



# jamk

## Ikkunatyypin vaikutus hiilijalanjälkeen ja elinkaareen

Emma Taavettila

Opinnäytetyö, ylempi AMK

Maaliskuu 2025

Tekniikan ala (YAMK), Vähähiilinen rakentaminen

**Taavettila Emma**

## **Ikkunatyypin vaikutus hiilijalanjälkeen ja elinkaareen**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Maaliskuu 2025, 87 sivua.

Vähähiilinen rakentaminen tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö YAMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Opinnäytetyössä tarkasteltiin uusittavien eri ikkunatyypien vähähiilisyyttä niiden koko elinkaaren aikana muodostuvien hiilijalanjälkien perusteella. Hiilijalanjälkilaskelmissa vertailtiin puurakenteisten MSE-ikkunoiden sekä alumiinirakenteisten MSEA- ja MEK-A-ikkunoiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Laskelmat toteutettiin Ympäristöministeriön rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaisesti 50 vuoden tarkastelujaksolla. Työn tavoitteena oli tuottaa ajantasaista pohjatietoa ikkunoiden ympäristövaikutuksista korjaus- ja hankesuunnitteluun sekä kuntotutkimusten toimenpide-ehdotuksiin.

Tutkimus toteutettiin kaksivaiheisena hiilijalanjälkilaskelmana, jossa selvitettiin kolmen eri ikkunatyypin muodostamat hiilidioksidipäästöt sekä arvioitiin elinkaareen vaikuttavia tekijöitä muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. Tarkastelu käsitti materiaalien valmistusvaiheen sekä elinkaaren aikaiset kunnostustoimet. Laskennat tehtiin AFRY Finland Oy:n sisäisellä laskentatyökalulla vertaamalla Suomen Ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterin arvoja Pihla Group Oy:n EPD-ympäristöselosteiden esittämiin päästöarvoihin.

Tulokset osoittivat, että merkittävimmät hiilidioksidipäästöt syntyivät ikkunoiden valmistusvaiheessa riippumatta ikkunatyypistä. Sen sijaan käyttöikä pidentävät huoltotoimenpiteet aiheuttivat ikkunatyypistä riippumatta kokonaiskuvassa vain marginaalisia päästöjä. Kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden hiilidioksidipäästöt olivat tarkastelujaksolla suurimmat, kun taas avattavien puuikkunoiden ja puu-alumiini-ikkunoiden välillä ei havaittu merkittäviä päästöeroja. Tulosten perusteella avattavia ikkunatyyppejä pidettiin ympäristöystävällisinä ratkaisuinä. Tutkimuksen tuloksia voitiin hyödyntää vähähiilisten ikkunavalintojen päätöksenteon tukena.

### **Avainsanat**

Hiilijalanjälki, vähähiilisyys, ikkunat, elinkaariarvionti ja ilmastonmuutos.

### **Muut tiedot**

-

**Taavettila Emma**

### **Impact of Window Type on Carbon Footprint and Lifecycle**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, March 2025, 87 pages.

Degree Programme in low-Carbon Construction Degree Program. Master's Thesis (YAMK).

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The thesis examined the low-carbon performance of different types of replacement windows based on their carbon footprint over their entire lifecycle. The carbon footprint calculations compared the carbon dioxide emissions of wooden MSE windows and aluminum-structured MSEA and MEK-A windows. The calculations were conducted in accordance with the Ministry of the Environment's assessment method for the low-carbon performance of buildings over a 50-year review period. The objective of the study was to provide up-to-date baseline data on the environmental impact of windows for renovation and project planning, as well as for recommendations in condition assessments.

The study was carried out as a two-phase carbon footprint calculation, in which the carbon dioxide emissions of three different types of windows were determined, and factors influencing their lifecycle under changing climate conditions were evaluated. The analysis included the material manufacturing phase and lifecycle maintenance actions. The calculations were performed using AFRY Finland Oy's internal calculation tool, comparing emission values from the Finnish Environment Institute's emission database with those presented in the EPD environmental declarations of Pihla Group Oy.

The results indicated that the most significant carbon dioxide emissions were generated during the manufacturing phase of the windows, regardless of the window type. In contrast, maintenance actions aimed at extending the service life caused only marginal emissions in the overall picture, regardless of the window type. Fixed wood-aluminum windows had the highest carbon dioxide emissions over the review period, whereas no significant differences were observed between the lifecycle emissions of openable wooden and wood-aluminum windows. Based on the results, openable window types were considered environmentally friendly solutions. The findings of the study can be utilized to support decision-making in selecting low-carbon windows.

### **Keywords/tags**

Carbon footprint, low carbon, windows, life cycle assessment, and climate change.

### **Miscellaneous**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Vihreän kehityksen ohjelma</b> .....	<b>7</b>
3.1	Pariisin ilmastopimus.....	7
3.2	Suomen ilmastolaki .....	8
3.3	Fit for 55-ilmastopaketti.....	9
3.4	Uusi rakentamislaki .....	10
<b>4</b>	<b>Vähähiilinen rakentaminen Suomessa</b> .....	<b>12</b>
4.1	Vähähiilisen rakentamisen tiekartta .....	12
4.2	Ilmastokestävyys .....	13
4.3	Ilmatoriskien arviointi.....	15
4.4	Vähähiilisempi ikkunatuotanto .....	16
4.5	Ympäristövaikutusten hallinta ikkunoiden uusimisprosessissa.....	17
<b>5</b>	<b>Ilmastonmuutos ja sen vaikutukset eri ikkunatyyppeihin</b> .....	<b>20</b>
5.1	Ilmastonmuutoksen vaikutukset sääolosuhteisiin .....	20
5.2	Ilmastomuutoksen vaikutukset ikkunarakenteisiin .....	21
<b>6</b>	<b>Ikkunatyypin kehitys, vaatimukset ja ylläpito</b> .....	<b>23</b>
6.1	Ikkunatyypin kehityskaari .....	23
6.2	Uusien ikkunoiden vaatimustaso .....	24
6.3	Ikkunoiden uusimiselle tarvittavat luvat.....	27
6.4	Ikkunoiden käyttöiät ja kunnossapitajaksot .....	29
6.5	Ikkunatyypin huolto- ja kunnostustoimet.....	31
<b>7</b>	<b>Hiilijalanjälkilaskenta rakennushankkeessa</b> .....	<b>37</b>
7.1	Hiilijalanjälkilaskennan eri vaiheet.....	37
7.1.1	Tuotevaihe (A1-A3) ja rakentaminen (A4-A5) .....	38
7.1.2	Käyttövaihe (B1-B7) .....	39
7.1.3	Rakennustuotteen tai – järjestelmän elinkaaren loppuminen (C1-C4).....	40
<b>8</b>	<b>Tutkimustyö</b> .....	<b>41</b>
8.1	Eri ikkunatyypin hiilijalanjälkilaskenta .....	41
8.2	Hiilijalanjälkilaskennan aloitus ja pohjatiedot .....	42
8.3	Laskentavaiheet .....	43
<b>9</b>	<b>Tutkimustyön tulokset ja tulosten vertailu</b> .....	<b>45</b>
9.1	Hiilijalanjälkilaskennan tulokset.....	45

9.1.1	Laskentavaihe yksi .....	45
9.1.2	Laskentavaihe kaksi .....	47
9.1.3	Laskentavaihe kolme .....	49
9.1.4	Ikkunoiden elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt.....	52
9.2	Tulosten vertailu ja analysointi .....	54
9.3	Tulosten tulkinta .....	56
9.4	Tulosten luotettavuuden arviointi .....	58
<b>10</b>	<b>Johtopäätökset ja pohdinta .....</b>	<b>60</b>
10.1	Tutkimustyön johtopäätökset.....	60
10.2	Pohdinta .....	62
<b>11</b>	<b>Tutkimustyön käytettävyys, kehityskohdat ja luotettavuus .....</b>	<b>65</b>
11.1	Työn tuottama uusi tietopohja ja sovellettavuus käytäntöön.....	65
11.2	Työssä havaitut kehityskohteet .....	66
11.3	Työn luotettavuus ja eettisyys .....	68
<b>Lähteet</b>	<b>.....</b>	<b>70</b>
<b>Liitteet</b>	<b>.....</b>	<b>73</b>
Liite 1.	Hiilijalanjälkilaskelmien perustiedot .....	73
Liite 2.	Hiilijalanjälkilaskennan vaihe 1, avattavat puuikkunat (MSE-ikkuna).....	74
Liite 3.	Hiilijalanjälkilaskentavaihe 1, avattavat puu-alumiini-ikkunat (MSEA-ikkunat) .....	75
Liite 4.	Hiilijalanjälkilaskentavaihe 1, kiinteät puu-alumiini-ikkunat (MEK-A-ikkuna) .....	76
Liite 5.	Laskentavaiheen 1 tarkasteltujen moduulien kokonaishiilidioksidipäästöt .....	77
Liite 6.	Hiilijalanjälkilaskentavaihe 2, avattavat puuikkunat (MSE-ikkuna).....	78
Liite 7.	Hiilijalanjälkilaskentavaihe 2, avattavat puu-alumiini-ikkunat (MSEA-ikkuna).....	79
Liite 8.	Hiilijalanjälkilaskentavaihe 2, kiinteät puu-alumiini-ikkunat (MEK-A-ikkuna) .....	80
Liite 9.	Laskentavaiheen 2 tarkasteltujen moduulien kokonaishiilidioksidipäästöt .....	81
Liite 10.	Hiilijalanjälkilaskentavaihe 3, avattavat puu-alumiini-ikkunat (MSEA).....	82
Liite 11.	Laskentavaiheen 3 tarkasteltavien moduulien kokonaishiilidioksidipäästöt.....	83
Liite 12.	Hiilijalanjälkilaskelmien eri ikkunatyypin elinkaaren aikaisten kunnostustoimien materiaalien hiilidioksidipäästöt.....	84
<b>Kuviot</b>		
Kuvio 1.	Ikkunoiden valmistusprosessin keskeisemmät vaiheet .....	18
Kuvio 2.	Puuikkunoiden elinkaaren aikaiset ylläpitotoimet.....	34
Kuvio 3.	Puu-alumiini-ikkunoiden elinkaaren aikaiset ylläpitotoimet .....	35
Kuvio 4.	Kiinteiden alumiini-ikkunoiden elinkaaren aikaiset ylläpitotoimet .....	35

Kuvio 5. Hiilijalanjätkilaskennan eri vaiheet.....	38
Kuvio 6. Laskentavaiheen yksi hiilijalanjätkilaskennan tulokset moduuleissa A1-A3.....	46
Kuvio 7. Laskentavaiheen yksi kokonaishiilidioksidipäästöt tarkastelujaksolla .....	47
Kuvio 8. Laskentavaiheen kaksi hiilijalanjätkilaskennan tulokset moduuleissa A1-A3.....	48
Kuvio 9. Laskentavaiheen kaksi kokonaishiilidioksidipäästöt tarkastelujaksolla.....	49
Kuvio 10. Laskentavaiheen kolme hiilijalanjätkilaskennan tulokset moduuleissa A1-A3.....	50
Kuvio 11. Laskentavaiheen kolme kokonaishiilidioksidipäästöt tarkastelujaksolla.....	51
Kuvio 12. Avattavien puuikkunoiden kunnossapitotoimet tarkastelujaksolla .....	53
Kuvio 13. Avattavien puu-alumiini-ikkunoiden kunnossapitotoimet tarkastelujaksolla.....	53
Kuvio 14. Kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden kunnossapitotoimet tarkastelujaksolla.....	53
Kuvio 15. Avattaviin puu-alumiini-ikkunoiden kunnossapitotoimet 60 vuoden tarkastelujaksolla .....	54
Kuvio 16. Uusittavien ikkunoiden hiilidioksidipäästöjen vertailu eri laskentavaiheissa.....	56

## **Taulukot**

Taulukko 1. Eri ikkunatyyprien tekniset käyttöiät ja kunnossapitotaksot.....	30
Taulukko 2. Ikkunoiden huolto- ja kunnostustoimenpiteiden vastuunjaot .....	36

# 1 Johdanto

Ilmastonmuutos vaikuttaa ja muuttaa rakennuksia ympäröiviä olosuhteita, jolloin olemassa olevien rakennusten ja niiden rakenteiden toiminta ei välttämättä vastaa muuttuvan ilmasto-olosuhteiden vaatimustasoon. Rakennuspaikka ja ilmansuunta vaikuttavat keskeisesti rakennukseen kohdistuviin ulkopuolisiin rasituksiin ja siten rakennuksen toimivuuteen, mutta käytettävillä rakennusmateriaaleilla on myös vaikutusta. Merkittävimpiä ulkopuolisiin rakenteisiin kohdistuvia rasitustekijöitä ovat tuuli, viistosade ja auringonpaiste. Ilmastonmuutoksen myötä on ennustettu, että Suomessa viistosateen määrä tulee lisääntymään ja tuulisuus voimistumaan tulevaisuuden ilmastossa. Ilmastonmuutoksen aiheuttamat muutosolosuhteet ja ilmastorasitteet on otettava ennakkoivasti huomioon oletetussa tulevaisuuden ilmastossa. (Laukkarinen, Jokela, Vinha, Pakkala, Lahdensivu, Lestinen, Jokisalo, Kosonen, Lindfors, Ruosteenoja ja Jylhä 2022, 5.)

Rakentamislaki 751/2023 on päivittymässä ja se astuu voimaan pääosin vuoden 2025 alusta. Merkittävimpana muutoksena uudessa laissa on ilmastonmuutoksen hillinnän tuominen osaksi rakentamisen lainsäädäntöä. Uuden rakentamislain mukaan vuodesta 2026 alkaen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki on raportoitava uuden rakennuksen tai rakentamislupaa edellyttävän laajamittaisen korjattavan rakennuksen rakentamislupaan vaadittavassa ilmastaselvityksessä. Rakennusalan tuotteita toimittavien tahojen on ilmoitettava vuodesta 2026 alkaen tuotteidensa hiilijalanjälki- ja hiilikädenjälkitiedot koko rakennuksen elinkaarelle. Uudella lailla on tarkoituksena ohjata rakentamista kohti vähähiilisempiä toimia, ympäristöystävällisimpiä sekä ekologisempia ratkaisuja. (Rakentamislaki 751/2023, § 5.)

Uudessa laissa tullaan määrittämään raja-arvot hiilijalanjälkeä varten. Suomen ympäristökeskus (SYKE) ylläpitää ympäristöministeriön toimeksiannosta rakentamisen päästötietokantaa, missä eri materiaalien muodostamat hiilipäästöt on kuvattu. Tietokannassa ylläpidetään Suomessa yleisesti käytössä olevien rakentamisprosessien, rakennustuotteiden ja palveluiden keskimääräisiä päästötietoja. SYKE:n laatiman päästötietokannan tarkoituksena on edistää vähähiilistä rakentamista yhdenmukaistamalla rakennusten koko elinkaaren aikaisten ilmastovaikutuksien laskenta. Päästötietokantarekisteri on kehitysvaiheessa ja sitä päivitetään tarkentuvien ja uusien saatavilla olevien tietojen sekä tutkimusten pohjalta. (Rakentamisen päästötietokanta 2024.)

Rakennuksen ikkunoiden uusiminen on yksi keino edistää vähähiilistä rakentamiskulttuuria. Ikkunoiden energiatehokkuus on parantunut vuosien saatossa merkittävästi ja energiatehokkaammilla ikkunoilla on mahdollista saavuttaa merkittäviä energiasäästöjä. Ikkunatoimittajien tekemien tutkimusten ja selvitysten mukaan ikkunoiden uusimisella voidaan vähentää päästöjä parhaimmillaan jopa 25 prosentilla, mikä tarkoittaa määrältään 750–1300 kg hiilidioksidia vuodessa. Ikkunoiden uusiminen parantaa rakennuksen energiatehokkuutta ja lisää asumisviihtyvyyttä tuoden samalla taloudellista säästöä. Näin ollen ikkunoiden uusiminen on myös ympäristöteko. (Stenholm 2020.) Ikkunoiden uusimisella parannetaan myös rakennuksen äänieristävyyttä, ikkunaliittymien ilma- ja vesitiiveyttä sekä huollettavuutta. Edellä kuvattujen tekijöiden perusteella esimerkiksi, asunto-osa-  
keyhtiöissä ja julkisissa rakennuksissa päädytään usein uusimaan ikkunat niiden kunnostamisen sijasta. Uuden rakentamislain myötä uusittavien ikkunoiden osalta tulee jatkossa esittää hiili- ja kädenjälkilaskennat (Koskentalo 2024).

## 2 Tutkimusasetelma

Tämä opinnäytetyö on tehty AFRY Finland Oy:lle tuottamaan sisäistä ajankohtaista tietopohjaa kolmen erilaisen ikkunatyypin vaikutuksesta rakennuksen elinkaareen, hiilijalanjälkeen ja ylläpitoon. Työn tuottamaa tietopohjaa hyödynnetään AFRY:n kestävän kehityksen palvelukokonaisuuden kehitystyössä. Lisäksi työssä tuotettua tietoa hyödynnetään AFRY:n sisäisissä kuntotutkimuksissa ja korjaussuunniteluissa, joissa on tarkoitus huomioida erilaisten ikkunatyypien vaikutus rakennuksen elinkaareen, elinkaarikustannuksiin ja vähähiilisyyteen. Opinnäytetyö on toteutettu tutkimuksellisenä kehitystyönä ja laadullisena tutkimustyönä.

Vähähiilisyys ja ympäristöystävälliset rakenne- ja materiaalivalinnat ovat ajankohtaisia teemoja, joiden tarkoituksena on pyrkiä ohjaamaan rakennuskulttuuria toimiin, joilla pyritään ehkäisemään ilmastonmuutoksen etenemistä. Ilmastonmuutokseen vaikuttavat useat eri asiat ja toiminnot, joista yksi liittyy vahvasti rakennusalaan. Tästä syystä useat materiaalitoimittajat ovat erityisesti keskittyneet viime vuosina kehittämään toimintatapojaan ja materiaalejaan kestävän kehityksen mukaisiksi ja ympäristöystävällisimmiksi. Lisäksi ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomen tulevaisuuden ennustetussa ilmasto-olosuhteessa tuovat materiaalitoimittajille omat haasteensa siinä, että materiaalit saavuttavat niille määritetyt tekniset käyttöiät myös jatkossa. Vahvasti pinnalla

oleva ajankohtainen aihe edellyttää materiaalitoimittajilta erityistä perehtyneisyyttä ja ajantasaisuutta päivittyvistä kansanvälisistä sopimuksista, direktiiveistä, laista, uusiutuvista energiamuodoista sekä materiaalien uudelleen kierrätettävyydestä ja kestävydestä.

Tässä opinnäytetyössä on keskitytty tarkastelemaan eri ikkunatyyppeiden vaikutusta hiilijalanjälkeen, rakennuksen elinkaareen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksiin suhteessa eri ikkunatyyppeiden tekniseen käyttöikään ja käyttöiän ylläpitäviin toimenpiteisiin. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa työn toimeksiantajalle sisäistä tietoa sekä samalla pohtia tämän hetkisten käytössä olevien hiilijalanjätkilaskentamenetelmien soveltuvuutta ja käytettävyyttä käytäntöön. Työssä perehdytään tarkastelemaan ilmastonmuutoksen tuomia vaikutuksia eri ikkunatyyppeiden tämän hetkiseen arvioituun tekniseen käyttöikään ja huoltovälien mukaisten kunnostustoimien riittävyteen.

Tutkimustyö rajattiin tarkastelemaan kolmea tavanomaista ikkunatyyppeä, joita yleisemmin käytetään päädyttäessä uusimaan rakennuksen ikkunat. Työssä tarkasteltiin eri ikkunatyyppeiden vaikutuksia rakennuksen hiilijalanjälkeen ja elinkaareen 50 vuoden tarkastelujakson aikana. Tarkastelujaksossa otettiin huomioon myös ikkunoihin kohdistuvat huolto- ja kunnostustoimenpiteet eri rasisolosuhteissa ”Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot”-ohjekortin mukaisesti. Työssä keskityttiin tarkastelemaan seuraavia ikkunatyyppejä:

- avattavat kaksipuitteiset ja kolmilasiset puu-alumiini-ikkunat
- avattavat kaksipuitteiset ja kolmilasiset puuikkunat
- kiinteät kolmilasiset puu-alumiini-ikkunat

Tarkasteltavien ikkunatyyppeiden osalta tuotettiin toimeksiantajan sisäisellä laskentajärjestelmällä hiilijalanjätkilaskennat noudattaen Ympäristöministeriön ”Rakennuksen vähähiilisyyden arviointi” –menetelmää. Hiilijalanjätkilaskennassa otettiin huomioon tuotevaihe eli materiaalien valmistusvaihe (moduulit A1-A3), työmaatoiminta (moduuli A5) ja käyttövaihe (moduulit B3-B4). Tarkastelussa erityispainotus oli käyttövaiheessa, johon kuuluvat ikkunoiden kunnossapito ja korjaukset. Tässä työssä ei tarkasteltu hiilijalanjälkeä purkuvaiheessa (moduulit C1-C4), sillä työn pääpaino oli ikkunoiden käyttövaiheessa. Varsinainen tutkimustyön hiilijalanjätkilaskenta tehtiin 50 vuoden ajanjaksolle, mikä perustui Suomen ympäristökeskuksen hiilijalanjätkilaskentaan määriteltyyn ikkunoiden käyttöikäarvioon. (Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2019, 19–28.) Lisäksi

toteutettiin toissijaisena tarkasteluna yksilaskentavaihe avattavien puu-alumiini-ikkunoiden osalta, jossa tarkasteltiin muodostuvia hiilidioksidipäästöjä normaalissa rasitusolosuhteessa 60 vuoden tarkastelujaksolla *Kiinteistöjen tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* -ohjekortin määrittämän teknisen käyttöiän mukaisesti. Ikkunoiden muodostamaa elinkaarta ja käyttöikää tarkasteltiin ikkunoihin kohdistuvien ilmastorasituksien ja *Kiinteistöjen tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* -ohjekortin näkökulmasta.

Tutkimustyön tutkimuskysymyksenä oli ”missä vaiheessa ikkunoiden uusimisesta muodostuu eniten hiilidioksidipäästöjä ja mikä tarkastelluista ikkunatyypeistä on hiilijalanjätkilaskennan perusteella 50 vuoden tarkastelujaksolla ympäristöystävällisin vaihtoehto?”. Toisena tutkimuskysymyksenä selvitettiin, millaisia vaikutuksia ilmastomuutoksella on eri ikkunatyypin käytön aikaisiin kunnostustoimenpiteisiin arvioidun teknisen käyttöiän saavuttamiseksi. Työssä pohdittiin myös tämän hetkisten teknisten käyttöikäarvioiden realistisuutta suhteessa ilmastomuutoksen tuomiin säärasituksiin.

Tutkimustyön keskeisimpinä käsitteinä ovat hiilijalanjälki, vähähiilisyys, ikkunat ja elinkaariarviointi. Tutkimustyössä hyödynnettiin ajankohtaisia monipuolisia kotimaisia ja kansainvälisiä asiantuntijoiden laatimia asia- ja tietokirjoja, tutkimusaineistoa, lainsäädäntöä sekä aiheeseen liittyviä luotettavia artikkeleita ja uutisia. Työssä hyödynnettiin myös alalla vahvasti toimivien ikkunavalmistajien tietopohjaa ja tuotetietoja. Lähtötietoaineistoon perehdyttiin kattavasti ja lähteiden luotettavuutta arvioitiin kriittisesti. Työssä käytetyt lähteet liittyvät olennaisesti tutkimustyöhön, joiden avulla on vastattu tutkimuskysymyksiin.

## **3 Vihreän kehityksen ohjelma**

### **3.1 Pariisin ilmastosopimus**

Pariisin ilmastosopimus on kansainvälinen sopimus, joka oikeudellisesti sitoo osapuolia ilmastomuutoksen kehitystä hidastaviin toimiin. Ilmastosopimus on solmittu joulukuussa vuonna 2015 ja se astui voimaan marraskuun alussa vuonna 2016. Sopimuksella on pyritty hidastamaan ja ehkäisemään maapallon keskilämpötilan nousua. Tavoitteena sopimuksessa on ehkäistä lämpötilan nousu alle kahden asteen ja sopimuksen mukaisilla toimilla saada lämpötilan nousu ehkäistyä pe-

räti alle 1,5 asteella. Kyseinen sopimus täydentää Yhdistyneiden kansakuntien eli YK:n ilmastomuutosta koskevaa puitesopimusta, joka on solmittu jo aiemmin vuonna 1994. (EU:n ratkaisut ilmastomuutoksen ehkäisemiseksi 2023.)

Koko maailman tasolla muodostuvia kasviuonekaasupäästöjä pyritään ilmastopimuksella vähentämään ja kontrolloimaan nykyistä tasoa kohti tavoitetasoa. Ihmisten aiheuttamat kasviuonekaasupäästöt on tarkoituksena tämän vuosisadan jälkipuoliskoon mennessä saada tasapainottamaan. Tavoitteen saavuttamiseksi on määritetty pitkän aikavälin tavoite, jonka myötä pyritään sovittamaan toimintatapoja kohti ilmastokestävää kehitystä ja vähähiilisyttä. Tavoitteiden etene- mistä tarkastellaan viiden vuoden välein ja viimeisin kokonaistarkastelu on toteutettu vuonna 2023. (EU:n ratkaisut ilmastomuutoksen ehkäisemiseksi 2023.)

Kunniahimoisen tavoitteen saavuttaminen on edellyttänyt kaikilta sopimuksen osapuolilta sitoutumista ja suunniteltuja toimia yhteisten tavoitteiden saavuttamiseksi. Sopimuksen tarkoituksena on myös lisätä läpinäkyvyyttä ja vahvistaa toimintavalmiuksia eri maissa. Sopimus ei itsessään sisällä määrällisiä päästövähennysvelvoitteita, mutta kaikki osapuolet sitoutuvat sopimuksessa määritettyihin toimiin. Kansallisen tasan tavoitteiden on pyrkimyksenä olla edellistä seurantajaksoa eli viiden vuoden suunnitelmaa parempia ja kunniahimoisempia. Näin pyritään siihen, että kaikki osapuolet omalta osaltaan tekevät enemmän toimia kohti vähähiilisempiä toimia. Jokainen osapuoli ilmoittaa omat toimintatapansa ja ratkaisunsa kohti vähähiilisimpiä toimia ja ympäristöystävällisimpiä ratkaisuja. Kunkin maan toimet julkaistaan aina Yhdistyneiden kansakuntien julkisessa rekisterissä, jota ylläpitää ilmastopimussihteeristö. Sopimusta koskevat säännöt ovat yhteiset kaikille sopimuksen osapuolille. Kehittyneille maille on sovittu sääntöjen osalta tietyissä rajoissa joustavuutta sen takia, että kyseisissä maissa ilmastotoimet ovat edistyneempiä. (EU:n ratkaisut ilmastomuutoksen ehkäisemiseksi 2023.)

### **3.2 Suomen ilmastolaki**

Pariisin sopimuksen osaksi on Suomessa laadittu kansallinen ilmastolaki, joka toimii ilmastotyön pohjana. Suomen uusi ilmastolaki on astunut voimaan kesäkuussa vuonna 2022. Ilmastolakiin on kirjattu päästövähennystavoitteet. Tavoitteet ovat kolmelle eri vuosikymmenelle, joita ovat 2030, 2040 ja 2050. Päästöjä on tarkoitus vähentää ensimmäisen tavoitejakson aikana peräti 60 %. Seu-

raavaan tavoitejaksoon eli vuoteen 2040 mennessä päästöjä on tarkoitus vähentää 80 % ja vastavasti vuoteen 2050 mennessä liki 95 %. Määritettyjä päästötavoitteita verrataan vuoden 1990 päästötasoon. (Uusi ilmastolaki voimaan heinäkuussa 2022.)

Suomen on määrä olla tavoitteiden mukaisesti hiilineutraalimaa vuoteen 2035 mennessä. Laissa on määritetty erilaisia suunnitelmia, jotka ohjaavat kohti tavoitetta. Laissa on määritelty neljä niin sanottua tärkeintä toimea, joilla pyritään saavuttamaan ja ohjaamaan toimia kohti intohimoista tavoitetta. Toimissa on määriteltynä muun muassa toimia Suomen kasvihuonekaasujen vähentämiseksi ja ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi. Suunnitelmilla varmistetaan kestävä kehitys ja ilmastotoimien oikeudenmukaisuus. (Uusi ilmastolaki voimaan heinäkuussa 2022.)

### **3.3 Fit for 55-ilmastopaketti**

55-valmiuspaketti, virallisesti nimeltään "Fit for 55," on Euroopan unionin (EU) ilmasto- ja energialainsäädännön laaja uudistuspaketti, jolla pyritään vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä. Sen tarkoituksena on vähentää Euroopan kasvihuonepäästöjä vuoden 1990 tasoon verrattuna vähintään 55 prosentilla vuoteen 2030 mennessä. Tavoite on osa Euroopan laajempaa tavoitetta saavuttaa ilmastoneutraalius vuoteen 2050 mennessä. (55-valmiuspaketti: tehdään rakennuksista ympäristöystävällisempiä 2024.)

Laadittu 55-ilmastopaketti on näin ollen keskeinen osa Euroopan ilmastopolitiikkaa ja sillä pyritään varmistamaan, että Eurooppa saavuttaa Pariisin ilmastopöytäkirjan mukaiset tavoitteet. Paketin tarkoituksena on auttaa kaikkia saavuttamaan tavoite Euroopan jäsenmaissa. Kyseisen lainsäädäntöpaketin avulla pystytään seuraamaan tavoitteisiin pääsemistä kustannustehokkaalla, kilpailukykyisellä ja oikeudenmukaisella tavalla kohti ilmastotavoitteita. (55-valmiuspaketti: tehdään rakennuksista ympäristöystävällisempiä 2024.)

Ilmastopakettilla pyritään muun muassa kehittämään ja edistämään uusiutuvan energian käyttöä ja sen osuuden nostamista yli 40 prosenttiin koko Euroopan energiankulutuksesta vuoteen 2030 mennessä. Uusiutuvan energian käytöllä ja energiatehokkaammilla ratkaisuilla pyritään vähentämään kasvihuonepäästöjä, joita erityisesti rakennuksien rakentamisen ja elinkaaren aikana muodostuu. Energiatehokkuustavoitteena on, että Euroopan tasolla energiankulutus laskee yhteensä

vähintään lähes 12 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. (EU:n toimet energiankulutuksen vähentämiseksi 2024.)

### 3.4 Uusi rakentamislaki

Rakentamislaki 751/2023 on päivittymässä ja uusi laki astuu voimaan pääosin 1.1.2025. Hallitusohjelman muutosehdotuksen eli korjaussarjan lausuntopalautteiden perusteella ilmastaselvityksen laatimisvelvoite, rakennustuoteluettelon laatimisvelvoite ja hiilijalanjäljen raja-arvovaatimukset astuvat voimaan myöhemmin 1.1.2026 alkaen. Ennen uuden lain voimaantuloa rakentamista säätelee maankäyttö- ja rakentamislaki (MRL 132/1999). Merkittävin muutos nykyiseen maankäyttö- ja rakentamislakiin on ilmastonmuutosta edistävien vaikutuksien hillitseminen. Uudella lailla on tarkoituksena ohjata rakentamista kohti vähähiilisempiä toimia. Jatkossa tulee ottaa huomioon rakennuksen tuottamat ilmastohaitat ja -hyödyt koko kyseisen rakennuksen elinkaaren aikana. Vähähiilisempään rakentamistapaan ohjataan niin, että jokaiselle rakennushankkeelle ja kohteelle tulee vuodesta 2026 alkaen tehdä ilmastaselvitys. Lisäksi rakennuksen koko elinkaarelle tulee tehdä hiilijalanjälkilaskenta. Uudessa laissa on tarkoituksena määrittää raja-arvot hiilijalanjälkeä varten, joka nojaava lain tueksi tulevaan asetukseen. Rakennushankkeessa käytettävien materiaalien osalta tulee laatia myös materiaaliselostukset, jotta materiaalien uudelleen käyttöä ja kiertotalouteen liittyviä tekijöitä voidaan seurata. (Rakentamislaki 751/2023.)

