

Fanny Helin

# BETONISANDWICH-RAKENTEISEN UL- KOSEINÄRAKENTEEN JULKISIVUKOR- JAUSHANKKEEN HIILIPÄÄSTÖJEN AR- VIOINTI

Kandidaatintyö  
Rakennetun ympäristön tiedekunta  
Toukokuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Fanny Helin  
Betonisandwich-rakenteisen ulkoseinärakenteen julkisivukorjaushankkeen hiilipäästöjen arviointi  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Rakennustekniikka  
Toukokuu 2020

---

Tämän työn tavoitteena on tutkia esimerkkirakennuksen, 1980-luvulla rakennetun tyypillisen betonisandwich-rakenteisen asuinkerrostalon julkisivukorjauksen hiilijalanjälkeä. Esimerkkirakennuksen julkisivu koostuu betonisesta ulkokuoresta, lämmöneristekerroksesta ja betonisesta sisäkuoresta. Työn laskennallisessa osuudessa suoritetaan viiden julkisivukorjausvaihtoehdon hiilijalanjäljen laskenta One Click LCA -laskentatyökalulla ja teoriaosuudessa perehdytään rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen laskentaan ja betonirakenteisen julkisivun korjaustapoihin. Tavoitteena on luoda rakennesuunnittelijalle ohje ja esimerkkilaskelma julkisivukorjauksen elinkaaren hiilipäästöjen laskennasta.

Suomen asuinrakennuskannasta vain hyvin pieni osa on uudisrakennuksia, ja suuri osa kerrostaloista on rakennettu 60–70-luvuilla. Monissa näistä kerrostaloista ilmenee korjaustarvetta. Korjauksen yhteydessä voikin olla perusteltua pyrkiä parantamaan julkisivun energiatehokkuutta.

Ilmastonmuutoksen edetessä Suomi pyrkii radikaalisti vähentämään hiilipäästöjään, ja rakennuksilla ja rakennusmateriaaleilla on kokonaispäästöihin suuri vaikutus. Rakennuksen hiilijalanjäljestä suurin osa muodostuu lämmityksen ja sähkönkulutuksen kautta. Materiaalien vaikutus kokonaispäästöihin tulee kasvamaan tulevaisuudessa, kun energiantuotannon päästöt vähenevät. On tärkeää pyrkiä tekemään julkisivukorjaussuunnitelmia tehdessä sellaisia päätöksiä, joilla on mahdollisimman vähäinen negatiivinen vaikutus ilmastonmuutokseen. Korjaustavan valintaan vaikuttavat esimerkiksi julkisivun kunto, rakennuksen jäljellä oleva elinkaari ja tilaajan tarpeet. Hiilijalanjäljen laskennalla päästöjä on mahdollista arvioida ja vertailla jo ennen kuin päätöstä korjaustavasta on tehty. One Click LCA -ohjelmistolla tämä onnistuu, ja lähtötietoja muuttamalla voidaan päästöjä eri vaihtoehdoissa vertailla helposti. Päästöjä tarkastellaan yksikössä kilogrammaa korjattua julkisivuneliötä ja tarkastelujaksoa kohden, jolloin saadaan havainnollistettua juuri julkisivun korjauksen elinkaaren päästöjä.

Laskennassa huomataan, että suurin osa korjatun julkisivun päästöistä muodostuu kaukolämmönkulutuksen vuoksi. Lämmöneristystä parantamalla voidaan parantaa energiatehokkuutta, ja näin vähentää ilmaston lämpenemistä. Materiaalien vaikutus korjauksen elinkaaren kokonaispäästöihin jää vähäiseksi, mutta pienetkin muutokset valittuihin rakennustuotteisiin tai kerrospaksuuksiin voivat muuttaa niiden hiilipäästöjä jonkin verran. Tässä korostuukin tarkkojen lähtötietojen merkitys. Tulevaisuudessa energiantuotannon muuttuessa vähäpäästöisemmäksi rakennusmateriaalien osuus kokonaispäästöistä kasvaa, jolloin vähähiilisten materiaalien merkitys on suurempi.

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

# ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty A-Insinöörit Suunnittelu Oy:lle keväällä 2020.

Kiitän Elli Kinnusta A-Insinööreiltä hyvästä ohjauksesta, tuesta ja kannustuksesta kevään aikana. Kiitos myös Arto Köliölle Tampereen yliopistosta työn tarkastamisesta ja asiantuntevista kommentteista.

Tampereella, 12.5.2020

Fanny Helin

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta .....	1
1.1.1 Asuinkerrostalot Suomessa .....	1
1.1.2 Asuinkerrostalojen korjaustarve .....	2
1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset .....	2
1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn suoritus .....	3
1.3.1 One Click LCA .....	3
2. RAKENNUKSEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN MUODOSTUMINEN .....	4
2.1 Rakennuksen hiilijalanjälki elinkaaren eri vaiheissa .....	4
2.2 Moduuli A1–3: tuotevaihe .....	5
2.3 Moduuli A4–5: rakennusvaihe .....	5
2.4 Moduuli B: käyttövaihe .....	5
2.5 Moduuli C: purkuvaihe .....	6
2.6 Moduuli D: elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat .....	6
3. RAKENNUKSEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA .....	8
4. BETONIJULKISIVUJEN KORJAUSVAIHTOEHDOT .....	10
4.1 Julkisivun korjaustarve .....	10
4.2 Huoltomaalaus .....	11
4.3 Perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus .....	11
4.4 Lisälämmöneristys .....	12
4.5 Ulkokuoren purkaminen ja lisälämmöneristyksen lisääminen .....	12
5. TUTKIMUS .....	14
6. TULOKSET .....	18
7. LASKENNAN HAVAINNOT JA JATKOTUTKIMUSSUOSITUKSET .....	21
8. YHTEENVETO .....	23
LÄHTEET .....	24

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

Hiilidioksidiekvivalentti	Suure, joka kuvaa kasvihuonekaasujen vaikutusta ilmastoon niin, että ne vastaavat hiilidioksidin määrää kerrottuna muuntokertomilla.
Hiilijalanjälki	Rakennuksen, rakennustuotteen tai toiminnon kasvihuonepäästöjen summa elinkaaren ajalta.
LCA	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi. Ympäristövaikutusten arviointimenetelmä.
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin, kuvaa rakennusosan lämmöneristyskykyä.
Moduuli	Rakennuksen elinkaaren vaihe, määritelty standardissa EN-15643-2
BIM	Building information model
CO <sub>2e</sub>	hiilidioksidiekvivalentti
GWP	Global warming potential
js-m <sub>2</sub>	julkisivuneliömetri
kWh	kilowattitunti

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Ilmastonmuutos on haaste, jonka ratkaisemiseksi vaaditaan merkittäviä, kansainvälisiä toimia. Ilmastonmuutos johtuu voimistuneesta luonnollisesta kasvihuoneilmapiörstä, joka syntyy, kun ilmakehän kasvihuonekaasut eivät päästä auringon lämpösäteilyä heijastamaan maapallosta pois. Kasvihuonekaasuja ovat muun muassa vesihöyry, dityppioksidi, metaani ja hiilidioksidi. Näiden kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvaminen ihmisen toiminnan seurauksena voimistaa myös kasvihuoneilmapiötä, jolloin maapallon lämpötila nousee. (IPCC 2007)

Eri kasvihuonekaasut lämmittävät ilmastoa eri tehokkuudella, joten niiden potentiaali lämmittää ilmastoa kerrotaan GWP-kertoimilla (Global warming potential). Hiilidioksidin GWP-kerroin on 1, ja esimerkiksi metaanin 28. (Tilastokeskus 2019c)

Suomi pyrkii 80 prosentin hiilidioksidipäästövähennykseen vuoteen 2050 mennessä vuoden 1990 päästötasoon verrattuna. Tämä vaikuttaa myös rakennusalaan, sillä rakennusmateriaaleilla ja rakennuksilla on kokonaispäästöihin suuri vaikutus. Rakennusten hiilijalanjäljen arviointi ja tyyppikohtaiset päästöraajat tullaan liittämään osaksi Suomen rakennusmääräyskokoelmaa. (Ympäristöministeriö 2019, s. 9–21)

Rakennukset ja rakentaminen vastaavat EU:ssa noin puolta energian ja materiaalien käytöstä, ja veden ja jätteen synnystä kolmasosaa. Rakennustuotteiden päästöt ovat ennakoitavissa, sillä ne valmistetaan jo ennen käyttöä. Rakennuksen suurin hiilijalanjälki muodostuu rakennuksen energiankulutuksesta. (Bionova Oy 2017, s. 11–12.)

