus on suuri. LVI-järjestelmien kokonaispäästöt materiaalien osalta ovat $2,55 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$. Betoni on lajiteltu laattoihin, rakenteisiin ja valmisbetoniosioihin. Näiden yhteisvaikutus ilmaston lämpenemiselle on $2,13 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$. Kaukolämmön vaikutus ilmaston lämpenemiselle on $3,1 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$ ja sähkön (sis. kulutus) $2,37 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$.

Kuplakaavio, elinkaaren kokonaisvaikutus resurssien tyyppin ja alatyypin mukaan, Ilmaston lämpeneminen



Kuva 23. Elinkaaren kokonaisvaikutus resurssityypin ja alatyypin mukaan

Ilmastovaikutus näistä osa-alueista on yhteensä 10,15 kgCO₂e/m²/a, joka vastaa 62,3 % koko rakennuksen elinkaaren päästöistä. Näiden neljän kategorian osuutta pienentämällä sekä niistä säästämällä ja käyttämällä kierrätettyjä materiaaleja voidaan saavuttaa erittäin suuria vähähiilisyystekoja.

Tuloksissa LVI-järjestelmien päästöt olivat kokonaiskuvassa hyvinkin yllättävät. LVI-järjestelmien päästöt aiheutuvat metallin ja muiden komponenttien valmistamisesta sekä kylmlaitteiden kylmäaineiden mahdollisista ilmastovaikutuksista. Erityistä huomiota on kiinnitettävä talotekniikkasuunnittelun tarpeenmukaisuuteen ja tekniikan osalta lisäämällä uusiutuvien materiaalien käyttöä. Rakenteellisesti materiaalien käyttöön ja kiertotalouden mahdollistamiseen on panostettu viime vuosina paljonkin, mutta tekniikka vaikuttaisi olevan erityisen suuri päästötekijä, johon eri laitevalmistajien, toimittajien ja suunnittelijoiden tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota energiankulutuksen lisäksi.

Tuloksia voidaan verrata jossain määrin aiempiin tutkimuksiin, mutta monissa näissä tutkimuksissa tulokset ovat keskittyneet enemmän yhteen rakentamisen osa-alueeseen, esimerkiksi talotekniikkaan. Ympäristöministeriön tilaaman tutkimuksen tarkoituksena oli löytää suuripiirteistä tietoa hiilijalanjäljen raja-arvoihin liittyen sekä tutkijoiden huomioihin liittyen eri rakenteiden ja järjestelmien kasviuonekaasupäästöjen vaikutuksiin. Tässä tutkimuksessa saattujen tulokset ovat lähes vastaavia muiden tutkimusten kanssa. Energian päästöjen osuus tosin oli odotettua suurempi, mitä voisi pitää merkittävänä huomioitavana asiana rakennuksen energiamuotojen ja energiatehokkuuden suunnittelussa.

11.2 Keinoja rakennuksen vähähiilisyyden parantamiseksi

Tutkimustuloksiin pohjautuen rakennuksen vähähiilisyyden parantamiseen on monia keinoja ja osa niistä on hyvinkin helppoja. Etenkin kiinteistön uusiutuville energiamuodoilla, esim. maalämmöllä ja päästöttömällä sähköllä, voidaan vaikuttaa hyvin helposti hiilijalanjäljen muodostumiseen. Suurimpien yksittäisten päästölähteiden vähentäminen onnistuu rakennuskannassa hyvin yksinkertaisesti esimerkiksi betonin korvaaminen kierrätetyllä kiviaineksella tai materiaalin korvaaminen puulla.

Ei kuitenkaan pidä unohtaa käytön aikaista kiinteistön ylläpitoa ja kiinteistön toiminnallisuuden varmistamista ja kehittämistä, sillä vähähiilisyys on aina rakennuksen elinkaaren ajalle laskettua ilmasto vaikutusta. Käytönaikainen päästöjen seuranta ja kehitys voisivat olla osa kiinteistön ylläpidollista johtamista reaaliaikaisesti. Lisäksi vähähiilinen rakennus voi saada aikaan hiilikädenjälkeä esim. myymällä aurinkosähköjärjestelmän tuottamaa ylijäämäenergiaa verkkoon. Tämänhetkisillä sähkön pörssihinnoilla suuret kiinteistön omistajat ovat saaneet tällä toiminnalla tuottoa aikaan. Kiinteistön hiilinielujen lisääminen on myös yksi keino lisätä hiilikädenjälkeä. Hiilinieluna toimivien materiaalien osuutta voidaan lisätä runko- ja julkisivuratkaisuissa sekä rakenneratkaisuissa. Lisäksi kiinteistön omistajilla tai sijoittajilla on mahdollista kompensoida kiinteistöjen päästöjä esim. omistamalla metsiä tms. hiilinieluksi luokiteltuja alueita, jotka vähentävät yrityksen tai kiinteistöomistajien kokonaispäästöjä. Tätä ei kuitenkaan käytetä osana vähähiilisyyden arviointimenetelmää,

