



Betonisandwich-rakenteisen julkisivun korjausvaihtoehtojen hiilijalanjälki

Johanna Nummela

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2022

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Rakennustuotanto

NUMMELA, JOHANNA:

Betonisandwich-rakenteisen julkisivun korjausvaihtoehtojen hiilijalanjälki

Opinnäytetyö 68 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Huhtikuu 2022

Suomen kasvihuonepäästöistä noin kolmannes aiheutuu rakennetun ympäristön elinkaaresta. Rakennusten korjausten vaikutusta niiden elinkaaren hiilijalanjälkeen on tutkittu melko vähän. Tässä tutkimuksessa selvitettiin betonisandwich-julkisivujen korjausvaihtoehtojen vaikutuksia rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen. Tutkimuksen toimeksiantajana oli A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

Opinnäytetyössä tarkastellaan muun muassa betonisandwichrakenteisten julkisivujen korjaustarve, rakenteelle tyypillisimmät korjausvaihtoehdot ja korjaushankkeiden energiatehokkuusvaatimukset. Näiden lisäksi opinnäytetyössä tarkastellaan kattavasti muun muassa myös rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen muodostuminen, hiilijalanjäljen arviointimenetelmää, ulkovaippakorjauksien ilmasto-vaikutuksista tehtyjä tutkimuksia ja julkisivukorjausvaihtoehtojen hiilijalanjälkilaskennan tuloksia.

Hiilijalanjäljen laskenta suoritettiin ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaisesti ja One Click LCA-laskentaohjelmaa käyttäen. Laskenta tehtiin case-kohteen julkisivuille esitettäville neljälle erilaiselle korjausvaihtoehdolle. Jokaisesta korjausvaihtoehdosta saatiin vertailukelpoiset tulokset muun muassa kokonaispäästöille, päästöjen jakautumiselle sekä korjauksen vaikutuksista rakennuksen energiankulutuksesta aiheutuville päästöille.

Verhoavalla lisälämmöneristyskorjauksella rakennuksen lämmitysenergiasta aiheutuvia päästöjä saadaan vähennettyä noin 10 %. Korjausvaihtoehdoista vähäpäästöisin on ohutrappauseristejärjestelmällä toteutettu verhoava korjaus, jonka hiilipäästöjä voitaisiin vähentää merkittävästi kehittämällä vähäpäästöisempiä lämmöneristemateriaaleja järjestelmälle tyypillisen kivivillan tilalle. Ohutrappauseristekorjauksen hiilijalanjäljen takaisinmaksuajaksi saatiin 12–41 vuotta. Tarkemman takaisinmaksuajan selvittämiseen tarvitaan jatkotutkimuksia.

Asiasanat: betonisandwich, julkisivu, korjaus, hiilijalanjälki

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Construction Production

NUMMELA, JOHANNA:
Carbon Footprint of Repair Options for Concrete Sandwich Facades

Bachelor's thesis 68 pages, appendices 4 pages
April 2022

About one-third of Finland's carbon footprint is caused by the lifecycle of the built environment. There are only a few researches that have examined the effects of the carbon footprint of buildings in repair projects. The purpose of this study was to determine the effects of concrete sandwich facade repair options on the carbon footprint of the building's lifecycle. The study was commissioned by A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

The thesis explored the needs to repair concrete sandwich construction facades and their various repair options. The thesis also presents the carbon footprint formation in the life cycle of a building, the methods of assessing the carbon footprint, some previously conducted researches and the results of the calculations for the carbon footprint.

The calculations for the carbon footprint were made for four different facade repair options using the OneClick LCA computing program. The main results for emissions from each option were for total emissions, the distribution of emissions, and the effects on energy consumption and their emissions.

The research shows that additional thermal insulation repair can reduce energy consumption emissions by about 10 %. The thermal insulation system with a thin coat rendering has the smallest carbon footprint. The system uses rock wool as a thermal insulation and the carbon footprint can be reduced if any other heat insulator can be used instead of rock wool. When using a thermal insulation system with a thin coating, the repayment time for the carbon footprint is 12-41 years. A more accurate repayment time can be clarified by further research.