### 1.1.1 Asuinkerrostalot Suomessa

Suomen rakennuskanta kasvoi vuonna 2018 4,8 prosenttia sitä edeltävään vuoteen 2017 verrattuna (Tilastokeskus 2019b). Asuinrakennuskannasta 46 prosenttia oli kerrostaloasuntoja vuonna 2018 (Tilastokeskus 2019a). Valtaosa kerrostaloista on rakennettu 60- ja 70-luvuilla (Rakennusteollisuus 2019). Tyypillisin betonielementtijulkisivu on sandwich-rakenteinen, eli se koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta, joiden välissä on lämmöneriste (Elementtisuunnittelu.fi 2020).

### **1.1.2 Asuinkerrostalojen korjaustarve**

Vuosina 2016–2035 asuinrakennusten vuotuiseksi keskimääräiseksi korjaustarpeeksi on arvioitu 9,4 miljardia euroa, ja kuten ihmisetkin, suurin osa tästä korjaustarpeesta on kaupungeissa. Tällä hetkellä eniten korjaustarvetta on 1970–1980-luvun kerrostaloissa. Suurin osa tästä korjaustarpeesta on rakennusosien kulumisen, vanhenemisen, vaurioitumisen sekä parantamisen vuoksi tavanomaista korjaamista. Neljännes korjaustarpeesta on vuosikorjausta tai kunnossapitoa, jotka poistavat vaurion, joka saattaisi laajentua ja aiheuttaa näin suurempaa vahinkoa. (Nippala & Vainio 2016, s. 11–13)

Eräs tapa vähentää olemassa olevan rakennuksen hiilipäästöjä on pienentää sen energiankulutusta parantamalla rakennuksen vaipan lämmöneristävyyttä. Usein lämmöneristävyyden parantaminen tulee ajankohtaiseksi, kun julkisivun ulkoverhous vaurioituu, ja sille aletaan suunnittelemaan korjausta. (Heljo & Vihola 2012, s. 33)

Korjaussuunnittelussa tehdyt valinnat vaikuttavat pitkälle tulevaisuuteen muun muassa rakennuksen energiankulutukseen ja muihin ylläpidollisiin kustannuksiin. Energiatehokkuuden parantamista on syytä harkita, sillä se vähentää rakennuksen käyttökustannuksia sekä hiilidioksidipäästöjä. Rakennusten lämmitykseen kuluu noin 25 % Suomen energiankulutuksesta, ja energiansäästöpotentiaali perinteisillä korjaustavoilla on jopa 20–45 %. Julkisivukorjauksen huolellisella suunnittelulla ja oikeilla materiaaleilla on siis merkitystä päästöjen vähentämisen kannalta. (Hemmilä et al. 2017, s. 12–13)

## **1.2 Tutkimuksen tavoite ja rajaukset**

Tutkimuksen tavoitteena on laskea esimerkkikohteen julkisivukorjauksen eri toteutusvaihtoehtojen elinkaarien hiilijalanjäljet päästöjen ja energiankulutuksen kautta, ja vertailla näitä. Tarkoituksena on näin luoda ohje ja esimerkkilaskelma suunnittelijalle, jotta hänen on mahdollista huomioida laskennassa tarvittavat lähtötiedot ja rajaukset, sekä laskennan painopisteet ja suoritusmenetelmät.

Tutkimus rajataan tyypillisen 1980-luvun betonisandwich-julkisivun korjaukseen. Teoriaosuudessa tutkitaan korjausvaihtoehtoja ja elinkaaren hiilijalanjäljen laskentaa. Laskennassa huomioidaan rakennuksen energiankulutus ja materiaalien päästöt vertailtavissa tapauksissa.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn suoritus

Tutkimus suoritetaan kirjallisuuskatsauksena teorian osalta. Työssä selvitetään aiheeseen liittyviä määryksiä, ohjeita, tutkimuksia sekä laskentaperusteita.

Laskennallinen osuus työstä suoritetaan käyttämällä One Click LCA -laskentaohjelmaa. Sillä lasketaan rakennuksen korjauksen elinkaaren hiilipäästöt.

One Click LCA -laskentaan vaadittavat lähtötiedot saadaan esimerkkirakennuksen lähtötietoja hyödyntämällä. Vertailtavien vaihtoehtoisten julkisivukorjausmenetelmien energiankulutukset ja -säästöt saadaan Laskentapalvelut.fi -sivuston laskureita hyödyntämällä.

### 1.3.1 One Click LCA

One Click LCA on maailmanlaajuisesti johtava selainpohjainen laskentatyökalu rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjäljen arviointiin. Euroopassa elinkaariarviointi koko rakennuksen tasolla perustuu standardiin EN 15978 ja rakennustuotetasolla standardiin EN 15804. One Click LCA-ohjelmiston lasketut päästöt ilmoitetaan hiiliekvivalenttina nettoneliötä ja käyttövuotta kohti. (Bionova Oy 2020)

One Click LCA on yhteensopiva monien rakennusalalla yleisesti käytössä olevien ohjelmistojen kanssa. Laskennassa lähtötietoina käytettävää tietoa voidaan tuoda esimerkiksi Excel-taulukoista tai BIM-malleista (Building Information Model). (Bionova Oy 2020)

One Click LCA:n käyttö rakennusprojektin varhaisessa suunnitteluvaiheessa auttaa tunnistamaan suurimpien ympäristövaikutuksien aiheuttajat ja siten vähentämään päästöjä ja negatiivisia ympäristövaikutuksia. Ohjelmisto arvioi koko rakennuksen elinkaaren hiilipäästöt lähtien yksittäisen rakennusmateriaalin raaka-aineiden valmistuksesta. One Click LCA:lla voidaan arvioida hiilipäästöjen lisäksi myös muita ympäristövaikutuksia, kuten rakennuksen vaikutusta otsonikerrokseen. (Bionova Oy 2020)



## 2. RAKENNUKSEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN MUODOSTUMINEN

### 2.1 Rakennuksen hiilijalanjälki elinkaaren eri vaiheissa

Rakennuksen hiilijalanjälki koostuu elinkaaren eli vaiheista. Näitä ovat tuotevaihe, rakentamisvaihe, käyttövaihe ja purkuvaihe. Elinkaariarvioinnissa tarkastellaan vaiheiden materiaaleja, energiankulutusta, kuljetuksia sekä työmaata. (Ympäristöministeriö 2019, s. 14–15)

Jokaisen hankkeen taustalla hiilijalanjälkeen vaikuttavat kaavoitus, julkisohjaus ja tuote- ja menetelmäkehitys. Eniten päästöihin voidaan vaikuttaa hanke- ja rakennussuunnitteluvaiheissa. (Bionova Oy 2017, s. 14) Taulukkoon 1 on koottu ARA:n ja GBC:n, eli Green Building Councilin, hiilijalanjälkilaskelmat rakennuksen elinkaaren ajalta.