Rakentamiskulttuurin kiertotaloutta on määrä kehittää ja vahvistaa uuden lain myötä, yhdenmukaistamalla toimintatapoja. Rakennuksilta vaaditaan jatkossa monitahoisuutta ja muuntokykyä, joiden tarkoituksena on mahdollistaa pitkäikäiset rakennukset erilaisiin käyttötarkoituksiin niiden elinkaaren aikana. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden kestävyys, huolellisiin pohjatoihin, rakenneosien tekniseen käyttöikänsä ja huollettavuuteen, käytettävyyteen sekä korjattavuuteen (Rakentamislaki 751/2023, §39). Tämä ohjaa toimintaa suuntaa, jossa rakennuksen ja sen osien tulee olla mahdollisimman pitkäikäisiä, helposti korjattavissa ja huollettavissa. Rakennustapaselostuksien avulla ohjataan ja edellytetään rakennuttajilta tietotaitoa ja läpinäkyvyyttä. Uusien rakennusten että purettavien rakennusten osalta tulee jatkossa selvittää käytetyt materiaalit ja niistä vapautuvat materiaalit. Lisäksi rakennuspaikalta pois vietävän maa- ja kiviaineksen osalta tulee tehdä selvitys mahdollisista haitta-aineista tai vaarallisten jätteiden määrästä. (Koskentalo 2024.)

Uusi rakentamislaki velvoittaa vuodesta 2026 alkaen hiilijalanjälkilaskennan tekemistä kaikissa rakennus- ja suunnittelukohteissa myös peruskorjauskohteissa, mikä edellyttää toimijoilta perehtyneisyyttä, asiantuntemusta ja ajantasaisen tiedon seuraamista. Hiilijalanjälkilaskennan avulla on tarkoitus ohjata tekemään ympäristöystävällisempiä ja ekologisempia ratkaisuja. Toimilla tavoitellaan rakennukselle mahdollisimman pientä hiilijalanjälkeä, jolloin myös rakentamisesta syntyvien päästöjen vaikutus ilmastonmuutoksen edistämiseksi olisivat vähäiset. (Rakentamislaki 751/2023.)

Rakennukset tulee suunnitella, rakentaa ja muutos- sekä korjaustyöt on toteutettava niin, että rakennus täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset tavanomaisissa ennakoitavissa olevissa kuormitustilanteissa. Vaatimustasot ovat riippumattomia rakennuksen iästä, mutta niissä on huomioitava rakenteiden ja rakennusmateriaalien käyttöikä.

Uuden rakentamislain mukaan uusien, että laajamittaisesti korjattavien rakennuksien suunnittelussa ja rakentamisessa on otettava jatkossa huomioon vähähiilisyys. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennustavan, rakennuspaikan ja rakennusmateriaalien valinnassa on kiinnitettävä huomiota vähähiilisiin ratkaisuihin. Vähähiilillä ratkaisulla tarkoitetaan käytännössä vaihtoehtoja, joista syntyy mahdollisimman vähän kasvihuonekaasuja eli hiilipäästöjä. Jatkossa rakennuslupaa haettaessa täytyy esittää ilmastaselvitys, jonka perusteella osoitetaan, että vähähiilisyys on otettu huomioon. Ilmastaselvityksen laskennassa arvioidaan rakennuksen hiilijalanjälkeä ja hiilikädenjälkeä. (Koskinen ja Otala 2023.)

Jatkossa rakentamisessa käytettävien tuotteiden materiaalitiedot ovat keskeisessä roolissa. Kaikista rakennuslupaa edellyttävissä toimitissa on jatkossa raportoitava käytettävien tuotteiden materiaalitietojen ja alkuperätietojen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki koko rakennuksen elinkaaren ajalta. Materiaalien alkuperätiedoilla selvennetään mikä osa materiaalista on uusiutuvista, uusiutumattomista, uudelleen käytettävistä tai kierrätetyistä lähteistä. Tällä tavoin ohjataan rakentamiskulttuuria edistämään omalta osaltaan vähähiilisyttä ja vähentämään rakentamisesta muodostuvia kasvihuonekaasupäästöjä, joilla pyritään torjumaan ilmastonmuutoksen etenemistä. (Koskinen ja Otala 2023.)

## 4 Vähähiilinen rakentaminen Suomessa

### 4.1 Vähähiilisen rakentamisen tiekartta

Rakentamisessa käytettävien materiaalien osuus koko rakennuksen elinkaaren aikana on merkittävä kasvihuonekaasupäästölähde. Kasvihuonepäästöjen merkitys kasvaa rakennuksen elinkaaren aikaisten kasvihuonekaasujen vähentyessä ja rakennusten yleisen energiatehokkuuden parantumisessa. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä muodostuu rakennusmateriaalien ja -tuotteiden valmistusvaiheessa. Päästöjä ohjataan toistaiseksi vapaaehtoisilla rakennusten ympäristöarviointimenetelmillä. Suomessa on käytössä arviointimenetelminä esimerkiksi Rakennustiedon ympäristöluokitus, kuten brittiläinen BREEAM ja kansainvälinen LEED. Rakennuksen hiilijalanjäljen keskeisenä ympäristöindikaattorina käytetään myös Euroopan Komission Level(s)-ympäristöraportointijärjestelmää, joka on toistaiseksi testikäytössä. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

Ympäristöministeriö on julkaissut vähähiilisen rakentamisen tiekartan vuonna 2017. Tiekartan on tarkoitus tulla osaksi uuteen rakennuslakiin, joka astuu voimaan vuoden 2025 alusta. Ympäristöministeriö on julkaisut vuonna 2019 ensimmäisen version Suomen oloihin kehitetystä rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmästä. Arviointimenetelmä kattaa rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjäljen arvioimisen. Hiilijalanjäljen arviointi pitää sisällään rakennustuotteiden valmistuksesta, kuljetuksesta ja työmaatoiminnasta, rakennuksen käytöstä ja huollosta sekä rakennuksen tai rakennustuotteiden purusta ja kierrätyksestä muodostuvat hiilidioksidipäästöt. Menetelmän laatimisen taustatietona on käytetty eurooppalaisia kestävästä rakentamisesta koskevia standardeja, kuten esimerkiksi EN 15643-sarja, EN 15 804 ja EN 15978 ja Euroopan komission Level(s)-menetelmää ja vuoden 2018 aikana tehtyä yhteistyötä alan asiantuntijoiden kanssa. Versiota on sittemmin kehitetty asteittain saatujen asiantuntija kokemusten sekä kommenttien pohjalta. Menetelmän kehitystyö on edelleen käynnissä ja sitä päivitetään yhteistyössä alan asiantuntijoiden ja EU-maiden kanssa. (Kuittinen 2019, 4; 9; 11.)

Suomessa on jo pitkään tehty rakennusten elinkaariarviointia pohjautuen eurooppalaisiin standardeihin, jotka muodostavat yhteisen linjan hiilijalanjäljen laskennalle. Ympäristöministeriön laatima laskentamenetelmä tavoittelee standardipohjaista elinkaariarviointia, joka tukee Suomen energia- ja ilmastostrategiaa. Rakennuksen koko elinkaaren aikana muodostuvia kasvihuonepäästöjä pyritään laskentamenetelmällä pienentämään ja ohjaamaan huolelliseen vähähiilisyyttä tavoittelevaan

suunnitteluun. Rakennuksen hiilijalanjäljen arviointi ja rakennustyyppikohtaiset päästörajat on tarkoitus liittää osaksi uutta rakentamislakia. (Kuittinen 2019, 9; 11.)

## 4.2 Ilmastokestävyys

Kasvavan rakentamiskulttuurin ja uusien tuotteiden valmistamisen myötä koskemattoman luonnon määrä Suomessa ja muualla maailmassa pienenee koko ajan. Luontokato ei aiheuta vain biodiversiteetin köyhtymistä vaan myös taloudellista menetystä, sillä luonnon raaka-aineiden saatavuus heikkenee. Luontokadon myötä luonnollisesti materiaalikustannukset nousevat. Suomen sisäisen rakennusalan energiankäytön ja materiaalipäästöjen rajoittaminen on tärkeää, jotta voidaan saavuttaa Pariisin ilmastosopimuksen päästövähennystavoitteet. Yleisesti Suomessa kulutetusta energiasta rakentamiseen ja rakennuksiin käytetään arviolta 40 prosenttia. Rakentamisesta ja purkamisesta syntyvien jätteiden määrä on Suomessa peräti 40–50 prosenttia kaikista jätteistä. (Tähkänen ja Tähtinen 2021, 4.)

Suomessa on jo pitkään ollut käytössä rakennusallalla energiansäästö- ja hiilijalanjälkitavoitteita, mutta Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi vielä on paljon tehtävä ilmastotyötä. Rakentaminen ja rakennusmateriaalien valmistaminen kuluttaa aina energiaa ja tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä. Tästä syystä on tärkeää arvioida ennen rakennus- tai korjausrakentamishankkeen käynnistämistä hankkeen tarpeellisuus ja siitä saatavat hyödyt ajatellen rakennuksen elinkaarta. Hankesuunnittelun alkuvaiheessa tulee miettiä jo ratkaisuja rakentamisesta tai yksittäisestä uudistus- tai korjaustyöstä muodostuvien kasvihuonepäästöjen minimoimiseksi. Vuodesta 2026 alkaen tulee uuden rakentamislain myötä toteuttaa hiilijalanjälkilaskelma rakentamisessa tai korjaamisessa käytettäville materiaaleille ja ratkaisuille. (Tähkänen ja Tähtinen 2021, 4–5.)

Ilmastonmuutoksen myötä rakennuskannan ja rakennusmateriaalien tulee vastata tulevaisuuden ilmasto-olosuhteisiin. Riskienhallinnan parantamisella vahvistetaan sopeutumista ilmastomuutokseen. Ilmastonmuutoksen etenemistä, vaikutuksia ja sään ääri-ilmiöiden esiintymistä voidaan pyrkiä hidastamaan vähentämällä kasvihuonekaasupäästöjen muodostumista. Keskilämpötilan nousun takia on ennustettu, että lämmitysenergian tarve tulee vähentymään 15–25 prosentilla ja puolestaan jäädytysenergian tarve kasvamaan 10–30 prosentilla vuoteen 2050 mennessä. Lämmityspiikkejä tulee edelleen olemaan tulevaisuuden ilmasto-oloissa pakkasjaksoina. Erityisesti uusien

rakennuksien ja korjaushankkeiden suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota ilmasto-olosuhteiden muutoksiin. (Tähkänen ja Tähtinen 2021, 4–5.)

Muuttuvien ilmasto-olosuhteiden myötä on tärkeää erityisesti julkisivurakenteiden osalta kiinnittää huomiota rakennuksen sijaintiin suhteessa rannikkoalueeseen ja sisämaahan, kuten viistosateen ja tuulen vaikutukseen, puuston tai luonnon mahdollistamaan suojavaikutukseen. Rakennuksen korkeus on suhteessa kohdistuviin säärasituksiin, mitä korkeampi rakennus lähtökohtaisesti sitä merkittävämpi on tuulen, viistosateen ja auringon säteilyn vaikutus rakenneseisiin. Huomioitavaa on myös käytettävät materiaalit ja rakenneratkaisut, kuten rakenneliittymien ilma- ja vesitiiveys suhteessa rakennuksen sijaintiin, ympäristöön ja rakennuksen ikään. Huolellisesti suunnitelluilla ja toteutetuilla ratkaisuilla parannetaan rakenteiden ja rakenneseien kestävyttä vallitsevissa ilmasto-olosuhteissa sekä voidaan vähentävästi vaikuttaa muodostuvien kasvihuonekaasujen määrään. (Annala, Hietala, Lahdensivu, Pakkala, Koskivuori, Njöd ja Vanha-Viitakoski 2024, 14.)

Ilmastonmuutos vaikuttaa myös sisäilmasto-olosuhteisiin, jotka puolestaan aiheuttavat vaatimustasoja käytettäville rakenneratkaisuille ja materiaaleille. Rakennuksen sijainti suhteessa ympäristöön on yksi tekijä, mutta merkittävä tekijä on myös julkisivurakenteisiin kohdistuvat ilmansuunnat. Erityisesti etelä- ja länsisuuntaan kohdistuvat julkisivurakenteet altistuvat suuremmalle säärasitukselle, kuten auringon säteilylle ja tuulelle. Tämä voi aiheuttaa kyseisiin julkisivun osiin merkittävämpää kunnostus ja ylläpitotarvetta rakenneseille sekä sisäilmasto-olosuhteisiin lämpötilavaihteluja. Rakennuksen lähiympäristö vaikuttavat myös sisäilmasto-olosuhteisiin, kuten rakennusta ympäröivät rakennukset tai puusto, jotka voivat mahdollistaa varjoalueita rakenneseisiin. Yhtäläillä julkisivun ja vesikaton muoto sekä rakenneratkaisut ovat suhteessa sisäilmaston olosuhteisiin. Ikkunapinta-alan määrä heijastuu suoranaisesti kesäkaudella auringon säteilyn aiheuttamaan sisäilmastoa lämmittävään vaikutukseen, mikä luo edellytykset riittävään ja asianmukaiseen jäähdytysjärjestelmään. Puolestaan talvikaudella lämmitysjärjestelmässä tulee ottaa huomioon myös ikkunalasituksen pinta-ala. Yleisesti tilojen käyttötarkoitus ja oleskelutilojen sijainti suhteessa ympäristöön on tärkeää suunnitella huolellisesti, jotta mahdollistetaan hyvät sisäilmasto-olosuhteet myös muuttuvissa ilmasto-oloissa. (Annala ym. 2024, 15.)

Vuonna 2021 Suomessa on ollut pari- ja omakotitaloja 1,1 miljoonaa, rivitaloja reilu 80 000 ja kerrostaloja noin 60 000. Suomen rakennuskannasta yli 6 prosenttia ovat huonokuntoisia. Huonokuntoiset rakennukset aiheuttavat 25 prosenttia rakennuskannan lämmityksestä muodostuvat kasvihuonekaasupäästöt. Noin neljäsosa pien- ja rivitaloista kuuluu energialuokiltaan A-C tasolle. Rakennuksien korjaustoimenpiteillä on pyritty viime vuosina parantamaan rakennuksien energiatehokkuutta, esimerkiksi uusimalla ikkunat nykyaikaisiksi energiatehokkaiksi ikkunoiksi, jotka on varustettu sisäpuitteista eristyslaselementillä. (Tähkänen ja Tähtinen 2021, 5–6.)

### 4.3 Ilmatoriskien arviointi

Ilmatoriskien arviointi on prosessi, jossa on tarkoituksena tunnistaa, analysoida ja arvioida ilmastomuutokseen liittyviä riskejä suhteessa rakennukseen, sen rakennusosiin ja ympäristöön. Siinä huomioidaan suoraan tai välillisesti rakennukseen, ympäristöön, talouteen ja yhteiskuntaan vaikuttavat ilmastomuutoksen aiheuttamat riskit. Riskien arvioinnilla on tavoitteena ennakoida ilmastomuutoksen vaikutuksia ja ohjata suunnitteluratkaisuja riskien hallitsemiseksi. Ilmatoriskit on luokiteltu fyysisiin ja siirtymäriskeihin. Fyysisien riskien vaikutukset ovat suoria ja liittyvät nimenomaan sään ääri-ilmiöihin, kuten hellejaksoihin, myrskytuuliin ja viistosateen määrään. Arvioitaessa fyysisiä riskejä on otettava huomioon ennakoivasti pitkäaikaiset muutokset ympäristössä ja luonnossa, kuten lämpötilan ja vedenpinnan nousu. Siirtymäriskit kuvastavat puolestaan talouteen tai yhteiskuntaan kohdistuvia muutoksia ilmastomuutoksen torjumiseksi. Tällaisia huomioon otettavia riskejä ovat esimerkiksi päivittyvät ja uudet säädökset, teknologian tai kuluttajakäyttämisen muutokset. (Annala ym. 2024, 16.)

Ilmatoriskien arviointi toteutetaan olemassa olevien tietojen ja ennusteiden pohjalta. Arvioinnissa käytetään neliportaista arviointiasteikkoa, jossa huomioidaan ilmastomuutoksen vaikutukset äärimmäisen epätodennäköisenä, epätodennäköisenä, mahdollisena ja todennäköisenä. Lisäksi ilmatoriskien seuraamusten voimakkuutta tarkastellaan viidessä eri luokassa, joita ovat erittäin korkea, korkea, kohtalainen, vähäinen ja erittäin vähäinen. Arviointi on rakennus- ja projektikohtainen, jossa tulee ottaa huomioon siihen kohdistuvat ja vaikuttavat ilmasto-olosuhteen aiheuttamat riskit. Arviointi suhteutetaan rakennuksen elinkaareen, käyttöikään ja käyttötarkoitukseen. Käytännössä uudiskohteiden osalta arviointi tehdään seuraavalle 50 vuodelle, kun puolestaan olemassa olevan rakennuksen osalta 30 vuodelle. Tarkastelujaksoa sovitetaan kuitenkin kohdekohtaisesti huomioiden esimerkiksi tiedossa olevat peruskorjausajankohdat. Ilmatoriskien arviointi on

tärkeää toteuttaa mahdollisimman todenmukaisuutta kuvaavana ja rakennustyyppiin soveltuvana. Sääolosuhteissa huomioidaan tekijät, jotka ovat Suomessa todennäköisiä ja mahdollisia. (Annala ym. 2024, 16.)

Tärkeää arvioinnissa on ottaa huomioon rakennuksen ja sen materiaalien vaurioituminen muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa, materiaalien ja tuotteiden tekniset käyttöiät sekä niihin kohdistuvat lisääntyvät huolto- ja korjaustarpeet. Ilmastonmuutoksen mahdolliset vaikutukset rakennukseen ja sen käyttäjien turvallisuuteen sekä sisäilmaston olosuhteisiin. Arvioinnissa pohditaan myös rakennusprojektin aiheuttamia ympäristövaikutuksia ja maisemakuvaa. (Annala ym. 2024, 17.)

#### **4.4 Vähähiilisempi ikkunatuotanto**

Ikkunatoimittajat ovat jo useamman vuosikymmenen aikana edistäneet omaa tuotantoprosessiin edesauttaakseen ympäristöystävällisiä tekoja. Yritykset keskittyivät 1990-luvulla kehittämään entistä energiatehokkaampia ikkunoita, joiden tarkoituksena oli vaikuttaa rakennuksen kokonaisenergian kulutukseen alentavasti. Kehityskohteena oli kolmilasisten eristyslaselementtien kehittäminen, jonka myötä tarjonta lasipaksuuksien osalta laajeni 4 millimetrin ja 6 millimetrin paksuisiksi lasituksiksi. Siirryttäessä 2000-luvulle ikkunatoimittajat keskittyivät tuotantotilojensa lämmitysenergian aiheuttamien päästöjen seurantaan ja sen myötä vähäpäästöisimpien energiaratkaisujen selvittämiseen. Samoihin aikoihin yleistyi nelilasisten eristyslaselementtien tuotanto, joilla mahdollistettiin entistä energiatehokkaampien ikkunoiden saatavuus markkinoilla. (Saarinen 2022, 4–6.)

Siirryttäessä 2010-luvulle keskityttiin ikkunatuotannossa valmistettävien materiaalien kierrätettävyyteen. Kehitystyö käytettävien materiaalien uudelleen käytettävyydestä kasvoi ja ikkunatoimittajat kehittivät ratkaisuja ja tuotantovaiheitaan siten, että käytettävät materiaalit voitaisiin niiden elinkaaren loppumisen jälkeen uudelleen jalostaa ja käyttää uusien materiaalien valmistuksessa. Toimilla vähennettiin tuotannossa syntyvien jätteiden määrää, mikä paransi valmistusprosessin energiatehokkuutta ja vähensi ympäristölle epäedullisia tekijöitä. (Keränen n.d.)

Tuotantovaiheessa on siirrytty täysin uusiutuvien energiamuotojen käyttämiseen 2020-luvulla. Lisäksi 2020-luvulla käytäntöihin on vakioitunut hiilijalanjälkiprojektit, joiden avulla on laadittu sisäisiä tiekarttoja ja tuotekohtaisia EPD-ympäristöselostuksia. EPD-ympäristöselostuksissa on esitetty

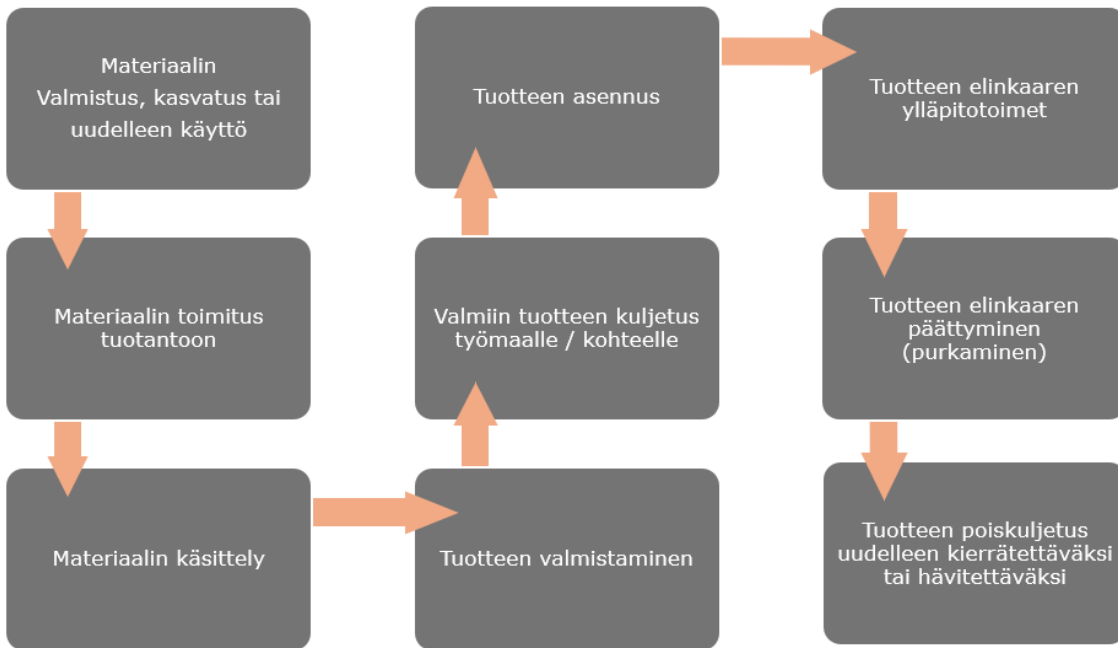
eri ikkunatyypin muodostamien fossiilisten kasvihuonekaasujen päästömäärä Global Warming Potential eli GWP-arvo yhdelle neliömetrin kokoiselle ikkunalle. GWP-arvo kuvastaa yhden ikkunan muodostamaa ilmaston lämmityspotentiaalia. Mitä korkeampi tuotteen GWP-arvo on sitä suurempi muodostuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrä, jotka puolestaan edesauttavat ilmastonmuutosta. Tuotantovaiheessa on keskitetty tuotteiden uudelleen kierrätettävyyteen, minkä myötä hukkamateriaalien ja jätteiden määrää on saatu vähennettyä. Suomessa toimivien ikkunatoimittajien tuotteet ovat lähtökohtaisesti 100 prosenttisesti valmistettu uudelleen kierrätettävästä ja käytettävästä materiaalista. Merkittävin kehityskohta on saavutettu uudelleen käytettävän alumiinin ja lasin osalta, joka on mahdollistanut energian kulutuksen ja syntyvien hiilidioksidipäästöjen vähentämisen tuotantovaiheessa. (Keränen n.d.)

#### **4.5 Ympäristövaikutuksien hallinta ikkunoiden uusimisprosessissa**

Ikkunoiden uusiminen aiheuttaa aina ympäristövaikutuksia, kuten kasvihuonekaasupäästöjä, joita muodostuu materiaaleista, valmistuksesta, kuljetuksesta, tuotteen huollosta ja korjauksista sekä purkujätteiden kierrätyksestä. Erityisesti ikkunoiden valmistusprosessissa käytettävä alumiini on lasin ohella merkittävimpiä hiilipäästölähteitä, minkä takia valmistusprosessissa korostuu erityisesti käytettävä energianlähde ja materiaalin uudelleen kierrätettävyyden. Päästöjä muodostuu lähtökohtaisesti eniten tuotteen valmistusvaiheessa, minkä takia ympäristövaikutuksia pyritään vähentämään ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja kehittämään valmistusprosessiin.

Valmistusprosessin muodostamia päästömääriä voidaan hillitä käyttämällä uusiutuvaa energiaa, kuten vihreää energiaa, uudelleen kierrätettäviä ja kotimaisia materiaaleja. (Keränen n.d.)

Kuviossa 1 on esitetty ikkunoiden valmistusprosessin tavanomaisempia vaiheita, joista jokaisesta muodostuu enemmän tai vähemmän ympäristöpäästöjä. Merkittävimmät ympäristövaikutukset muodostuvat kuitenkin valmistusprosessin alkuvaiheessa, jolloin syntyvien hiilidioksidipäästöjen määrä on suurin. Prosessin keski- ja loppuvaiheessa syntyvien päästöjen määrä stabilisoituu. Ympäristövaikutuksien negatiivisuuden määrä on osittain riippuvainen siitä, kuinka paljon purkujätteistä on uudelleen kierrätettävissä uusien tuotteiden valmistusprosessiin. Mitä paremmin tuotteet voidaan uudelleen kierrättää, sitä tehokkaammin ennaltaehkäistään uusien hiilidioksidipäästöjen muodostumista. (Keränen n.d.) Esimerkiksi uudelleen kierrätettävä alumiini vähentää tarvittavan uuden alumiinin valmistustarvetta, mikä puolestaan heijastuu positiivisesti ympäristövaikutuksiin.



Kuvio 1. Ikkunoiden valmistusprosessin keskeisemmät vaiheet.

Pihla Group Oy:n verkkosivuilla Stenholmin julkaiseman artikkelin mukaan ikkunoiden uusimisella voidaan lämmitysjärjestelmästä riippuen vähentää parhaimmillaan 25 prosenttia omakotitalon lämmitysenergian päästöistä ja muodostuvasta hiilijalanjäljestä. Stenholmin arvio perustuu neljälasiseen Pihla Termo-matalaenergiaikkunoihin, jotka ovat melkein 50 prosenttia energiatehokkaampi kuin tavanomainen kolmilasinen ikkuna. Määrällisesti tämän on osoitettu tarkoittavan noin 750–1300 kiloa hiilidioksidia vuositasona. Artikkelissa Stenholm käyttää esimerkkinä 140 m<sup>2</sup> omakotitaloa, jonka lämmitysmuotona on suorasähköjärjestelmä. Stenholmin mukaan ikkunoiden uusimisella parannetaan merkittävästi rakennuksen energiatehokkuutta ja näin ollen muodostuvaa hiilijalanjälkeä. (Stenholm 2020.) Artikkelissa ei kuitenkaan huomioida ikkunan valmistus- tai asennusvaiheessa muodostuvia hiilidioksidipäästöjä. Huomioitavaa on myös, että energiatehokkuuden parantamiseen vaikuttavat useat tekijät, kuten valittu ikkunatyyppe, lasipaksuus ja lasien määrä sekä rakennuksen energiamuoto ja sijainti. Lähtökohtana voidaan kuitenkin ajatella, että uusi ikkuna, jonka lämmityskerroin eli U-arvo on alle 1 lasien määrästä riippumatta on energiatehokkaampi kuin vanha ikkuna. Ikkunaremontin aikana muodostuu aina hiilidioksidipäästöjä, joita kompensoidaan ikkunoiden elinkaaren aikana energiatehokkuuden ja kierrätettävien materiaalien ansiosta.

Ikkunatoimittajat ovat tuotantovaiheessaan keskittyneet hiilineutraaliuteen ikkunoiden valmistusvaiheesta muodostuvien hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Tästä syystä ikkunavalmistajat ovat alkaneet jo kiinnittämään erityistä huomiota ympäristövaikutuksien minimoimiseksi omassa tuotanto-, kehitys- ja kierrätysprosessissaan. Ikkunatoimittajat käyttävät omissa tuotteissaan uusiutuvia luonnon mukaisia raaka-aineita sekä uudelleen kierrätettyä alumiinia, joilla on pitkäikäisyä. Uusien ikkunoiden valmistuksessa käytettävät materiaalit ovat lähes 100 prosenttisesti uudelleen kierrätettävissä tuotteiden valmistuksesta ja työmaavaiheessa syntyvien jätteiden osalta. Kuljetuksesta aiheutuvien päästöjen minimoimiseksi on tuotantotoimet keskitetty paikalliseksi ja lähelle käytettäviä raaka-aineita. Suomessa toimiville ikkunatoimittajille on myönnetty tuotekohtaiset ympäristösertifikaatit ja CE-merkinnät, jotka osoittavat yrityksen vastuullisuudesta ja ympäristövaikutuksien huomioimisesta. (Keränen n.d.)

Suomen markkinoilla tunnetut ikkunatoimittajat, kuten Pihla Group Oy, Tiivi Oy, Skaala Oy ja Lammin Ikkunat Oy edistävät toimintamallejaan, joiden tarkoituksena on tukea kestävä kehitystä ja parantaa myönteisiä ympäristövaikutuksia vähentämällä ympäristöhaittoja. Ikkunatoimittajat ovat asettaneet pitkänaikavälin tavoitteekseen nettonollapäästöt koko tuotannon arvoketjussa vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteen tarkoituksena on sitoutua kansainväliseen ilmastotavoitteeseen, jossa ennalta ehkäistään ilmaston lämpenemistä yli 1,5 asteella. Keskeisinä kestävä kehityksen edistävinä tekijöinä ovat energian käytön vähentäminen ja uusiutuvan energiamuodon käyttäminen valmistusvaiheessa. (Keränen n.d.) Konkretiassa ikkunatoimittajien tuotannoissa käytetään lämmittämiseen vihreää energiaa. Esimerkiksi Skaala Oy käyttää tuotannon lämmitysenergiassa ylijäämäpuusta puristettuja brikettejä sekä tuotteiden kuljetusvaiheessa hybridi- tai täyssähkö ajoneuvoja (Skaala Oy n.d.).

Pihla Group Oy:n ja sen tytäryhtiöiden tuotteille on laadittu kolmannen osapuolen toimesta EPD-ympäristöseloste, jossa on esitetty eri ikkunatyyppeiden konservatiiviset GWP-arvot. Ympäristöselostukset on laadittu kiinteälle kolmilasiselle puu-alumiini-ikkunalle (MEK-A), avattavalle kaksipuitteiselle ja kolmilasiselle puu-alumiini-ikkunalle (MSEA) sekä avattavalle kaksipuitteiselle kolmilasiselle puuikkunalle (MSE). Ympäristöselostuksien sisältämät tiedot on tarkastettu ulkopuolisen tahon toimesta ja todettu luotettaviksi ympäristötiedon lähteiksi. (Kirkkaita näkemyksiä kestäväan kehitykseen n.d.) Esimerkiksi Pihla Group Oy:n tavanomaisen asunnoissa, toimisto- ja liikekiinteistöissä

käytetyn kiinteän kolmilasisen puu-alumiini-ikkunan, jonka paino on 40,53 kiloa muodostama fossiilisten kasviuonekaasujen päästömäärä eli GWP-arvo on 6,33 kgCO<sub>2</sub>e (Pihla Group Oy 2023). Puolestaan Tiivi Oy:n lanseeraaman kaksipuitteisen ja kolmilasisen puuikkunan GWP-arvo on 7,43 kgCO<sub>2</sub>e samassa painoluokassa (Tiivi Oy 2023). Materiaalitoimittajien laatimista EPD-ympäristöselosteista käy ilmi, että päästöjä muodostuu eniten tuotteen valmistusvaiheessa.

Vuoden 2026 alusta uuden rakentamislain myötä ikkunoiden toimittajilta edellytetään jatkossa kaikille tuotteilleen hiilijalanjälkilaskentaa ja elinkaarianalyysyä. (Keränen n.d.) Kuluttajan näkökulmasta suosimalla ikkunatoimittajia, joille on myönnetty ympäristösertifikaatti ja valitsemalla tuotteita, joille on esitetty hiilijalanjälki, pitkä elinkaari sekä CE-merkintä voidaan omalta osaltaan vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia ikkunoiden uusimisprosessissa.

## **5 Ilmastonmuutos ja sen vaikutukset eri ikkunatyyppeihin**

### **5.1 Ilmastonmuutoksen vaikutukset sääolosuhteisiin**

Maapallon historian aikana ilmasto on vaihdellut ja muuttunut useita kertoa. Muutokset ilmasto-olosuhteissa ovat tapahtuneet kuitenkin hitaasti vuosituhansien aikana. Tutkijoiden mukaan vasta viimeisten vuosisatojen aikana ilmastonmuutokseen on alkanut vaikuttamaan ihmisten toiminta. Tutkijat ympäri maailmaa työskentelevät yhä asian tiimoilta ymmärtääkseen, kuinka ihmisten toiminta vaikuttaa ilmastonmuutokseen ja millaisia seurauksia sillä on tulevaisuuden sääolosuhteisiin. (Brown 2024.)