sillä laskennalla pyritään saamaan vain kiinteistön elinkaaren päästövaikutukset selvitettyä.

Vähähiilisen rakennuksen toteutus ei välttämättä ole kalliimpaa kuin perinteisen kiinteistön toteuttaminen. Materiaalien täsmällinen käyttö, kiertotalouden huomioiminen sekä tarkka suunnitteluratkaisu hankesuunnitteluvaiheessa ja toteutusvaiheessa voivat säästää niin aikaa, kustannuksia kuin resursseja huonosti suunniteltuun kokonaisuuteen verrattuna. Etenkin hankesuunnittelussa tulisi luoda perusta asiantuntijatyölle tavoitteiden määrittelemiseksi ja vähähiilisyyden saavuttamiseksi, jolloin myöhemmässä vaiheessa koko suunnitteluorganisaatio ja urakoitsija voi, budjetin sallimissa rajoissa, tuottaa vähähiilisiä ratkaisuja.

11.3 Laskentaan liittyvät haasteet ja kehittämistarpeet

Laskennan aikana ja lähtötietojen kokoamiseen liittyi hyvin paljon epävarmuutta ja haasteita. Vähähiilisyyden arviointimenetelmän laskentatavan mukaiseen tarkkuuteen päästään, kun hankkeelle luodaan vaatimus laskennasta heti hankesuunnittelun aikana. Hankesuunnitteluvaiheessa tulisi määritellä päästölaskennan taso ja työkalu, miten se tehdään ja miten päästöt lasketaan. Erityisen tärkeää laskennan mahdollistamiseksi ovat määräluettelot tai tietomallipohjainen suunnitelma, joka integroidaan laskentaohjelmaan. Suunnitteluimeksiannon tarjouksessa tilaajan vaatimuksilla on suuri merkitys sille, voidaanko laskenta toteuttaa riittävässä laajuudessa.

Kohteessa, johon laskenta tässä työssä tehtiin, ei ollut määritelty päästölaskennan vaatimuksia. Tietomallien tietoja ei voitu integroida laskentaohjelmaan puutteellisten materiaalitietojen ja ominaisuuksien vuoksi. Laskennassa käytettiin toki tietomallipohjaista määräluetteloa materiaaleista ja tarvikkeista, mutta tämä ei takaa välttämättä konkreettista laskennan tarkkuutta. Laskenta tulisikin olla tarjouspyynnössä vaadittua ja yhteisesti sovittua kaikkien suunnittelijoiden kesken. Tällöin laskennasta tulisi selkeä kokonaisuus koko suunnitteluorganisaatiolle. Suunnittelijoiden tulisi järjestää vähähiilisyyden ja ilmasto-
päästöjen arvioinnin aloituskokous ja päättää ennen suunnittelun aloittamista, millaista yhteistyötä tämä koko suunnitteluryhmältä vaatii.

Laskentaohjelmaan liittyen päästötietojen ja ympäristöselosteiden lisäämistä eri materiaaleista ja materiaalikokonaisuuksista tulisi myös tarkastella. Tällä hetkellä ohjelmassa on sen verran materiaaleja ja eri kokonaisuuksia, että laskenta onnistuu, mutta eri laitevalmistajien ja materiaalitoimittajien tulisi ennen vähähiilisyysarviointimenetelmän laskentatavan määräysten mukaisuutta olla tietoisia omien tuotteidensa päästöistä. Tämä tieto tulisi löytyä ohjelmasta ja olla integroituna suunnitteluohjelmiin, jolloin laskennasta tulisi lähes automaattista, erittäin tehokasta ja tarkkaa. Tällöin kiinteistönomistaja pystyisi sanomaan todellisuudessa, mitkä ovat kiinteistön ympäristövaikutukset.