**Taulukko 1.** Rakennuksen hiilijalanjäljen jakautuminen (RAKLI 2019, s. 5)

	ARA (60 v.)	GBC (50 v.)
Tuotevaihe (A1–A3)	20–23 %	13 %
Kuljetus rakennuspaikalle (A4)	0–1 %	*Rakentamisajan päästöissä
Rakentamisvaihe (A5)	2–4 %	1 %
Kunnossapito ja osien vaihto (B1–B5)	5–6 %	1 %
Energian käyttö (B6)	62–68 %	82 %
Veden käyttö (B7)	3–4 %	2 %
Purkaminen (C1–C4)	0–1 %	1 %

Hiilijalanjälkeen vaikuttaa eniten fossiilisten polttoaineiden käyttö energiantuotannossa ja tuotteiden valmistuksessa. Suurin osa hiilijalanjäljestä syntyy käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Tulevaisuudessa tilanne tulee muuttumaan, sillä uusiutuvan energiantuotannon lisääntyessä vähenevät sekä käytönaikaisen energiankulutuksen päästöt että materiaalituotannon päästöt. Lisäksi rakennusten energiatehokkuuden paraneminen vä-

hentää päästöjä. Kuitenkin tarve tehokkuuden paranemisen edellyttämille teknisille järjestelmille sekä materiaaleille kasvaa, joten päästöjen painopiste tulee siirtymään kohti materiaalien tuotantoa ja elinkaaren aikaista ylläpitoa. (Bionova Oy 2017, s. 11)

## **2.2 Moduuli A1–3: tuotevaihe**

Tuotevaiheeseen kuuluvat raaka-aineen hankinta (A1), sen kuljetus valmistukseen (A2) ja tuotteen valmistus. Suurin vaikutus kokonaispäästöihin on materiaalien hankinnalla ja valmistuksella. (Ympäristöministeriö 2019, s. 12–17)

Tuotevaiheessa päästöihin voidaan vaikuttaa valitsemalla vähäpäästöisiä, kuitenkin käyttötarkoituksessaan toimivia, materiaaleja. Myös käyttämällä kierrätettyjä vanhoja rakennusosia tai ylijäämää muilta työmailta, voidaan päästöjä vähentää. (Ympäristöministeriö 2019, s. 17)

## **2.3 Moduuli A4–5: rakennusvaihe**

Rakennusvaiheeseen kuuluvat materiaalien kuljetus työmaalle (A4) sekä työmaatoiminnot (A5) (Ympäristöministeriö 2019, s. 14). Rakennusvaihe kestää vain lyhyen ajan verrattuna rakennuksen koko elinkaareen, joten sen päästöt jäävät kokonaisuudessa pieniksi. Pienet päästöt johtuvat myös siitä, että rakentamisvaiheeseen ei huomioida rakennustuotteita, vaan pelkät työmaatoiminnot. Työmaalla päästöjä syntyy energiankulutuksesta, joka aiheutuu esimerkiksi rakennustöistä, työmaan valaistuksesta, lämmityksestä ja taukotilojen käytöstä. (Ympäristöministeriö 2019, s. 27) Rakentamisen aikaisiin päästöihin voidaan vaikuttaa tehostamalla rakentamista ja vähentämällä hävikkiä.

## **2.4 Moduuli B: käyttövaihe**

Käyttövaiheeseen sisältyvät rakennustuotteiden käyttö rakennuksessa (B1), kunnossapito (B2), korjaukset (B3), osien vaihto (B4), laajamittaiset korjaukset (B5), energian käyttö (B6) ja veden käyttö (B7) (Ympäristöministeriö 2019, s. 14). Rakennuksen elinkaaren hiilipäästöistä suurin osa syntyy käyttövaiheen energiankulutuksesta, erityisesti sähkönkulutuksen ja lämmityksen vuoksi.

## 2.5 Moduuli C: purkuvaihe

Purkuvaiheeseen kuuluvat purkaminen (C1), kuljetukset (C2), purkujätteen käsittely (C3) ja purkujätteen loppusijoitus (C4) (Ympäristöministeriö 2019, s. 14). Purkamisen päästövaikutus on pieni verrattuna koko elinkaaren hiilipäästöihin, mutta purkamisella on suuri vaikutus kiertotalouden näkökulmasta. Purkamisen jälkeen materiaaleja on mahdollista uudelleenkäsitellä ja -käyttää, varsinkin jos jo suunnitteluvaiheessa on otettu huomioon materiaalien uusiokäyttöpotentiaali. (Bionova Oy 2017, s. 13)

## 2.6 Moduuli D: elinkaaren ulkopuolelle jäävät hyödyt ja haitat

Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmän mukaan rakennuksen elinkaaren aikana siitä purettavat ja poistettavat materiaalit ja rakennustuotteet luokitellaan jätteeksi. Jos nämä jätteet kierrätetään ja hyödynnetään uudelleen, niiden valmistelusta ja jatkojalostuksesta syntyvät päästöt kohdennetaan muihin moduuleihin. (Ympäristöministeriö 2019, s. 48)

Rakennustuotteet, joita ei enää luokitella jätteeksi, kelpaavat elinkaariarvioinnin näkökulmasta uudelleenkäyttöön, materiaalikierrätykseen tai energiahyödyntämiseen. Tällöin ne poistuvat kohteen systeimirajojen ulkopuolelle. Rakennustuotteiden uudelleenkäytöllä voidaan saavuttaa hyötyjä eli teoriassa vältettyjä kasvihuonepäästöjä, jotka syntyvät, kun kyseessä olevalla kierrätetyllä tuotteella korvataan arviointihetkellä Suomessa keskivertoteknologialla tuotettuja vastaavia tuotteita. Näiden uudelleenkäytettyjen tuotteiden mahdollisesta prosessoinnista ja kuljetuksesta syntyvät päästöt kohdistetaan rasitteena moduuliin D, kunnes niiltä vaadittavat ominaisuudet täyttävät korvaavilta tuotteilta vaaditut vastaavat ominaisuudet. (Ympäristöministeriö 2019, s. 48–49)

Materiaalien kierrätyksen tapauksessa nettokasvihuonepäästöt ovat myös kierrätyksen vuoksi teoriassa vältettyjä tai aiheutettuja päästöjä. Jätteeksi luokittelun loputtua mahdolliset kierrätysmateriaalin jatko-prosessoinnin ja kuljetuksien aiheuttamat kasvihuonepäästöt kohdistetaan rasitteena moduuliin D, kunnes materiaalin vaaditut täyttävät sen käyttötarkoituksen vaatimat ominaisuudet. Jos kierrätysmateriaali ei voi saavuttaa laatuvaatimuksia, sen kasvihuonepäästöjä lisätään rasitteena moduulissa D laatuero kertoi-  
men mukaan. (Ympäristöministeriö 2019, s. 49)

Energiahyödyntämisen tapauksessa nettokasvihuonepäästöt ovat energiahyödyntämisen vuoksi vältettyjä tai aiheutettuja päästöjä, jotka syntyisivät, jos kyseessä olevalla hyödynnettävällä energiamateriaalilla korvattaisiin Suomessa keskivertoteknologialla energiantuotannossa käytössä olevia polttoainemateriaaleja vastaava määrä. Energia-

materiaalin kasvihuonepäästöt kohdennetaan rasiitteena moduuliin D. Materiaalin kasvihuonepäästöjä lisätään rasiitteena moduulissa D laatuero kertoimen avulla, mikäli materiaalin energiantuotantolaitoskohtaiset laatuvaatimukset eivät täyty. (Ympäristöministeriö 2019, s. 50)

### **3. RAKENNUKSEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLJEN LASKENTA**

Ympäristöministeriön vuonna 2019 julkaisemaa Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmää käytetään ohjeena rakennuksen hiilijalanjäljen arviointiin, jotta rakennuksen elinkaaren kasvihuonepäästöjä voidaan pienentää huolellisen ennakkosuunnittelun avulla. Arviointimenetelmä perustuu Euroopan komission laatimaan Level(s)-menetelmään sekä eurooppalaista rakentamista koskeviin EN-standardeihin. (Ympäristöministeriö 2019, s. 11)

Arviointi voidaan tehdä kaikille rakennuksille, ja sekä uudis- että korjausrakentamishankkeisiin. Infrahankkeisiin arviointi ei suoraan sovellu. Arviointi tulee tehdä rakennussuunnittelun aikana, sillä silloin on käytettävissä tarpeeksi yksityiskohtaista tietoa rakennukseen tulevista materiaaleista ja energiantarpeesta. Rakennuksen energiatehokkuuden arviointi onkin tarkoitettu tehtäväksi samalla vähähiilisuuden arvioinnin kanssa. (Ympäristöministeriö 2019, s. 12)

Vähähiilisuuden arviointiin tarvitaan rakennustuotteiden ja -prosessien päästötietoja. Tietokantaa, johon kootaan näitä päästötietoja, kehitetään tällä hetkellä. Ennen tietokannan käyttöönottoa arvioinnissa voidaan käyttää ympäristöministeriön arviointitaulukkoa tai muuta työkalua. (Ympäristöministeriö 2019, s. 13) Osa elinkaaren moduuleista voidaan jättää laskennasta pois. Taulukossa 2 on kerrottu, tuleeko moduuli ottaa huomioon laskennassa. Lisäksi taulukossa on eritelty, voidaanko moduulin lähtötietoina käyttää taulukkoarvoja vai hankekohtaisia tietoja.