Ilmasto-olosuhteisiin vaikuttavat merkittävistä ilmanpaine, tuulisuus, kosteus ja pilvisuus sekä sumuisuus. Lisäksi maastonmuodoilla on osaksensa vaikutusta alueelliseen ilmastoon, esimerkiksi tasamaastoiselle alueelle kohdistuu osaksensa voimakkaampaa säärasitusta kuin vuoristoiselle maastolle, jossa vuoristo suojaa ympäristöä ilmanpaineelta, tuulisuudelta sekä auringon säteilyltä. Toisaalta vuoristoisilla alueilla ilmasto-olosuhteet voivat poiketa tasamaastoisesta ympäristöstä, sillä vuoristot vaikuttavat auringonvalon määrään muodostaen varjoalueita, tuulenpaineeseen ja siten pilvisyyteen. Lisäksi vesistöjen läheisyydessä ilmankosteus voi olla voimakkaampaa kuin sisämaassa, tuulenpaineen ja vesistöjen lämpötilan takia. Näin ollen ilmasto-olosuhteet ovat usean tekijän summa, johon vaikuttavat korkeusasema, maaston muoto, etäisyys vesistöistä ja mantee-  
reesta. (Brown 2024.)

Ilmastonmuutos vaikuttaa Suomeen monin tavoin, ja sen vaikutukset ovat jo havaittavissa. Suomessa ilmastonmuutoksen vaikutukset näkyvät erityisesti keskilämpötilan nousuna, joka ennusteiden mukaan on nousemassa edelleen. Suomen keskilämpötila on noussut jo yli 2 astetta 1800-luvun puolivälistä lähtien. Lämpötilan nousu erityisesti talvikuukausina on Suomessa arvioitua nopeampaa kuin monissa muissa osissa maailmaa. Lisäksi vuotuinen sademäärä on kasvanut ja sateet ovat yleistyneet varsinkin talvikuukausina, lisäten samalla viistosateen määrää. Runsaat sateet voivat tulevaisuudessa aiheuttaa merkittäviä tulvia ja heikentää siten infrastruktuuria. Lämpötilan nousun ja sateiden lisääntyneen määrän seurauksesta lumipeitteen määrä ja kesto ovat myös vähentyneet varsinkin Etelä-Suomessa. (Suomen Ympäristökeskus 2022.)

Ilmastonmuutos vaikuttaa ja muuttaa rakennuksia ympäröiviä olosuhteita, jolloin olemassa olevien rakennusten ja niiden rakenteiden toiminta ei välttämättä vastaa muuttuvien ilmasto-olosuhteiden vaatimustasoja. Rakennuspaikka ja ilmansuunta vaikuttavat rakennukseen kohdistuviin ulkopuolisiin rasituksiin ja siten rakennuksen toimivuuteen. Merkittävimpiä ulkopuolisiin rakenteisiin kohdistuvia rasitustekijöitä ovat tuuli, viistosade ja auringonpaiste. Ulkopuolisten rasitustekijöiden rasittavuus on puolestaan suhteessa rakennuksen sijaintiin ja ilmansuuntaan, esimerkiksi merenrannassa puuttomalla eteläsuuntaisella tontilla sijaitsevaan rakennukseen kohdistuu selvästi enemmän ulkopuolisia rasitteita kuin sisämaassa metsän keskellä sijaitsevalla eteläsuuntaisella tontilla. Erityisesti viistosateen ja lämpötilavaihtelun takia julkisivujen puurakenteet ovat muuttuvassa ilmasto-olosuhteessa koetuksella, minkä takia tämä voi näkyä lisääntyvänä huolto- ja ylläpitokorjauksina. Lisääntyneet sademäärät ja lämpötilavaihtelut voivat lisätä erityisesti rakennuksien puuosiin kohdistuvaa kosteusrasitusta. Myös veden tunkeutumisen todennäköisyys ulkoseinä- ja katekenteiden sisempiin rakennekerroksiin kasvaa, jolloin entistä enemmän tulee kiinnittää huomiota ulkovaipparakenteiden liittymien vedenpitävyyteen, vedenohjaukseen ja kuivumiskykyyn. (Laukkarinen ym. 2022, 5–6.)

## **5.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset ikkunarakenteisiin**

Ilmastonmuutos vaikuttaa ulkoilman olosuhteisiin heikentäen samalla ikkunarakenteiden kosteusteknistä toimintaa. Ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomessa ovat merkittävimmät syksyllä ja talvella lisääntyneiden sateiden ja tuulisuuden sekä lämpötilan ja suhteellisen kosteuden nousun takia. Erityisesti viistosateiden lisääntyminen lisää ikkunarakenteiden ulkopuolisiin osiin kohdistuvaa

kosteusrasitusta, mikä hidastaa myös rakenteiden kuivumista luoden yhdessä lämpötilojen nousun kanssa otolliset olosuhteet homekasvustolle. (RIL 107-2022, 28–29.)

Ikkunarakenteisiin kohdistuu ilmastonmuutoksen takia sään ääriolosuhteita, joiden voimakkuuden vaikuttaa erityisesti ikkunoiden sijainti suhteessa ilmansuuntaan. Ikkunarakenteiden osalta säärasituksen vaikutukset ovat merkittävimmät etelä-, länsi- ja lounaisilmansuunnalla, johon kohdistuu muihin ilmansuuntiin verrattuna suurempaa ja pidempi aikaisempaa auringon säteilyä varsinkin kesäkuukausina. (Laukkanen ym. 2022, 126.) Rakennuksen ylimmän kerroksen ikkunat ovat alempiin kerroksiin verrattuna alttiimpana säärasitukselle niihin kohdistuvan voimakkaamman tuulenpaineen ja sen myötä viistosateen määrän takia. Rakennuksen alempien kerrosten ikkunat voivat myös olla enemmän auringon paisteelta suojassa, esimerkiksi kasvillisuuden ja ympäröivien rakennuksien takia. Tästä syystä erityisesti korkeiden rakennuksien ikkunoiden ulkopuolisiin osiin ja rakenneliittyymiin kohdistuvien säärasitusten vaikutus tulee lisäämään ylläpito- ja huoltotöiden tarvetta ikkunoiden teknisen käyttöiän saavuttamiseksi ja ulkovaipparakenteiden kosteusteknisen toimivuuden tarmistamiseksi. (Vinha ja Lähdesmäki 2009, 159–161.)

Säärasituksen, kuten auringon säteilyn ja sateiden vaikutukset ovat merkittävimpiä ikkunatyypeille, joiden ulkopuoliset rakenteet ovat puuta. Auringon säteily haalistaa puuosien maalipinnoitetta, joka puolestaan suojaa puuosia niihin kohdistuvalta kosteusrasitukselta. Maalipinnoitteen haalistuminen ja kulumisen heikentää pinnoitteen antamaa suojaa puulle ja edistää puuosien halkeilua sekä harmaantumista, minkä takia puuosat ovat alttiimpia kosteusrasitukselle. Pidempi aikainen puusiin kohdistuva kosteusrasitus altistaa lahovaurioille. Puuosien lahovaurioituminen heikentää ikkunarakenteen toimintaa, vedenpitävyyttä ja lämmöneristävyttä sekä voi aiheuttaa ilmavuotoja, jotka puolestaan heikentävät asumisviihtyvyyttä. (Vinha ja Lähdesmäki 2009, 161–163.)

Ikkunatyypit, joiden ulkopuoliset rakenteet on toteutettu alumiinilla kestävät säärasituksen vaikutuksia paremmin kuin puuosat, jolloin niiden kunnostus- ja huoltovälitarve on puurakenteisiin verrattuna pidempi (RT 18-10922 2008, 7). Siinä missä puuikkunoiden maalipinnoite haalistuu auringon säteilystä, niin yhtä lailla alumiinipintaisten ikkunoiden maalipinnoite haalistuu ja kuluu ajan kanssa. Maalipinnoitteen tarkoituksena on suojata metallipintoja kosteusrasitukselta, mikä voi aiheuttaa metallipintaan ajan saatossa ruostevaurioita ja siten heikentää niiden toiminnallisuutta.

Rakenneratkaisuilla, materiaalivalinnoilla, rakennuspaikan valinnalla sekä työn laadulla voidaan lähtökohtaisesti vaikuttaa parantavasti niiden sietokykyyn ajatellen ilmastonmuutoksen vaikutuksia. Noudattamalla hyvää rakennustapaa ja käyttövaiheen aikana tehtävillä ylläpidon toimilla voidaan keskeisesti vaikuttaa ilmastonmuutoksen aiheuttamiin rakenteisiin kohdistuviin rasisutustekijöihin. Erityisesti uusien rakennuksien ja rakennusmateriaalien osalta on tärkeää ottaa huomioon ilmasto-olosuhteiden muutokset, jotta rakenteet, materiaalit ja rakennukset itsessään kestävät myös tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa. (Laukkanen ym. 2022, 126.)

## **6 Ikkunatyypien kehitys, vaatimukset ja ylläpito**

### **6.1 Ikkunatyypien kehityskaari**

1800-luvulla ja 1900-luvun alussa ikkunoiden puutavarana käytettiin pääasiassa hyvälaatuista puuta, kuten mäntyä. Ikkunapuitteet ja -karmit valmistettiin pitkään kasvaneesta ja laadukkaasta honkapuusta, joka kaadettiin vasta 150–250 vuotta vanhana. Pitkään kasvaneen puun hyvälaatu perustui pitkälti puun kovuuteen, joka kesti hyvin säärasitusta, kolhuja ja iskuja. Lisäksi puuosat suojattiin säärasitukselta pellavaöljymaalilla ja ikkunoiden karmiliittymissä käytettiin tilke-eristeenä pellavarivettä. Puolestaan 1960-luvulla ikkunoiden valmistuksessa käytetyn puutavaran laatu heikentyi, sillä puutavarana käytettiin taloudellisista syistä nuorena kaadettuja valikoimattomia puita. Pellavaöljymaalin sijasta ikkunoiden puuosien suojaamisena siirryttiin käyttämään edullisempaa puunsuoja-ainetta tai lateksipohjaista maalia, joiden käyttöikä ja kestävyys eivät olleet yhtä hyvät kuin pellavaöljymaalin. Lisäksi ikkunoiden tilke-eristeissä aiemmin käytetty pellavarive korvattiin mineraalivillaeristeellä. (Käyhkö 2023.)

Metallipintaiset ikkunat saapuivat markkinoille 1860-luvulla, mutta niiden varsinainen suosio kasvoi vasta 1900-luvulla, vaikka alumiinia on erotettu malmista jo vuodesta 1825 alkaen tanskalaisen kemistin Hans-Christianin toimesta. Metallipintaisten ikkunoiden kysyntä kasvoi markkinoilla siinä vaiheessa, kun ymmärrettiin, että metallipintaiset ikkunat kestävät puurakenteisia ikkunoita paremmin tulipaloja. Lisäksi teräsvalmistajien teknologian kehittyminen 1900-luvun taitteessa mahdollisti metalli-ikkunoiden kilpailukykyisen hintatason suhteessa puuikkunoihin. Alumiini-ikkunoita käytettiin 1910-luvun alussa raitiovaunuissa ja linja-autoissa sekä sittemmin 1930-luvusta alkaen teollisuus- ja liikerakennuksissa. Toisen maailman sodan jälkeen alumiini-ikkunoiden kysyntä kas-

voi myös asuinrakennuksissa. Alumiini-ikkunoita markkinoitiin edullisina, huoltovapaina ja helppokäyttöisinä, minkä myötä erityisesti asuinrakennuksien osalta ikkunatyypin nähtiin taloudellisesti ja kestäväen kehityksen kannalta järkevimpänä vaihtoehtona. (Adams 2021.)

Energiakriisin jälkeen siirryttäessä 1970-luvun alkuun kolmilasisien ikkunoiden ja eristyslasielementtien käyttö yleistyi, jolloin vanhoihin kaksilasisiin ikkunoihin lisättiin kolmaslasi niin sanottuna lisälasina tai vaihtoehtoisesti sisäpuutteen lasitus korvattiin kokonaisuudessaan kaksilasilla eristyslasielementillä. Puolestaan kolmilasisien puu-alumiini-ikkunoiden käyttö yleistyi Suomessa 1990-luvun puolivälissä. Puu-alumiini-ikkunat poikkesivat aiemmista puuikkunoista siten, että ikkunoiden ulkopuoliset osat toteutettiin alumiinilla. Ensimmäisten puu-alumiini-ikkunoiden laatu oli heikko lähinnä lama-ajan takia, eikä ikkunoiden käyttöikä ollut läheskään yhtä pitkä kuin vanhojen kovasta puusta valmistettujen puuikkunoiden. Vuosien saatossa puu-alumiini-ikkunoiden laatu on kuitenkin parantunut merkittävästi, minkä takia ikkunatyypin on yleistynyt käytännössä vakioikkunatyypiksi sen helppohoitoisuuden ja paremman huollettavuuden sekä säärasitusta kestävämmän materiaalin takia. Erityisesti asuin- ja toimistorakennuksissa uudet ikkunat toteutetaan lähtökohtaisesti kaksipuutteisilla ja kolmilasisilla puu-alumiini-ikkunoilla. Lisäksi 1990-luvun lopusta alkaen ikkunoiden tilke-eristeenä alettiin käyttämään mineraalivillan sijasta polyuretaanivaahtoa, jota käytetään myös tänä päivänä. Polyuretaanivaahdo kestävä mineraalivillaa paremmin säärasitusta, kuten kosteutta ja oikein asennettuna sen ilmanpitävyys on myös selvästi parempi. (Käyhkö 2023.)

## 6.2 Uusien ikkunoiden vaatimustaso

Suomen rakentamismääräyskokoelman asetuksissa on määritetty rakennuksen ikkunoihin suunnitelmämääräyksiä, jotka kohdistuvat lähinnä uudisrakentamiseen ja rakennuksen oleelliseen käyttötarkoituksen muutokseen. Ikkunoita valittaessa tulee ottaa huomioon rakennuksen ja sen käytön sekä lähiympäristön edellyttämät vaatimukset ikkunan ulkonäölle, valmistusmateriaalille ja muodoille. Valintaan vaikuttavat oleellisesti tekijät, joita ikkunatyypiltä edellytetään. Ikkunatyypin valintaan vaikuttavat tavoiteltu pitkäaikaiskestävyys, huollettavuus, energiatehokkuus ja asumisviihtyvyys. (RT-103241 2020, 6.)

Rakentamismääräyskokoelma määrittää lämmöneristävyysvaatimukset, jotka koskevat rakennuksen ulkovaippaan asennettavia kaikkia ikkunoita. Uusittavien energiatehokkaampien ikkunoiden U-

arvon tulee olla enintään  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  tai parempi. U-arvo kuvaa ikkunoiden lämmönläpäisykerrointa eli ikkunan lämmöneristävyttä. Mitä pienempi U-arvon luku, sitä parempi on ikkunan lämmöneristävyys ja siten energiatehokkuus. Ikkunoiden teknisiin ominaisuuksiin vaikuttavat myös kohteen paloturvallisuusvaatimukset, jotka on voitu erikseen määrittää kuntien kaavoituksissa. (Virkamäki 2014, 13.) Suomessa ikkunavalmistajilla on käytössä vapaaehtoinen energialuokitus, jossa huomioidaan ikkunan läpi tapahtuva lämpöhäviö sekä rakennuksen sisälle ikkunan läpi kulkeuvasta auringonsäteilystä aiheutuva lämpö eli g-arvo. Mitä pienempi on ikkunan g-arvo, sitä tehokkaammin ikkunalasitus estää auringonsäteilyn aiheuttaman lämpöenergian pääsyn huonetilaan. Ikkunoille laaditun energialuokituksen tarkoituksena on helpottaa eri valmistajien erilaisten ikkunatyyppeiden energiatehokkuuden vertailua hankittaessa uudet ikkunat niin korjauskohteisiin kuin uudisrakennuksiin. Ikkunat jaetaan energialuokkiin A++, A+, A-G ikkunan laskennallisen vertailuluvun mukaan. (RT-103241 2020, 8.)

Uusien ikkunoiden ääneneristävyys on pääasiassa vanhoja ikkunoita parempi. Lähtökohtaisesti rakennukset, joissa on asuin-, majoitus- tai potilashuoneita tulee ulkovaipan äänieristävyys suunnitella ja toteuttaa melualueilla niin, että ikkunan äänieristävyys on vähintään 30 desibeliä. Asuin-, työ- ja majoitushuoneen ikkunan valoaukon tulee olla ainakin  $1/10$  osaa huonealasta. Lisäksi ikkunoiden sijoittelussa tulee ottaa huomioon huonetilaan tuleva valoisuus, huoneen kalustettavuus sekä näkymä ulos huoneesta. (RT-103241 2020, 6.)

Ikkunalasitukset tulee mitoittaa tapauskohtaisesti rakennuksen sijainti huomioiden. Lisäksi lasipaksuus valitaan kohteen edellyttämien murtosuojien mukaisesti. Yleisesti uudet kiinteiden ikkunoiden lasitukset on varustettu automaattisesti turvalasilla. Tarkempien lasipaksuus vaatimuksien määrittämisessä käytetään standardia SFS-EN 16612:2019 *Glass in building. Determination of the lateral load resistance of glass panes by calculation*. Rakennuksen ikkunoihin voi myös kohdistua erilaisia vaatimustasoja, esimerkiksi osa ikkunoista voi edellyttää putoamissuojaa kuten suojakaidetta. (RT-103241 2020, 7.)

Ikkunoiden ilmanpitävyyden edellytyksenä on, ettei ikkunarakenteen läpi saa tapahtua ilmavuotoja, jotka aiheuttavat vedon tunnetta tai tilan lämmitystarpeen lisäämistä. Ikkunoiden ilmanpitävyys on tärkeässä osassa tarkasteltaessa niiden energiatehokkuutta. Ikkunoille määritelty ilmavuotoluku eli L-arvo kuvastaa ikkunarakenteen ilmanpitävyyttä. Ilmanvuotoluku määritellään karmille,

lasille ja puitteelle, mitä pienempi lukuarvo on, sitä vähemmän ikkunan läpi tapahtuu ilmavuotoa. (Virkamäki 2014, 13.) Ikkunakarmin ja sisäpuitteen välisten liittymien tiivistykset tulee olla sellaiset, ettei sisäilma pääse kulkeutumaan karmin välitilaan aiheuttaen kosteuden tiivistymistä rakenteiden pinnoille tai ikkunalasiin. Ulkopuitteen ja karmin väliset tiivistykset eivät kuitenkaan saa olla ilmatiiviit, jotta karmin välitila pääsee tuulettumaan. Yleisesti tämä toteutetaan niin, että ulkopuitteen ylä- ja alaosasta leikataan pienet palat tiivistysnauhaa pois. Näin ollen ikkunarakenteen tiiveys vähenee sisältä ulospäin mentäessä, jolloin kamin välitilassa oleva kosteus pääsee tuulettumaan ulkoilmaan. Ikkunoiden ilmanpitävyyden testaus tehdään standardin *SFS-EN 1026* mukaisesti ja ikkunan ilmanpitävyys luokitellaan standardin *SFS-EN 12207* mukaan. (RT-103241 2020, 9.)

Ikkunarakenteen tulee olla sellainen, ettei sadevesi pääse kulkeutumaan ikkunan läpi ikkunarakenteisiin, kuten karmin ja ulkovaipan väliseen tilke-eristeeseen tai huonetilaan. Ulkoseinän ja sen eri rakennekerrokset ovat kokonaisuus, jonka tehtävänä on estää veden haitallinen kulkeutuminen rakenteen sisälle. Ulkoseinän ulko-osat tulee suunnitella ja toteuttaa vedenpitäväksi myös liittymien osalta siten, ettei rakenteeseen pääse kulkeutumaan vettä. Sadevesi ei saa myöskään kulkeutua ikkunarakenteen sisäpinnoille, joiden ei ole tarkoitettu olevan kosketuksissa ulkopuoliseen kosteusrasitukseen. Ikkunakarmin, puitetyypin ja lasipaksuuden valinnassa on otettava myös huomioon tuulenpaineen vaikutukset ja sen kestävyys. Ikkunarakenteen tulee kestää siihen kohdistuva ali- ja ylipaineen vaihtelu sekä rasitus, ilman että ikkunan toiminnallisuus heikkenee. (RT-103241 2020, 9.)

Uusilla ikkunoilla tulee olla CE-merkki, joka osoittaa, että tuote täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset. Tuotteelle myönnetään CE-merkintä silloin, kun tuote on läpäissyt asianmukaiset suoritustason vahvistavat menetelmät. Tuotestandardissa *SFS-EN 14351-1* on tarkemmin kuvattu edellytykset CE-merkinnälle ja sitä täydentävässä soveltamisstandardissa *SFS 7031* on kuvattu vaatimus- ja suoritustasot. Pakollisena CE-merkinnän ilmoitettavana ominaisuutena on ikkunan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo. (RT-103241 2020, 11.)

Puu-alumiini-ikkunoiden keskeisimpinä laatuvaatimuksina on, että puun luonnollinen kosteuseläminen ja alumiiniosien lämpöliikkeet otetaan huomioon, jotta ikkunarakenteen toiminnallisuus ei

heikkene. Ulkopuitteen alakappaleen yläpinnan tulee olla kalteva ulospäin, jotta kondenssi- tai sadevesi eivät lammikoidu lasituksen ja puitteen väliin. Kaltevuudeksi suositellaan yleisesti 1:4, mikä tarkoittaa 15 asteen kulmaa. Lasituksen liittymät ulkopuitteeseen tulee olla vesitiiviit ja lasituksessa tulee käyttää säänkestäviä tiivistysmassoja. Alumiinisen ulkopuitteen ja karmin sisäpuolisten puuosien väliin on jätettävä riittävä tuuletus, jotta karmin välitila pääsee tuulettumaan asianmukaisesti. Alumiiniprofiilin alle jäävät puupinnat tulee käsitellä pintakäsittelyaineella, kuten maalilla vähintään yhden kerran. (RT-103241 2020, 15.)

Puuikkunoiden osalta käytettävässä puutavarassa ei saa olla hyönteisvahinkoa, lahovaurioita, pihkakoloja, kuorta tai vajaasärmää. Käytettäessä jalopuutavaraa ei pintapuussa saa olla läiskiä, kuten värjäymää. Havupuutavarassa sydänpuun luonnonmukainen värjäytyminen on sallittavaa. Mikäli havupuutavarassa esiintyy laho-oksia tai kuorioksia, tulee nämä kohdat paikata ja korjata. Paikkauksissa tulee käyttää samaa puulajia ja paikatun kohdan tulee ulkonäöltään vastata muuta ehjää puuainesta. Mahdolliset irralliset oksakohdat tulee uudelleen kiinnittää joko puukitillä tai liimamalla. Puussa olevat oksat tai paikkaukset eivät saa heikentää tuotteen lujuutta tai ominaisuuksia normaalissa käytössä. Puuosia paikkakorjattaessa tai puutavaraa jatkettaessa tulee käyttää standardin *SFS-EN 204* laatuvaatimuksia vastaavaa liimaa. (RT-103241 2020, 16.)

### **6.3 Ikkunoiden uusimiselle tarvittavat luvat**

Ikkunoiden uusiminen pien- ja rivitaloissa ei edellytä rakennusvalvonnan lupaa, mikäli ikkunoiden uusiminen toteutetaan energiatehokkuuden parantamiseksi, eikä kyseessä ole suojeltu- tai kulttuurihistoriallisesti arvokas rakennus. Puolestaan asuinkerrostalojen luvanvaraisuus tulee aina varmistaa, etenkin tilanteissa, joissa puite- ja karmijakoa muutetaan. Julkisten rakennusten osalta ikkunoiden uusiminen edellyttää lähtökohtaisesti toimenpideluvan. Rakennukset, jotka ovat suojeltuja, rakennuskielossa, kulttuurihistoriallisesti arvokkaita tai rakennus sijaitsee alueella, joka on luokiteltu valtakunnallisesti arvokkaaksi edellyttävät rakennuslupaa. (Virkamäki 2014, 6–9.) Eri kuntien välillä voi olla eroavaisuuksia lupamenettelyissä, minkä takia on aina suositeltavaa olla yhteydessä kunnan rakennusvalvontaan ja selvittää mahdollista luvanvaraisuutta.

Lähtökohtaisesti uusittavien ikkunoiden ollessa puite- ja karmijaoiltaan, materiaaleiltaan, värisävyltään sekä detaljeiltaan alkuperäisiä ikkunoita vastaavat, voidaan toimenpide toteuttaa niiltä osin kuin vaaditaan toimenpideluvalla. Toimenpide- ja rakennuslupaa haetaan kiinteistön sijainti

kunnan lupapisteestä. Ikkunoiden uusiminen toimenpideluvalla tulee toteuttaa niin, että noudatetaan kyseisen kaava-alueen vahvistettua korjausohjetta ja rajoituksia. Mikäli ikkuna-aukkojen koko muuttuu uusittavien ikkunoiden myötä, tulee toimenpiteelle hakea rakennuslupaa. Ikkunoiden uusiminen voi edellyttää myös erillistä rakennesuunnittelua, sillä erityisesti vanhemmissa rakennuksissa ikkunat voivat olla osa kantavaa rakennetta. Rakennuslupaa tulee myös hakea, mikäli kiinteistö on luokiteltu suojeltavaksi rakennukseksi. Suojeltavarakennus on esitetty asemakaavassa merkinnällä ark ja sr-1 tai sr-2. Suojeltujen rakennusten osalta tulee hakea rakennuslupaa varten lausunto kaupunginmuseovirastolta, sillä suojeltavien rakennuksien osalta ikkunoihin voi kohdistua tarkkoja kriteerejä, jotka voivat edellyttää vanhojen ikkunoiden säilyttämistä niiden uusimisen sijasta. Suojeltujen rakennusten osalta vanhojen ikkunoiden restaurointi voidaan toisinaan toteuttaa siten, että ikkunoiden sisäpuolteen energiatehokkuutta parannetaan esimerkiksi lisäämällä ikkunalasi tai korvaamalla vanha ikkunalasi eristyslaselementillä. (Virkamäki 2014, 6–12.)

Toimenpidelupaa haettaessa ikkunoiden uusimiselle, tulee lupapisteeseen toimittaa tiedot alkuperäisten ikkunoiden iästä, kunnosta, alkuperäisyydestä, mallista, puite- ja karmijaosta, materiaalista sekä väristä. Kiinteistön omistajan tai taloyhtiön on selvitettävä myös lupaa varten olemassa olevien ikkunoiden kunto, niiden puutteet ja korjaustarpeet, joilla pyritään saamaan vastaus siihen, miksi ikkunoiden uusiminen on ajankohtaista ja olennaista ajatellen rakennuksen elinkaarta. Tästä syystä alkuperäisille ikkunoille toteutetaan usein ulkopuolisen alan asiantuntijan toimesta ikkunoiden kuntotutkimus tai kuntoselvitys. Tutkimuksessa saatuja tietoja käytetään lähtötietoina uusittavien ikkunoiden korjaussuunnittelussa. Korjaussuunnittelussa tulee ottaa huomioon purettavien vanhojen materiaalien mahdollinen uudelleen kierrätettävyys sekä syntyvän purkujätteen käsittelytapa. Lisäksi tulee mahdollisuuksien mukaan toimittaa julkisivupiirustukset ja detaljipiirustukset alkuperäisistä uusittavista ikkunoista. Alkuperäisten ikkunoiden tilalle asennettavien uusien ikkunoiden osalta tulee toimittaa lupapiirustukset, jotka sisältävät asemapiirustuksen, julkisivupiirustukset, pysty- ja vaakadetaljit sekä ikkunatyypin tarkemman kuvauksen. (Virkamäki 2014, 10–12.)

Vuoden 2025 alusta voimaan astuvan uuden rakentamislain myötä uusittavien ikkunoiden osalta tulee toimenpide- tai rakennuslupahakemuksen liitteenä toimittaa ikkunoiden materiaaliselostus, josta käy ilmi käytettävät materiaalit. Lisäksi tulee esittää selostus purettavien materiaalien muodostaman purkujätteen käsittelytavasta tai uudelleen käytettävyydestä. Uusien materiaalien

osalta tulee laatia myös hiilijalanjätkilaskenta rakennuksen koko elinkaaren ajalle. Nykyohjeistuksen mukaisesti hiilijalanjätkilaskenta tulee tehdä Suomen Ympäristökeskuksen laatiman ohjeistuksen mukaisesti. (Koskentalo 2024.)

## 6.4 Ikkunoiden käyttöiät ja kunnossapitojaksot

RT-kortisto pitää sisällään keskeisiä ohjeita rakennusalalle, alaa ohjaavia määräyksiä ja lakeja sekä yleisiä laatuvaatimuksia ja tuotetietoja. Kortistot on tarkoitettu pääasiassa suunnitteluun ja rakennuttamiseen. Kortistojen tietopohjat on rakennettu lainsäädännön ja määräysten lisäksi yhteistyössä alan asiantuntijoiden kanssa. Niissä esitetty tietoperusta on ajantasaista, luotettavaa ja puolueetonta perustuen tutkittuun, testattuun ja kokemusperäiseen tietoon. (Rakennustieto 2008.)

*Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekortissa on esitetty eri rakenteille, rakennusosille ja materiaaleille arvioidut tekniset käyttöiät sekä ajan jaksot, joiden aikana on suositeltavaa kohdistaa kunnostus- tai uusimistoimenpiteitä. Esitetyt käyttöiät ja kunnossapitojaksot perustuvat materiaalivalmistajien, alan asiantuntijoiden, tutkimusten ja testausten yhteistyössä muodostuneeseen tietopohjaan. Ohjekorttia päivitetään yhteistyössä eri toimijoiden kanssa, jotta lopputulos olisi mahdollisimman todenmukaisuutta kuvastava. (RT 18-10922 2008, 1.)

Kiinteistön omistajan, konsulttien, suunnittelijoiden ja materiaalien toimittajat määrittämät kunnossapitotoimenpiteet pohjautuvat vahvasti *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekorttiin. Ohjekortin määrittämiä käyttöiä sovelletaan rakennusalalla ja kiinteistöjen kunnossapidossa. Ikkunoiden osalta ohjekortissa on määritetty erilaisille ikkunatyypeille tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot. Taulukossa 1 on esitetty ohjekortin mukaisia kunnossapitotoimenpiteitä ja käyttöikää erityyppisille ikkunoille. (RT 18-10922 2008, 1–2;7.)

Taulukko 1. Eri ikkunatyypien tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot.

Ikkunatyypit	Keskimääräinen tekninen käyttöikä eri rasitusluokissa			Ylläpidon toimenpiteet	
	1 vaikea	2 normaali	3 kevyt	Tarkastusväli	Huoltoväli ja kunnossapitajaksot
Puuikkunat	30 vuotta	50 vuotta	70 vuotta	5 vuotta sisäpuolinen tarkastus 2 vuotta ulkopuolinen tarkastus	5-15 vuotta ulkopuolisten puuosien maalaus 8-15 vuotta sisäpuolisten puuosien maalaus 3-12 vuotta puitteiden ja karmin ikkunatiivisteiden uusiminen
Puu-alumiini-ikkunat	40 vuotta	60 vuotta	Rakennuksen käyttöikä (arviointi tapauskohtaisesti)	5 vuotta sisä- ja ulkopuolinen tarkastus	8-15 vuotta sisäpuolisten puuosien maalaus 3-12 vuotta puitteiden ja karmin ikkunatiivisteiden uusiminen
Metalli-ikkunat (lähinnä kiinteät)		Rakennuksen käyttöikä (arvioidaan tapauskohtaisesti)		1 vuotta sisä- ja ulkopuolinen tarkastus	5 vuotta ikkunalasituskien tiivistenauhojen uusiminen 10-20 vuotta metalliosien maalaus

Rasitusluokat on jaoteltu vaikeaan, normaaliin ja kevyeen, mitkä kuvastavat ympäristön ja käytön aiheuttamia olosuhteita ja vaikutuksia tekniseen käyttöikänsä. Ohjekortissa ei ole avattu tarkemmin, millä kriteereillä mikäkin rasitusluokka valikoituu tai mitkä tekijät ne tarkalleen ottaen määrittävät. Rasitusluokilla viitataan ilmastovaikutuksiin, kuten auringonsäteilyyn, tuulen ja viistosateen määrään esim. meren läheisyydessä sijaitsevat kiinteistöt verrattuna taajama-alueella puuston suojassa oleviin kiinteistöihin. Puolestaan käytön aiheuttama rasitusluokka pohjautuu kiinteistön käyttötarkoitukseen, joka voi olla esimerkiksi toimisto-, asuin- tai varistorakennus, julkinen kiinteistö kuten oppilaitos, päiväkot, museo tai kirjasto. Ohjekortti käyttävän henkilön on tulkittava ja sovellettava tietopohjaa sekä ymmärrettävä kunkin kiinteistön lähtökohdat, sijainnin vaikutus, käyttöaste sekä käyttötarkoitus. (RT 18-10922 2008, 2.)