Laskennan haasteellisuus ja puutteelliset ohjeet ja tiedot tässä vaiheessa tuovat suuren kysymysmerkin sille, miten eri palveluntuottajat tulevat laskentaa tekemään ja millä tarkkuudella. Epäselvyyttä lisää tietojen laajuus ja tarkkuus ja tulosten vertailtavuus keskenään. Mielestäni määräystasolla tulisi määritellä tarkemmin tapa ja tekninen toteutus laskennalle. Lisäksi mielestäni pätevyysvaatimukset olisivat hyvä keino saada tarkkuutta ja luotettavuutta laskennalle, sillä tällä hetkellä tuloksia voidaan saada hyvinkin eri tarkkuuksilla ja tavoilla aikaan. Yhdeksi kysymysmerkiksi tutkimuksessa jäi eri toimijoiden, palveluntuottajien, kiinteistönomistajien ja urakoitsijoiden tietoisuus siitä, miten laskenta oikeasti toteutetaan ja mitä tietoja ja ominaisuuksia siihen tarvitaan. Aiheeseen liittyvä koulutus ja koko rakennusalan tietoisuuteen saattaminen ovat haaste, mutta pakollinen koko prosessin onnistumisen kannalta. Ehdotetut raja-arvot hiilijalanjäljelle ovat tällä hetkellä hyvin tiukat sekä kiinteistöjen luokitukset hyvin suppeat. Tutkimuksen kiinteistö ei oikeastaan sellaisenaan mene mihinkään ehdotettuun luokkaan ja ennen määräysten astumista voimaan tulisi tarkastella erilaisten kiinteistötyyppien kuten laboratorioiden, teollisuuslaitosten hiilijalanjälkiluokitukset omana kokonaisuutena. Vaarana tässä on se, että huoltorakennus kategoriaan tietyntyyppisten laboratorioiden ja teollisuuskiinteistöjen on mahdotonta päästä.

Haasteisiin laskennassa lukeutuu rakennuksen perustus. Etenkin pehmeillä maaperäalueilla rakentaminen paalujen avulla lisää merkittävästi hiilijalanjälkeä. Aikaisempien tutkimusten perusteella perustusratkaisu pehmeälle ja piilaantuneelle maaperälle voi lisätä epäedullisesti jopa 40 % hiilijalanjälkeä. Se,

miten perustukset otetaan huomioon ja miten niitä voidaan vertailla, täytyy miettiä. Kiinteistöille voitaisiin ehkä määritellä perustamisratkaisu kiinteistötyypin lisäksi, jotta vertailu olisi helpompaa ja tulokset realistisempia.

11.4 Laskennan vaikutukset ilmaston hyväksi

Laskennalla havaittiin paljon positiivisia vaikutuksia ilmaston hyväksi. Esimerkiksi hiilijalanjälki pääsi lähes ehdotettuun raja-arvoon. Ympäristöministeriön teettämässä tutkimuksessa [20] raja-arvoja hiilijalanjäljelle on vasta ehdotettu, eivätkä ne ole vielä virallisia laskennan raja-arvoja. Positiivista oli havaita, että hiilikädenjälki oli hyvin suuri johtuen suuresta määrästä puumateriaaleja. Tämä mahdollisti positiivisen ilmastovaikutuksen hiilinieluna. Lisäksi kiinteistön kokonaisvaltainen energiatehokkuus oli hiottu B-luokkaan, joka mahdollisti sen, että vuotuinen ostoenergiankulutus pysyy maltillisena. Tämä laskee koko elinkaaren aikana syntyviä kasvihuonepäästöjä.

Tutkimuksessa ei käytetty rakennuttajan/kiinteistöomistajan sähkösopimuksen tai paikallisen kaukolämpötoimittajan päästöarvoja, vaan Suomessa hyödynjamenetelmän mukaisia keskiarvoja. Mikäli kiinteistönomistaja hankkisi kiinteistöön vihreää sähköä tai CO₂-vapaa sähköä, saataisiin päästöt laskemaan n. 20 %.

Laskennalla on kokonaisuudessaan paljon hyviä ilmastovaikutuksia, sillä laskenta antaa kokonaiskuvan päästöjen muodostumisesta ja kiinteistön hiilinieluista. Jo hankesuunnitteluvaiheessa voitaisiin tehdä arvioitu laskelma erilaisten teknisten ominaisuuksien pohjalta ja päättää suunta, mihin suunnittelua viedään. Näkisin, että toteutussuunnittelun aikainen laskenta antaa realistisen tuloksen päästöistä, mutta suurimmat ilmastohyödyt saavutetaan hankesuunnitteluvaiheessa määriteltyjen raja-arvojen perusteella ja hankesuunnittelun päästölaskennalla.