**Taulukko 2.** Rakennuksen elinkaaren arvioitavat vaiheet ja käytettävät tiedot (Ympäristöministeriö 2019, s. 39)

Ennen käyttöä	Arviointi	Käytettävät tiedot
A1–3 Tuotteiden valmistus	+ Arvioidaan	Vain hankekohtaiset tiedot
A4 Kuljetukset työmaalle	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
A5 Rakentaminen	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
Käytön aikana	Arviointi	Käytettävät tiedot
B1 Tuotteiden käyttö	- Ei arvioida	
B2 Ylläpito	- Ei arvioida	
B3–4 Korjaukset ja vaihdot	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
B5 Laajamittaiset korjaukset	Oma erillinen arviointi	
B6 Energian käyttö	+ Arvioidaan	Vain hankekohtaiset tiedot
B7 Veden käyttö	- Ei arvioida	
Käytön jälkeen	Arviointi	Käytettävät tiedot
C1 Purkutyöt	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
C2 Kuljetukset käsittelyyn	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
C3 Jätteenkäsittely	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot
C4 Loppusijoitus	+ Arvioidaan	Hankekohtaiset tiedot tai taulukkoarvot

Taulukkoon 3 on koottu päästöarvoja, joita käytetään elinkaaren eri vaiheissa. Taulukkoarvot on koottu keskiarvoina toteutuneiden hankkeiden elinkaaren hiilijalanjälkilaskennan perusteella. Niihin on lisätty 20 % epävarmuuskerroin. Rakennuksen elinkaaren moduulien A1–3 tuotteiden valmistus sekä B6 energian käyttö päästöt tulee laskea hankekohtaisesti. (Ympäristöministeriö 2019, s. 45)

**Taulukko 3.** Taulukkoarvot käytettäville elinkaaren päästöille (Ympäristöministeriö 2019, s. 45)

Tyypilliset päästöt (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )		
A1–3 Valmistus		<i>(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)</i>
A4 Kuljetus työmaalle	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
A5 Uudisrakennustyömaan toiminnot	27,30	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
B3–4 Korjausten energiankulutus <sup>12</sup>	2,16	Materiaalien valmistus arvioitava erikseen
B6 Energian käyttö		<i>(lasketaan aina hankekohtaisin tiedoin)</i>
C1 Purkutyömaan toiminnot	7,80	Työmaan energian ja polttonesteiden kulutus
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn	10,20	Keskimääräinen kuljetusetäisyys Suomessa
C3–4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus	15,60	
<b>Yhteensä</b>	<b>73,26</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup></b>

## 4. BETONIJULKISIVUJEN KORJAUSVAIHTOEHDOT

### 4.1 Julkisivun korjaustarve

Betonisandwich-rakenne on ollut tyypillisin kerrostaloissa esiintyvä ulkoseinätyyppi 1960-luvulta lähtien. Betonisandwich koostuu betonisesta ulkokuoresta, mineraalivillakerroksesta ja betonisesta sisäkuoresta. (Nieminen & Virta 2016, s. 13)

Korjaustarvetta esiintyy merkittävästi jo 1980-luvun rakennuksissa. Osittainen syy tähän on, että ajanjakson julkisivu- ja pintamateriaalit ovat puutteellisia, joten niitä joudutaan korjaamaan jo aiemmin, mitä tekninen elinkaari alkuperäisten suunnitelmien mukaan edellyttäisi. (PTT 2015, s. 11) Betonisen julkisivun korjaustarve liittyy betonikuoren pakkasrapautumiseen ja raudotteiden korroosioon, joka johtuu betonin karbonatisoitumisesta (Kiinteistöposti 2010a). Kuvassa 1 on esitetty kuvaaja kaikkien julkisivujen korjaustarpeen kehityksestä tulevaisuudessa.



**Kuva 1.** Julkisivujen korjaustarve (Kiinteistöposti 2010b)

Korjaukset eivät tule yllätyksenä, jos kiinteistöä huolletaan suunnitelmallisesti pitkällä aikavälillä, varautuen niihin teknillisesti ja taloudellisesti. Hyvään kiinteistönpitoon kuuluu rakennuksen jatkuva hoito ja ylläpito sekä riittävä kunnon seuranta. Julkisivun korjaustarpeen selvittämiseksi tulee tuntea rakenteessa olemassa olevat vauriot, mutta myös tulevaisuudessa siinä mahdollisesti ilmenevät vauriot. Oleellista on siis tuntea vaurioiden syyt, laajuudet, vaikutukset sekä eteneminen. (Julkisivuyhdistys 2005b, s. 3)

Rakennuksen julkisivun kuntoa ja korjaustarvetta voidaan arvioida tekemällä silmämääräinen kuntoarvio. Tämä ei kerro kuitenkaan riittävän tarkasti rakenteen kunnosta, vaan tarvitaan tarkempi kuntotutkimus. Kuntotutkimuksessa selvitetään eri tutkimuskeinoin rakenteen vauriot, niiden laajuus ja syyt, sekä vaikutukset rakenteeseen. (Julkisivuyhdistys 2005b, s. 3)

Korjaustavan valintaan liittyy oleellisesti korjattavan julkisivun kunto. Korjauksen vaadittava laajuus riippuu siitä, miten pitkälle vaurioituminen rakenteissa on edennyt. Valittavaan korjaustapaan vaikuttavat myös tekniset, taloudelliset, arvoihin liittyvät sekä yhteiskunnan vaatimuksiin liittyvät tekijät. Korjauksen tavoitteet voivat myös kohteesta riippuen vaihdella. Näiden kaikkien tekijöiden perusteella tehdään päätös, mikä on asetettuihin tavoitteisiin nähden paras korjausmenetelmä. (Julkisivuyhdistys 2005c, s. 4)

Betonisandwich-julkisivujen korjaustavat voidaan jaotella pinnoitus- ja paikkaustyyppiin korjauksiin, verhoileviin korjauksiin ja osittain tai kokonaan purkamiseen ja uusimiseen. Usein korjaukset tehdään yhdistelemällä eri korjaustapoja. (Julkisivuyhdistys 2005d, s. 4)

## **4.2 Huoltomaalaus**

Huoltomaalaus lukeutuu pinnoitus- ja paikkaustyyppiin korjauksiin. Huoltomaalauksessa rakenteen vanhan pinnoitteen päälle maalataan suoraan uusi kerros maalia. Lisäksi samanaikaisesti voidaan tarvittaessa uusia elementtisaumat sekä paikata näkyvät vauriot laastilla. (Julkisivuyhdistys 2005a, s. 9)

Tämä korjaustapa sopii käytettäväksi lähinnä hyvässä ja ehjässä kunnossa olevien julkisivujen huoltavaan korjaukseen, ja sen suurin hyöty onkin julkisivun ulkonäön paraneminen. Maalaus voi kuitenkin pidentää vanhan julkisivurakenteen käyttöikää jonkin verran. Huoltomaalauksista ei suositella tehtäväksi enempää kuin maksimissaan kahdesti. Tämän jälkeen julkisivurakenne tulisi korjata perusteellisemmin. (Julkisivuyhdistys 2005a, s. 9)

## **4.3 Perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus**

Perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus sopii korjaustavaksi, mikäli julkisivurakenteessa on vain vähän alkavia, lieviä rapautuma- ja korroosiovaurioita. Sillä voidaan saada kohtalaisen varmoja tuloksia, ja rakennuksen ulkonäkö voidaan säilyttää. Rakenteen lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet säilyvät samana. (Julkisivuyhdistys 2005a, s. 18)



Perusteellisessa paikkaus- ja pinnoituskorjauksessa poistetaan ensin vanhat julkisivu-pinnoitteet hiekkapuhalluksella. Korroosiovaurioituneet betoniteräksiset piikataan esiin, puhdistetaan ja paikataan laastilla. Julkisivu ylläsoitetaan ja pinnoitetaan uudelleen. Julkisivusaumat tulee myös uusida kokonaan. (Julkisivuyhdistys 2005a, s. 17)