Kunnossapitajaksolla kuvataan keskimääräistä aikaväliä, minkä jälkeen kunnossapitotoimenpiteet tulee toistaa teknisen käyttöiän saavuttamiseksi. Kunnossapidolla tarkoitetaan tietyn rakennusosan, rakenteen, laitteen tai järjestelmän kunnostamista, korjaamista tai osittaista uusimista. Huoltovälillä puolestaan tarkoitetaan ajanjaksoa, jonka kuluttua rakennusosalle, rakenteelle, laitteelle tai järjestelmälle tulee tehdä huoltosuunnitelman mukaiset ja tarvittavat tarkastus- sekä

huoltotoimenpiteet. Huoltotoimenpiteiden avulla pyritään ylläpitämään määritettyjä kunnossapitojaksoja. Huoltotoimenpiteiden tai tarkastusten laiminlyöminen voivat aikaistaa tarvetta tehdä kunnostustoimenpiteitä vaikuttaen samalla niiden laajuuteen. (RT 18-10922 2008, 2.)

Tarkastusväli kuvastaa suunnitelmallista ajanjaksoa, jonka jälkeen tietyn rakenteen, rakennusosan, laitteen tai järjestelmän kunto ja toimivuus tulee tarkastaa. Tarkastettavan asian tai kohteen tulee pysyä tarkastuksen välisen ajanjakson kunnossa ja toiminnassa. Mikäli näin ei ole, tarkasteluväli on ylittynyt. (RT 18-10922 2008, 2.)

Ohjekortissa ei ole määritetty tarkemmin kuinka esitettyjen tarkastusvälien mukaiset tarkastukset tulee toteuttaa tai kenen toimesta ne voidaan tai tulee toteuttaa. Myöskään ohjekortissa ei ole kuvattu yksityiskohtaisesti, kuinka huolto- ja kunnostustoimenpiteet tulee toteuttaa. Esimerkiksi huoltomaalauksen osalta ei ole otettu kantaa, miten huoltomaalaus toteutetaan alustastaan irti olevan pinnoitteen päälle. Ikkunoiden puuosissa esiintyville halkeamille tai puuosien pehmenemisille ei ole esitetty erikseen tehtäviä huolto- tai kunnossapitotoimenpiteitä. Ikkunoiden käynnin, helojen ja saranoiden osalta ei ole määritetty kyseisessä ohjekortissa toimenpiteitä.

Rakennusosien teknisellä käyttöiällä tarkoitetaan ajanjaksoa, jonka ajan rakennuksen kyseinen osa täyttää sille määritetyt toimivuustavoitteet tavanomaisilla ylläpidon toimilla. Rakennusosille asetettujen toiminnallisuusvaatimusten täytyminen edellyttää niihin kohdistuvien olosuhteiden huomioimista tarkoituksen mukaisessa laajuudessa. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmastonmuutoksen aiheuttamat todennäköiset säännäri-ilmiöt tulee osata huomioida arvioitaessa rakennusosan tai materiaalien teknistä käyttöikä. Ilmastonmuutoksen vaikutusten lisäksi tarkastelussa otetaan huomioon myös rakennuksen sijainti ja ympäristön vaikutukset. (Laukkanen ym. 2022, 2–3.)

## **6.5 Ikkunatyypin huolto- ja kunnostustoimet**

Vanhojen ikkunoiden ohella myös uudet ikkunat edellyttävät aika ajoin huoltoa ja kunnostustoimenpiteitä, jotta niiden tavoiteltu tekninen käyttöikä voidaan mahdollistaa ja yleinen ikkunoiden toiminta varmistaa niiden koko elinkaaren ajan. Uusien ikkunoiden osalta kunnostus- ja huoltotoimenpiteiden tarvetta tulee seurata säännöllisesti. Lähtökohtaisesti uusiin ikkunoihin kohdistuu en-

simmäisen 20 vuoden aikana pääasiassa kevyitä huoltotöitä, joiden tarkoituksena on varmistaa ikkunoiden asianmukainen toiminta ja asumisviihtyvyys, kuten puitteiden tiivisteiden ilmanpitävyys (Mikkola ja Böök 2016, 187).

Ikkunoille tehtävien laajempien kunnostustoimenpiteiden, kuten huoltomaalauksen, halkeamien paikkauksen ja lasitusmassojen uusimisen välissä tulee tehdä tavanomaisia huoltotoimenpiteitä, joiden tarkoituksena on ylläpitää ikkunoiden kuntoa ja toimintaa seuraavaa kunnossapitajaksoa varten. Säännöllisin väliajoin tehtävät huoltotoimenpiteet pitävät sisällään puitteiden saranoiden ja ikkunasulkijoiden huoltamisen, kuten kiristämisen, öljyämisen ja mekaanisen puhdistuksen. Saranoiden huoltotöiden yhteydessä on suositeltavaa tarkastaa puitteen asianmukainen käynti ja toiminta. Ikkunalaseja ja puitteiden välitilaa on suositeltavaa puhdistaa aika ajoin ulkoilman pölystä, hyönteisistä ja muista lioista, jotta puitteen käynti ei vaikeudu. Pitämällä puitteiden välitilan ja ikkunalasit puhtaana pystytään myös paremmin tarkastelemaan ikkunoiden kuntoa ja reagoimaan tarvittaviin toimenpiteisiin. Lisäksi puitteiden välitilassa oleva pöly- ja likakertymä rasittavat ikkunapuitteiden silikonitiivisteitä avattaessa, minkä seurauksesta ne voivat kulua nopeammin tai irrota tartuntapinnastaan. (Mikkola ja Böök 2016, 192–218.)

Energiätehokkaissa eristyslasi-ikkunaelementeissä voi esiintyä niin sanottuja kaasuvuotoja, jotka ovat havaittavissa ikkunalasien harmaantumisena. Ikkunalasien harmaantuminen viittaa eristyslaselementin eristyskyvyn heikkenemiseen, jolloin yleensä korjaustoimena on ikkunalasin uusiminen. Eristyslaselementtien kuntoa tulee seurata säännöllisesti, ja parhaiten kunnon seuraaminen voidaan toteuttaa pitämällä ikkunalasit puhtaana. (Käyhkö 2023.)

Uusien ikkunoiden ulkopuitteiden vesitiiveys on toteutettu avattavien ikkunoiden osalta lasituksen ja puitteen väliin asennetulla saumamassalla. Puolestaan kiinteiden ikkunoiden osalta liitos on toteutettu elastisella tiivistenauhalla. Saumamassan ja tiivistenauhan käyttöikään vaikuttavat pääasiassa sääolosuhteet, ilmansuunta sekä ikkunan läheisyydessä oleva kasvillisuus. Erityisesti etelä- ja länsijulkisivulla ulkopuitteeseen kohdistuu suurempaa säärasitusta, jolloin saumamassan ja tiivistenauhan kunto voi heiketä merkittävästi pohjois- ja itäjulkisivua aikaisemmin. Tästä syystä lasitusmassan ja tiivistenauhan kuntoa tulee seurata säännöllisesti, jotta ikkunaosien liittymien vesitiiveys on asianmukainen. Havaittaessa lasitusmassan tai tiivistenauhan irtoamista tartuntapinnastaan tai rakoja lasituksen välisessä liittymässä on liittymän tiiveyttä parannettava

joko uusimalla tai paikkakorjaamalla mahdollisuuksien mukaan vaurioitunut alue. (Mikkola ja Böök 2016, 212–213.)

Ikkunoiden puuosat ovat tavanomaisesti maalattuja. Maalipinnoitteen tarkoituksena on suojata puuosia säärasitukselta, valolta ja lämmöltä. Erityisesti ulkopuitteiden osalta rasitus on merkittävämpää kuin sisäpuolisten puuosien osalta, sillä ulkoilman säärasituksen vaikutukset ovat suoranaisia ikkunoiden ulkopuolisiin osiin. Maalipinnoite haalistuu ja kuluu ajan kanssa, esimerkiksi auringon säteilystä, sade- ja pesuvedestä sekä ikkunoiden pinnalta harjaamalla poistettujen roskien tai lumen takia. Maalipinnoitteen heikentyessä heikentyy myös sen antama suoja puulle, jolloin puusiin voi alkaa muodostumaan halkeamia ja lahovaurioita. Tästä syystä on tärkeää erityisesti ulkopuitteen osalta huolehtia puuosien huoltomaalauksesta. Yhtä lailla maalattujen alumiini ja metallipintojen maalipinnoite kuluu ajan saatossa, jolloin alueella, josta pinnoite on irronnut voi muodostua ruostevaurioita. Näin ollen myös maalattujen metallipintojen huoltomaalaaminen on tärkeää, jotta rakenteeseen ei pääse muodostumaan vaurioita, jotka voisivat heikentää rakenteen kantavuutta siinä missä puuosien lahovauriot. (Adams 2021.)

Alumiini-ikkunat eivät edellytä puuikkunoiden tavoin säännöllistä maalikerroksen kunnostamista tai aika ajoin vanhan maalipinnoitteen poistamista puhtaalle pinnalle ikkunatyypin säilyvyyden varmistamiseksi. Alumiinipinnat tulee lähtökohtaisesti puhdistaa säännöllisesti, jotta alumiiniosiin ei pääse muodostumaan korroosiota, mikä voisi heikentää ikkunarakenteen kantavuutta. Erityisesti silloin alumiinipintojen säännöllinen puhdistaminen on ensisijaisen tärkeää, kun alumiinipinnat ovat pinnoittamattomat. Tällöin alumiiniosissa ei ole maalipinnoitetta, joka suojaisi alumiiniosia ulkoilman tuomalta säärasitukselta. Alumiiniosia tulee huoltomaalata vastaavalla tavalla kuin puuikkunoita erityisesti ulkopuolisten osien osalta silloin, kun alumiiniosat ovat alkujaan olleet pinnoitettuja. Alumiiniosien huoltomaalaus on kuitenkin suhteessa kevyempi toimenpide kuin puuikkunoiden, sillä lähtökohtaisesti huoltomaalaus väli on pidempi ja uusi pinnoite voidaan toteuttaa vanhan pinnoitteen päälle. (Adams 2021.)

Kuviossa 2 on esitetty tavanomaisia avattaviin puuikkunoihin elinkaaren aikana kohdistuvia huolto- ja kunnostustoimenpiteitä sekä tyypilliset eri ikkunaosiin tehtävät tarkastukset. Toimenpiteiden tarkoituksena on saavuttaa ikkunatyypin elinkaarelle määritetty keskimääräinen tekninen

käyttöikä, joka on normaaleissa rasitusolosuhteissa 50 vuotta. Puuikkunoissa sisä- ja ulkopuite sekä karmi ovat puurakenteiset.

SISÄPUITE	KARMI	ULKOPUIITE
<ul style="list-style-type: none"> <li>Puuosien huoltomaalaus</li> <li>Vähäisten halkeamien paikkaus</li> <li>Puitteen silikonitiivisteiden uusiminen</li> <li>Erytyslasin kunnon seuranta</li> <li>Helojen toiminnan tarkastus, tarvittaessa kiristys ja öljyäminen</li> <li>Saranoiden kiristäminen ja öljyäminen</li> <li>Pintojen puhdistus ja lasituksen pesu</li> <li>Säleverhojen kunnon ja osien tarkastus sekä tarvittaessa kiristys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puuosien huoltomaalaus</li> <li>Vähäisten halkeamien paikkaus</li> <li>Karmin silikonitiivisteiden uusiminen</li> <li>Pintojen ja vesiuran puhdistus</li> <li>Karmin liukualustojen kunnon tarkastus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puuosien huoltomaalaus</li> <li>Vähäisten halkeamien paikkaus</li> <li>Lasitusmassan uusiminen</li> <li>Puitteen silikonitiivisteiden uusiminen</li> <li>Helojen toiminnan tarkastus, tarvittaessa kiristys ja öljyäminen</li> <li>Saranoiden kiristäminen ja öljyäminen</li> <li>Pintojen puhdistus ja lasituksen pesu</li> </ul>

Kuvio 2. Puuikkunoiden elinkaaren aikaiset ylläpitotoimet.

Vastaavasti kuviossa 3 on esitetty tavanomaisia avattaviin puu-alumiini-ikkunoihin kohdistuvia elinkaaren aikaisia huolto- ja kunnostustoimenpiteitä sekä tyypilliset eri ikkunaosiin tehtävät tarkastukset. Toimenpiteillä on tarkoituksena saavuttaa ikkunatyypin elinkaarelle määritetty keskimääräinen tekninen käyttöikä, joka on normaaleissa rasitusolosuhteissa 60 vuotta. Puu-alumiini-ikkunoissa sisäpuite ja karmi ovat puurakenteiset ja ulkopuite sekä karmin puuosia suojaavat ulkopuoliset osat ovat alumiinia.

## SISÄPUITE



- Puuosien huoltomaalaus
- Vähäisten halkeamien paikkaus
- Puitteen silikonitiivisteiden uusiminen
- Eristyslasin kunnon seuranta
- Helojen toiminnan tarkastus, tarvittaessa kiristys ja öljyäminen
- Saranoiden kiristäminen ja öljyäminen
- Pintojen puhdistus ja sisäpuolisten lasipintojen pesu
- Säleverhojen kunnon ja osien tarkastus sekä tarvittaessa kiristys

## KARMI



- Puuosien huoltomaalaus
- Vähäisten halkeamien paikkaus
- Karmin silikonitiivisteiden uusiminen
- Pintojen ja vesiuran puhdistus
- Karmin liukualustojen kunnon tarkastus

## ULKOPUIITE



- Lasitusmassan uusiminen
- Puitteen silikonitiivisteiden uusiminen
- Maalattujen alumiinipintojen huoltomaalaus
- Helojen toiminnan tarkastus, tarvittaessa kiristys ja öljyäminen
- Saranoiden kiristäminen ja öljyäminen
- Pintojen puhdistus ja ulkopuolisten lasipintojen pesu

Kuvio 3. Puu-alumiini-ikkunoiden elinkaaren aikaiset ylläpitotoimet.

Kuviossa 4 on esitetty tavanomaisia kiinteisiin puu-alumiini-ikkunoihin elinkaaren aikana kohdistuvia huolto- ja kunnostustoimenpiteitä sekä tavanomaisia tarkastuksia. Toimenpiteillä pyritään saavuttamaan ikkunatyypin elinkaarelle määritetty keskimääräinen tekninen käyttöikä, joka lähtökohteisesti on rakennuksen käyttöikä (+ 50 vuotta). Kiinteissä ikkunoissa ei ole varsinaisia erillisiä puitteita, sillä ikkunarakenne on kiinteä ja ikkunalasisitus on istutettu karmirakenteeseen. Kuviossa on eritelty sisä- ja ulkopuolisiin ikkunaosiin sekä karmiin kohdistuvat toimenpiteet.

## SISÄPUOLI



- Lasituksen tiivistenauhan kunnon tarkastus ja tarvittaessa uusiminen
- Pintojen puhdistus ja sisäpuolisten lasipintojen pesu
- Säleverhojen kunnon ja osien tarkastus sekä tarvittaessa kiristys

## KARMI



- Pintojen puhdistus
- Sisäpuolisten puuosien huoltomaalaus
- Sisäpuolisten puuosien vähäisten halkeamien paikkaus

## ULKOPUOLI



- Lasituksen tiivistenauhan kunnon tarkastus ja tarvittaessa uusiminen
- Pintojen puhdistus ja ulkopuolisten lasipintojen pesu
- Alumiinipintojen kunnon seuranta ja huoltomaalaus
- Eristyslasin kunnon seuraaminen

Kuvio 4. Kiinteiden alumiini-ikkunoiden elinkaaren aikaiset ylläpitotoimet.

Ikkunoiden säännöllisesti tehtävät huoltotoimenpiteet ovat kiinteistön omistajan, osakkaan tai vuokralaisen vastuulla olevia toimenpiteitä, ellei niistä ole sovittu muuta tai ne eivät ole ulkoistettu toisen tahon toimesta tehtäviksi. Lähtökohtaisesti ikkunarakenteisiin osakkaan tai kiinteistön vuokralaisen toimesta tehtävät muutos- ja parannustyöt ovat toimenpiteen hankkivan osapuolen vastuulla. Mahdolliset muutos- ja parannustyöt edellyttävät kuitenkin lähes aina kiinteistön tai yhtiön hyväksyntää. (Kiinteistömedia Oy 2023, 5.) Taulukossa 2 on esitetty ikkunarakenteiden pääasialliset vastuunjaot. Vastuunjakotaulukossa tarkoitetaan kiinteistön omistajalla julkisen-, toimisto-, teollisuus-, asunto-osakeyhtiön tai muun vastaavan rakennuksen omistajaa.

Taulukko 2. Ikkunoiden huolto- ja kunnostustoimenpiteiden vastuunjaot. (Kiinteistömedia Oy 2023, 15–16.)

Ikkunan rakenneosat ja ikkunavarusteet	Kunnossapitovastuu	
	Kiinteistön omistaja	Osakas tai kiinteistön vuokralainen
Ulkopuite ja karmi	✓	
Sisäpuite ja välipuite		✓
Ikkunoiden ulkopuolen kunnossapito ja maalaus	✓	
Ikkunoiden sisäpuolen kunnossapito, kuten maalaus (sisäpuite, karmen ja ulkopuitteen sisäpuoliset osat)		✓
Ikkunan ulkolasi	✓	
Ikkunan sisemmät lasit (sisäpuite)		✓
Kiinteät ikkunat	✓	
Ulkopuitteen käynti ja heloitus	✓	
Sisäpuitteen käynti ja heloitus		✓
Ikkunan aukipitolaite		✓
Ikkunapuitteen tiivistykset (sisä- ja ulkopuite)		✓
Ikkunoiden sälekaihtimet		✓

## 7 Hiilijalanjälkilaskenta rakennushankkeessa

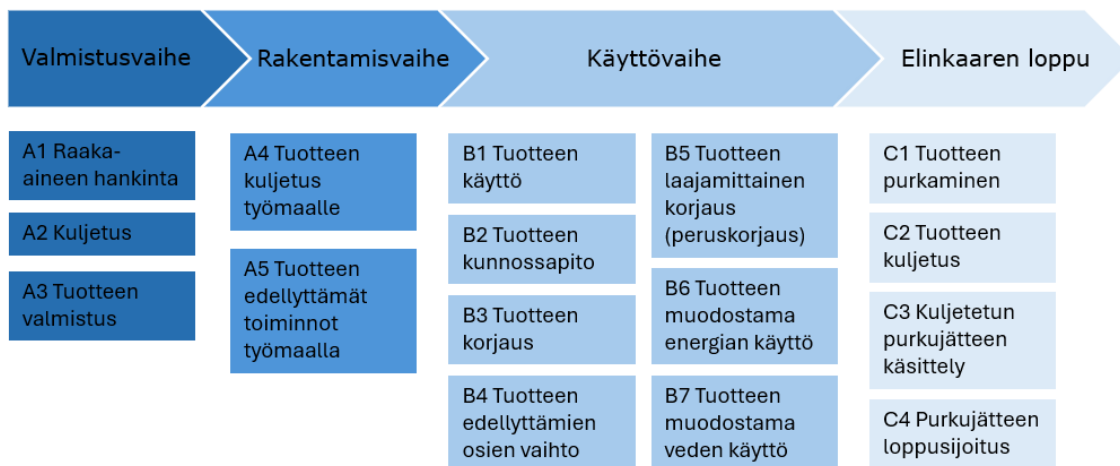
### 7.1 Hiilijalanjälkilaskennan eri vaiheet

Rakennuksen hiilijalanjäljen laskentaa käytetään niin uudis- kuin korjausrakentamisen kohteisiin ja kaikenlaisille rakennuksille. Kattavaa hiilijalanjäljen laskentaa on tarkoitettu tehtäväksi rinnakkain rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnin kanssa. Lähtökohtaisesti hiilijalanjäljen arviointi tulee tehdä suunnitteluvaiheessa, jolloin voidaan parhaiten vaikuttaa vähähiilisempiin ratkaisuihin ja siten rakennuksen ja käytettävien materiaalien muodostamiin päästöihin. Suunnitteluvaiheessa myös käytettävien materiaalien tiedot ja määrät sekä rakennuskohteen sijainti ovat tiedossa, jolloin laskenta voidaan tehdä yksityiskohtaisemmin ja tarkemmin. Laskentaa voidaan tehdä myös ennen suunnitteluvaihetta. Ennen suunnitteluvaihetta tehtävä hiilijalanjälkilaskenta toteutetaan tilastotietojen pohjalta vastaavista muista hankkeista ja käytetyistä materiaaleista, jolloin saatavat tulokset ovat suuntaa antavia eikä välttämättä kuvasta toteutuvan hankkeen todellisia päästöjä. (Kuittinen 2019, 12.)

Rakennushankkeiden elinkaaren aikana muodostuu tuote- ja käyttösidonnaisia päästöjä. Tuotevaiheessa arvioidaan päästöjä, jotka muodostuvat materiaalien ja tuotteiden valmistamisesta, kuljuksesta sekä rakentamisesta. Tällaisia päästöjä syntyy aina korjaus- ja ylläpitotoiminnassa, uudisrakentamisessa sekä purkamisessa. Rakennuksen tai tuotteen käytöstä muodostuvia päästöjä kutsutaan käyttösidonnaisiksi päästöiksi. Käyttösidonnaisia päästöjä ovat esimerkiksi ikkunoihin kohdistuvat huolto- ja kunnostustoimenpiteet. Lähtökohtaisesti, mitä alhaisemmat käytönaikaiset päästöarvot saadaan, sitä tärkeämmäksi tuotesidonnaiset päästöt muodostuvat. Tehostamalla materiaalien uudelleen käytettävyyttä voidaan vähentää luonnon raaka-aineiden käyttötarvetta ja energiankulutusta. (Tähtinen ja Tähkänen 2021, 9.)

Hiilijalanjäljen kattavassa laskennassa ja arvioinnissa huomioidaan koko rakennuksen elinkaaren aikana muodostuvat hiilipäästöt aina rakennuksesta, tontin rakenteista keskeisiin taloteknisiin järjestelmiin asti. Laskennassa ei huomioida tontin maaperää, kasvillisuutta tai rakentamisvaiheessa käytettäviä väliaikaisia suojauksia ja telineitä. Laskentaa tehtäessä tarvitaan päästötiedot rakennusmateriaaleista ja -prosesseista sekä laskentatyökalu. (Kuittinen 2019, 12.) Rakennushankkeen hiilijalanjälkilaskennan elinkaari päästöjä tarkastellaan neljässä vaiheessa, joita ovat valmistus-

vaihe, rakentamisvaihe, käyttövaihe ja elinkaaren loppu eli purkaminen. Jokainen vaihe pitää sisälleen myös eritasoja, joissa tarkastellaan päästöjen muodostumista hankkeen eri vaiheissa aina raaka-aineiden hankinnasta purkujätteiden loppusijoittamiseen asti. Kuviossa 5 on esitetty rakennushankkeen elinkaari päästöjen hiilijalanjälkilaskennan tarkasteluvaiheet ja tasot standardin *EN 15643-2* mukaisesti. Luvuissa 7.1.1–7.1.3 on avattu tarkemmin laskentavaiheen sisältöä.



Kuvio 5. Hiilijalanjälkilaskennan eri vaiheet (Tähkänen ja Tähtinen 2021, 18).

Suomen Ympäristökeskuksen ylläpitämästä rakentamisen päästötietokannassa on esitetty ilmaselvityksen ympäristöindikaattorin arvioinnissa käytettävä tuotteen konservatiivinen GWP-arvo, joka kuvastaa tuotteen tai materiaalin valmistamisesta aiheutuvaa ilmastoa lämmittävää vaikutusta. Konservatiiviset GWP-arvot pohjautuvat ilmastopaneelin (IPCC) arvoihin. Tuote- ja materiaalikoh- taisia konservatiivisia GWP-arvoja käytetään hiilijalanjälkilaskennassa suhteutettuna tarkastelta- van tuotteen massa- eli painoon kilogrammoina tai tuotteesta riippuen sen tarvittavaan pinta- alaan nähden. (Kuittinen 2019, 14.)

### 7.1.1 Tuotevaihe (A1-A3) ja rakentaminen (A4-A5)

Rakennuksen muodostaman hiilijalanjäljen arviointimenetelmän ensimmäisessä vaiheessa arvioidaan hiilidioksidipäästöjä materiaalien tuotevaiheessa, joka käsittää moduulit A1-A3. Moduuli A1 muodostuu käytettävien materiaalien raaka-aineiden hankinnasta, esimerkiksi puun kaatamisesta. Puolestaan moduuli A2 muodostuu materiaalien kuljetuksesta toimipisteeseen, jossa varsinaisesta raaka-aineesta valmistetaan lopputuote, esimerkiksi kaadettu puu toimitetaan metsästä tehtaalle.

Moduuli A3 sisältää raaka-aineesta varsinaisen rakennusmateriaalin valmistamisen, esimerkiksi puusta valmistettava lautatavara. (Kuittinen 2019, 14.) Ympäristöministeriö on laatinut useista erilaisista materiaaleista listauksen, jossa on esitetty kunkin materiaalin muodostama tyypillinen hiilidioksidipäästö huomioiden moduulit A1-A3. (Rakentamisen päästötietokanta 2024.)

Rakennuksen koko elinkaaren aikana muodostamien tuotevaiheen hiilidioksidipäästöjen jälkeen arvioidaan rakentamisvaiheessa syntyviä päästöjä, jotka on jaettu moduuleihin A4 ja A5. Moduulissa A4 huomioidaan hiilipäästöjen määrää, jotka muodostuvat työmaalle vietävistä ja työmaalta pois vietävistä materiaalien kuljetuksista. Kuljetukselle on määritetty keskiarvolliset päästöarvot pohjautuen tavanomaisiin kuljetusetäisyyksiin tietyillä maakunta-alueilla, joita laskennan pohjana pääasiassa käytetään. Hiilijalanjälkilaskennassa käytetään kuljetuksen aiheuttama vakiopäästöarvona 10,20 kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>. Moduulissa A5 otetaan huomioon työmaalla tapahtuva toiminta, kuten materiaalien asentamisesta aiheutuva energiankulutus, jonka vakio päästöarvona laskennassa käytetään 27,30 kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>. (Kuittinen 2019, 14; 45.)

### 7.1.2 Käyttövaihe (B1-B7)

Käyttövaihe on jaettu moduuleihin B1-B7, jotka sisältävät rakennuksen käytön, kunnossapidon, korjaukset, osien vaihdon ja laajamittaiset korjaukset (peruskorjaus) sekä energian ja veden käytön. (Kuittinen 2019, 14.) Käyttövaihe on rakennuksen ja tuotteen osalta keskeisimpiä tekijöitä tarkasteltaessa kohteen elinkaarta. Tuote- ja rakentamisvaiheessa valittujen materiaalien ja toimintatapojen osalta määritellään tuotteen ja materiaalin käytönaikaiset ominaisuudet, kunnossapito- ja korjaustarpeet sekä menetelmät. Valittaessa kestäviä ja laadukkaita materiaaleja voidaan vaikuttaa käyttövaiheen aikana vaadittavien kunnostus- ja korjaustoimenpiteiden määrään, sisältöön ja tuotteen kestävyys. Kaikki valitut materiaalit ja tuotteet edellyttävät ylläpitoa, mihin sisältyy aika ajoon kunnostamista, huoltoa ja korjausta. Rakennusmateriaalista, -tuotteesta tai -järjestelmästä riippuen tarvittavien käytönaikaisten toimien osalta on esitetty pääasialliset kunnossapitajaksot ja huoltovälit, jotka perustuvat kyseisen tuotteen tekniseen käyttöikänsä. Rakennustuotteen ja -järjestelmän tarkemmat käytönaikaiset toimet on määritetty *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot* –ohjekortissa. (RT 18-10922 2008.)

Ympäristöministeriön vuonna 2019 laatiman rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä -ohjeen mukaisesti hiilijalanjälkilaskentavaiheessa ei toistaiseksi arvioida moduulia B1 eli tuotteen

käytöstä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä eikä moduulia B2 eli ylläpidon aikaisia päästöjä. Laskennassa ei myöskään oteta huomioon veden käyttöä eli moduulia B7. (Kuittinen 2019, 39.)

Tuotteiden korjaustöiden (B3) ja osien vaihdon (B4) aikainen energiankulutus huomioidaan hiilijalanjätkilaskennassa käyttämällä Ympäristöministeriön laatimassa rakennusten vähähiilisuuden arviointimenetelmä -ohjeessa määritetyt taulukkoarvoja, jotka pohjautuvat tyyppisiin päästöihin. Taulukkoarvoksi on määritetty kohteesta riippumatta  $2,16 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$ . (Kuittinen 2019, 45.)

### **7.1.3 Rakennustuotteen tai – järjestelmän elinkaaren loppuminen (C1-C4)**

Kaikilla materiaaleilla ja tuotteilla on oma elinkaarensa, joka jossain vaiheessa tulee päätökseen. Moduulit C1-C4 käsittävät rakennusmateriaalin tai -järjestelmän elinkaaren lopun, mikä tarkoittaa sitä, että rakennusmateriaali tai -järjestelmä on tullut elinkaarensa päähän ja se tulee purkaa ja uusia. Moduuleissa C1-C4 huomioidaan kyseisen tuotteen purkamisesta, purkujätteen kuljetuksesta jatkokäsittelyyn ja jatkokäsittelystä sekä jätteen loppusijoituksesta muodostuvat hiilidioksidipäästöt. (Kuittinen 2019, 14.)

Purkuvaiheessa ja jätteen kuljetuksessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt (moduulit C1-C2) ovat usein, miten samat kuin rakentamisvaiheessa (moduulit A4-A5). Puolestaan purkujätteen jatkokäsittelystä (moduuli C3) muodostuvat päästömäärät ovat riippuvaisia siitä, kuinka paljon purettavasta materiaalista voidaan uudelleen kierrättää ja hyödyntää uusia materiaaleja valmistaessa. Rakennuskohteen suunnitteluvaiheessa on lähtökohtaisesti pitänyt jo huomioida materiaalien uudelleen käytettävyyden tavoiteltaessa vähähiilistä rakentamistapaa. (Kuittinen 2019, 14.) Vuoden 2025 alusta voimaanastuva rakentamislaki edellyttää jatkossa käytettävien materiaalien osalta tuoteselostetta ja toimintatapoja, joissa materiaalien uudelleen kierrätettävyyden on huomioitu (Koskinen ja Ojala 2023). Yhtä lailla purkujätteen loppusijoittamisesta (moduuli C4) muodostuvat päästöt ovat sidonnaisia materiaalin ominaisuuksiin ja sen uudelleen käytettävyyteen. Vähähiilisessä rakentamisessa on tavoitteena käyttää materiaaleja, jotka ovat uudelleen käytettävissä tuotteen valmistusvaiheessa eli moduulissa A3, jolloin loppusijoitukseen menevän jätteen määrä on mahdollisimman pieni tai sitä ei ole ollenkaan. (Kuittinen 2019, 14.)

Esimerkiksi ikkunatoimittajat Pihla ja Skaala pyrkivät omien tuotteidensa valmistusvaiheessa käyttämään materiaaleja, jotka ovat tuotteen elinkaaren lopun jälkeen uudelleen kierrätettävissä ja

käytettävissä uusien tuotteiden valmistuksessa. Erityisesti tuotteiden valmistusprosessissa on keskitytty puu- ja alumiiniosien sekä ikkunalasien uudelleen kierrätettävyyteen.

## 8 Tutkimustyö

### 8.1 Eri ikkunatyypin hiilijalanjälkilaskenta

Tutkimustyö rajattiin käsittämään kolmen tavanomaisimman uusittavan ikkunatyypin aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin niiden valmistusvaiheesta käyttöikä turvaaviin kunnostus- ja huoltotoimenpiteisiin. Työssä valittiin tarkasteltaviksi avattaviksi ikkunatyypeiksi kaksipuitteiset ja kolmilasiset puuikkunat (MSE-ikkuna) sekä puu-alumiini-ikkunat (MSEA-ikkuna). Kiinteäksi ikkunatyypiksi valittiin kolmilasiset puu-alumiini-ikkunat (MEK-A-ikkuna). Tarkasteltaviin eri ikkunatyyppeihin kohdistuvat käyttöikä turvaavat kunnostus- ja huoltotoimenpiteet huomioitiin *Kiinteistön tekniset käytöt ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin mukaisesti.