11.5 Laskennan hyödyt Suomen tulevaisuuden rakentamiselle

Laskennan vakiintumisella ja kokonaisuudet huomioivalla päästölaskennalla ja kiertotalouden huomioimisella on merkittäviä ympäristövaikutuksia, sillä rakentamisen päästöt kokonaispäästöistä Suomessa ovat jopa 45 %. Laskennalla

voidaan todentaa päästöjen määrät ja tehdä ilmastovaikutusten arviointi sekä oikein ajoitetulla laskennalla voidaan päästä suuriinkin päästövähennyksiin ja tukea monien kiinteistöomistajien ja yritysten päästöpolitiikkaa ja päästötavoitteita kohti hiilineutraaliuutta.

Laskennalla todetaan päästöt ja raportoidaan ne hankkeeseen liittyvien ominaisuuksien osalta suunnittelu- ja toteutusvaiheissa. Kuitenkin käytönaikainen päästövaikutusten arviointi tulisi ottaa osaksi kiinteistöhuollon ja johtamisen toimintaa. Jatkuvalle päästöjen seuraamiselle ja energiakulutuksen optimoimisella voidaan saada paljon päästösäästöjä kiinteistön elinkaaren aikana. Päästöt on aina arvioitava koko elinkaaren ajalle, mutta käytönaikaisten päästöjen muodostumiseen ei ole tällä hetkellä ohjeistusta. Rakentaminen tarvitsee päästöjen huomioimisen laskennallisesti, sillä se kehittää valtakunnallisesti ja globaalisti tapahtuvaa viestintää ja rakentamisen päästöjen vähentymistä. Rakentamisen merkitys globaalista kasvihuonepäästöstä on merkittävä, joten ilmastomuutoksen hillitsemiseksi uusia innovaatioita ja todenmukaista päästölaskentaa tulee kehittää myös määräysten valmistumisen jälkeenkin.

11.6 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuus varmistettiin laskentaohjelman omalla luotettavuustyökalulla, joka on kuvattu aiemmin. Lisäksi tutkimuksen luotettavuutta puoltaa se, että laskenta on tehty täysin Ympäristöministeriön ohjeiden, asetusten ja luonnosten mukaisen laskentaohjeistuksen perusteella. Lisäksi saatuja tuloksia on tulkittu vähähiilisuuden arviointimenetelmän vuoden 2019 vaatimusten mukaisesti. Tutkimuksen luotettavuus perustuu tiedonkeruuseen kaikilta suunnittelualoilta, jotka pohjautuvat todelliseen IFC-tietomalliin. Tietojen kerääminen ja sieltä saatujen määräluetteloiden tarkkuus ovat riittävällä tasolla rakennuksen kokonaisuuteen nähden. Se, missä epätarkkuutta tulokseen tulee, on ohjelmaan syötettäessä erilaisten materiaalien löytäminen ohjelmasta sekä todellisten valittujen materiaalien ja laitteiden tarkkuus. Laskenta tehtiin vain suunnitteluvaiheen mukaisella mallilla ja tiedoilla, joten laskenta pitää päivittää, kun todelliset tuotteet, määrät ja reititys ovat urakassa toteutuneet. Laskennan päivitys todellisilla materiaaleilla ja tuotteilla sekä määrillä kuuluu ilmastaselvityksen laadintaan. Tässä korostuu urakoitsijoiden kanssa tehtävä

yhteistyö ja asiaan perehtyminen. Ohjelmassa pitäisi olla myös enemmän eri valmistajien oikeita tuotteita, jotta ympäristövaikutusten todellisuus olisi paremmin selvillä. Lisäksi energian osalta tulisi käyttää energiayhtiöiden päästökertoimia vakioitujen taulukkoarvojen sijaan. Tässä piilee kuitenkin se ristiriita, että vertailu eri puolilla Suomea sijaitsevien kaukolämmitettyjen rakennusten päästökertoimet ja päästöjen kehittyminen vaihtelee, minkä vuoksi tulokset eivät ole vertailukelpoisia. Laskennassa kannattaa miettiä ennen asetusten astumista voimaan, miten energiamuotojen päästöt määritellään.