#### **4.4 Lisälämmöneristys**

Lisälämmöneristys voidaan tehdä, mikäli betonisandwich-rakenteen ulkokuori ja raudoitukset ovat tarpeeksi hyvässä kunnossa lisäeristeen kiinnittämistä varten. Lisälämmöneristäminen voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että jäykkä lämmöneriste kiinnitetään vanhan rakenteen ulkopintaan ja rappaus tehdään suoraan lämmöneristeen pintaan. Tämänlainen rakenneratkaisu on tuulettumaton. Toinen toteutusvaihtoehto on kiinnittää runkorakenne ja lämmöneristys vanhan rakenteen ulkopinnalle. Julkisivu tulee tällöin kiinni runkorakenteeseen, jolloin julkisivun taakse tulee jättää tuuletusväli. Lisälämmöneristyksellä voidaan pienentää lämpöhäviötä merkittävästi. (Kouhia et al. 2010, s. 19)

Lisälämmöneristysmateriaalina käytetään yleensä mineraalivillaa tai EPS-lämmöneristeitä. Rappausmateriaalilla on suuri merkitys korjatun rakenteen toimivuuteen, sillä sadevesi ei saa päästä rappauksen läpi rakenteeseen, mutta kosteuden tulee haihtua pois rakenteesta. Rappaus voidaan tehdä ohutrappauksena tai paksurappauksena, eli kolmi-kerrosrappauksena. Rappauksen kuntoa sekä liitoskohtien tiivyyttä tulee tarkastella tassa- väliajoin. (Nieminen & Virta 2016, s. 14–15)

#### **4.5 Ulkokuoren purkaminen ja lisälämmöneristysten lisääminen**

Mikäli rakennuksen ulkokuori tai raudoitukset ovat huonossa kunnossa, ulkokuori ja lämmöneristekerros voidaan purkaa ja tilalle asentaa uudet. Pitkälle edenneet vauriomekanismit, kuten betonin rapautuminen ja laajat mikrobivauriot lämmöneristeessä voivat aiheuttaa purkutarvetta. Purkaminen ja uudelleenverhoaminen on myös pitkäikäinen, varma korjaustapa, jonka avulla on mahdollista parantaa lämmöneristävyttä nykyisten määräysten tasolle. (Julkisivuyhdistys 2006, s. 4)

Purkavassa korjauksessa betonisandwich-julkisivun ulkokuori sahataan kaistoihin ja irrotetaan. Ulkokuori voidaan myös murskata. Kun ulkokuori ja lämmöneriste on poistettu, pinta tasoitetaan ja siihen kiinnitetään kiinnikkeet tulevaa ulkoverhousta varten. Jos ulkoverhoaminen ei vaadi kiinnikkeitä, uusi lämmöneristys voidaan asentaa sisäkuoren ulkopinnalle kiinnikkeitä käyttäen. Betonisandwich-elementin sisäkuoren ulkopinta on usein

epätasainen, joten uutena lämmöneristeenä tulee käyttää pehmeää, tiiviisti asettuvaa lämmöneristettä. (Kouhia et al. 2010, s. 21–23)

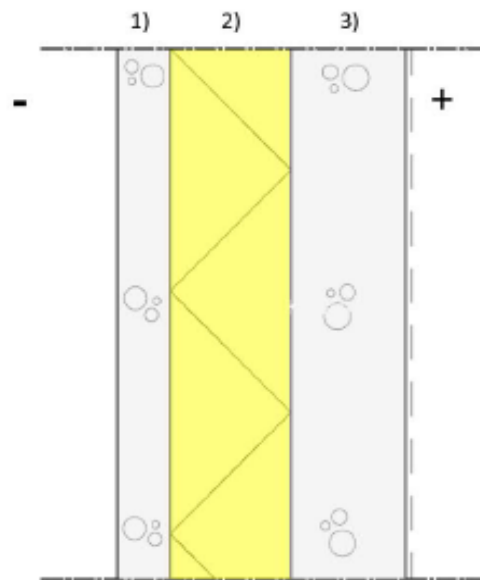
Betonisandwich-rakenteisen elementin sisäkuoren ulkopuolelle voidaan kiinnittää runko-rakenne, joten lämmöneristeeksi sopivat ns. kevyet eristystuotteet. Tällöin jätetään tuuletusväli uuden julkisivun taakse. Tuuletusvälilliset rakenneratkaisut toimivat kosteusteknisesti varmemmin kuin tuulettumattomat, koska tuuletusväli estää julkisivumateriaalin läpi tunkeutuvan sadeveden pääsyn lämmöneristeeseen. (Kouhia et al. 2010, s. 23) Tuulettumatonkin rakenne on mahdollista tehdä kosteusteknisesti toimivaksi, kunhan pintarakenne on yhtenäinen ja saumaton. Lämmöneristeen ja rappauserroksen tulee myös olla riittävän vesihöyrynläpäiseviä. (Julkisivuyhdistys 2006, s. 6)

Eristekerroksen päälle tulee uusi julkisivumateriaali. Tuulettuvia verhousrakenteita ovat esimerkiksi levyverhoukset ja kuorielementit, tuulettumattomia eristerappaukset. (Julkisivuyhdistys 2006, s. 5–6)

Eristerappauksena käytetään ohutrappausta tai paksurappausta eli kolmikerrosrappausta, ja se tulee kiinni lämmöneristekerrokseen (Julkisivuyhdistys 2006, s. 7). Levyverhouksessa voidaan käyttää erilaisia levymateriaaleja, kuten kuitusementti-, komposiitti- tai metalliohutlevyjä. Levyverhous kiinnitetään ulkoseinärakenteeseen sisäkuoreen tulevalla rankarakenteella. (Julkisivuyhdistys 2006, s. 16–20)

## 5. TUTKIMUS

Tämän työn laskentaosuudessa lähtötietoina käytetään kuvitteellista, tyypillistä betoni-sandwich-rakenteista 1980-luvun kerrostaloa. Tarkasteltava, korjattava julkisivurakenne koostuu kuvan 2 mukaisesti betonisesta ulkokuoresta (1), jonka paksuus on 60 mm, lämmöneristekerroksesta (2), jonka paksuus on 140 mm, sekä betonisesta sisäkuoresta (3), jonka paksuus on 150 mm.



**Kuva 2.** Korjattava julkisivurakenne

Tarvittavat alustavat tiedot, kuten korjattavan rakenteen ulkoseinärakenteen U-arvo ja korjattava pinta-ala, saadaan energiatodistuksesta. Nämä tiedot syötetään sivuston Laskentapalvelut.fi Energiatehokkuuden laskeminen korjaus- ja muutostöissä -laskuriin, jonne syötetään myös korjausvaihtoehtojen tiedot. Laskuri laskee annetulle korjausvaihtoehdolle vuosittaisen lämpöhäviön. Vertaamalla tätä korjaamattoman rakenteen lämpöhäviöön, saadaan tulokseksi vuosittain säästetty energiamäärä. (Laskentapalvelut.fi 2020)

Mallikerrostalon lähtötietojen perusteella perustetaan One Click LCA -ohjelmistoon uusi projekti. Projektin lähtötiedoissa valitaan käytettävät laskentaperusteet, eli tässä tapauksessa ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä. Kerrostalon lähtötietojen perusteella luodaan Carbon Designer -lisäosalla vertailutaso eri korjausvaihtoehdoille. Carbon Designer arvioi annettujen lähtötietojen perusteella rakennuksen

materiaalimäärät. Nämä tiedot tuodaan projektiin, ja eri korjaussuunnitteluvaihtoehtojen luominen voidaan aloittaa. Taulukkoon 4 on koottu esimerkkikerrostalon lähtötiedot.

**Taulukko 4. Esimerkkikohteen lähtötiedot**

Laskentajakso	40 vuotta
Julkisivujen korjattava pinta-ala (ei sisällä ikkunoita ja ovia)	1 300 m <sup>2</sup>
Kerrosten lukumäärä	4
Lämmitetty nettoala	1 420 m <sup>2</sup>
Verkkosähkönkulutus vuodessa	15 540 kWh
Kaukolämmönkulutus vuodessa	261 000 kWh
Rakenteen lämpöhäviö vuodessa	36 600 kWh
Korjattavan rakenteen U-arvo	0.297 W/m <sup>2</sup> K

Tämän jälkeen One Click LCA -ohjelmistoon luodaan seuraavat viisi eri suunnitteluvaihtoehtoa:

1. Julkisivupinnoitteen paikkaus ja huoltomaalaus
2. Julkisivun perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus
3. Julkisivun lisälämmöneristäminen
4. Julkisivun purku, uuden lämmöneristeen asentaminen ja eristerappaus
5. Julkisivun purku, uuden lämmöneristeen asentaminen ja levyverhous

Vaihtoehdossa 1 julkisivu pestään, vaurioituneet kohdat betonipinnassa paikataan ja julkisivu huoltomaalataan. Maalina käytetään vesiohenteista ulkomaalia, ja kerrospaksuus on 0,125 mm.