Hiilijalanjälkilaskenta toteutettiin Ympäristöministeriön arviointimenetelmän ohjeistuksen mukaisesti 50 vuoden tarkastelujaksolla, joka perustuu EU:n Level(s)-menetelmään. Menetelmän oletuksena on, että rakennukselle tehdään 50 vuoden tarkastelujakson jälkeen peruskorjaus eli materiaali, tuote tai rakennusosa on saavuttanut teknisen käyttöikänsä. Käyttöikäksi määritetty 50 vuotta koskee kaikkia eri ikkunatyyppejä. Tutkimustyössä keskityttiin tarkastelemaan Ympäristöministeriön vuonna 2019 laatiman rakennuksen hiilijalanjälkilaskennan arviointimenetelmän mukaisesti moduuleja A1-A3, A5 ja B3-B4. Moduulit A1-A3 käsittivät materiaalin valmistuksesta syntyvät hiilidioksidipäästöt sisältäen tarkastelujakson aikaisten kunnostustoimien vaatimat materiaalit. Puolestaan moduuli A5 käsitti materiaalien kuljetuksesta kohteelle muodostamat hiilidioksidipäästöt.

Moduulit B3 ja B4 käsittivät asennus- ja kunnostustoimien aikaiset energian kulutukset. Moduulien A1-A3 osalta laskettiin tuote ja materiaalikohtaiset hiilidioksidipäästö määrät, kun puolestaan moduulien A5 ja B3-B4 osalta käytettiin Ympäristöministeriön rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaisia vakioarvoja, jotka on esitetty aiemmin luvuissa 7.1.1 ja 7.1.2. Hiilijalanjälkilaskennassa ei otettu huomioon Ympäristöministeriön laatiman arviointimenetelmän mukaisesti moduuleja A4, B1 ja B2. Tutkimustyössä tarkastellut moduulit valittiin työn painotuksen mukaan, joka oli erityisesti uusittavien eri ikkunatyypin valmistusvaiheessa aiheutuvat hiilidioksidipäästöt

sekä ikkunoiden käyttöikä turvaavien ylläpitotoimien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla.

Hiilijalanjälkilaskentavaihe toteutettiin kaksi vaiheisesti tulosten vertailukelpoisuuden ja luotettavuuden arvioimiseksi sekä parantamiseksi. Työssä tehtiin ensimmäinen laskentavaihe käyttämällä Suomen Ympäristökeskuksen ylläpitämää rakennuksen päästötietokantarekisteriä, jossa on esitetty konservatiiviset GWP-arvot avattaville ja kiinteille kolmilasisille puu-alumiini-ikkunoille. Päästötietokantarekisterissä ei ole ilmoitettu GWP-arvoa minkäänlaisille puuikkunoille, minkä takia hiilijalanjälkilaskennassa käytettiin Ympäristöministeriön testikäyttöön vuonna 2019 laatiman hiilijalanjäljen arviointityökalun antamaa GWP-arvoa. Työn toinen laskentavaihe toteutettiin käyttämällä ikkunatoimittajan Pihla Group Oy:n laatimia EPD-ympäristöselostuksia, joissa on määritetty ja tarkkaan laskettu ulkopuolisen tahon toimesta kaikille työssä tarkastelluille eri ikkunatyypeille konservatiiviset GWP-arvot.

## 8.2 Hiilijalanjälkilaskennan aloitus ja pohjatiedot

Ennen varsinaisen laskentavaiheen aloittamista määritettiin eri ikkunatyypin tarkemmat ominaisuudet. Työssä valittiin tarkasteltavan hypoteettisen uudisrakennuksen pinta-alaksi 100 m<sup>2</sup> ja uusittavien ikkunoiden määräksi 20 kappaletta. Yksittäisen ikkunan kooksi valittiin noin 3 m<sup>2</sup> kokoinen standardi-ikkuna, jonka leveys oli 1730 millimetriä ja korkeus 1750 millimetriä. Eri ikkunatyypin massana kilogrammoissa käytettiin tuotteen valmistajan (Pihla Group Oy) ilmoittamia painotietoja. Tuotteen valmistajalta saatujen tietojen perusteella yhden avattavan puu-alumiini-ikkunan paino tarkasteltavassa koossa oli 110 kilogrammaa, avattavan puuikkunan 105 kilogrammaa ja kiinteän puu-alumiini-ikkunan 109 kilogrammaa. Työssä tarkasteltiin ainoastaan uusista ikkunoista muodostuvia hiilidioksidipäästöjä. Laskennassa käytetyt ikkunoiden perustiedot on esitetty myös liitteessä 1.

Eri ikkunatyypin ominaisuuksien määrittämisen jälkeen suoritettiin käsin laskemalla tarkastelujaksolle tarvittavien kunnostus- ja huoltotoimenpiteiden edellyttämien materiaalien osalta määrät, kuten esimerkiksi ikkunatiivisteiden määrä juoksumetreinä ja huoltomaalattavien ikkunaosien määrät pinta-aloina. Käsin laskennalla saatuja tuloksia käytettiin myöhemmässä vaiheessa varsinaisen hiilijalanjälkilaskennan toteutuksessa. Laskennassa käytetyt kunnostustoimikohtaiset materiaali määrät on esitetty työn liitteissä.

Tutkimustyön hiilijalanjälkilaskennat toteutettiin käyttämällä AFRY Finland Oy:n omaa sisäistä Excel-pohjaista hiilijalanjälkilaskentatyökalua. Laskentatyökalu huomioi Suomen Ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterissä olevien tuotteiden ja materiaalien ajantasaiset valmistusvaiheen konservatiiviset GWP-arvot ilmoittaen kokonaishiilidioksidipäästöt suhteessa materiaalin tai tuotteen määrään kilogrammoina. Työkaluun oli mahdollista määrittää myös halutut GWP-arvot, mikä mahdollisti myös laskentavaiheen kaksi toteuttamisen työkalulla. Laskentatyökalu otti huomioon vain materiaalien valmistusvaiheiden eli moduulien A1-A3 aikaiset hiilidioksidipäästöt. Näin ollen laskentavaiheen toteutuksen kannalta muut oleelliset Ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaiset hiilidioksidipitoisuuksien päästöarvot laskettiin käsin.

Laskentavaiheet aloitettiin syöttämällä AFRY:n sisäiseen hiilijalanjälkilaskentatyökaluun halutut ennakkoon lasketut ja määritetyt ikkunatyypikohtaiset materiaali- sekä tuotetiedot. Tämän jälkeen työkalu automaattisesti ilmoitti päästötietokantarekisteristä löytyvän tuotteen tai materiaalin aiheuttaman hiilidioksidipäästöpuhtausuuden esitettyä määrää kohden. Laskentatyökalussa saadut tulokset vietiin erilliseen Word-dokumenttiin, sillä itse työkalun Excel-pohjaa ei ollut lupaa julkaista tutkimustyön liitetiedostoissa.

### **8.3 Laskentavaiheet**

Tutkimustyössä toteutettiin kaksivaiheinen hiilijalanjälkilaskenta tulosten luotettavuuden parantamiseksi ja arvioimiseksi sekä tulosten vertailukelpoisuuden takia. Kaksivaiheisessa laskennassa vertailtiin Suomen ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterin ja Ympäristöministeriön arviointimenetelmän määrittämiä eri ikkunatyypien konservatiivisia GWP-arvoja eli materiaalin valmistuksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä suhteessa ikkunatoimittajan laatimiin ikkunatyypikohtaisiin EPD-ympäristöselostuksiin. Eri ikkunatyyppeihin kohdistuvat käyttöikä turvaavat kunnostustoimet tarkasteltiin 50 vuoden tarkastelujaksolla Suomen päästötietokantarekisteristä löytyvien materiaalitietojen pohjalta. Näin ollen molempien laskentavaiheiden kunnostustoimien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt olivat samat.

Laskennan ensimmäinen vaihe toteutettiin käyttämällä Suomen Ympäristöministeriön ylläpitämästä päästötietokantarekisteristä löytyviä konservatiivisia GWP-arvoja tarkasteltaville eri tyyppisille puu-alumiini-ikkunoille. Päästötietokantarekisterissä on määritetty avattavien puu-alumiini-ikkunoiden GWP-arvoksi 2,27 kg CO<sub>2</sub>e /kg ja kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden 4,03 kg CO<sub>2</sub>e /kg.

Puuikkunoiden osalta laskenta tehtiin hyödyntämällä Ympäristöministeriön hiilijalanjälki arviointimenetelmän antamaa GWP-arvoa, joka oli 2,20 kg CO<sub>2</sub>e /kg. Käytettyjen lähteiden mukaisesti alumiinirakenteisten ikkunoiden konservatiivinen GWP-arvo on määritetty sen perusteella, että valmistuksessa käytettävät alumiiniosat ja ikkunalasit ovat 46 prosenttisesti kierrätettyä ja uudelleen käytettäviä. (Rakentamisen päästötietokanta. 2024.)

Laskennan toinen vaihe toteutettiin käyttämällä ikkunatoimittajan Pihla Group Oy:n omille ikkunoilleen laatimia EPD-ympäristöselostuksia, joissa on esitetty eri ikkunatyypeille omat konservatiiviset GWP-arvot. Alumiinirakenteisten ikkunoiden osalta konservatiivinen GWP-arvo on määritetty sen pohjalta, että valmistuksessa käytettävät alumiiniosat ja ikkunalasit ovat 100 prosenttisesti uudelleen käytettäviä ja kierrätettäviä. Käytettyjen EPD-ympäristöselostuksien perusteella avattavien puu-alumiini-ikkunoiden GWP-arvo oli 1,8 kg CO<sub>2</sub>e /kg (Environmental product declaration 2022, 2), kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden 3,85 kg CO<sub>2</sub>e /kg (Environmental product declaration 2023,2) ja avattavien puuikkunoiden 2,23 kg CO<sub>2</sub>e /kg (Environmental product declaration 2024, 2).

Lisäksi toteutettiin kolmaslaskentavaihe, jossa keskityttiin tarkastelemaan avattavien ikkunatyypien muodostamia kokonaishiilidioksidipäästömääriä *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekorttiin määrittämien ikkunatyypikohtaisten teknisen käyttöiän perusteella. Tarkastelu tehtiin normaaleissa rasitusolosuhteissa, jolloin avattavien puuikkunoiden tekninen käyttöikä on ohjekortin mukaisesti 50 vuotta ja puu-alumiini-ikkunoiden 60 vuotta. Näin ollen puuikkunoiden osalta tarkastelussa käytettiin laskentavaiheiden yksi ja kaksi tuloksia, kun puu-alumiini-ikkunoiden osalta suoritettiin laskentavaihe 60 vuoden tarkastelujaksolle. Laskennalla selvitettiin eri ikkunatyypien teknisen käyttöiän eroavaisuuden vaikutuksia 10 vuodessa muodostuvien hiilidioksidipäästömääriin. Puu-alumiini-ikkunoiden osalta laskentavaiheessa huomioitiin laskentavaiheiden yksi ja kaksi saadut tulokset uusittavista ikkunoista muodostuvien päästömäärien osalta.

Ensimmäisen laskentavaiheen tulokset on esitetty tutkimustyön liitteissä 2–5 ja toisen laskentavaiheen tulokset liitteissä 6–9 sekä liitteessä 10 kolmannen laskentavaiheen tulokset. Liitteessä 11 on esitetty kunnostustoimien aikaisten materiaalien valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt ikkunatyypikohtaisesti.

## 9 Tutkimustyön tulokset ja tulosten vertailu

### 9.1 Hiilijalanjätkilaskennan tulokset

#### 9.1.1 Laskentavaihe yksi

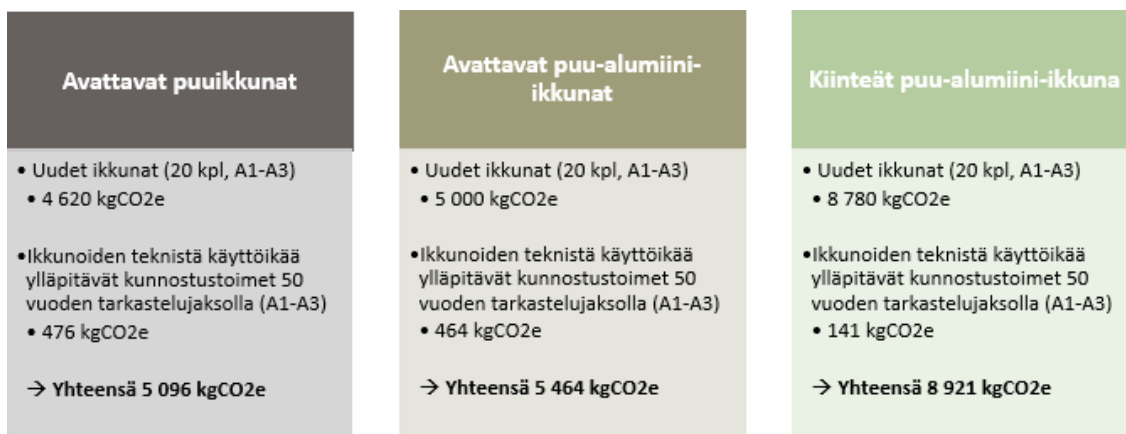
Laskentavaiheen yksi perusteella kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuu muihin tarkasteltuihin ikkunatyyppeihin nähden eniten hiilidioksidipäästöjä. Puolestaan vähiten ikkunoiden valmistusvaiheessa syntyviä hiilidioksidipäästöjä aiheutuu laskennan perusteella avattavista puuikkunoista. Hiilijalanjätkilaskennan perusteella pelkästään kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden valmistamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt olivat yli 40 prosenttia korkeammat verrattuna muihin tarkasteltuihin ikkunatyyppeihin.

Avattavien puuikkunoiden hiilidioksidipäästöt olivat laskennan perusteella noin 47 prosenttia alhaisemmat kuin kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden. Puolestaan avattavien puu-alumiini-ikkunoiden hiilidioksidipäästöt olivat noin 43 prosenttia alhaisemmat kuin kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden. Saatujen tulosten perusteella puuikkunoiden valmistusvaiheessa aiheutui hiilidioksidipäästöjä vain noin 8 prosenttia vähemmän kuin avattavista puu-alumiini-ikkunoista. Laskentavaiheen yksi tulosten perusteella avattavat puuikkunat olisivat ympäristöystävällisin vaihtoehto. Eroavaisuus avattaviin puu-alumiini-ikkunoihin on kuitenkin varsin pieni, minkä takia molempia ikkunatyyppejä voidaan laskennan tulosten perusteella pitää lähes yhtä vähäpäästöisinä vaihtoehtoina. Merkittävin tekijä ikkunatyyppeiden välillä on ikkunatyypikohtaiset tekniset käyttöiät eli niiden säilyvyys silloin, kun hiilidioksidipäästöpitäisyydet ovat lähes samat.

Tarkastelujaksolle ajoitettiin eri ikkunatyyppeihin kohdistuvat käyttöikä turvaavat kunnostustoimenpiteet *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot* –ohjekortin mukaisesti. Pelkästään tarkasteltaessa eri ikkunatyyppeihin kohdistuvien kunnostustoimenpiteiden aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä havaittiin, että avattavien puuikkunoiden päästömäärät olivat verrattuna muihin ikkunatyyppeihin suurimmat. Toiseksi eniten päästöjä aiheutui avattavien puu-alumiini-ikkunoiden kunnostamisesta ja vähiten kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden kunnostustoimista. Avattaviin puuikkunoihin kohdistuvista kunnostustoimenpiteistä 50 vuoden tarkastelujaksolla aiheutui peräti noin 70 prosenttia enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden kunnos-

tustoimista. Puolestaan avattaviin puu-alumiini-ikkunoihin kohdistuvien kunnostustoimien hiilidioksidipäästöt olivat noin 2,5 prosenttia pienemmät kuin avattavien puuikkunoiden. Tarkastelujaksolle ajoittuvat kunnostustoimenpiteet on kuvattu tarkemmin luvussa 9.1.4.

Kuviossa 6 on esitetty laskentavaiheessa yksi tarkasteltujen ikkunatyyppeiden muodostamat hiilidioksidipäästöt. Kuviossa on huomioitu eri ikkunatyyppeiden valmistusvaiheessa (A1-A3) muodostamat hiilidioksidipäästöt sekä 50 vuoden tarkastelujaksolla eri ikkunatyyppeihin kohdistuvat käyttöikä ylläpitävät kunnostustoimet, joissa on huomioitu käytettävien materiaalien valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt.



Kuvio 6. Laskentavaiheen yksi hiilijalanjälkilaskennan tulokset moduuleissa A1-A3.

Hiilidioksidipäästömäärien havaittiin hieman tasoittuvan eri ikkunatyyppeiden välillä, kun huomioitiin hiilijalanjälkilaskennan tuloksissa materiaalien valmistuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt, materiaalien kuljetukset kohteelle ja 50 vuoden tarkastelujaksolle ajoittuvat ikkunoiden käyttöikä turvaavat kunnossapitotoimet sekä asennus ja kunnostustoimista muodostuvat energiakulutukset. Kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden kokonaishiilidioksidipäästöpuiteisuus oli edelleen suurin, mihin vaikuttaa merkittävimmin ikkunoiden valmistamisesta muodostuvat päästöt. Ottaen huomioon kaikki tarkastelujaksolle kohdistuvat hiilidioksidipäästöt niin kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden osuus oli noin 42 prosenttia korkeampi kuin avattavien puuikkunoiden ja puolestaan noin 38 prosenttia korkeampi kuin avattavien puu-alumiini-ikkunoiden. Avattavien ikkunatyyppeiden osalta puuikkunoiden kokonaishiilidioksidipäästöpuiteisuudet olivat vain noin 6 prosenttia alhaisemmat kuin puu-alumiini-ikkunoiden.

Kuviossa 7 on esitetty laskentavaiheessa yksi tarkasteltujen eri ikkunatyyppeiden muodostamat kokonaishiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla sisältäen moduulit A1-A3, A5 ja B3-B4. Kuviossa on esitetty hiilijalanjälkilaskennan perusteella eri ikkunatyyppeiden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt koko tarkastelujakson aikana, vuositasolle jyvitettyinä ja työssä tarkastellun rakennuksen pinta-alaa kohden.

Ikkunatyyppi	Kokonaishiilidioksidipäästö 50 vuoden tarkastelujaksolla (moduulit A1-A5 ja B3-B4)	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä 50 vuoden tarkastelujaksolle vuositasolla	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä tarkasteltavan rakennuksen pinta-alaa kohden (100 m <sup>2</sup> )
Avattava puuikkuna	5 349,50 kgCO <sub>2</sub> e	106,99 kgCO <sub>2</sub> e/a	53,50 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Avattava puu-alumiini-ikkuna	5 717,50 kgCO <sub>2</sub> e	114,35 kgCO <sub>2</sub> e/a	57,18 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Kiinteä puu-alumiini-ikkuna	9 174,50 kgCO <sub>2</sub> e	183,49 kgCO <sub>2</sub> e/a	91,75 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

Kuvio 7. Laskentavaiheen yksi eri ikkunatyyppeiden kokonaishiilidioksidipäästöt tarkastelujaksolla.

### 9.1.2 Laskentavaihe kaksi

Laskentavaiheen kaksi perusteella myös kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden valmistusvaiheesta muodostui muihin tarkasteltuihin ikkunatyyppeihin nähden eniten hiilidioksidipäästöjä. Poikkeuksena laskentavaiheen yksi saatuihin tuloksiin laskentavaiheessa kaksi avattavista puu-alumiini-ikkunoista muodostui vähiten hiilidioksidipäästöjä. Laskentavaiheen kaksi perusteella kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden valmistusvaiheesta muodostui noin 44 prosenttia enemmän hiilidioksidipäästöjä kuin avattavista puuikkunoista ja noin 53 prosenttia enemmän kuin avattavista puu-alumiini-ikkunoista. Vertailtaessa avattavia ikkunatyyppejä keskenään havaittiin, että puuikkunoiden valmistusvaiheesta muodostui hiilidioksidipäästöjä noin 15 prosenttia enemmän kuin puu-alumiini-ikkunoista. Näin ollen laskentavaiheen kaksi perusteella avattavat puu-alumiini-ikkunat olivat ympäristöystävällisin vaihtoehto.

Tarkastelujaksolle ajoitetut eri ikkunatyyppeihin kohdistuvat käyttöikä turvaavat kunnostustoimenpiteet määritettiin *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitot* –ohjekortin mukaisesti 50 vuoden tarkastelujaksolle vastaavalla tavalla kuin laskentavaiheessa yksi. Näin ollen tarkastelujaksolla aiheutuvat hiilidioksidipäästö määrät olivat samat kuin laskentavaiheessa yksi, jolloin myös prosentuaaliset eroavaisuudet eri ikkunatyyppeiden välillä olivat samat kuin laskentavaiheessa yksi

(ks. luku 9.1.1). Tarkastelujaksolle ajoittuvat kunnostustoimenpiteet on kuvattu tarkemmin luvussa 9.1.4.

Kuviossa 8 on esitetty laskentavaiheen kaksi eri ikkunatyypin muodostamat valmistusvaiheen aikaiset hiilidioksidipäästömäärät ja eri ikkunatyyppeihin tarkastelujaksolle ajoittuvien kunnossapitotoimien hiilidioksidipäästömäärät.

Avattavat puuikkunat	Avattavat puu-alumiini-ikkunat	Kiinteät puu-alumiini-ikkuna
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uudet ikkunat (20 kpl)</li> <li>• 4 680 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uudet ikkunat (20 kpl)</li> <li>• 3 960 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uudet ikkunat (20 kpl)</li> <li>• 8 400 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ikkunoiden teknistä käyttöikä ylläpitävät kunnostustoimet 50 vuoden tarkastelujaksolla</li> <li>• 476 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ikkunoiden teknistä käyttöikä ylläpitävät kunnostustoimet 50 vuoden tarkastelujaksolla</li> <li>• 464 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ikkunoiden teknistä käyttöikä ylläpitävät kunnostustoimet 50 vuoden tarkastelujaksolla</li> <li>• 141 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul>
→ Yhteensä 5 156 kgCO <sub>2</sub> e	→ Yhteensä 4 424 kgCO <sub>2</sub> e	→ Yhteensä 8 541 kgCO <sub>2</sub> e

Kuvio 8. Laskentavaiheen kaksi hiilijalanjälkilaskennan tulokset moduuleissa A1-A3.

Huomioitaessa eri ikkunatyypin muodostamat kokonaishiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla voitiin havaita päästömäärien eroavaisuuksien hieman tasoittuvan. Vastaavalla tavalla kuin laskentavaiheessa yksi niin myös laskentavaiheessa kaksi kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden kokonaishiilidioksidipäästöpuiteisuus oli suurin. Toiseksi eniten kokonaishiilidioksidipäästöjä syntyi avattavista puuikkunoista ja vähiten avattavista puu-alumiini-ikkunoista. Ottaen huomioon kaikki tarkastelujaksolle materiaaleista ja toimenpiteistä kohdistuvat hiilidioksidipäästöt niin kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden osuus oli noin 38 prosenttia korkeampi kuin avattavien puuikkunoiden ja noin 47 prosenttia korkeampi kuin avattavien puu-alumiini-ikkunoiden. Avattavien puuikkunoiden kokonaishiilidioksidipäästömäärä oli noin 14 prosenttia korkeampi kuin avattavien puu-alumiini-ikkunoiden.

Kuviossa 9 on esitetty laskentavaiheessa kaksi tarkasteltujen eri ikkunatyypin muodostamat kokonaishiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla sisältäen moduulit A1-A5 ja B3-B4. Kuviossa on esitetty hiilijalanjälkilaskennan perusteella eri ikkunatyypin aiheuttamat hiilidioksidipäästöt

koko tarkastelujakson aikana, vuositasolle jyvitettyä ja työssä tarkastellun rakennuksen pinta-alaa kohden.

Ikkunatyyppi	Kokonaishiilidioksidipäästö 50 vuoden tarkastelujaksolla (moduulit A1-A5 ja B3-B4)	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyä 50 vuoden tarkastelujaksolle vuositasolla	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyä tarkasteltavan rakennuksen pinta-alaa kohden (100 m <sup>2</sup> )
Avattava puuikkuna	5 409,50 kgCO <sub>2</sub> e	108,19 kgCO <sub>2</sub> e/a	54,10 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Avattava puu-alumiini-ikkuna	4 677,50 kgCO <sub>2</sub> e	93,55 kgCO <sub>2</sub> e/a	46,78 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Kiinteä puu-alumiini-ikkuna	8 794,50 kgCO <sub>2</sub> e	175,89 kgCO <sub>2</sub> e/a	87,95 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

Kuvio 9. Laskentavaiheen kaksi eri ikkunatyypin kokonaishiilidioksidipäästöt tarkastelujaksolla.

### 9.1.3 Laskentavaihe kolme

Laskentavaiheessa kolme vertailtiin avattavien ikkunatyypin muodostamia kokonaishiilidioksidipäästöjä suhteessa *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekortin määrittämiin ikkunatyypikohtaisiin normaalin rasitusolosuhteen mukaisiin teknisiin käyttöikäarviöihin. Ohjekortin mukaisesti puuikkunoiden tekninen käyttöikä normaaleissa rasitusolosuhteissa on 50 vuotta ja puu-alumiini-ikkunoiden 60 vuotta. Puuikkunoiden osalta laskennassa käytettiin laskentavaiheiden yksi ja kaksi tuloksia 50 vuoden tarkastelujaksolla. Puu-alumiini-ikkunoiden osalta käytettiin myös laskentavaiheiden yksi ja kaksi tuloksia 50 vuoden tarkastelujaksolla, mutta tarkastelujaksolle lisättiin 10 vuotta perustuen tekniseen käyttöikään (60 vuotta), jolloin myös jaksolle ajoittuvia huolto- ja kunnostustoimia päivitettiin sen mukaisesti.

Tarkastelujaksolle ajoitetut avattaviin puu-alumiini-ikkunoihin kohdistuvat käyttöikä turvaavat kunnostustoimenpiteet määritettiin *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekortin mukaisesti 60 vuoden tarkastelujaksolle. Tarkastelujakso oli 10 vuotta pidempi kuin laskentavaiheissa yksi ja kaksi, minkä takia tarkastelujaksolle kohdistui enemmän kunnostus- ja huoltotoimenpiteitä ikkunaosiin. Laskentavaiheen kolme käyttöikä turvaavista toimenpiteistä aiheutui näin ollen noin 20 prosenttia korkeammat hiilidioksidipäästömäärät verrattuna laskentavaiheiden yksi ja kaksi tuloksiin. Tarkastelujaksolle ajoittuvat kunnostustoimenpiteet on kuvattu tarkemmin luvussa 9.1.4.

Kuviossa 10 on esitetty laskentavaiheessa kolme puu-alumiini-ikkunoista muodostuvat valmistusvaiheen aikaiset hiilidioksidipäästömäärät.

Avattavat puu-alumiini-ikkunat	Avattavat puu-alumiini-ikkunat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uudet ikkunat (20 kpl)</li> <li>• 5 000 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>• Laskennassa on huomioitu SYKE:n päästötietokantarekisten määrittämä konservatiivinen GWP-arvo</li> <li>• Ikkunoiden teknistä käyttöikää ylläpitävät kunnostustoimet 50 vuoden tarkastelujaksolla</li> <li>• 583 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul> <p>→ Yhteensä 5 583 kgCO<sub>2</sub>e</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uudet ikkunat (20 kpl)</li> <li>• 3 960 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>• Laskennassa on huomioitu ikkunatoimittajan Pihla Group Oy:n EPD-ympäristöselostuksen mukainen konservatiivinen GWP-arvo.</li> <li>• Ikkunoiden teknistä käyttöikää ylläpitävät kunnostustoimet 50 vuoden tarkastelujaksolla</li> <li>• 583 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul> <p>→ Yhteensä 4 543 kgCO<sub>2</sub>e</p>

Kuvio 10. Laskentavaiheen kolme hiilijalanjälkilaskennan tulokset moduuleissa A1-A3.

Tuloksissa havaittiin eroavaisuuksia huomioitaessa avattavien ikkunatyyppien hiilijalanjälkilaskennan tarkastelujaksoissa *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekortin määrittämät tekniset käyttöiät normaaleissa rasitusolosuhteissa. Lähtökohtaisesti merkittävin eroavaisuus 50 vuoden ja 60 vuoden tarkastelujaksoilla muodostui laskentavaiheessa yksi käytettyjen konservatiivisten GWP-arvojen välillä. Laskentavaiheen yksi avattavien puuikkunoiden konservatiivisena GWP-arvona käytettiin Ympäristöministeriön testikäyttöön vuonna 2019 laatiman hiilijalanjäljen arviointityökalun päästöarvoa ja puolestaan avattavien puu-alumiini-ikkunoiden konservatiivisena GWP-arvona käytettiin Suomen Ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterin päästöarvoja. Muodostuvien hiilidioksidipäästöjen eroavaisuus on havaittavissa, kun tarkastellaan kokonaishiilidioksidipäästöjä jyvitettyinä tarkastelujaksolle vuositasolla. Avattavien puuikkunoiden hiilidioksidipäästöt jyvitettyinä 50 vuoden tarkastelujaksolla vuositasolle olivat 106,99 kgCO<sub>2</sub>e/a, kun taas avattavien puu-alumiini-ikkunoiden oli 60 vuodelle jyvitettyinä 97,28 kgCO<sub>2</sub>e/a. Näin ollen puu-alumiini-ikkunoista muodostuu noin 9 prosenttia vähemmän kokonaishiilidioksidipäästöjä suhteutettuna vuositasolle, vaikka niiden tarkastelujakso oli 10 vuotta pidempi.

Kuviossa 11 on esitetty laskentavaiheessa kolme tarkasteltujen avattavien ikkunatyypin muodostamat kokonaishiilidioksidipäästöt 50 vuoden ja 60 vuoden tarkastelujaksolla sisältäen moduulit A1-A5 ja B3-B4. Kuviossa on esitetty hiilijalanjätkilaskennan perusteella hiilidioksidipäästöt koko tarkastelujakson aikana, vuositason jyvitettyä ja työssä tarkastellun rakennuksen pinta-alaa kohden. Kuviossa 11 on punaisella korostettu keskeisin eroavaisuus saaduissa tuloksissa. Merkittävin eroavaisuus tuloksissa havaittiin, kun päästöarvot jyvitettiin tarkastelujaksolle vuositason. Käytettäessä avattavien eri ikkunatyypin laskennassa Ympäristöministeriön arviointityökalun ja SYKE:n määrittämiä konservatiivisia GWP-arvoja havaittiin, että puu-alumiini-ikkunoista muodostui vuositasolla vähemmän hiilidioksidipäästöjä kuin puuikkunoista. Puuikkunoiden laskenta toteutettiin 50 vuodelle ja puu-alumiini-ikkunoiden 60 vuodelle, jolloin puu-alumiini-ikkunoiden osalta kokonaispäästöt tasoittuvat useammalle vuodelle, mikä pienentää vuositason määrää. Puolestaan käytettäessä ikkunatoimittajan Pihla Group Oy:n määrittämiä konservatiivisia GWP-arvoja puuikkunoiden kokonaishiilidioksidipäästöt olivat alhaisemmat kuin puu-alumiini-ikkunoiden päästömäärät vuositasolle jyvitettyinä

Ikkunatyypin	Kokonaishiilidioksidipäästö 50 vuoden tarkastelujaksolla (moduulit A1-A5 ja B3-B4)	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyä 50 vuoden tarkastelujaksolle vuositasolla	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyä tarkasteltavan rakennuksen pinta-alaa kohden (100 m <sup>2</sup> )
Avattava puuikkuna (päästöarvoissa huomioitu Ympäristöministeriön arviointityökalun konservatiivinen GWP-arvo, laskentavaihe 1)	5 349,50 kgCO <sub>2</sub> e	106,99 kgCO <sub>2</sub> e/a	53,50 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Avattava puuikkuna (päästöarvoissa huomioitu Pihla Group Oy:n EPD- ympäristöselostuksen konservatiivinen GWP-arvo, laskentavaihe 2)	3 223,66 kgCO <sub>2</sub> e	64,47 kgCO <sub>2</sub> e/a	32,24 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Ikkunatyypin	Kokonaishiilidioksidipäästö 60 vuoden tarkastelujaksolla (moduulit A1-A5 ja B3-B4)	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyä 60 vuoden tarkastelujaksolle vuositasolla	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyä tarkasteltavan rakennuksen pinta-alaa kohden (100 m <sup>2</sup> )
Avattavat puu-alumiini- ikkuna (päästöarvoissa huomioitu SYKE:n konservatiivinen GWP-arvo)	5 836,50 kgCO <sub>2</sub> e	97,28 kgCO <sub>2</sub> e/a	58,37 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Avattava puu-alumiini- ikkuna (päästöarvoissa huomioitu Pihla Group Oy:n EPD-ympäristöselostuksen konservatiivinen GWP-arvo)	4 796,50 kgCO <sub>2</sub> e	79,94 kgCO <sub>2</sub> e/a	47,97 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

Kuvio 11. Laskentavaiheen kolme kokonaishiilidioksidipäästöt tarkastelujaksolla.