11.7 Tutkimuksen jatkokehitysideat ja näkökulmat

Tutkimuksessa tutkittiin pelkästään suunnitteluvaiheessa olevien tietojen pohjalta laaditun ilmastaselvityksen hiilijalanjälki ja kädenjälki. Jatkotutkimuksena suosittelisin vertailemaan suunnitteluvaiheen ja toteutusvaiheen välisiä laskennallisia eroja ja siihen liittyviä haasteita. Lisäksi laitevalmistajien ja materiaalien tuottajien omat ympäristövaikutukset korostuvat ja näiden tietojen rikastaminen laskentaohjelmiin on erittäin tärkeää.

Mielenkiintoinen näkökulma olisi ottaa kiertotalous ja uusiutuvat materiaalit osaksi laskentaa osana ohjaavaa vastuullista rakentamista. Se, miten betonin ja muiden materiaalien kierrätys vaikuttaa hiilijalanjälkeen, olisi mielenkiintoinen tutkimuskohde.

Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia pyritään hyödyntämään toimeksiantajayrityksessä siten, että suunnittelussa ja etenkin hankesuunnitteluvaiheessa vastuullisesta ja vähähiilisestä rakentamisesta saadaan ohjaava toimintatapa rakennushankkeisiin. Toimintatapa ja malli tarvitaan, jotta muutosta saadaan aikaan ja tässä korostuu myös tilaajan rooli ja oma panos vastuulliseen ja vähähiiliseen rakentamiseen.

Rakennuksen ilmastaselvityksen laatiminen kuuluu mielestäni elinkaarisuunnittelijalle ja tämän tehtävänkuvan alle. Laatiminen onnistuu varmasti monilta rakennusalan ammattilaisilta, mutta ilmastaselvityksen laatiminen tehtävälueteloon pohjautuen kuuluisi elinkaarisuunnittelijan vastuulle. Lisäksi laskennalla voisi olla pätevyysvaatimus, jotta laskijoiden tulokset eivät olisi hajanaiset ja

laskennan tapa vakioituisi. Tällä hetkellä laskenta voidaan tehdä niin monella eri tavalla, että tuloksien vertailtavuus on vaikeaa. Etenkin ohjelmien kehityksessä tulisi panostaa yhteneväiseen laskentaan ja sen mahdollistamiseen.

LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä 2021, luonnos lausuntokierrosta varten. Helsinki: Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://ym.fi/-/rakennusten-vahahii-lisyyden-arviointimenetelma-koetaan-paaosin-selkeaksi-ja-kattavaksi-lausuntoyhteenveto-ja-lausunnot-julkaistu> [viitattu 2.3.2022].
2. Häkkinen, T., Kuittinen, M. & Suomela, M. Kohti vähähiilistä rakentamista: opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto Oy. E-kirja. 2020. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.226588> [viitattu 9.10.2021].
3. Kuittinen, M. & le Roux, S. Vähähiilisen rakentamisen hankintakriteerit. Ympäristöministeriön julkaisuja 2017: Helsinki. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://kaakkuri.finna.fi/Record/valto.10024_80654 [viitattu 12.2.2022].
4. Huttunen, E. Kiertotalous rakennetussa ympäristössä. Helsinki: Rakennustieto Oy. E-kirja. 2021. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.227458> [viitattu 10.10.2021].
5. Rakennusteollisuus RT. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035. Osa 4 Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisuuden tiekartta 2020-2035-2050. Gaia Consulting Oy. RT-julkaisu 2020. Saatavissa: RT-rakennusteollisuus [viitattu 8.7.2022]
6. Huuhka S., Vaino T., Moisio M., Lampinen E., Knuutinen M., Bashmakov S., Kölio A., Lahdensivu J., Ala-Kotila P. & Lahdenperä P. Purkaa vai korjata? Hiilijalanjälkivaikutukset, elinkaarikustannukset ja ohjaukeinot. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:9: Helsinki 2019. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162862> [viitattu 11.6.2022].
7. Kangas H-L., Sankelo P., Kautto P., Ruokamo E., Lazarevic D., Mattinen-Yuryev M., Turunen T. & Nissinen A. Taloudellisten kannusteiden käyttö vähähiilisen rakentamisen ohjauksessa: TALO-hankkeen loppuraportti. Ympäristöministeriön julkaisuja 2021:32: Helsinki 2022. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161923> [viitattu 11.6.2022].
8. Kuittinen M. Vähähiilisyys, kiertotalous ja uudet rakennusmääräykset. Power point -esitys. XAMK. 2021. PDF-dokumentti. [viitattu 1.7.2022]
9. Häkkinen T., Nibel S. & Birgisdottir H. Definition and methods for the carbon handprint of buildings. Helsinki: Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/40549091/Raportti+-+Definition+and+methods+for+the+carbon+handprint+of+buildings.pdf/ed3c5535-c1b8-3beb-7765-ec0ee1f61443/Raportti+-+Definition+and+methods+for+the+carbon+handprint+of+buildings.pdf?t=1617775615867> [viitattu 1.7.2022]