Vaihtoehdossa 2 julkisivun vanha pinnoite poistetaan, vauriot paikataan, pinta ylitasoitetaan 5 mm paksulla laastikerroksella, julkisivu maalataan vesiohenteisella ulkomaalilla 0,125 mm paksuisella kerroksella ja elementtien saumat uusitaan elastisella saumaussmassalla.

Vaihtoehdossa 3 vanhan julkisivurakenteen päälle tehdään lisälämmöneristys asentamalla 100 mm nykyääräykset täyttävää mineraalivillaa, joka päällystetään 10 mm paksulla ohutrappauksella.

Vaihtoehtoissa 4 julkisivurakenne puretaan betoniseen sisäkuoreen asti ja siihen asennetaan uusi, nykyaikainen lämmöneristekerros, jonka paksuus on 80 mm. Lämmöneriste pinnoitetaan 10 mm paksulla ohutrappauksella

Vaihtoehtoissa 5 julkisivurakenne puretaan betoniseen sisäkuoreen asti ja siihen asennetaan uusi, nykyaikainen lämmöneristekerros, jonka paksuus on 80 mm. Julkisivurakenteeksi valitaan 10 mm paksu kuitusementtilevy.

Näiden suunnitteluvaihtoehtojen tietoihin syötetään Rakennusmateriaalit-kohtaan ulkoseinät-alaotsikon alle valitut materiaalit ja kerrospaksuudet. Laskennassa ei ole tarpeellista eritellä muiden kuin rakennuksen korjattavan osan, eli julkisivun, materiaalitietoja. Lisäksi Energiankulutus-kohtaan syötetään jokaiseen vuotuinen verkkosähkönkulutus, joka on sama, kuin esimerkkitalossa, eli 15 540 kWh (kilowattituntia). Laskentapalvelut.fi-laskurilla lasketut kaukolämmönkulutukset syötetään jokaiselle vaihtoehdolle. Taulukkoon 5 on koottu vaihtoehtojen vuosittaiset kaukolämmönkulutukset.

**Taulukko 5.** Vuosittaiset kaukolämmönkulutukset vertailtaville korjausvaihtoehtoilta

	Kaukolämmönkulutus
Vaihtoehto 1	261 000 kWh
Vaihtoehto 2	261 000 kWh
Vaihtoehto 3	244 700 kWh
Vaihtoehto 4	246 700 kWh
Vaihtoehto 5	246 700 kWh

One Click LCA -ohjelmistoon on mahdollista syöttää koko rakennuksen materiaali- ja elinkaaritiedot hyvinkin tarkasti. Tässä laskennassa kuitenkin huomioitiin vain julkisivurakenteen korjauksen kautta syntyvät päästöt, joten ohjelmaan muokattiin vain tähän korjaukseen ja uuteen rakenteeseen liittyvät tiedot. Elinkaaren päästöjen laskennan tuloksia tarkastellaan yksikössä kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia jaettuna korjatulla julkisivuneliömäärällä ja tarkasteluajanjaksolla (CO<sub>2</sub>e/js-m<sup>2</sup>/a). Näin saadaan vertailukelpoisia tuloksia, jotka kertovat halutun toimenpiteen, eli julkisivun korjaamisen, päästöt.

Alle on lueteltu askeleet korjatun julkisivun hiilijalanjäljen laskemiseen tiivistettynä ohjeena.

1. Rakennuksen vuosittainen kaukolämmönkulutus (kWh) otetaan energiatodistuksesta.
2. Ulkoseinärakenteen U-arvo saadaan rakennuksen tiedoista.
3. Laskentapalvelut.fi-sivuston Energiatehokkuuden laskeminen korjaus- ja muutostöissä-laskurilla lasketaan vanhan rakenteen U-arvon ja korjatun rakenteen tietojen perusteella korjaamisella saavutettu kaukolämmönkulutuksen säästö.
4. One Click LCA -ohjelmistoon tuodaan lähtötiedot rakennuksesta, korjatun rakenteen kaukolämmönkulutus ja korjattuun julkisivuun tulevien materiaalien tiedot.
5. One Click LCA laskee korjatun rakenteen elinkaaren päästöt. Päästöt saadaan kokonaispäästönä, moduuleittain ja kategorioittain. Päästöjä voidaan muokata haluttuun yksikköön, tässä laskentaesimerkissä päästöjä tarkasteltiin yksikössä kilogrammaa CO<sub>2</sub>e/js-m<sup>2</sup>/a.

## 6. TULOKSET

Esimerkkikerrostalon betonisandwich-rakenteisen ulkoseinän korjausvaihtoehtojen päästömäärien tarkastelu voidaan aloittaa, kun kaikki laskettavat vaihtoehdot on saatu käsiteltyä One Click LCA -ohjelmassa. Taulukkoon 6 on koottu käsiteltyjen vaihtoehtojen lasketut hiilipäästöt.

**Taulukko 6.** Korjausvaihtoehtojen elinkaaren lasketut hiilipäästöt

	Kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia ajalta (CO <sub>2</sub> e)	hiilidioksi-elinkaaren	Kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia korjattua julkisivuneliometriä kohden vuodessa (CO <sub>2</sub> e/js-m <sup>2</sup> /a)
Vaihtoehto 1	775 000		14,89
Vaihtoehto 2	779 000		14,98
Vaihtoehto 3	754 000		14,49
Vaihtoehto 4	757 000		14,55
Vaihtoehto 5	747 000		14,35

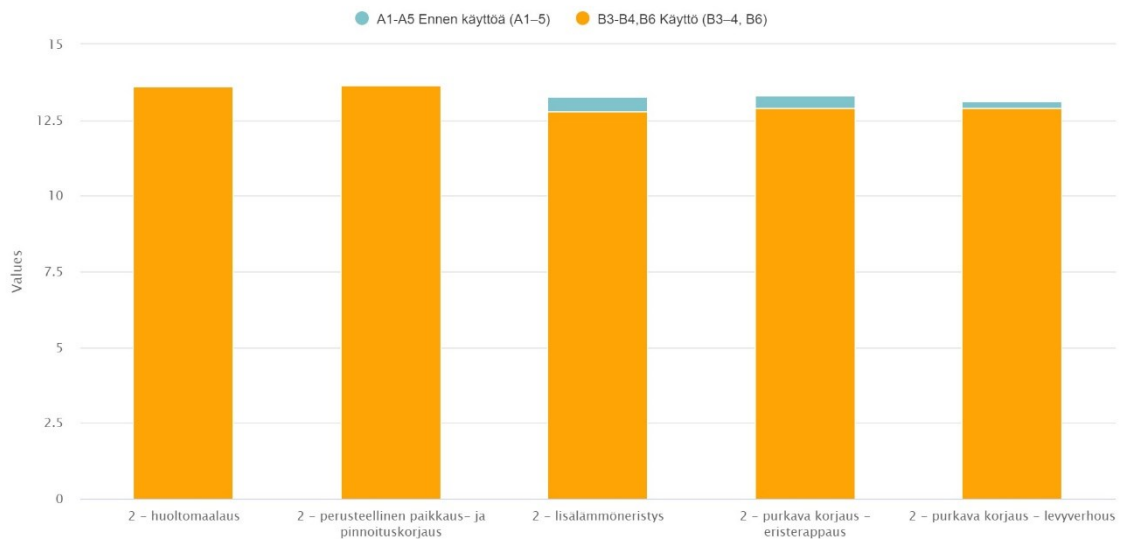
Taulukon 6 vasemmanpuolisessa sarakkeessa on korjausvaihtoehtojen kokonaispäästöt tarkastelujakson ajalta, eli 40 vuodelta. Oikeassa sarakkeessa on elinkaaren päästöt korjattua julkisivuneliötä kohden vuodessa. Vaihtoehto 2, eli perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus, tuottaa eniten päästöjä.

Taulukkoon 7 on koottu korjausvaihtoehtojen elinkaarien päästöjen prosentuaalinen suuruus verrattuna suuripäästöisimpään vaihtoehtoon, eli perusteelliseen paikkaus- ja pinnoituskorjaukseen. Taulukoista 6 ja 7 nähdään, että erot eri vaihtoehtojen hiilipäästömäärien välillä eivät ole huomattavan suuria.