#### 9.1.4 Ikkunoiden elinkaaren aikaiset hiilidioksidipäästöt

Eri ikkunatyyppeiden hiilijalanjäljen laskentavaiheissa yksi ja kaksi määritettiin sekä laskettiin käyttöikä turvaavien kunnostustoimenpiteiden aiheuttamat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla. Laskentavaiheessa kolme kunnostustoimista aiheutuvat hiilidioksidipäästö määrät laskettiin avattaville puu-alumiini-ikkunoille 60 vuoden tarkastelujaksolla. Eri ikkunatyyppeihin kohdistuvat säännöllisesti tehtävät kunnostus- ja huoltotoimenpiteet määritettiin ja ajoitettiin tarkastelujaksolle *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekortin mukaisesti.

Kaikissa laskentavaiheissa huomioitiin kunnostustoimenpiteiden aiheuttamat hiilidioksidipäästö määrät suhteutettuna tarkasteltavien ikkunoiden määrään, joka oli 20 kappaletta. Kunnostustoimissa tarvittavien materiaalien määrä laskettiin materiaalienkohtaisesti kunnostustoimesta riippuen joko juoksumetreinä (jm) tai pinta-alana (m<sup>2</sup>). Tarvittavien materiaalien osalta käytetyn laskentatyökalun avulla saatiin automaattisesti tarvittavien materiaalien määrät kilogrammoina, joiden avulla laskettiin aiheutuvat hiilidioksidipäästöt.

Laskentavaiheissa käytettiin Suomen Ympäristökeskuksen rakennusten päästötietokantarekisteristä löytyviä materiaalien konservatiivisia GWP-arvoja. Niiltä osin kuin ikkunoiden elinkaaren aikaisen käyttöä turvaavien toimenpiteiden edellyttämiä materiaaleja ei ollut saatavissa päästötietokantarekisteristä käytettiin mahdollisimman vastaavan tuotteen GWP-arvoja, joiden osalta tieto oli rekisteristä saatavissa. Tutkimustyön liitteessä 12 on esitetty tarkemmin käytetyt materiaalit ja niiden määrät.

Tehtyjen hiilijalanjälkilaskelmien perusteella avattavien ikkunatyyppeiden kunnostustoimista muodostui eniten hiilidioksidipäästöjä. Eroavaisuus avattavien puuikkunoiden ja puu-alumiini-ikkunoiden välillä oli pieni, ollen vain 2,5 prosenttia puu-alumiini-ikkunoiden eduksi. Kiinteiden ikkunoiden kunnostustoimien aiheuttamat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla oli noin 70 prosenttia alhaisemmat avattaviin ikkunatyyppeihin nähden.

Kuvioissa 12–14 on esitetty tutkimustyössä tarkasteltuihin eri ikkunatyyppeihin muodostuvien käyttöikä ylläpitävien kunnostustoimien hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla. Kuviossa 15 on esitetty avattavien puu-alumiini-ikkunoiden käyttöikä ylläpitävistä kunnostustoimista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 60 vuoden tarkastelujaksolla.

		Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
*Käyttökäikää turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet (A1-A3)	Määräarviot	Hiilidioksidipäästöt (kgCO2e)										
Silikonitiivisteiden uusiminen (sisä-, ulkopuute ja karmi)	560 jm (28 jm / ikkuna, n. 21 kg)			58		58		58		58		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisä-, ulkopuute ja karmi)	26 m <sup>2</sup> (1,3 m <sup>2</sup> /kpl, n. 6 kg)			36,00		36,00		36,00		36,00		
Ulkopuutteen lasitusliittymän elastisen saumamassan uusiminen	140 jm (7 jm / ikkuna, n. 5 kg)			15,00		15,00		15,00		15,00		
Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain		0 kgCO2e	0 kgCO2e	119 kgCO2e	0 kgCO2e	119 kgCO2e	0 kgCO2e	119 kgCO2e	0 kgCO2e	119 kgCO2e	0 kgCO2e	0 kgCO2e
Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla		476 kgCO2e										

Kuvio 12. Avattaviin puuikkunoihin kohdistuvat kunnossapitotoimet tarkastelujaksolla.

		Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
*Käyttökäikää turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet (A1-A3)	Määräarviot	Hiilidioksidipäästöt (kgCO2e)										
Silikonitiivisteiden uusiminen (sisä-, ulkopuute ja karmi)	560 jm (28 jm / ikkuna, n. 21 kg)			58		58		58		58		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisäpuite ja karmi)	22 m <sup>2</sup> (1,1 m <sup>2</sup> /kpl, n. 11 kg)			30,00		30,00		30,00		30,00		
Alumiiniosien huoltomaalaus (sis. ulkopuute)	4 m <sup>2</sup> (0,2 m <sup>2</sup> /kpl, n. 2 kg)					6,00				6,00		
Ulkopuutteen lasitusliittymän elastisen saumamassan uusiminen	140 jm (7 jm / ikkuna, n. 5 kg)			15,00		15,00		15,00		15,00		
Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain		0 kgCO2e	0 kgCO2e	113 kgCO2e	0 kgCO2e	119 kgCO2e	0 kgCO2e	113 kgCO2e	0 kgCO2e	119 kgCO2e	0 kgCO2e	0 kgCO2e
Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla		464 kgCO2e										

Kuvio 13. Avattaviin puu-alumiini-ikkunoihin kohdistuvat kunnossapitotoimet tarkastelujaksolla.

		Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
*Käyttökäikää turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet (A1-A3)	Määräarviot	Hiilidioksidipäästöt (kgCO2e)										
Lasitusliittymän tiivistänauhojen uusiminen (sisä- ja ulkopuoli)	280 jm (14 m / kpl, n. 11 kg)					30				30		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisäpuoliset karmien puuosat)	18 m <sup>2</sup> (0,9 m <sup>2</sup> /kpl, n. 9 kg)				23			23			23	
Alumiiniosien huoltomaalaus (sis. ulkopuoliset osat)	4 m <sup>2</sup> (0,2 m <sup>2</sup> /kpl, n. 2 kg)					6				6		
Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain		0 kgCO2e	0 kgCO2e	0 kgCO2e	23 kgCO2e	36 kgCO2e	0 kgCO2e	23 kgCO2e	0 kgCO2e	36 kgCO2e	23 kgCO2e	0 kgCO2e
Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla		141 kgCO2e										

Kuvio 14. Kiinteisiin puu-alumiini-ikkunoihin kohdistuvat kunnossapitotoimet tarkastelujaksolla.

		Tarkastelujakso 60 vuotta											
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.	60 v.
*Käyttöikä turvaavalla ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimi (A1-A3)	Määräarvio	Hiilidioksidipäästöt (kgCO <sub>2</sub> e)											
Silikonitiivisteiden uusiminen (sisä-, ulkopuute ja karmi)	560 jm (28 jm / ikkuna, n. 21 kg)			58,00		58,00		58,00		58,00		58,00	
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisäpuite ja karmi)	22 m <sup>2</sup> (1,1 m <sup>2</sup> /kpl, n. 11 kg)			30,00		30,00		30,00		30,00		30,00	
Alumiiniosien huoltomaalaus (sis. ulkopuute)	4 m <sup>2</sup> (0,2 m <sup>2</sup> /kpl, n. 2 kg)					6,00				6,00			
Ulkopuitteen lasitusliittymän elastisen saumamassan uusiminen	140 jm (7 jm / ikkuna, n. 5 kg)			15,00		15,00		15,00		15,00		15,00	
Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain		0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	113 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	113 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e
Hiilidioksidipäästöt yhteensä 60 vuoden tarkastelujaksolla		583 kgCO <sub>2</sub> e											

Kuvio 15. Avattaviin puu-alumiini-ikkunoiden kunnossapitotoimet 60 vuoden tarkastelujaksolla.

## 9.2 Tulosten vertailu ja analysointi

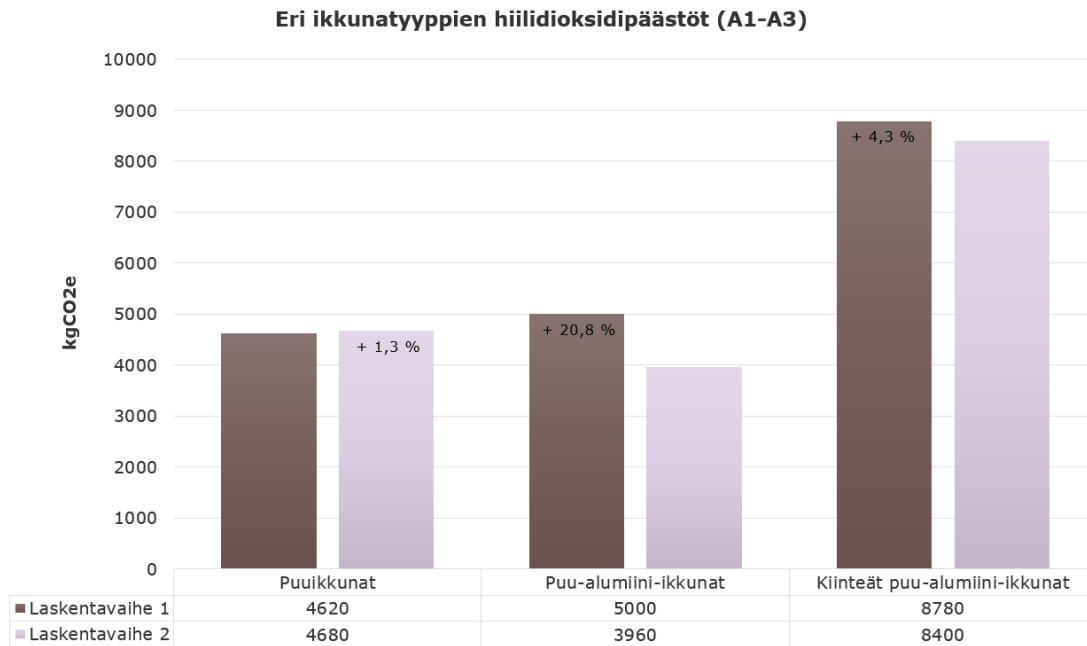
Tehtyjen hiilijalanjälkilaskelmien perusteella tuloksissa havaittiin vaihtelua ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvien hiilidioksidipäästömäärien osalta. Vaihtelua tuloksiin aiheutti kahdessa eri laskentavaiheessa käytetyt konservatiiviset GWP-arvot, jotka Suomen Ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterin, Ympäristöministeriön arviointimenetelmän ja ikkunatoimittajan Pihla Group Oy:n välillä poikkesivat hieman toisistaan. Muutoin tehdyt hiilijalanjälkilaskelmat toteutettiin käyttämällä samoja ikkunoihin liittyviä perustietoja ja ikkunoiden elinkaaren aikaisia kunnostustoimia, minkä takia näiden osalta tulokset olivat molemmissa laskentavaiheissa samat.

Vertailtaessa puuikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvia hiilidioksidipäästöjen määrää eri laskentavaiheiden välillä havaittiin, että laskentavaiheessa yksi puuikkunoiden hiilidioksidipäästöt olivat 1,3 prosenttia alhaisemmat kuin laskentavaiheessa kaksi. Laskentavaiheiden välinen ero hiilidioksidipäästöjen määrässä oli todella pieni ollen vain 20 kgCO<sub>2</sub>e, joten merkittävää ristiriitaa ei ollut Ympäristöministeriön arviointimenetelmän antamissa ja ikkunatoimittajan ilmoittamissa konservatiivissa GWP-arvoissa.

Puolestaan kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden osalta laskentavaiheessa yksi hiilidioksidipäästöt olivat 4,3 prosenttia korkeammat kuin laskentavaiheessa kaksi, mikä tarkoitti 380 kgCO<sub>2</sub>e eroavaisuutta hiilidioksidipäästöjen määrässä. Kiinteiden ikkunoiden osalta voidaan myös katsoa päästötietokantarekisterin ja ikkunatoimittajan ilmoittamien konservatiivisten GWP-arvojen olleen suhteellisen lähellä toisiaan. Saatujen tulosten vaikutus ikkunoiden valmistusvaiheessa aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen määrään ei ollut näin ollen kokonaiskuvassa merkittävä.

Merkittävin eroavaisuus tehtyjen laskentavaiheiden välillä koskee avattavia puu-alumiini-ikkunoita. Laskentavaiheessa yksi puu-alumiini-ikkunoiden valmistusvaiheessa syntyvien hiilidioksidipäästömäärien osuus verrattuna laskentavaiheen kaksi tuloksiin oli 20,8 prosenttia korkeampi, mikä vastasi hiilidioksidipäästöinä 1040 kgCO<sub>2</sub>e. Tulokseen vaikutti suuresti laskentavaiheissa käytetyt konservatiiviset GWP-arvot, joissa oli eroavaisuutta päästötietokantarekisterin ja ikkunatoimittajan EPD-ympäristöselostuksessa olevissa arvoissa. Avattavien puu-alumiini-ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvien hiilidioksidipäästöjen osalta reilu 20 prosentin ero eri tahojen määrittämien GWP-arvojen välillä vaikutti tulosten luotettavuuden arvioimiseen huomattavasti enemmän muihin tarkasteltuihin ikkunatyyppeihin nähden. Tässä työssä käytetyn ikkunatoimittajan eli Pihla Group Oy:n määrittämässä EPD-ympäristöselostuksessa avattavien puu-alumiini-ikkunoiden GWP-arvo oli 1,8 kg CO<sub>2</sub>e /kg, kun puolestaan rakentamisen päästötietokantarekisterissä GWP-arvo oli 2,27 kg CO<sub>2</sub>e /kg. Hiilijalanjätkilaskennan osalta tämä tarkoitti 0,47 kg CO<sub>2</sub>e /kg eroavaisuutta.

Kuviossa 16 on esitetty tutkimustyössä tarkasteltujen eri ikkunatyyppeiden valmistusvaiheessa eli moduuleissa A1-A3 muodostamat hiilidioksidipäästöt hiilijalanjätkilaskentavaiheissa yksi ja kaksi. Eri ikkunatyyppeiden osalta kuviossa on esitetty hiilidioksidipäästöt koskien 20 kappaletta uusittavia ikkunoita. Kuviossa on merkitty pylväsdiagrammeihin edellä esitetyt prosentuaaliset poikkeamat hiilidioksidipäästöissä korkeampien tulosten osalta kahden eri laskentavaiheen välillä.



Kuvio 16. Uusittavien ikkunoiden hiilidioksidipäästöjen vertailu eri laskentavaiheissa.

Vertailtaessa laskentavaiheita yksi ja kaksi suhteessa laskentavaiheeseen kolme havaittiin, että tarkastelujakson pituudella on vaikutusta silloin, kun käytetään Ympäristöministeriön arviointimenetelmän ja SYKE:n päästötietokantarekisterin määrittämiä konservatiivisia GWP-arvoja. Edellä kuvattujen lähteiden arvoja käytettäessä avattavien eri ikkunatyyppeiden kokonaishiilidioksidipäästöjä tarkasteltaessa vuositasolle jyvitettyinä voitiin havaita, että pidemmällä tarkastelujaksolla vuositason päästöt ovat pienempiä suhteessa lyhyempään tarkastelujaksoon. Muodostuvien hiilidioksidipäästöjen arvioinnissa käytettäessä puolestaan ikkunatoimittajan EPD-ympäristöselostuksessa määritettyjä arvoja todettiin, että pidemmällä tarkastelujaksolla myös päästöjen määrä vuositasolla on suurempi.

### 9.3 Tulosten tulkinta

Tehtyjen hiilijalanjäkilaskelmien perusteella ikkunoiden valmistukseen tarvittavien materiaalien valmistusvaiheessa eli moduuleissa A1-A3 muodostui merkittävimmät hiilidioksidipäästöt ikkunatyypistä riippumatta. Työssä tarkastelluille eri ikkunatyypeille tehtyjen hiilijalanjäkilaskelmien perusteella havaittiin yksiselitteisesti kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden valmistusvaiheen aiheuttavan eniten hiilidioksidipäästöjä. Puolestaan 50 vuoden tarkastelujaksolle ajoittuvien käyttöikä

turvaavien kunnostustoimien osalta avattavista puuikkunoista muodostui eniten hiilidioksidipäästöjä, mikä on suhteessa myös *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin määrittämiin huoltotoimenpidetarpeisiin. Luonnollisesti laskentavaiheessa kolme, jossa avattavien puu-alumiini-ikkunoiden tarkastelujakso oli 10 vuotta pidempi kuin laskentavaiheissa yksi ja kaksi tarkastelujaksolle ajoittuvista kunnostustoimista muodostui enemmän päästöjä. Näin ollen, mitä pidempi tarkastelujakso, sitä korkeammat ovat myös kunnostustoimista aiheutuvat hiilidioksidipäästö määrät.

Merkittävimmät eroavaisuudet tehtyjen eri hiilijalanjäkilaskelmavaiheiden välillä liittyivät avattaviin puu-alumiini-ikkunoihin. Tehtäessä hiilijalanjäkilaskenta päästötietokantarekisterin määrittämien päästöarvojen pohjalta saatiin avattavien puu-alumiini-ikkunoiden valmistusvaiheelle merkittävästi korkeammat hiilidioksidipäästö pitoisuudet verrattuna ikkunatoimittajan EPD-ympäristöselostuksen määrittämiä arvoja käyttämällä. Päästötietokantarekisterin määrittämää konservatiivista GWP-arvoja käytettäessä puu-alumiini-ikkunoiden valmistusvaiheen aikaisten hiilidioksidipäästöjen osuus ikkunatoimittajan ilmoittamiin päästöarvoihin verrattuna oli yli 20 prosenttia korkeampi. Tulosten eroavaisuuteen vaikuttavat eri tahojen määrittämät toisistaan poikkeavat konservatiiviset GWP-arvot, vaikka tarkasteltava ikkunatyypin oli sama. Ottaen huomioon, että ikkunatoimittajan puu-alumiini-ikkunoille määrittämää konservatiivista GWP-arvoa käyttämällä ikkunatyypin valmistusprosessin aikaiset hiilidioksidipäästö määrät olivat alhaisemmat kuin puuikkunoiden. Lähtökohtaisesti puuikkunoiden valmistusprosessin oletetaan olevan ympäristöystävällisempää kuin alumiinin valmistaminen, mikä kuluttaa enemmän energiaa. Eroavaisuuteen kahden eri tahon ilmoittamiin konservatiivisiin GWP-arvoihin vaikuttaa todennäköisesti se, miten paljon itse ikkunatoimittaja hyödyntää teollisuudessaan uudelleen kierrätettäviä materiaaleja ja energiamuotoja. Päästötietokantarekisterin ilmoittamat arvot pohjautuivat keskiarvoihin ja yleisävään tasoon, eikä tietyn tavarantoimittajan määrittämiin arvoihin. Tulosten suuri poikkeama keskenään loi hiilijalanjäkilaskentaa epävarmuutta tulosten tulkintaan ja luotettavuuteen.

Avattavien puuikkunoiden osalta tehdyissä eri laskelmissa ei havaittu merkittävää poikkeamaa, siitä huolimatta, että käytettiin eri lähteiden antamia konservatiivisia GWP-arvoja. Näin ollen eri tahojen määrittämät GWP-arvot avattavien puuikkunoiden osalta voidaan katsoa olevan luotettavalla tasolla ja tuloksia voidaan pitää lähes yhdenvertaisina. Tehtyjen laskelmien välinen eroavaisuus oli marginaalinen eikä kokonaiskuvassa merkittävä.

Tulosten perusteella voidaan kuitenkin arvioida avattavien ikkunatyypin olevan selvästi ympäristöystävällisimmät vaihtoehdot suunniteltaessa ikkunoiden uusimista. Loppujen lopuksi vertailtaessa tehtyjen hiilijalanjätkilaskelmien tuloksia, voitiin huomata, että merkittävää eroa ei ole avattavan puuikkunan tai puu-alumiini-ikkunan valmistusvaiheen aikaisissa hiilidioksidipäästömäärissä. Eroavaisuudet näiden eri ikkunatyypin välillä olivat muutamia prosentteja, joiden vaikutukset kokonaiskuvassa olivat marginaalisia suhteessa tarkastelujaksojen kokonaishiilidioksidipäästömääriin. Näin ollen molemmat avattavat ikkunatyypit olisivat varteen otettavia vaihtoehtoja suunniteltaessa ikkunoiden uusimista. Huomioitaessa uusien ikkunoiden valinnassa niille määritetyt ikkunatyypikohtaiset tekniset käyttöiät eri rasisolosuhteissa, avattavat puu-alumiini-ikkunat olisivat järkevin vaihtoehto niiden pidemmän käyttöiän ja pienemmän huoltotarpeen näkökulmasta verrattuna puuikkunoihin.

#### **9.4 Tulosten luotettavuuden arviointi**

Tutkimustyön hiilijalanjätkilaskennat toteutettiin pääasiassa kaksivaiheisena laskentana, jossa huomioitiin kolmen luotettavan eri lähteen antamia ajantasaisia konservatiivisia GWP-arvoja eri tyyppisille ikkunoille. Lisäksi toteutettiin yksilaskentavaihe, jossa huomioitiin avattavien eri ikkunatyypin muodostamat hiilidioksidipäästömäärät suhteutettuna normaalin rasisolosuhteen määritettyihin teknisiin käyttöikäperusteisiin. Tehtyjen laskelmien avulla pystyttiin vertailemaan tuloksia ja arvioimaan tarkemmin eri ikkunatyypeistä muodostuvien hiilidioksidipäästöjen määrää. Laskentavaiheissa saadut hiilidioksidipäästömäärät eri ikkunatyypin välillä hieman poikkesivat toisistaan, mutta tehdyistä laskelmista kävi selvästi ilmi, mikä uusittava ikkunatyyppi aiheuttaa eniten hiilidioksidipäästöjä ja mitkä ikkunatyypit suhteessa vähemmän. Näin ollen tehtyjä hiilijalanjätkilaskelmia eri ikkunatyypin valmistusvaiheiden aikaisista hiilidioksidipäästömääristä voidaan pitää luotettavina arvioitaessa eri ikkunatyypin ympäristöystävällisyyttä.

Arvioitaessa eri ikkunatyyppeihin kohdistuvien käyttöikä turvaavien kunnostustoimien aiheuttamia hiilidioksidipäästöjen luotettavuutta 50 vuoden tarkastelujaksolla voidaan todeta, että tulokset olivat vain suuntaa antavia. Päästötietokantarekisterissä oli ilmoitettu materiaali- ja tuotekohtaisesti aiheutuvat hiilidioksidipäästömäärät, mutta rekisterissä ei ollut esitetty toiminnasta tai työstä aiheutuvia hiilidioksidipäästömääriä. Esimerkiksi puuosien käyttöikä turvaavana toimenpiteenä voidaan joutua hiomaan vanha maalikerros puhtaalle pinnalle ennen uudelleen maalausta eikä tälle toimenpiteelle ole määritetty päästöarvoja. Myöskään esimerkiksi eristyslasielementtien

osalta ei ole määritetty hiilidioksidipäästöarvoa pelkästään ikkunalasille, minkä takia ei voida arvioida tai varautua tarkastelujakson aikana ikkunalaisien uusimisesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen määrään. Näin ollen hiilijalanjäkilaskennassa ei ole huomioitu eri ikkunatyyppeihin kohdistuvia mahdollisia raskaampia kunnostustoimia, joita ei myöskään ole määritetty *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortissa.

Päästötietokantarekisterissä oli esitetty tyypillisimpien materiaalien ja tuotteiden valmistusvaiheessa muodostuvien hiilidioksidipäästöjen määrä. Tehtyjen hiilijalanjäkilaskelmien perusteella rekisteri ei ollut ikkunoiden osalta kaiken kattava, minkä takia rekisteristä ei ollut saatavissa kaikille eri ikkunatyyppeihin kohdistuville käyttöikä turvaaville toimenpiteille materiaalitietoja. Esimerkiksi rekisterissä ei ollut ilmoitettu minkään tyyppisien ikkunatiivisteiden valmistuksesta aiheutuvia päästöarvoja. Minkä takia hiilijalanjäkilaskelmissa jouduttiin käyttämään materiaalitietoja, jotka ominaisuuksiltaan vastaavat tarkasteltavaa tuotetta. Tästä syystä tarkastelujaksolle ajoitettujen käyttöikä turvaavien toimenpiteiden aiheuttamat hiilidioksidipäästöarvot olivat suuntaa antavia eivätkä välttämättä vastaa täysin todenmukaisia päästömääriä.

Tutkimustyössä tehtyjä hiilijalanjäkilaskelmia voidaan pitää arvioitaessa kokonaisuutta varsin kuvaavana ja luotettavana, sillä työn toteuttamisessa käytettiin luotettavien tahojen ajantasaisia tietoja. Laskelmien pohjalta pystyttiin muodostamaan käsitystä eri ikkunatyyppien muodostamista hiilidioksidipäästöistä koko 50 vuoden tarkastelujaksolla. Hiilijalanjäkilaskelmissa huomioitiin myös *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin mukaiset eri ikkunatyyppeihin kohdistuvat kunnossapitotoimet, jotka toimivat esimerkiksi hankesuunnitteluvaiheessa tai ylläpitovaiheessa apuna suunniteltaessa rakennuksen pitkäikäisyyden suunnitelmaa. Lisäksi laskentavaiheessa kolme huomioitiin myös *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin mukainen avattaville puu-alumiini-ikkunoille määritetty tekninen käyttöikä normaalissa rasitusolosuhteessa, jolloin ikkunatyypille saatiin todellisuutta paremmin kuvastavimmat tulokset. Laskentavaiheiden yksi ja kaksi tulokset kuvastavat avattavia puuikkunoita normaalissa rasitusolosuhteessa, joten sen puolesta saatuja tuloksia voidaan pitää kuvaavina. Kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden osalta 50 vuoden tarkastelujaksoa voidaan pitää vartenotettavana tarkastelujaksona, jonka jälkeen on hyvä tarkastella ikkunoiden kuntoa ja teknisen käyttöiän jatkamista erikseen. Kiinteiden ikkunoiden tekninen käyttöikä on lähtökohtaisesti normaalissa rasitusolosuhteessa rakennuksen tekninen käyttöikä.

## 10 Johtopäätökset ja pohdinta

### 10.1 Tutkimustyön johtopäätökset

Tutkimuksessa selvitettiin eri ikkunatyyppeiden laskennalliset hiilijalanjäljet sekä tarkasteltiin ikkunatyypikohtaisesti elinkaareen vaikuttavia tekijöitä muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa. Tutkimustyössä tehtyjen laskelmien ja teoreettisen taustatiedon avulla saatiin vastaukset asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Työssä tehtyjen hiilijalanjälkilaskelmien perusteella kiinteät puu-alumiini-ikkunat aiheuttivat eniten hiilidioksidipäästöjä. Ympäristöystävällisimmät ratkaisut uusittaviksi ikkunoiksi olivat tehtyjen laskelmien perusteella avattavat ikkunatyypit. Hiilidioksidipäästöjen määrä avattavien ikkunatyyppeiden välillä oli varsin vähäinen. Laskelmissa käytettyjen eri tahojen toisistaan eroavat konservatiiviset GWP-arvot eivät merkittävästi vaikuttaneet saatuihin tuloksiin. Vähäpäästöisimmän ikkunatyypin määrittämisessä oli eroavaisuutta käytettäessä eri tahojen määrittämiä ikkunatyypikohtaisia päästöarvoja. Ikkunatoimittajan määrittämien päästöarvojen mukaan avattavat puu-alumiini-ikkunat olivat vähäpäästöisin vaihtoehto, kun taas päästötietokantarekisterin ja Ympäristöministeriön arviointimenetelmän määrittämien päästöarvojen mukaan avattavat puuikkunat olivat ympäristöystävällisimmät.

Tehtyjen eri ikkunatyyppeiden hiilijalanjälkilaskelmien saatuihin tuloksiin vaikuttivat käytetyt konservatiiviset GWP-arvot, jotka poikkesivat työssä käytettyjen eri tahojen ilmoittamista arvoista. Konservatiivisilla GWP-arvoilla määritettiin tarkasteltavan ikkunatyypin muodostamat hiilidioksidipäästöt suhteessa sen painoon kilogrammoissa, minkä takia tarkasteltavan tuotteen painolla oli vaikutusta saataviin tuloksiin. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että mitä painavampi tuote, sitä suurempi olisi sen aiheuttama hiilidioksidipäästö määrä, siinä kohtaa, kun ilmoitetut GWP-arvot olisivat mahdollisimman lähellä toisiaan. Mikäli tarkasteltavien tuotteiden paino ja GWP-arvo olisivat lähes samat, ei merkittävää eroa eri ikkunatyyppeiden muodostamiin hiilidioksidipäästö määriin tulisi.

Eri ikkunatyyppeiden valmistuksessa käytetyt materiaalit kuten puun, alumiinin ja lasin määrät vaikuttivat niille määritettyihin konservatiivisiin GWP-arvoihin siinä suhteessa, kuinka suuri osa materiaaleista oli uudelleen kierrätettäviä. Päästötietokantarekisterin ja ikkunatoimittajan Pihla Group Oy:n ilmoittamissa konservatiivisissa GWP-arvoissa oli eroavaisuuksia, erityisesti avattavissa puu-

alumiini-ikkunoissa. Ilmoitettuihin päästöarvoihin vaikutti merkittävimmin eroavaisuudet kierrätettävien ja uudelleen käytettävien materiaalien määrissä, joiden pohjalta tahot olivat määrittäneet konservatiivisen GWP-arvon. Ikkunatoimittajan Pihla Group Oy ilmoittama päästöarvo puu-alumiini-ikkunoille pohjautui siihen, että tuotteen valmistusvaiheessa käytettiin jopa 100 prosenttisesti kierrätettyä alumiinia ja lasia sekä tuotantovaiheessa vihreää energiaa. Puolestaan päästötietokantarekisterin ilmoitta päästömäärä oli määritetty sen pohjalta, että puu-alumiini-ikkunoiden valmistuksessa käytettiin 46 prosenttia uusiutuvia ja kierrätettyjä materiaaleja.

Ikkunatoimittajan ja päästötietokantarekisterin määrittämien puu-alumiini-ikkunoiden kierrätettävien materiaalien osuus keskenään poikkesi yli 50 prosenttia. Huomioitaessa tämä saatuihin tuloksiin selkeytyi syy sille, miksi laskentavaiheessa kaksi puu-alumiini-ikkunoiden muodostamat hiilidioksidipäästömäärät olivat alhaisemmat verrattuna laskentavaiheen yksi tuloksiin.

Työssä tuotettujen tulosten perusteella päästötietokantarekisterin määrittämät konservatiiviset GWP-arvot edustivat yleistä tasoa, jolloin niiden avulla saatiin suuntaa antavat tulokset eri ikkunatyyppien muodostamista hiilidioksidipäästömääristä. Käyttämällä hiilijalanjätkilaskelmissa tavantoimittajan määrittämiä EPD-ympäristöselostuksien päästöarvoja saatiin valmistusprosessissa aiheutuvien päästöjen määriä kuvaavammat tulokset. EPD-ympäristöselostukset oli laadittu ulkopuolisen luotettavan tahon toimesta edustamaan ikkunatoimittajan toimintatapaa ja tuotekohtaista valmistusprosessia. Käytettäessä ikkunatoimittajan laatimia EPD-ympäristöselostuksia voitiin osoittaa ikkunatoimittajien vastuullisuutta kohti ympäristöystävällisimpiä ratkaisuja.

Käyttöikä turvaavien toimenpiteiden osalta käytettävien materiaalien valmistusvaiheen aikaisten hiilidioksidipäästöjen määrää tutkittiin eri ikkunatyyppien välillä. Tehtyjen laskelmien pohjalta selvästi vähiten hiilidioksidipäästöjä aiheutui tarkastelujaksolla kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden kunnostustoimista. Avattavien puuikkunoiden ja puu-alumiini-ikkunoiden kunnostustoimista aiheutui lähes yhtä paljon hiilidioksidipäästöjä. Saadut tulokset olivat suhteessa *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekorttiin, minkä perusteella tuloksia voitiin pitää todenmukaisina.