10. Granlund Oy. Älykäs kiinteistöportfolio tukee hiilineutraaliutta ja laadukasta käyttäjäkokemusta. Helsinki. 2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.granlund.fi/blogi/alykas-kiinteistoportfolio-tukee-hiilineutraaliutta-ja-laadukasta-kayttajakokemusta/> [viitattu 8.7.2022].
11. Kiamili C., Hollberg A. & Habert G. Detailed assessment of Embodied Carbon of HVAC Systems for a New Office Building Based on BIM. MDPI, Bazel, Switzerland 2020. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3372> [viitattu 11.6.2022]
12. Kuittinen, M. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Helsinki: Ympäristöministeriö. E-kirja. 2019. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/Record/kaakkuri.223611> [viitattu 9.10.2021].
13. Euroopan komissio. Level(s) - European framework for sustainable buildings. WWW-dokumentti. Saatavissa: European comission WWW-pages https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/levels_en [viitattu 19.5.2022].
14. Knox N. Green building leadership LEED, 2021. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.usgbc.org/leed> [viitattu 8.7.2022].
15. Rakennustieto. RTS-ympäristöluokitus, Helsinki. 2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/palvelut/ymparistopalvelut/rts-ymparistoluokitus> [viitattu 8.7.2022].
16. Ympäristöministeriö. Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen jatkosta linjaus: uusi rakentamislaki sekä alueidenkäytön digitaalisuus eduskuntaan syksyllä. WWW-dokumentti. Saatavissa: Valtioneuvoston WWW-sivut <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/maankaytto-ja-rakennuslain-uudistuksen-jatkosta-linjaus-uusi-rakentamislaki-seka-alueidenkayton-digitaalisuus-eduskuntaan-syksylla> [viitattu 14.5.2022].
17. Ympäristöministeriö. Luonnos Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ilmastaselvityksestä. Helsinki: Ympäristöministeriö 2021. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d> [viitattu 12.4.2022].
18. Suomen ympäristökeskus SYKE. Rakentamisen päästötietokanta. 2022. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.co2data.fi/> [viitattu 11.6.2022].
19. One Click LCA Ltd. One Click LCA elinkaariarviointiohjelmisto. 2022. WWW-dokumentti. Saatavissa One Click LCA <https://www.oneclick-lca.com/fi/> [viitattu 11.6.2022].
20. Ministry of Environment, Finland. Carbon Footprint Limits for Common Building Types. Bionova Ltd. PDF-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://www.oneclicklca.com/fi/carbon-footprint-limits-for-buildings-finland/> [viitattu 17.6.2022].

21. Raatikainen, V. Asiakkaan päästöjen vähentäminen talotekniikkasuunnittelussa. Diplomityö 2021. Saatavissa: LUT yliopiston verkkojulkaisut https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163125/Diplomityo_Raatikainen_Valle.pdf?sequence=1 [viitattu 17.6.2022].
22. Jyväskylän yliopisto. Kvantitatiivinen tutkimus, Jyväskylä. 2015. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus> [viitattu 8.7.2022].
23. Heikkilä T. Tilastollinen tutkimus. Helsinki. 2014. WWW-dokumentti. Saatavissa: <http://www.tilastollinentutkimus.fi/1.TUTKIMUSTUKI/KvantitatiivinenTutkimus.pdf> [viitattu 8.7.2022].
24. WordsSideKick maapallo. Uusi tutkimus seuraa hiilen sosiaalisia kustannuksia. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <http://fi.wordssidekick.com/new-study-tracks-social-cost-of-carbon-23313> [viitattu 1.7.2022].