**Taulukko 7. Elinkaarien hiilijalanjäljet verrattuna eniten päästöjä tuottavaan vaihtoehtoon**

Vaihtoehto 1	99,49 %
Vaihtoehto 2	100 %
Vaihtoehto 3	96,68 %
Vaihtoehto 4	97,17 %
Vaihtoehto 5	95,89%

Kuvassa 3 on kaaviot korjausvaihtoehtojen päästöjen jakaantumisesta rakennuksen vähähiilisyysarviointimenetelmän mukaisesti. Vaihtoehtoissa 1 huoltomaalaus ja 2 perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus päästöt syntyvät pääosin moduuleissa B3-4 ja B6 -käyttö. Vaihtoehtoissa 3 lisälämmöneristys, 4 purkava korjaus eristerappauksella ja 5 purkava korjaus levyverhouksella päästöjä syntyy hieman enemmän moduuleissa A1-5 -ennen käyttöä, mutta suurin osa niidenkin päästöistä syntyy käyttövaiheessa.



**Kuva 3. Kaavio päästöjen jakaantumisesta moduuleittain**

Laskettuihin päästöihin sisältyy sekä korjausmateriaalien hiilipäästöt että rakennuksen korjauksen jälkeisen elinkaaren energiankulutuksesta syntyvät päästöt. Jokaisessa korjausvaihtoehdossa suurin osa päästöistä syntyy elinkaaren aikaisen käytön energiankulutuksen takia, ja vain pieni osa kokonaispäästöistä johtuu rakennusmateriaaleista.

Taulukkoon 8 on koottu hiilipäästöt hiilidioksidieivalenttina korjattua julkisivuneliometriä kohden jaettuna tarkastelujaksolla. Suurin osa päästöistä jokaisessa vaihtoehdossa



muodostuu kaukolämmönkulutuksen kautta. Taulukossa 9 on esitetty materiaalien ja kaukolämmönkulutuksen osuudet päästöistä prosentteina.

**Taulukko 8. Hiilipäästöt kategorioittain**

	<b>Materiaalit (kg CO<sub>2</sub>e/js-m<sup>2</sup>/a)</b>	<b>Kaukolämmönkulutus (kg CO<sub>2</sub>e/js-m<sup>2</sup>/a)</b>
Vaihtoehto 1	0,02	14,29
Vaihtoehto 2	0,11	14,29
Vaihtoehto 3	0,52	13,40
Vaihtoehto 4	0,47	13,51
Vaihtoehto 5	0,27	13,51

**Taulukko 9. Kategorioiden päästöjen osuudet kokonaispäästöistä**

	<b>Materiaalien prosentuaalinen osuus kokonaispäästöistä</b>	<b>Kaukolämmönkulutuksen prosentuaalinen osuus kokonaispäästöistä</b>
Vaihtoehto 1	0,13 %	96,0 %
Vaihtoehto 2	0,73 %	95,4 %
Vaihtoehto 3	3,59 %	92,5 %
Vaihtoehto 4	3,23 %	92,9 %
Vaihtoehto 5	1,88 %	94,1 %

Rakennusmateriaaleihin liittyviä päästöjä syntyy taulukon 9 mukaisesti kokonaispäästöihin verrattuna vain vähän, enimmillään noin 3,59 prosenttia kokonaispäästöistä vaihtoehdossa 3. Sähkökulutuksesta aiheutuvat päästöt ovat joka vaihtoehdossa samat, 0,58 kilogrammaa CO<sub>2</sub>e/js-m<sup>2</sup>/a, sillä sähkönkulutus pysyy samana rakennuksessa julkisivukorjauksesta huolimatta.

Kaukolämmönkulutuksen eroihin vaikuttaa uuden rakenteen energiatehokkuus. Rakennuksen vaipan lämmöneristävyyden parantaminen pienentää kaukolämmönkulutusta, eli vaihtoehdoissa, joissa ulkoseinän lämmöneristävyyttä parannetaan, kaukolämmönkulutuksesta aiheutuvat hiilipäästöt ovat pienemmät kuin pinnoitus- ja paikkaustyypissä korjausvaihtoehdoissa.

## 7. LASKENNAN HAVAINNOT JA JATKOTUTKIMUSSUOSITUKSET

Suunnitellessa julkisivukorjausta rakennesuunnittelija ei valitse korjaustapaa vain hiilijalanjäljen perusteella, ja esimerkiksi tässä työssä vertailut korjaukset eivät kaikki soveltuisi vaihtoehtoiksi saman rakennuksen korjaukseen. Korjaustavan valintaan vaikuttaa muun muassa julkisivun kunto, rakennuksen jäljellä oleva elinkaari, käyttötarkoitus ja korjaushankkeen osapuolien tarpeet. Korjaukset, jotka eivät perustu julkisivun huonon kunnan aiheuttamaan korjaustarpeeseen, vaan haluun parantaa lämmöneristävyyttä, harvoin ovat taloudellisesti kannattavia. Tarpeellista korjaustapaa valittaessa ja suunniteltaessa on kuitenkin tarpeen ottaa huomioon korjauksen vaikutukset ilmaston lämpenemiseen ja tutkia korjaustapavaihtoehtojen elinkaaren hiilijalanjälki. (Kouhia et al. 2010, s. 5) Usein myös rahallista säästöä aiheutuu kaukolämmönkulutuksen vähenemisestä, joten tilaaja saattaa sen innoittamana valita myös ympäristön kannalta parhaan vaihtoehdon.

Mitä yksityiskohtaisemmat tiedot rakennuksesta ja korjausmateriaaleista on saatavilla, sitä tarkempia myös laskelmat ovat. Tässä tutkimuksessa käytettiin yksinkertaistettuja malleja korjattuun julkisivuun tulevista materiaaleista. Mikäli tutkittaisiin oikeaa korjauskohdetta, johon hankesuunnittelu olisi jo tehty, tarvittavat materiaalit ja niiden määrät tunnettaisiin tarkemmin. Näitä tietoja laskennassa käyttämällä saataisiin myös paremmin todellisuutta vastaavia tuloksia.

Laskettaessa Laskentapalvelut.fi-sivuston laskurilla korjatun rakenteen lämpöhäviöitä jouduttiin tekemään yksinkertaistuksia erityisesti pintamateriaalien suhteen. Laskurissa oli vain muutama eri vaihtoehto julkisivumateriaaliksi, joten kaikkia laskennassa käytettyjä pintamateriaaleja ei löytynyt. Kuitenkin näiden materiaalien vaikutus lämmönkulutukseen on melko pieni, joten suurta vaikutusta epätarkoilla materiaalivalinnoilla ei ole. Suunniteltaessa oikeaa kohdetta saatetaan kuitenkin haluta tarkemmin todellisuutta vastaavia arvoja, joten on syytä ratkaista ongelma esimerkiksi käyttämällä jotain toista laskuria.

Lisäksi One Click LCA:lla laskettaessa materiaalien tuotekohtaisilla valinnoilla voi olla materiaalien päästöihin suhteutettuna suurikin merkitys. Esimerkkinä, ei siis ole samantekevää, minkä yrityksen valmistaman ulkomaalin valitsee huoltomaalausvaihtoehdossa. Ohjelmassa on paljon erilaisten materiaalien tuotetietoja maakohtaisesti eritel-

tynä, ja paras vaihtoehto onkin valita Suomen oloihin tarkoitettu tuote. Laskennassa jouduttiin joissain tapauksissa valitsemaan jonkin muun maan, kuin Suomen, markkinoilla oleva tuote, mikä saattaa myös vaikuttaa todellisiin päästömääriin. Kerrospaksuuden muuttamisella voidaan myös vaikuttaa päästömääriin tuotteen ominaisuuksista riippuen.

One Click LCA ja ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä ovat tarkoitettu lähtökohtaisesti uuden rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjäljen laskentaan. Aikataulun rajoittamana laskenta suoritettiin erillisenä tästä, ottaen huomioon vain korjauksen aiheuttamat päästöt. Saattaa siis olla perusteltua myös laskea koko rakennuksen hiilijalanjälki ja tarkastella korjausta muutoksena tähän.