Työssä tarkasteltiin lähtökohtaisesti hiilidioksidipäästöjen määrää Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti 50 vuoden tarkastelujaksolla. Mikäli tarkastelujakso olisi ollut pidempi esimerkiksi 100 vuotta, eri ikkunatyyppien välillä olisi todennäköisesti havaittu suurempia eroja aiheutuviissa

hiilidioksidipäästö määrissä. Pidemmällä tarkastelujaksolla muun muassa puuikkunoihin olisi kohdistunut enemmän kunnostustarpeita ja mahdollisesti puuikkunat olisi jouduttu teknisen käyttöiän puitteissa kertaalleen uusimaan. Tämä olisi vaikuttanut merkittävästi puuikkunoiden aiheuttamiin hiilidioksidipäästö määriin. Näin ollen saadut tulokset olivat suuntaa antavia perustuen ympäristöministeriön määrittämään 50 vuoden tarkastelujaksoon, jota pidetään kaikkien eri ikkunatyypin käyttöikä. Todellisuudessa ikkunoiden käyttöikä olisi voinut olla tätä lyhyempi tai vastaavasti paljon pidempi ikkunatyypistä riippumatta sen mukaisesti, kuinka ikkunoiden ylläpidosta olisi huolehdittu. Tehdyt hiilijalanjälkilaskelmat pohjautuivat ennusteisiin, joiden avulla luotiin ideaalitalanetta kuvaavatilanne, jossa ikkunoiden ylläpidosta huolehdittaisiin säännöllisesti. Käyttöiän aikaisen toimien riittävyys ja tarpeellisuus perustui käytössä olleisiin ohjeistuksiin. Näin ollen hiilijalanjälkilaskelmien päästöarvot olivat suuntaa antavia ja niiden todenmukaisuus ikkunoiden käyttöiän aikana tarkentuisi vasta konkreettisesti tarkastelujaksolla.

## 10.2 Pohdinta

Ikkunatyypin hiilidioksidipäästöihin vaikuttavat useat tekijät, kuten valmistuksessa käytettävät materiaalit, tuotantoprosessit, kunnostustoimenpiteet, tekninen käyttöikä ja materiaalien kierrätettävyys. Erityisesti tuotteen valmistusvaiheen aikaiset hiilidioksidipäästöt olivat ikkunatyypistä riippumatta merkittävimmät ja määrittivät pitkälti ikkunatyypin hiilidioksidipäästöjen määrää koko tarkastelujaksolla. Varsinaiset 50 vuoden tarkastelujaksolle ajoittuvat käyttöikä turvaavat kunnostustoimet aiheuttivat ikkunatyypistä riippumatta suhteellisen vähän hiilidioksidipäästöjä.

Hiilijalanjälkilaskenta pohjautui suurelta osin ennusteisiin ja oletettiin tulevaisuudessa tarvittavista toimenpiteistä. Ikkunoiden uusimisen osalta 50 vuoden tarkastelujaksoa voitiin pitää järkevänä ajanjaksona sen pohjautuessa melko hyvin myös *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin määrittämiin käyttöikäarviointiin normaaleissa rasitusolosuhteissa. Toisaalta avattavien puu-alumiini-ikkunoiden tekninen käyttöikä normaaleissa rasitusolosuhteissa on 60 vuotta ja kiinteiden puu-alumiini-ikkunoiden rakennuksen tekninen käyttöikä, mikä lähtökohtaisesti tarkoittaa yli 50 vuotta. Tapauskohtaisesti rakennuksen sijainnista, korkeudesta ja ominaisuuksista riippuen ikkunoiden tekninen käyttöikä tarkastelu voidaan joutua tekemään suhteutettuna vaikeaan rasitusolosuhteeseen, jolloin avattavien puu-alumiini-ikkunoiden keskimääräinen tekninen käyttöikä olisi 30 vuotta ja puu-alumiini-ikkunoiden 40 vuotta. Vaikean rasitusolosuhteen

ikkunatyypikohtaiset tekniset käyttöiät ovat näin ollen 10–20 vuotta lyhyemmät kuin normaaleissa rasitusolosuhteissa, mikä vaikuttaa merkittävästi muodostuvien hiilidioksidipäästöjen määrään lyhyemmällä tarkastelujaksolla. Ikkunoiden lyhyempi tekninen käyttöikä heijastuu merkittävästi muodostuvien hiilidioksidipäästöjen määrään uusien ikkunoiden valmistusvaiheessa.

Lyhyempi tekninen käyttöikä tarkoittaa myös aikaisemmin ajoittuvaa peruskorjaustarvetta, mikä aiheuttaa myös päästöjä ja kustannuksia. Hiilijalanjälkilaskenta pitäisi tehdä sellaiselle tarkastelujaksolle, joka kuvastaa kyseistä rakennusta ja sen ympäristöä mahdollisimman hyvin huomioiden eri rasitusolosuhteet. Meren rannalla sijaitsevan korkean kerrostalon uusien ikkunoiden hiilijalanjälkeä laskettaessa 50 vuoden tarkastelujaksolla ei todennäköisesti saada luotettavia ja todellista tilannetta kuvaavia tuloksia verrattuna sisämaassa sijaitsevaa kerrostaloon. Näin ollen hiilijalanjälkilaskennan tarkastelujakso tulisi miettiä kohde kohtaisesti huomioiden myös eri ikkunatyypeille määritetyt tekniset käyttöiät eri rasitusolosuhteissa.

Ikkunoiden tekninen käyttöikä on kuitenkin pitkälti riippuvaista siitä, kuinka niiden kunnosta pidetään huolta. Huolto- ja kunnostustoimien laiminlyöminen voi merkittävästi lyhentää niiden tavoiteltua teknistä käyttöikää, kun taas puolestaan huolellisesti ja säännöllisin väliajoin tehtävillä kunnostustoimilla ikkunoiden käyttöikää voidaan jopa pidentää. Vastaavalla tavalla ikkunoiden käyttöikä muutokset heijastuvat myös hiilidioksidipäästöjen määrään. Mikäli ikkunoiden käyttöikä ei saavuta edes 50 vuotta, ajoittuu tarkastelujaksolle uudestaan ikkunoiden uusiminen, mikä nostaa merkittävästi arvioitujen hiilidioksidipäästöjen määrää. Lisäksi ikkunoiden mahdollinen uusiminen tarkastelujakson aikana aiheuttaa myös tuotteiden purkamisesta, jätteiden kuljetuksesta ja käsittelystä syntyviä päästöjä. Puolestaan ikkunoiden käyttöiän jatkuminen 50 vuoden jälkeen ei merkittävässä määrin vaikuttaisi arvioituihin hiilidioksidipäästöjä, sillä kunnostustoimien aiheuttamat päästömäärät olivat suhteellisen pieniä verrattuna ikkunoiden uusimisesta aiheutuviin päästöihin.

Ikkunoiden uusiminen ei kuitenkaan poissulje tarvetta pitää niiden teknisestä käyttöiästä huolta, mikä edellyttää säännöllisin väliajoin tehtäviä kunnostus- ja huoltotoimenpiteitä ikkunatyypistä riippumatta. Päädyttäessä uusimaan ikkunat, tulee arvioida ominaisuuksia, joita uusilta ikkunoilta edellytetään, esimerkiksi tavoitellaanko mahdollisimman huoltovapaita ikkunoita, joilla on pitkä

käyttöikä vai halutaanko kohteeseen luonnon mukaisuutta puun muodossa. Ikkunatyypin valinnassa on otettava huomioon rakennuksen sijainti, korkeus, ilmansuunnat ja ympäristö, jotta mahdollistetaan ikkunatyypin soveltuvuus kohteeseen.

Suomen tulevaisuuden ilmaston on ennustettu muuttuvan sateisemmaksi ja tuulisemmaksi, jolloin viistosateen määrä tulee lisääntymään. Lisäksi keskilämpötilan nousu vaikuttaa neljän vuodenajan totuttuihin lämpötiloihin, talvista tulee leudompia, jolloin myös lumipeitteen ja pakkasten määrän on ennustettu vähentyvän. Myös keskiarvolämpötilojen nousu ja kesäkuukausien hellejaksot lisäävät auringon säteilyn aiheuttamaa kuormitusta ikkunarakenteisiin. Nämä tekijät tulevat entisestään kuormittamaan erityisesti ikkunoiden ulkopuolisia rakenteita, kuten ulkopuitetta, karmin ulkopuolisia osia ja ikkunaliittymiä. Ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevat todennäköisesti edellyttämään jossain vaiheessa ikkunatyypikohtaisten teknisten käyttöikäarvioiden sekä huolto- ja kunnostusvälien tarpeellisuuden päivittämistä. Nykyiset eri ikkunatyypikohtaiset tekniset käyttöikäarviot perustuvat kolmeen eri rasitusolosuhteeseen (kevyt, normaali ja vaikea). Ilmastonmuutoksen etenemisen myötä olisi aiheellista arvioida nykyisten rasitusolosuhteiden soveltuvuutta muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin. Ilmasto-olosuhteiden muuttuessa ja sään ääri-ilmiöiden lisääntyessä ei todennäköisesti voida enää puhua kevyestä rasitusolosuhteesta, jolloin kyseinen rasitusolosuhde ei olisi sovellettavissa käytäntöön. Mahdollisesti olisi enemmänkin tarpeellista pohtia normaalin ja vaikean rasitusolosuhteen välille uutta rasiustasoa, joka huomioisi muuttuvat ilmasto-olosuhteet nykyistä paremmin. Eri ikkunatyypeiltä odotetaan jatkossakin vastaavanlaista kestävyttä kuin aikaisemmin riippumatta muuttuvista sääolosuhteista. Varauduttaessa jo hyvissä ajoin muuttuviin ilmasto-olosuhteisiin voidaan tehdä kestäviä ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja.

On selvää, että ikkunatyypit, joiden ulkopuoliset osat ovat alumiinia kestävät paremmin säärasituksen vaikutuksia rakennuksen muista ominaisuuksista huolimatta. Erityisesti ikkunarakenteen alumiiniosat kestävät puuosia paremmin kosteusrasitusta ja auringonsäteilyä, mikä heijastuu tarvittavien huolto- ja kunnostustarpeiden määrään. Tavoiteltaessa säärasituksen kestäviä, helppo- hoitoisia ja pitkäikäisiä ikkunoita tulisi uusiksi ikkunoiksi valita tämän perusteella ikkunatyypit, jonka ulkopuoliset osat ovat alumiinia. Tehtyjen hiilijalanjälkilaskelmien perusteella avattavien ikkunatyypien hiilidioksidipäästömäärät olivat lähes yhtä suuret, mihin vaikuttivat erityisesti uudele kierrätettävien materiaalien lisääntyminen ikkunatuotannossa. Näin ollen avattavat puu-alumiini-ikkunat olisivat käytännössä yhtä ympäristöystävällinen ratkaisu uusittaviksi ikkunoiksi kuin

puuikkunat. Tulevaisuuden ilmasto-olosuhteet tulevat todennäköisesti lisäämään erityisesti puuikkunoiden osalta tarvetta toteuttaa tiheämmällä aikavälillä kunnostustoimenpiteitä, jotta varmistetaan puuosien kunnan säilyvyydestä ja siten käyttöiän saavuttamisesta. Toisaalta toteuttamalla säännöllisin väliajoin huolellisesti tehtäviä kunnostus- ja huoltotoimenpiteitä voidaan mahdollistaa ikkunoiden ulkopuolisten puuosien säilyvyys myös muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa vastaavalla tavalla kuin alumiinipintaisten ikkunoiden.

Päädyttiin hankkeessa sitten uusimaan ikkunat tai kattavasti kunnostamaan vanhat ikkunat, aiheutuessa toimenpiteestä aina jossain määrin hiilidioksidipäästöjä, jotka edesauttavat ilmastonmuutosta. Tämän takia olisi tärkeää pohtia toimenpiteiden tarpeellisuutta suhteessa rakennuksen käyttötarkoitukseen, tuleviin muihin kunnostus- tai korjaustoimenpiteisiin sekä arvioida eettisestä näkökulmasta päätöksen tekoa. Varhaisessa vaiheessa tehtävillä ratkaisuilla ja päätöksillä voidaan vaikuttaa merkittävästi tuotteiden kestävyteen ja vähähiilisyteen, ohjaten valintoja ympäristöystävällisiin vaihtoehtoihin ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi.

## **11 Tutkimustyön käytettävyys, kehityskohdat ja luotettavuus**

### **11.1 Työn tuottama uusi tietopohja ja sovellettavuus käytäntöön**

Vastaavanlaista tutkimustyötä ei ollut aikaisemmin tehty, minkä takia työn voidaan katsoa tuottaneen uutta ja ajankohtaista tietoa koskien tarkasteltuja tavanomaisia uusittavia ikkunatyyppejä ja niihin liittyviä käyttöikä turvaavia toimenpiteitä. Työssä nostettiin esille myös ilmastonmuutoksen vaikutukset tulevaisuuden ilmasto-olosuhteisiin, minkä tarkoituksena oli nostaa esille muuttuvien sääolosuhteiden vaikutuksia eri ikkunatyyppeiden kunnostustarpeiden toimenpiteiden riittävyyteen nykyisillä huoltoväljaksoilla suhteessa määritettyjen teknisten käyttöikä saavutettavuuteen. Työn tuottamaa tietoa voidaan soveltaa erityisesti suunnittelu- ja hankesuunnitteluvaiheessa tehtävien päätöksien teon tukena.

Tämän tutkimustyön tuottamaa tietopohjaa voidaan käyttää eri tahojen kesken tarkasteltaessa ja arvioitaessa eri ikkunatyyppejä ja niihin kohdistuvia kunnostus- ja huoltotoimenpiteitä. Työssä esitettyjä ikkunoiden uusimiseen liittyviä teknisiä asioita, kuten laatuvaatimuksia ja lakisääteisiä tekijöitä voidaan soveltaa käytäntöön niiltä osin kuin työssä käytettyjen lähteiden tiedot eivät ole päivittyneet tämän tutkimustyön valmistumisen jälkeen. Toimenpiteiden tarvetta tulee kuitenkin aina

arvioida kohdekohtaisesti huomioiden nykyikkunoiden kunto ja arviot jäljellä olevasta käyttöiästä. Mikäli pienehköllä toimenpiteellä ikkunatyypille voidaan saavuttaa esimerkiksi 10–20 vuotta lisääi-  
kaa, niin ilmastonmuutoksen hillitsemisen näkökulmasta ikkunat on järkevintä kunnostaa tai vaih-  
toehtoisesti osa ikkunoista uusia rasiuimmilta ilmansuunnilta.

Tutkimustyön tuottamaa tietoa koskien eri ikkunatyypin vähähiilisyttä ja elinkaareen vaikutta-  
via tekijöitä voidaan soveltaa suuntaa antavasti käytäntöön. Työssä tehtyjen hiilijalanjälkilaskel-  
mien avulla tuotettiin ajantasaista tietopohjaa korjaussuunnittelun ratkaisujen ja hankesuunnitte-  
lun päätöksen teon tueksi sekä kuntotutkimuksien toimenpide-ehdotuksien taustatiedoiksi  
esittäessä eri ikkunatyypin uusimisvaihtoehtoja ympäristöystävällisestä näkökulmasta. Työssä  
tuotiin esille eri tahoja ja lähteitä, joista löytyy luotettavaa tietoa eri ikkunatyypin hiilidioksidi-  
päästöistä, joiden pohjalta voidaan toteuttaa hiilijalanjälkilaskelmia. Jokainen hiilijalanjälkilas-  
kelma on kuitenkin hanke ja kohde kohtainen, minkä takia laskelmiin tarvittavat tuotekohtaiset  
perus- ja pohjatiedot tulee hankkia ja tarkastaa erikseen. Tästä syystä tässä työssä tuotettuja hiili-  
jalanjälkilaskelmia ei voida suoraan käyttää muihin kohteisiin, ellei pohjatiedot ole samat. Tehtyjen  
hiilijalanjälkilaskelmien pohjalta saadaan kuitenkin suuntaa antavaa tietoa, jota voidaan hyödyntää  
ympäristöystävällisimpien ratkaisujen valitsemiseksi. Tämä puolestaan mahdollistaa sen, ettei jat-  
kossa ole välttämätöntä tehdä eri ikkunatyypin osalta hiilijalanjälkilaskelmia vaan voidaan tehdä  
laskelmat suoraan valittavan ikkunatyypin mukaisesti.

## 11.2 Työssä havaitut kehityskohteet

Suomen Ympäristökeskuksen ylläpitämässä päästötietokantarekisterissä oli ilmoitettu hiilidioksidi-  
päästöarvot eri tyyppisille puu-alumiini-ikkunoille. Rekisterissä ei ollut ilmoitettu päästöarvoja  
minkäänlaisille puuikkunoille, vaikka puuikkunat ovat yksi vaihtoehto uusittaessa ikkunoita erityi-  
sesti historiallisissa tai vanhoissa rakennuksissa. Ottaen huomioon, että päästötietokantarekisterin  
arvoja pidetään luotettavana lähteenä ja sen sisältämiä arvoja käytetään ensisijaisesti arvioitaessa  
tarkasteltavan tuotteen vähähiilisyttä, olisi tarpeellista lisätä rekisteriin päästötiedot puuikkunoi-  
den osalta. Tämä parantaisi myös eri toimijoiden laatimien hiilijalanjälkilaskelmien vertailukelpoi-  
suutta ja yhdenmukaisuutta.

Päästötietokantarekisterin eri ikkunatyypin päästöarvoja olisi tarpeellista myös päivittää sitä  
mukaan, kun ikkunatoimittajat laativat tuotteilleen omia yksityiskohtaisia EPD-

ympäristöselostuksia, mikä parantaisi hiilijalanjälkilaskennan tulosten todenmukaisuutta. Tällä hetkellä tehtäessä ikkunoiden osalta hiilijalanjälkilaskentaa luotettavinta ja ajantasaisinta tietoa saatiin käyttämällä ikkunatoimittajien laatimia EPD-ympäristöselostuksia, joista on saatavissa eri ikkunatyypeittäin ikkunamalli ja -tyyppikohtaista tietoa. Käytettäessä eri lähteiden päästöarvotietoja vertaillaan eri ikkunatyyppejä yleisellä tasolla eikä tarkan mallin tai tyyppin mukaisesti.

Päästötietokantarekisterissä oli tällä hetkellä ilmoitettu tyypillisimpien materiaalien ja tuotteiden valmistusvaiheessa muodostamat päästöarvot. Rekisterissä ei ollut ainakaan vielä tässä vaiheessa saatavissa kattavasti tarvittavien materiaalien päästötietoja liittyen eri ikkunatyypin kunnostusvaiheessa käytettäviin materiaaleihin. Tarkemman hiilijalanjälkilaskennan saavuttamiseksi kaivattaisiin erityisesti ikkunatiivisteiden osalta materiaalien päästöarvoja, joita ei toistaiseksi päästötietokantarekisterissä ollut ilmoitettu. Tästä syystä tässä tutkimustyössä hyödynnettiin materiaalitietoja, jotka ominaisuuksiltaan olivat mahdollisimman vastaavanlaisia tuotteita kuin ikkunatiivisteet, mikä puolestaan ei välttämättä kuvastanut todellisuudessa aiheutuvien päästöjen määrää. Käytännössä tämä edellyttäisi hiilijalanjälkilaskentaa tekevältä henkilöltä tai taholta ymmärrystä eri materiaaleista ja niiden käyttökohteista, jotta valittu tuote soveltuisi mahdollisimman hyvin tarkasteltavan tuotteen elinkaaren aikaisiin kunnostustoimenpiteisiin. Hiilijalanjälkilaskennan ollessa vielä kehitysvaiheessa voidaan saatuja tuloksia käyttää suuntaa antavina tietoina muodostuvien hiilidioksidipäästöjen tulkinnassa ja vähähiilisten ratkaisujen arvioinnissa. Suunnitteluvaiheessa tulisi kuitenkin huomioida myös rakenneratkaisujen vaikutus muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa koko rakennuksen elinkaaren aikana eikä pelkästään muodostuvan hiilijalanjäljen pohjalta.

Hiilijalanjälkilaskenta toteutettiin Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukaisesti 50 vuoden tarkastelujaksolle, mikä perustuu oletettuun rakennuksen tekniseen käyttöikänsä. Puhuttaessa vähähiilisestä rakentamiskulttuurista olisi toivottavaa rakentaa uudisrakennuksia, joiden käyttöikä olisi todellisuudessa pidempi. Rakentaminen aiheuttaa merkittävässä määrin hiilidioksidipäästöjä, minkä takia rakentamisen tai ylikorjaamisen tarvetta tulisi minimoida. Tässä työssä tarkasteltujen eri ikkunatyypin osalta kyseinen 50 vuotta toimii suuntaviivana arvioitaessa tarkastelujaksolla aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen määrää. Kyseinen tarkastelujakso oli kuitenkin hieman ristiriitainen *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekortin kanssa, jossa oli erikseen määritetty ikkunatyypikohtaisesti tekniset käyttöiät. Ympäristöministeriön ohjeistuksen mukainen 50

vuoden tarkastelujakso oli käytännössä kuvaavin puuikkunoiden osalta, sillä RT-ohjekortissa oli määritetty puuikkunoiden tekniseksi käyttöikäksi normaaleissa olosuhteissa 50 vuotta. Puolestaan puu-alumiini-ikkunoiden osalta tekninen käyttöikä oli normaaleissa olosuhteissa 60 vuotta. Näin ollen arvioitaessa eri ikkunatyypin hiilidioksidipäästöjen määrää 50 vuoden tarkastelujaksolla saatiin yleiskäsitystä aiheutuvien päästöjen määrästä.

Ilmastonmuutoksen aiheuttamia vaikutuksia ikkunarakenteisiin tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa tulisi tarkastella laajemmin ja erityisesti arvioida tarvetta päivittää *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* –ohjekortin huolto- ja kunnostusvälejä suhteessa muuttuvan ilmaston aiheuttamiin säärasituksiin. Suomen tulevaisuuden ilmasto-olosuhteissa viistosateen määrän on ennustettu lisääntyvän ja tuulenpaineen voimistuvan, jolloin ikkunarakenteisiin kohdistuisi suurempaa kosteusrasitusta. Kosteusrasituksen lisääntyessä edellytetään erityisesti ikkunoiden ulkopuolisilta osilta hyvää säärasituksen kestävyyttä. Kosteusrasitus ja auringon säteily kuluttavat muun muassa ulkopuolisten osien maalipinnoitetta ja lasitusliittymän saumamassojen tartuntaa alustaan aiheuttaen vesitiiveyspuutteita. Ulkopuolisen maalipinnoitteen kuluessa puuosissa esiintyy harmaantumista ja halkeilua muodostaen olosuhteet lahovaurioiden kehittymiselle. Metallipintojen osalta maalipinnoitevauriot edesauttavat ruostevaurioiden muodostumista, jotka voivat vaikuttaa ikkunapuitteen kantavuuteen ja toiminnallisuuteen. Säärasituksen vaikutukset tulevat heijastumaan lisääntyvänä ikkunoiden ulkopuolisten osien kunnostustarpeissa ikkunoiden käyttökien saavuttamiseksi. Kunnostustoimenpiteiden lisääntyessä tarkastelujaksolle lisääntyvät myös hiilidioksidipäästöjen määrät.

### **11.3 Työn luotettavuus ja eettisyys**

Tämän työn luotettavuuden varmistamiseksi tutkimustyö rajattiin ja suunniteltiin sekä toteutettiin järjestelmällisesti. Aineiston keruussa käytettiin monipuolisia, ajantasaisia ja luotettavia lähteitä. Tulosten tulkinnassa, vertailussa ja johtopäätöksissä pyrittiin objektiivisuuteen sekä huolellisuuteen. Tutkimustyön tulokset toteutettiin ja tulokset arvioitiin puolueettomasta näkökulmasta. Tietojen tarkistettavuus ja menetelmien selkeys olivat keskiössä tutkimuksen laadun takaamiseksi.

Työn eettisyys varmistettiin noudattamalla hyvää Jyväskylän ammattikorkeakoulun tieteellistä käytäntöä, jota ohjaavat rehellisyys, avoimuus ja huolellisuus kaikissa tutkimuksen vaiheissa. Aineis-

ton keruu- ja analyysivaiheissa otettiin huomioon mahdolliset tutkimuksen kohteena olevien henkilöiden oikeudet. Tutkimustuloksia ei ole manipuloitu tukemaan tiettyjä ennakko-oletuksia tai johtopäätöksiä. Näillä toimenpiteillä pyrittiin varmistamaan työn eettinen ja luotettava toteutus.

## Lähteet

55-valmiuspaketti: tehdään rakennuksista ympäristöystävällisimpiä. 2024. Artikkelit Eurooppa-neuvoston verkkosivuilla 12.4.2024. Viitattu 1.8.2024. <https://www.consilium.europa.eu/fi/info-graphics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/#0>.

Aalto-yliopisto. N.d. Rakentaminen – Sopeutuminen. Artikkelit Ilmasto-opas verkkosivuilla. Viitattu 1.8.2024. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/rakentaminen-sopeutuminen>.

Adams, J. 2021. Historic aluminum windows – foiling the myth. Artikkelit Adams & Adams verkkosivuilla. Viitattu 8.11.2024. <https://adamsandadamsconstruction.com/historic-aluminum-windows/>.

Annala, P., Hietala, M., Lahdensivu, J., Pakkala, T., Koskivuori, M., Njöd, K. & Vanha-Viitakoski, T. 2024. Opas rakennukseen kohdistuvien ilmatoriskien ja sopeutusratkaisujen arvioimiseksi. Rakennusteollisuus RT ry. Viitattu 28.2.2025. [Opas-rakennukseen-kohdistuvien-ilmatoriskien-ja-sopeutusratkaisujen-arvioimiseksi.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/rajoitteet/Opas-rakennukseen-kohdistuvien-ilmatoriskien-ja-sopeutusratkaisujen-arvioimiseksi.pdf).

Brown, T. 2024. All about climate. Article National Geographic Society 29.8.2024. Viitattu 8.11.2024. <https://education.nationalgeographic.org/resource/all-about-climate/>.

Environmental product declaration. 2022. Pihla Group Oy. EPD-ympäristöseloste PihlaPro MSE1-A. 16.12.2022. Viitattu 8.1.2025. <https://pg.emmi.fi/l/mCdRXK-VhM-b>.

Environmental product declaration. 2023. Pihla Group Oy. EPD-ympäristöseloste PihlaPro MEK-A. 17.2.2023. Viitattu 8.1.2025. <https://pg.emmi.fi/l/78rrz9GHLprR>.

Environmental product declaration. 2022. Pihla Group Oy. EPD-ympäristöseloste PihlaPro MSE1-A. 16.12.2022. Viitattu 8.1.2025. <https://pg.emmi.fi/l/mCdRXK-VhM-b>.

Environmental product declaration. 2024. Pihla Group Oy. EPD-ympäristöseloste PihlaPro MSE1-puu. 27.3.2024. Viitattu 8.1.2025. <https://pg.emmi.fi/l/zgb96V7BggzJ>.

EU:n ratkaisut ilmastonmuutoksen ehkäisemiseksi. 2023. Artikkelit Euroopan parlamentin verkkosivuilla 24.11.2023. Viitattu 1.8.2024. <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20180703STO07129/eu-n-ratkaisut-ilmastonmuutoksen-ehkaisemiseksi>.

EU:n toimet energian kulutuksen vähentämiseksi. 2024. Artikkelit Euroopan parlamentin verkkosivuilla 20.7.2023, päivitetty 18.3.2024. Viitattu 1.8.2024. <https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20221128STO58002/eu-n-toimet-energiankulutuksen-vahentamiseksi>.

Häkkinen, T. & Kuittinen, M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista. Rakennustieto.

Keränen, M. N.d. Lasi ja alumiini ratkaisevia ikkunateollisuuden ympäristövaikutuksissa. Julkaisu Pihla Group Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 8.9.2024. <https://pihlagroup.fi/lasi-ja-alumiini-ratkaisevia-ikkunateollisuuden-ymparistovaikutuksissa/>.

Kiinteistömedia Oy. 2023. Kodin vastuunjako. Julkaisija Kiinteistöliitto.

Kirkkaita näkemyksiä kestäväan kehitykseen. N.d. Julkaisu Tiivi Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 8.9.2024. [https://www.tiivi.fi/kestava-kehitys/?\\_gl=1\\*\\_1ig-xtlu\\*\\_up\\*MQ..&gclid=Cj0KCQjwlvW2BhDyARIsADnle-J\\_rbJTZUKskOWmSpTrg3tcMPLhuww0XH-OkIMY6wzjIw2EGzhAt0caAnzrEALw\\_wcB#epd](https://www.tiivi.fi/kestava-kehitys/?_gl=1*_1ig-xtlu*_up*MQ..&gclid=Cj0KCQjwlvW2BhDyARIsADnle-J_rbJTZUKskOWmSpTrg3tcMPLhuww0XH-OkIMY6wzjIw2EGzhAt0caAnzrEALw_wcB#epd).

Koskentalo, K. 2024. Uusi rakentamislaki astuu voimaan 1.1.2025-rakennusalan tuotteille ilmoitettava jatkossa hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki. Uutinen Adeona verkkosivuilla 23.1.2024. Viitattu 17.4.2024. <https://adeona.com/uutiset/uusi-rakentamislaki-astuu-voimaan-2025/>.

Koskinen, A. & Ojala, S. 2023. Uusi rakentamislaki iso ponnistus koko alalle ilmastonmuutoksen torjumiseksi. Tiedote STT info verkkosivuilla 30.8.2023. Viitattu 1.8.2024. <https://www.sttinfo.fi/tiedote/70006647/uusi-rakentamislaki-on-ponnistus-koko-alalle-ilmastonmuutoksen-torjumiseksi?publisherId=17674611&lang=fi>.

Kuittinen, M. 2019. Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriö. Helsinki: Valtioneuvoston hallintoyksikkö. Viitattu 30.6.2024. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>.

Käyhkö, K. 2023. Ikkunat eri vuosikymmeninä. Artikkelit rakennukset verkkosivuilla 11.1.2023, päivitetty 7.1.2024. Viitattu 3.7.2024. <https://www.rakennukset.fi/rakenteet/ikkunat-eri-aikakausina/>.

Laukkarinen, A., Jokela, T., Vinha, J., Pakkala, T., Lahdensivu, J., Lestinen, S., Jokisalo, J., Kosonen, R., Lindfors, A., Ruosteenoja, K. & Jylhä, K. 2022. Vaipparakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden ja huonetilojen kesäaikaisen jäähdytystarpeen mitoitusolosuhteet: RAMI-hankkeen loppuraportti. Tampereen yliopisto. Viitattu 21.5.2024. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-2438-4>.

Mikkola, J. & Böök, N. 2016. Ikkunakirja, 2. p. Moreeni.

Rakentamisen päästötietokanta. 2024. Suomen ympäristökeskuksen verkkosivuilla 8.2.2024. Viitattu 17.4.2024. <https://co2data.fi/rakentaminen/>.

Rakentamislaki 751/2023. Laki rakentamisesta. Annettu 21.4.2023. Viitattu 31.5.2024. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230751>.

RIL 107-2022. Rakennusten veden- ja kosteuden eristysohjeet. Helsinki: RIL ry.

Saarinen, H. 2022. Ympäristöseloste Lammin ikkunat ja ovet. Viitattu 7.2.2025. <https://www.lamin.fi/materiaalipankki/>.

Skaala Oy. N.d. Kestävä kehitys. Artikkelit Skaala Oy:n verkkosivuilla. Viitattu 8.11.2024. <https://www.skaala.com/fi/kestavakehitys-skaala/>.

Stenholm, L. 2020. Ikkunoiden vaihto on ympäristöteko. Artikkelit Pihla Group Oy:n verkkosivuilla 16.6.2020. Viitattu 8.9.2024. <https://www.pihla.fi/artikkelit/ikkunoiden-vaihto-on-ymparistoteko/>

Suomen Ympäristökeskus. 2024. Ilmastonmuutos näkyy jo Suomen luonnossa. Artikkelit Ympäristöhallinnon verkkosivuilla 30.5.2022, päivitetty 19.4.2024. Viitattu 1.9.2024. <https://www.ymparisto.fi/fi/ympariston-tila/ilmastonmuutos/ilmastonmuutos-etenee>.

Stenholm, L. 2020. Ikkunoiden vaihto on ympäristöteko. Artikkelit Pihla Group Oy:n verkkosivuilla 16.6.2020. Viitattu 8.9.2024. <https://www.pihla.fi/artikkelit/ikkunoiden-vaihto-on-ymparistoteko/>

Tiivi Oy. 2023. Environmental product declaration. EPD-ympäristöseloste Tiivi Kristalli Plus 1+2 ikkunalle laadittu 7.4.2023. Viitattu 8.9.2024. <https://pg.emmi.fi/l/RMLHfPJn6xiC>.