## 8. YHTEENVETO

Suomen pyrkiessä kohti hiilineutraaliutta rakennusten elinkaarien päästöjen pienentämisellä on suuri merkitys tavoitteen saavuttamisessa. Asuinrakennusten korjaustarpeen kasvaessa julkisivujen korjaukset tulevat yhä ajankohtaisimmiksi, ja korjausta suunniteltaessa onkin hyvä tilaisuus parantaa rakenteen energiatehokkuutta ja näin vähentää lämmityksen aiheuttamia päästöjä. Korjauksessa käytettävien rakennusmateriaalien valinnassa tulee pyrkiä valitsemaan pienen hiilijalanjäljen tuotteita kuitenkin niin, ettei rakenteen toiminta kärsi ja että rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjälki pysyy mahdollisimman alhaisena. Materiaalien osuus päästöistä tulee kasvamaan tulevaisuudessa, sillä energiantuotanto muuttuu koko ajan vähäpäästöisemmäksi.

Vähähiilisyiden saavuttamiseksi elinkaaren hiilijalanjäljen arviointi on hyvä työkalu, sillä laskentatyökaluja hyödyntäessä korjausvaihtoehtojen vertailu on kätevää ja toteutettavissa jo ennen rakennushankkeen alkua. Suunnittelijoiden ja tilaajien toimiva yhteistyö on tärkeää etsittäessä taloudellisesti ja ympäristön kannalta parasta korjaustapaa. Usein kalliimpi toteutus, kuten lisälämmöneristämien, tuo suuremmat lämpöenergian säästöt verrattuna edullisempiin korjaustapoihin, kuten perusteellinen paikkaus- ja pinnoituskorjaus. Näitä ei kuitenkaan suoraan voi verrata, sillä ne sopivat erikuntoisten julkisivujen korjaukseen. Kiinnostuksen lisääntyessä ympäristöasioihin tilaajat saattavat motivoitua imago- ja säästösyistä valitsemaan vähäpäästöisiä ratkaisuja.

Tarkat lähtötiedot ovat oleellisia onnistuneen ja todellisuutta vastaavan laskelman teossa. Tässä työssä erityisesti materiaalitiedot olivat yksinkertaistetut, mutta todellisia laskelmia tehdessä käytössä olisi tarkemmat tiedot korjauksessa hyödynnettävistä materiaaleista. Tietoja on mahdollista muuttaa One Click LCA -ohjelmistoon, eli vertailua eri materiaalien ja korjausvaihtoehtojen välillä on helppo tehdä.

## LÄHTEET

Bionova Oy (2017). Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioimiseksi rakentamisen ohjauksessa. Saatavissa (viitattu 8.2.2020): [https://www.ym.fi/fi-FI/Maan kaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Vahahiilinen\\_rakentaminen/Vahahiilisen\\_rakentamisen\\_tiekartta](https://www.ym.fi/fi-FI/Maan kaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Vahahiilinen_rakentaminen/Vahahiilisen_rakentamisen_tiekartta)

Bionova Oy, One Click LCA verkkopohjainen laskentaohjelmisto versio 14.03.2020. Database version 7.6. Saatavissa rajoitetusti (viitattu 10.2.2020): <https://desk.zoho.eu/portal/oneclicklca/kb/>

Elementtisuunnittelu.fi (2020). Elementtirakentamisen historia. Saatavissa (viitattu 13.2.2020): <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>

Heljo J. & Vihola J. (2012). Energiansäästömahdollisuudet rakennuskannan korjaustoinnissa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Rakennustuotanto ja -talous. Raportti 8. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/116598>

Hemmilä K., Nykänen E. & Ojanen T. (2017). Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa. Opas. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Toimialat/Rakennustuoteteollisuus-RTT/Rakennusmateriaalit/rakenteellinen-energiatehokkuus-korjausrakentamisessa--opas/>

IPCC (2007). What is the Greenhouse Effect? Saatavissa (viitattu 19.4.2020): [https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-1-3.html)

Julkisivuyhdistys (2005a). Betonijulkisivut, pinnoitus- ja paikkauskorjaukset – yleiskuvaus. Juko-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, korjaustapakuvaukset. Saatavissa (viitattu 18.3.2020): <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Julkisivuyhdistys (2005b). Korjaustarpeen selvittäminen ja kuntotutkimukset. Juko-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, hankesuunnittelu. Saatavissa (viitattu 18.3.2020): <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Julkisivuyhdistys (2005c). Korjaustavan valinta. Juko-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, hankesuunnittelu. Saatavissa (viitattu 8.2.2020): <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeis.tokansio/>

Julkisivuyhdistys (2005d). Rakenteet ja korjausmahdollisuudet. Juko-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, hankesuunnittelu. Saatavissa (viitattu 10.2.2020): <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeis.tokansio/>

Julkisivuyhdistys (2006). Betonijulkisivut, purkaminen ja uudelleenverhous – yleiskuvaus. Juko-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi, korjaustapakuvaukset. Saatavissa (viitattu 10.3.2020): <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Kiinteistöposti (2010a). Betonijulkisivujen vaurioituminen. Beko-tutkimus-artikkelisarja. Saatavissa (viitattu 8.4.2020): <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/linkkeja/>

Kiinteistöposti (2010b). Suomalaisen betonikerrostalokannan korjaustarpeet. Beko-tutkimus-artikkelisarja. Saatavissa (viitattu 9.4.2020): <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/linkkeja/>

Kouhia I., Nieminen, J. & Pulakka, S. (2010). Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset. Espoo. VTT tutkimusraportti VTT-R-04017-10. Saatavissa (viitattu 18.3.2020): <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2010/VTT-R-04017-10.pdf>

Laskentapalvelut.fi (2020). Energiatehokkuuden laskeminen korjaus- ja muutostöissä -laskuri. Saatavissa rajoitetusti (viitattu 15.2.2020): [http://www.laskentapalvelut.fi/index\\_for\\_JRF.php](http://www.laskentapalvelut.fi/index_for_JRF.php)

Nieminen, J. & Virta, J. (2016). Rakennusten lisälämmöneristäminen. Kiinteistöalan Kustannus Oy ja Ympäristöministeriö. Helsinki. Saatavissa: [https://www.ym.fi/fi-FI/Maan kaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](https://www.ym.fi/fi-FI/Maan kaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus)

Nippala, E. & Vainio, T. (2016). Asuinrakennusten korjaustarve 2006-2035. VTT Technology, no.274. VTT Technical Research Centre of Finland. Espoo. Saatavissa (viitattu 20.3.2020): <https://cris.vtt.fi/en/publications/asuinrakennusten-korjaustarve-2006-2035>

Pellervon taloustutkimus PTT (2015). Asuinrakennusten korjaustarve. Saatavissa (viitattu 13.2.2020): <https://www.ptt.fi/julkaisut-ja-hankkeet/kaikki-julkaisut/asuinrakennusten-korjaustarve.html>

Rakennusteollisuus RT ry (2019). Asuntokanta. Saatavissa (viitattu 13.2.2020): <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuvio-pankki/Asuntomarkkinat/Asuntokanta/>

RAKLI (2019). RAKLI:n ilmastotietoisku. Saatavissa (viitattu 14.2.2020): <http://view.24mags.com/mobilev/5fb4b5d562250b85e25efae69594b71c#/page=1>

Tilastokeskus (2019a). Asuntokanta 2018. Saatavissa: (viitattu 13.2.2020): [http://www.stat.fi/til/asas/2018/01/asas\\_2018\\_01\\_2019-10-10\\_kat\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/asas/2018/01/asas_2018_01_2019-10-10_kat_001_fi.html)

Tilastokeskus (2019b). Rakennuskanta 2018. Saatavissa: (viitattu 13.2.2020): [http://www.stat.fi/til/rakke/2018/rakke\\_2018\\_2019-05-21\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/rakke/2018/rakke_2018_2019-05-21_kat_002_fi.html)

Tilastokeskus (2019c). Laatuseloste: Kasvihuonekaasut. Saatavissa (viitattu 11.2.2020): [https://www.stat.fi/til/khki/2018/khki\\_2018\\_2019-05-23\\_laa\\_001\\_fi.html](https://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_laa_001_fi.html)

Ympäristöministeriö (2019). Rakennuksen vähähiilisyys arviointimenetelmä. Helsinki. Saatavissa (viitattu 8.2.2020): <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161761>