Tähkänen, M. & Tähtinen, L. 2021. Katsaus kiinteistö- ja rakennusalan ilmastokestävyyden nykytilaan. PDF-dokumentti Green Building Council Finland:n verkkosivuilla. Viitattu 6.8.2024. <https://figbc.fi/media/katsaus-kira-ilmastokestavyyden-nykytilaan-04-2021.pdf>.

Uusi ilmastolaki voimaan heinäkuussa. 2022. Tiedote Valtioneuvoston verkkosivuilla 9.5.2024. Viitattu 16.5.2024. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/uusi-ilmastolaki-voimaan-heinakuussa>.

Vinha, J & Lähdesmäki, K. 2009. Rakennusfysiikka 2009. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut 27.-29.10.2009, Tampere. Tampereen yliopisto. Viitattu 6.8.2024. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-2254-3>

Virkamäki, P. 2014. Ikkunoiden ja ovien korjaus- ja muutoshankkeiden ohjeistus. Rakennustarkastusyhdistys RTY ry. Viitattu 7.8.2024. <https://www.riksdagen.fi/FI/vaski/JulkaisuMetatieto/Documents/EDK-2022-AK-57444.pdf>.

Vähähiilisen rakentamisen tiekartta. N.d. Julkaisu Ympäristöministeriön verkkosivuilla. Viitattu 1.8.2024. <https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>.

## Liitteet

### Liite 1. Hiilijalanjätkilaskelmien perustiedot

Kohteen perustiedot		
sijainti		uusimaa
omakotitalon pinta-ala		100 m <sup>2</sup>
Ikkunoiden perustiedot		Määrä
ikkunan koko (leveys, korkeus)		1730 x 1750 mm / ikkuna
karmiväli (syvyys)		130 mm
ikkunan pinta-ala		3 m <sup>2</sup> / ikkuna-aukko
ikkunalasituksen paksuus		4 mm
puitteen ja karmen piiri		6,96 m / ikkuna
ikkunoiden lukumäärä		20 kpl
ikkunoiden paino kappaleina		105 kg / puuikkuna 110 kg / puu-alumiini-ikkuna 109 kg / kiinteä puu-alumiini-ikkuna
Ikkunan ominaisuustiedot		Määrä
avattavien ikkunoiden helat (sisä- ja ulkopuite)		2 kpl / ikkuna (1 kpl / puite)
avattavien ikkunoiden saranat (sisä- ja ulkopuite)		6 kpl / ikkuna (3 kpl / puite)
avattavien ikkunoiden silikonitiivisteet		1 kpl sisäpuite (n. 7 jm / puite) 1 kpl ulkopuite (n. 7 jm / puite) 2 kpl karmi (n. 14 jm / karmi)
kiinteiden ikkunoiden elastiset tiivistenaumat (sisä- ja ulkopuite)		1 kpl sisäpuite (n. 7 jm / puite) 1 kpl ulkopuite (n. 7 jm / puite)
Ikkunatyypikohtaiset materiaalitiedot		Materiaali
avattava kolmilasinen puuikkuna (MSE)	puu	0,2 m <sup>2</sup> / puite 0,9 m <sup>2</sup> / karmi
	alumiini	0,2 m <sup>2</sup> / ulkopuite
avattava kolmilasinen puu-alumiini-ikkuna (MSEA)	puu	0,2 m <sup>2</sup> / puite 0,9 m <sup>2</sup> / karmi
	alumiini	0,2 m <sup>2</sup> / ulkopuite
kiinteä kolmilasinen puu-alumiini-ikkuna (MEK-A)	puu	0,9 m <sup>2</sup> / karmi
	alumiini	0,2 m <sup>2</sup> / ulkopuite

## Liite 2. Hiilijalanjälkilaskennan vaihe 1, avattavat puuikkunat (MSE-ikkuna)

### Uusien ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt

Materiaalien valmistuksesta syntyvät päästöt (A1-A3)	Hiilidioksidipäästöt per ikkuna	Hiilidioksidipäästöt yhteensä (20 kpl)
Uudet kolmilasiset puuikkunat sis. lasit	*231 kgCO <sub>2</sub> e	4 620 kgCO <sub>2</sub> e

\*Päästöarvo on ilmoitettu Ympäristöministeriön testikäyttöön vuonna 2019 laatiman hiilijalanjäljen arviointityökalun perusteella.

Arviointityökalussa eikä Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämässä päästötietokantarekisterissä ole ilmoitettu puuikkunoiden konservatiivista GWP arvoa. Arviointityökalun perusteella puuikkunan konservatiivinen GWP arvo on noin 2,20 kg CO<sub>2</sub>e /kg suhteutettuna tarkasteltavan ikkunan massaan kiloina ja pinta-alaan.

### Ikkunoiden ylläpidosta ja huollosta syntyvät hiilidioksidipäästöarviot 50 vuoden tarkastelujaksolla

	Määräarvio	Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
<b>*Käyttöikä turvaava ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimi (A1-A3)</b>		<b>Hiilidioksidipäästöt (kgCO<sub>2</sub>e)</b>										
Silikonitiivisteiden uusiminen (sisä-, ulkopuite ja karmi)	560 jm (28 jm / ikkuna, n. 21 kg)			58		58		58		58		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisä-, ulkopuite ja karmi)	26 m <sup>2</sup> (1,3 m <sup>2</sup> /kpl, n. 6 kg)			36,00		36,00		36,00		36,00		
Ulkopuitteen lasitusliittymän elastisen saumamassan uusiminen	140 jm (7 jm / ikkuna, n. 5 kg)			15,00		15,00		15,00		15,00		
<i>Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain</i>		0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e
<i>Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla</i>		<i>476 kgCO<sub>2</sub>e</i>										

\*Säännöllisin väliajoin tehtävät käyttöikä turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin mukaisesti.

<b>Uusittavista ikkunoista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla arviolta yhteensä</b>	<b>5 096 kgCO<sub>2</sub>e</b>
--	--------------------------------

### Liite 3. Hiilijalanjälkilaskentavaihe 1, avattavat puu-alumiini-ikkunat (MSEA-ikkunat)

#### Uusien ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt

Materiaalien valmistuksesta syntyvät päästöt (A1-A3)	Hiilidioksidipäästöt per ikkuna	Hiilidioksidipäästöt yhteensä (20 kpl)
Uudet puu-alumiini-ikkunat	*250 kgCO <sub>2</sub> e	5 000 kgCO <sub>2</sub> e

\*Päästöarvot on ilmoitettu Suomen ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterin mukaisesti. Päästöarvoissa on huomioitu pinta-ala ja massa kiloina suhteessa konservatiiviseen GWP arvoon (2,27 kg CO<sub>2</sub>e /kg).

#### Ikkunoiden ylläpidosta ja huollosta muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla

		Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
*Käyttöikä turvaava ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimi (A1-A3)	Määräarvio	Hiilidioksidipäästöt (kgCO <sub>2</sub> e)										
Silikonitiivisteiden uusiminen (sisä-, ulkopuute ja karmi)	560 jm (28 jm / ikkuna, n. 21 kg)			58		58		58		58		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisäpuite ja karmi)	22 m <sup>2</sup> (1,1 m <sup>2</sup> /kpl, n. 11 kg)			30,00		30,00		30,00		30,00		
Alumiiniosien huoltomaalaus (sis. ulkopuute)	4 m <sup>2</sup> (0,2 m <sup>2</sup> /kpl, n. 2 kg)					6,00				6,00		
Ulkopuitteen lasitusliittymän elastisen saumamassan uusiminen	140 jm (7 jm / ikkuna, n. 5 kg)			15,00		15,00		15,00		15,00		
Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain		0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	113 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	113 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e
Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla		464 kgCO <sub>2</sub> e										

\*Säännöllisin väliajoin tehtävät käyttöikä turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin mukaisesti.

Uusittavista ikkunoista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla arviolta yhteensä	5 464 kgCO <sub>2</sub> e
---	---------------------------

## Liite 4. Hiilijalanjälkilaskentavaihe 1, kiinteät puu-alumiini-ikkunat (MEK-A-ikkuna)

### Uusien ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt

Materiaalien valmistuksesta syntyvät päästöt (A1-A3)	Hiilidioksidipäästöt per ikkuna	Hiilidioksidipäästöt yhteensä (20 kpl)
Uudet kiinteät puu-alumiini-ikkunat	*439 kgCO <sub>2</sub> e	8 780 kgCO <sub>2</sub> e

\*Päästöarvot on ilmoitettu Suomen ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterin mukaisesti. Päästöarvoissa on huomioitu pinta-ala ja massa kiloina suhteessa konservatiivinen GWP arvo (4,03 kg CO<sub>2</sub>e /kg).

### Ikkunoiden ylläpidosta ja huollosta muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla

	Määräarvio	Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
*Käyttöikä turvaava ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimi (A1-A3)		Hiilidioksidipäästöt (kgCO <sub>2</sub> e)										
Lasitusliittymän tiivistenauhojen uusiminen (sisä- ja ulkopuoli)	280 jm (14 m / kpl, n. 11 kg)					30				30		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisäpuoliset karmin puuosat)	18 m <sup>2</sup> (0,9 m <sup>2</sup> /kpl, n. 9 kg)				23			23			23	
Alumiiniosien huoltomaalaus (sis. ulkopuoliset osat)	4 m <sup>2</sup> (0,2 m <sup>2</sup> /kpl, n. 2 kg)					6				6		
Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain		0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	23 kgCO <sub>2</sub> e	36 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	23 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	36 kgCO <sub>2</sub> e	23 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e
Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla		141 kgCO <sub>2</sub> e										

\*Säännöllisin väliajoin tehtävät käyttöikä turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin mukaisesti.

Uusittavista ikkunoista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla arviolta yhteensä	8 921 kgCO <sub>2</sub> e
---	---------------------------

## Liite 5. Laskentavaiheen 1 tarkasteltujen moduulien kokonaishiilidioksidipäästöt

Uusittavista ikkunoista muodostuva hiilijalanjälki eri moduuleittain Ympäristöministeriön laatiman rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaisesti (Kuittinen 2019, 45). Arviointimenetelmän mukaisesti moduuleille B1 (tuotteen käyttö) ja B2 (tuotteen ylläpito) ei lasketa hiilijalanjälkeä. Alla esitetyssä kuvassa on koottuna eri ikkunatyypin materiaalien valmistuksesta muodostuvat hiilidioksidipäästöt liitteiden 2–4 mukaisesti sekä arviointimenetelmässä esitetyt laskennassa käytettävät vakioarvot.

A1-A3	A4	A5	B3-B4
<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiaalien valmistus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ikkunoiden kuljetus kohteelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kohteessa ikkunoiden asennuksesta muodostuva energian kulutus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ikkunoiden korjauksesta ja kunnostuksesta aiheutuva energian kulutus</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uudet ikkunat (20 kpl)               <ul style="list-style-type: none"> <li>Avattavat puuikkunat, 4 620 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>Avattavat puu-alumiiniikkunat, 5 000 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>Kiinteät puu-alumiiniikkunat, 8 780 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul> </li> <li>Ikkunoiden teknistä käyttöikää ylläpitävät kunnostustoimet 50 vuoden tarkastelujaksolla               <ul style="list-style-type: none"> <li>Avattavat puuikkunat, 476 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>Avattavat puu-alumiiniikkunat, 464 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>Kiinteät puu-alumiiniikkunat, 141 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10,20 kgCO<sub>2</sub>e               <ul style="list-style-type: none"> <li>Vakioarvo Ympäristöministeriön laatimassa ohjeessa rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmässä keskimääräiselle kuljetusetäisyydelle Suomessa, esim. 50 km (Kuittinen 2019, 45).</li> <li>Sovelletaan kaikille tarkasteltaville ikkunatyypeille</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>27,30 kgCO<sub>2</sub>e               <ul style="list-style-type: none"> <li>Vakioarvo Ympäristöministeriön laatimassa ohjeessa rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmässä (Kuittinen 2019, 45).</li> <li>Sovelletaan kaikille tarkasteltaville ikkunatyypeille</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>216 kgCO<sub>2</sub>e               <ul style="list-style-type: none"> <li>Laskennassa käytetään Ympäristöministeriön laatiman ohjeen rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaisesti vakioarvona 2,16 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> (Kuittinen 2019, 45).</li> <li>Sovelletaan kaikille tarkasteltaville ikkunatyypeille</li> <li>Arvo muodostuu seuraavasti: 2,16 kgCO<sub>2</sub>e x 100 m<sup>2</sup> (lämmitetty nettoala) = 216 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul> </li> </ul>

Ikkunatyyppi	Kokonaishiilidioksidipäästö 50 vuoden tarkastelujaksolla (moduulit A1-A5 ja B3-B4)	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä 50 vuoden tarkastelujaksolle vuositasolla	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä tarkasteltavan rakennuksen pinta-alaa kohden (100 m <sup>2</sup> )
Avattava puuikkuna	5 349,50 kgCO <sub>2</sub> e	106,99 kgCO <sub>2</sub> e/a	53,50 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Avattava puu-alumiiniikkuna	5 717,50 kgCO <sub>2</sub> e	114,35 kgCO <sub>2</sub> e/a	57,18 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Kiinteä puu-alumiiniikkuna	9 174,50 kgCO <sub>2</sub> e	183,49 kgCO <sub>2</sub> e/a	91,75 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

## Liite 6. Hiilijalanjälkilaskentavaihe 2, avattavat puuikkunat (MSE-ikkuna)

### Uusien ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt

Materiaalien valmistuksesta syntyvät päästöt (A1-A3)	Hiilidioksidipäästöt per ikkuna	Hiilidioksidipäästöt yhteensä (20 kpl)
Uudet kolmilasiset puuikkunat sis. lasit	*234 kgCO <sub>2</sub> e	4 680 kgCO <sub>2</sub> e

\*Päästöarvo on ilmoitettu Pihla Group Oy:n MSE1 puuikkunoille laatimansa EPD-ympäristöselostuksen perusteella, jossa ilmoitettu konservatiivinen GWP arvo on 2,23 kg CO<sub>2</sub>e /kg.

### Ikkunoiden ylläpidosta ja huollosta syntyvät hiilidioksidipäästöarviot 50 vuoden tarkastelujaksolla

		Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
*Käyttöikä turvaava ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimi (A1-A3)	Määräarvio	Hiilidioksidipäästöt (kgCO <sub>2</sub> e)										
Silikonitiivisteiden uusiminen (sisä-, ulkopuite ja karmi)	560 jm (28 jm / ikkuna, n. 21 kg)			58		58		58		58		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisä-, ulkopuite ja karmi)	26 m <sup>2</sup> (1,3 m <sup>2</sup> /kpl, n. 6 kg)			36,00		36,00		36,00		36,00		
Ulkopuitteen lasitusliittymän elastisen saumamassan uusiminen	140 jm (7 jm / ikkuna, n. 5 kg)			15,00		15,00		15,00		15,00		
<i>Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain</i>		0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e
<i>Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla</i>		476 kgCO <sub>2</sub> e										

\*Säännöllisin väliajoin tehtävät käyttöikä turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot* – ohjekortin mukaisesti.

Uusittavista ikkunoista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla arviolta yhteensä	5 156 kgCO <sub>2</sub> e
---	---------------------------

## Liite 7. Hiilijalanjälkilaskentavaihe 2, avattavat puu-alumiini-ikkunat (MSEA-ikkuna)

### Uusien ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt

Materiaalien valmistuksesta syntyvät päästöt (A1-A3)	Hiilidioksidipäästöt per ikkuna	Hiilidioksidipäästöt yhteensä (20 kpl)
Uudet puu-alumiini-ikkunat	*198 kgCO <sub>2</sub> e	3 960 kgCO <sub>2</sub> e

\*Päästöarvo on ilmoitettu Pihla Group Oy:n MSE1-A puu-alumiini-ikkunoille laatimansa EPD-ympäristöselostuksen perusteella, jossa ilmoitettu konservatiivinen GWP arvo on 1,8 kg CO<sub>2</sub>e /kg.

### Ikkunoiden ylläpidosta ja huollosta muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla

		Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
*Käyttöikä turvaava ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimi (A1-A3)	Määräarvio	Hiilidioksidipäästöt (kgCO <sub>2</sub> e)										
Silikonitiivisteiden uusiminen (sisä-, ulkopuute ja karmi)	560 jm (28 jm / ikkuna, n. 21 kg)			58		58		58		58		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisäpuite ja karmi)	22 m <sup>2</sup> (1,1 m <sup>2</sup> /kpl, n. 11 kg)			30,00		30,00		30,00		30,00		
Alumiiniosien huoltomaalaus (sis. ulkopuute)	4 m <sup>2</sup> (0,2 m <sup>2</sup> /kpl, n. 2 kg)					6,00				6,00		
Ulkopuitteen lasitusliittymän elastisen saumamassan uusiminen	140 jm (7 jm / ikkuna, n. 5 kg)			15,00		15,00		15,00		15,00		
<i>Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain</i>		0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	113 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	113 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e
<i>Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla</i>		464 kgCO <sub>2</sub> e										

\*Säännöllisin väliajoin tehtävät käyttöikä turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin mukaisesti.

<b>Uusittavista ikkunoista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla arviolta yhteensä</b>	<b>4 424 kgCO<sub>2</sub>e</b>
--	--------------------------------

## Liite 8. Hiilijalanjälkilaskentavaihe 2, kiinteät puu-alumiini-ikkunat (MEK-A-ikkuna)

### Uusien ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt

Materiaalien valmistuksesta syntyvät päästöt (A1-A3)	Hiilidioksidipäästöt per ikkuna	Hiilidioksidipäästöt yhteensä (20 kpl)
Uudet kiinteät puu-alumiini-ikkunat	*420 kgCO <sub>2</sub> e	8 400 kgCO <sub>2</sub> e

\*Päästöarvo on ilmoitettu Pihla Group Oy:n MEK-A kiinteille puu-alumiini-ikkunoille laatimansa EPD-ympäristöselostuksen perusteella, jossa ilmoitettu konservatiivinen GWP arvo on 3,85 kg CO<sub>2</sub>e /kg.

### Ikkunoiden ylläpidosta ja huollosta muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla

	Määräarvio	Tarkastelujakso 50 vuotta										
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.
<b>*Käyttöikä turvaava ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimi (A1-A3)</b>		<b>Hiilidioksidipäästöt (kgCO<sub>2</sub>e)</b>										
Lasitusliittymän tiivistenauhojen uusiminen (sisä- ja ulkopuoli)	280 jm (14 m / kpl, n. 11 kg)					30				30		
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisäpuoliset karmen puuosat)	18 m <sup>2</sup> (0,9 m <sup>2</sup> /kpl, n. 9 kg)				23			23			23	
Alumiiniosien huoltomaalaus (sis. ulkopuoliset osat)	4 m <sup>2</sup> (0,2 m <sup>2</sup> /kpl, n. 2 kg)					6				6		
Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain		0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	23 kgCO <sub>2</sub> e	36 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	23 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	36 kgCO <sub>2</sub> e	23 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e
Hiilidioksidipäästöt yhteensä 50 vuoden tarkastelujaksolla		141 kgCO <sub>2</sub> e										

\*Säännöllisin väliajoin tehtävät käyttöikä turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* – ohjekortin mukaisesti.

Uusittavista ikkunoista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla arviolta yhteensä	8 541 kgCO <sub>2</sub> e
---	---------------------------

## Liite 9. Laskentavaiheen 2 tarkasteltujen moduulien kokonaishiilidioksidipäästöt

Uusittavista ikkunoista muodostuva hiilijalanjälki eri moduuleittain Ympäristöministeriön laatiman rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaisesti (Kuittinen 2019, 45). Arviointimenetelmän mukaisesti moduuleille B1 (tuotteen käyttö) ja B2 (tuotteen ylläpito) ei lasketa hiilijalanjälkeä. Alla esitettyssä kuvassa on koottuna eri ikkunatyypin materiaalien valmistuksesta muodostuvat hiilidioksidipäästöt liitteiden 6–8 mukaisesti sekä arviointimenetelmässä esitetyt laskennassa käytettävät vakioarvot.

A1-A3	A4	A5	B3-B4
<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiaalien valmistus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ikkunoiden kuljetus kohteelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kohteessa ikkunoiden asennuksesta muodostuva energian kulutus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ikkunoiden korjauksesta ja kunnostuksesta aiheutuva energian kulutus</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Uudet ikkunat (20 kpl)               <ul style="list-style-type: none"> <li>Avattavat puuikkunat, 4 680 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>Avattavat puu-alumiiniikkunat, 3 960 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>Kiinteät puu-alumiiniikkunat, 8 400 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul> </li> <li>Ikkunoiden teknistä käyttöikä ylläpitävät kunnostustoimet 50 vuoden tarkastelujaksolla               <ul style="list-style-type: none"> <li>Avattavat puuikkunat, 476 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>Avattavat puu-alumiiniikkunat, 464 kgCO<sub>2</sub>e</li> <li>Kiinteät puu-alumiiniikkunat, 141 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>10,20 kgCO<sub>2</sub>e               <ul style="list-style-type: none"> <li>Vakioarvo Ympäristöministeriön laatimassa ohjeessa rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmässä keskimääräiselle kuljetusetäisyydelle Suomessa, esim. 50 km (Kuittinen 2019, 45).</li> <li>Sovelletaan kaikille tarkasteltaville ikkunatyypeille</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>27,30 kgCO<sub>2</sub>e               <ul style="list-style-type: none"> <li>Vakioarvo Ympäristöministeriön laatimassa ohjeessa rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmässä (Kuittinen 2019, 45).</li> <li>Sovelletaan kaikille tarkasteltaville ikkunatyypeille</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>216 kgCO<sub>2</sub>e               <ul style="list-style-type: none"> <li>Laskennassa käytetään Ympäristöministeriön laatiman ohjeen rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän mukaisesti vakioarvona 2,16 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> (Kuittinen 2019, 45).</li> <li>Sovelletaan kaikille tarkasteltaville ikkunatyypeille</li> <li>Arvo muodostuu seuraavasti: 2,16 kgCO<sub>2</sub>e x 100 m<sup>2</sup> (lämmitetty nettoala) = 216 kgCO<sub>2</sub>e</li> </ul> </li> </ul>

Ikkunatyyppi	Kokonaishiilidioksidipäästö 50 vuoden tarkastelujaksolla (moduulit A1-A5 ja B3-B4)	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä 50 vuoden tarkastelujaksolle vuositasona	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä tarkasteltavan rakennuksen pinta-alaa kohden (100 m <sup>2</sup> )
Avattava puuikkuna	5 409,50 kgCO <sub>2</sub> e	108,19 kgCO <sub>2</sub> e/a	54,10 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Avattava puu-alumiiniikkuna	4 677,50 kgCO <sub>2</sub> e	93,55 kgCO <sub>2</sub> e/a	46,78 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Kiinteä puu-alumiiniikkuna	8 794,50 kgCO <sub>2</sub> e	175,89 kgCO <sub>2</sub> e/a	87,95 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

## Liite 10. Hiilijalanjälkilaskentavaihe 3, avattavat puu-alumiini-ikkunat (MSEA)

### Uusien ikkunoiden valmistusvaiheessa muodostuvat hiilidioksidipäästöt

Materiaalien valmistuksesta syntyvät päästöt (A1-A3)	Hiilidioksidipäästöt per ikkuna	Hiilidioksidipäästöt yhteensä (20 kpl)
Uudet puu-alumiini-ikkunat	*250 kgCO <sub>2</sub> e	5 000 kgCO <sub>2</sub> e

\*Päästöarvot on ilmoitettu Suomen ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterin mukaisesti. Päästöarvoissa on huomioitu pinta-ala ja massa kiloina suhteessa konservatiiviseen GWP arvoon (2,27 kg CO<sub>2</sub>e /kg).

Materiaalien valmistuksesta syntyvät päästöt (A1-A3)	Hiilidioksidipäästöt per ikkuna	Hiilidioksidipäästöt yhteensä (20 kpl)
Uudet puu-alumiini-ikkunat	*198 kgCO <sub>2</sub> e	3 960 kgCO <sub>2</sub> e

\*Päästöarvo on ilmoitettu Pihla Group Oy:n MSE1-A puu-alumiini-ikkunoille laatimansa EPD-ympäristöselostuksen perusteella, jossa ilmoitettu konservatiivinen GWP arvo on 1,8 kg CO<sub>2</sub>e /kg.

Ikkunoiden ylläpidosta ja huollosta muodostuvat hiilidioksidipäästöt 60 vuoden tarkastelujaksolla. Perustuu Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot ohjekorttiin, jonka mukaan MSE-ikkunoiden tekninen käyttöikä normaaleissa olosuhteissa on 60 vuotta.

		Tarkastelujakso 60 vuotta											
		0 v.	5 v.	10 v.	15 v.	20 v.	25 v.	30 v.	35 v.	40 v.	45 v.	50 v.	60 v.
*Käyttöikä turvaava ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimi (A1-A3)	Määräarvio	Hiilidioksidipäästöt (kgCO <sub>2</sub> e)											
Silikonitiivisteiden uusiminen (sisä-, ulkopuute ja karmi)	560 jm (28 jm / ikkuna, n. 21 kg)			58,00		58,00		58,00		58,00		58,00	
Puuosien huoltomaalaus (sis. sisäpuite ja karmi)	22 m <sup>2</sup> (1,1 m <sup>2</sup> /kpl, n. 11 kg)			30,00		30,00		30,00		30,00		30,00	
Alumiiniosien huoltomaalaus (sis. ulkopuute)	4 m <sup>2</sup> (0,2 m <sup>2</sup> /kpl, n. 2 kg)					6,00				6,00			
Ulkopuutteen lasitusliittymän elastisen saumamassan uusiminen	140 jm (7 jm / ikkuna, n. 5 kg)			15,00		15,00		15,00		15,00		15,00	
Hiilidioksidipäästöt yhteensä vuosittain		0 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	113 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	113 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e	119 kgCO <sub>2</sub> e	0 kgCO <sub>2</sub> e
Hiilidioksidipäästöt yhteensä 60 vuoden tarkastelujaksolla		583 kgCO <sub>2</sub> e											

\*Säännöllisin väliajoin tehtävät käyttöikä turvaavat ylläpito-, huolto- ja kunnostustoimet Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot – ohjekortin mukaisesti.

Suomen Ympäristökeskuksen päästötietokantarekisterin mukaisia arvoja käytettäessä uusittavista ikkunoista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 60 vuoden tarkastelujaksolla on arviolta yhteensä	5 583 kgCO <sub>2</sub> e
--	---------------------------

Pihla Group Oy:n EPD-ympäristöselostuksen mukaisia arvoja käytettäessä uusittavista ikkunoista muodostuvat hiilidioksidipäästöt 60 vuoden tarkastelujaksolla on arviolta yhteensä	4 543 kgCO <sub>2</sub> e
---	---------------------------

## Liite 11. Laskentavaiheen 3 tarkasteltavien moduulien kokonaishiilidioksidipäästöt

Alla esitetyssä kuvassa on koottuna avattavien ikkunatyypin materiaalien valmistuksesta muodostuvat hiilidioksidipäästöt perustuen *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot* -ohjekortin määrittämiin ikkunatyypikohtaisiin keskimääräisiin teknisiin käyttöikäarviointeihin. Laskentavaiheessa on huomioitu avattavat ikkunatyypit ja niiden tekniset käyttöiät normaaleissa rasisolosuhteissa, jonka mukaisesti puuikkunoiden tekninen käyttöikä on 50 vuotta ja puu-alumiini-ikkunoiden 60 vuotta. Kiinteitä ikkunoita ei ole huomioitu laskentavaiheessa 3, sillä niiden keskimääräinen tekninen käyttöikä arvio on rakennuksen käyttöikä.

Avattavien puuikkunoiden osalta on esitetty laskentavaiheiden 1 ja 2 tulokset, puu-alumiini-ikkunoiden osalta on esitetty laskentavaiheen 3 tulokset. Kokonaishiilidioksidipäästöarvoissa on huomioitu moduuleista A4-A5 ja B3-B4 muodostuvat päästömäärät vastaavalla tavalla kuin laskentavaiheissa yksi ja kaksi (ks. liite 5 ja 9).

Ikkunatyyppi	Kokonaishiilidioksidipäästö 50 vuoden tarkastelujaksolla (moduulit A1-A5 ja B3-B4)	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä 50 vuoden tarkastelujaksolle vuositasolla	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä tarkasteltavan rakennuksen pinta-alaa kohden (100 m <sup>2</sup> )
Avattava puuikkuna (päästöarvoissa huomioitu Ympäristöministeriön arviointityökalun konservatiivinen GWP-arvo, laskentavaihe 1)	5 349,50 kgCO <sub>2</sub> e	106,99 kgCO <sub>2</sub> e/a	53,50 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Avattava puuikkuna (päästöarvoissa huomioitu Pihla Group Oy:n EPD-ympäristöselostuksen konservatiivinen GWP-arvo, laskentavaihe 2)	3 223,66 kgCO <sub>2</sub> e	64,47 kgCO <sub>2</sub> e/a	32,24 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Ikkunatyyppi	Kokonaishiilidioksidipäästö 60 vuoden tarkastelujaksolla (moduulit A1-A5 ja B3-B4)	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä 60 vuoden tarkastelujaksolle vuositasolla	Kokonaishiilidioksidipäästö jyvitettyinä tarkasteltavan rakennuksen pinta-alaa kohden (100 m <sup>2</sup> )
Avattavat puu-alumiini-ikkuna (päästöarvoissa huomioitu SYKE:n konservatiivinen GWP-arvo)	5 836,50 kgCO <sub>2</sub> e	97,28 kgCO <sub>2</sub> e/a	58,37 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
Avattava puu-alumiini-ikkuna (päästöarvoissa huomioitu Pihla Group Oy:n EPD-ympäristöselostuksen konservatiivinen GWP-arvo)	4 796,50 kgCO <sub>2</sub> e	79,94 kgCO <sub>2</sub> e/a	47,97 kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

## Liite 12. Hiilijalanjälkilaskelmien eri ikkunatyypin elinkaaren aikaisten kunnostustoimien materiaalien hiilidioksidipäästöt

Avattava puuikkuna					
Kunnostustoimenpide	määrä	massa (kg)	materiaali / tuote	konservatiivinen arvo GWP (kg CO <sub>2</sub> e/kg)	hiilijalanjälki A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> e)
ikkunan silikonitiivisteet (puitteet ja karmi)	530 jm	21,28	liima- ja tiivistysmassa	2,72	58
puuosien huoltomaalaus (sisäpuite ja karmi)	22 m <sup>2</sup>	10,56	maali, akrylaatti, vesiohenteinen sisäkäyttöön	2,6	30
puuosien huoltomaalaus (ulkopuite)	2 m <sup>2</sup>	1,72	maali, akrylaatti, vesiohenteinen ulkokäyttöön puupinta	3,0	5
ulkopuitteen lasitusliittymän elastinen saumamassa	140 jm	5,32	liima- ja tiivistysmassa	2,73	15

Avattava puu-alumiini-ikkuna					
Kunnostustoimenpide	määrä	massa (kg)	materiaali / tuote	konservatiivinen arvo GWP (kg CO <sub>2</sub> e/kg)	hiilijalanjälki A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> e)
ikkunan silikonitiivisteet (puitteet ja karmi)	530 jm	21,28	liima- ja tiivistysmassa	2,72	58
puuosien huoltomaalaus (sisäpuite ja karmi)	22 m <sup>2</sup>	10,56	maali, akrylaatti, vesiohenteinen sisäkäyttöön	2,6	30
alumiiniosien huoltomaalaus (ulkopuite)	4 m <sup>2</sup>	1,92	maali, akrylaatti, vesiohenteinen ulkokäyttöön puupinta	3,0	6
ulkopuitteen lasitusliittymän elastinen saumamassa	140 jm	5,32	liima- ja tiivistysmassa	2,73	15

Kiinteä puu-alumiini-ikkuna					
Kunnostustoimenpide	määrä	massa (kg)	materiaali / tuote	konservatiivinen arvo GWP (kg CO <sub>2</sub> e/kg)	hiilijalanjälki A1-A3 (kg CO <sub>2</sub> e)
lasitusliittymän tiivistenauha (sisä- ja ulkopuoli)	280 jm	21,28	liima- ja tiivistysmassa	2,72	30
puuosien huoltomaalaus (sisäpuoliset karmin osat)	18 m <sup>2</sup>	8,64	maali, akrylaatti, vesiohenteinen sisäkäyttöön	2,6	22
alumiiniosien huoltomaalaus (ulkopuoliset karmin osat)	4 m <sup>2</sup>	1,92	maali, akrylaatti, vesiohenteinen ulkokäyttöön puupinta	3,0	6