Key words: concrete, facade, repair, carbon footprint

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	JULKISIVUKORJAUKSET	8
2.1	Julkisivujen korjaustarve Suomessa	8
2.2	Julkisivukorjaushankkeen eteneminen	10
2.3	Betonisandwich-julkisivun korjausvaihtoehtoja	13
2.3.1	Kevyt pinnoitus- ja paikkakorjaus	13
2.3.2	Perusteellinen pinnoitus- ja paikkakorjaus	15
2.3.3	Verhouskorjaus eristerappauksella	16
2.3.4	Verhouskorjaus levyverhouksella	18
2.3.5	Ulkokuoren purkaminen ja uudelleen verhous	19
2.4	Julkisivukorjausten energiatehokkuusvaatimukset	20
3	RAKENNUKSEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLKI	23
3.1	Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen muodostuminen	23
3.2	Marinin hallitusohjelma	25
3.3	Rakennusteollisuuden tiekartta	26
3.4	Ympäristöministeriön vähähiilisyden tiekartta	27
3.5	Ympäristöministeriön vähähiilisyden laskentamenetelmä	28
3.5.1	Korjauskohteen hiilijalanjäljen arviointi	30
3.5.2	Ympäristöseloste EPD	32
3.5.3	Rakentamisen päästötietokanta	33
4	ULKOVAIPPAKORJAUKSEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLKEEN	34
5	LASKENTA	37
5.1	Case-kohdetiedot ja korjausvaihtoehdot	37
5.2	Laskennan vaiheet	39
6	TULOKSET	42
6.1	Laskelmien yhteenlasketut tulokset	42
6.2	Korjauksen vaikutus rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen	45
6.3	Yksittäisten korjaustoimenpiteiden hiilijalanjälki	46
6.4	Materiaalien ja rakennuksen energiankäytön yhteisvaikutukset	52
6.5	Tulosten luotettavuus	55
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	58
	LÄHTEET	61
	LIITTEET	65
	Liite 1 (2). Hiilijalanjälkilaskennassa huomioidut materiaalit	65
	Liite 2 (2). Hiilijalanjälkilaskennassa huomioidut materiaalit	66

Liite 3. Levyrappauslaskelmissa huomioitu rakenne.....	67
Liite 4. Räystäälaskelmissa huomioitu rakenne.	68

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutos aiheuttaa kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidin (CO₂) määrän lisääntymisen ilmakehässä (Ilmasto-opas n.d). Hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change) mukaan ilmaston lämpeneminen yli 1,5 asteen rajan kiihdyttää merkittävästi lajien sukupuuttoa, muuttaa useita alueita elinkelvottomiksi sekä uhkaa elintärkeitä vesivarantoja, ruokatuotantoa ja ekosysteemin toimivuutta. Ilmasto on lämmennyt jo reilun asteen esiteollisesta ajasta, mutta arktisilla alueilla lämpeneminen on kaksi kertaa nopeampaa kuin muualla maailmassa. Nykytoimilla maapallon keskilämpötila nousisi noin 2,5 asteeseen. (WWF n.d.) Uusimman hallitustenvälisen ilmastonmuutospaneelin raportin mukaan ilmastonlämpeneminen on jo aiheuttanut peruuttamattomia muutoksia, joten laajamittaisia toimia päästöjen vähennykseen tarvitaan välittömästi (Ympäristöministeriö 2022.)

Vuonna 2018 Suomen kasvihuonepäästöt olivat yhteensä noin 56,6 miljoonaa tonnia CO₂e (hiilidioksidiekvivalentti). Noin 30 % Suomen kasvihuonepäästöistä tulee rakennetun ympäristön elinkaaresta käyttövaiheen energiankäyttö huomioiden. Ilman energiankäyttöä osuus on noin 7 %, joten suurin osa rakennetun ympäristön päästöistä tulee rakennuksen käytön energiankulutuksesta. (Gaia Consulting Oy 2020, 9.)

Opinnäytetyö toteutetaan yhteistyössä A-Insinöörit Suunnittelu Oy:n kanssa. A-Insinöörit on omalta osaltaan mukana vastaamassa ilmastonmuutoksen haasteisiin esimerkiksi ohjaamalla suunnittelua vähähiilisempiin ratkaisuihin. Julkisivujen korjausvaihtoehtoja ohjataan tällä hetkellä lähinnä vain kustannustehokkailla ratkaisuilla. Työn tavoitteena on selvittää betonisandwich-rakenteisen julkisivun korjauksen vaikutus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen ja verrata tyypillisimpien korjausvaihtoehtojen hiilijalanjälkeä. Tarkastelu sisältää betonisandwichrakenteisen julkisivun erilaisten korjausvaihtoehtojen hiilijalanjälkilaskelmat julkisivuneliötä kohden. Tarkastelussa otetaan huomioon myös remontin vaikutus rakennuksen energiankulutukseen sekä korjauksen elinkaari-päästöt, joten laskelmat tehdään myös per lämmitetty nettoala per vuosi.

Työn julkisivukorjauksiin liittyvässä teoriaosuudessa keskitytään betonisandwichrakenteisten julkisivujen korjaustarpeeseen, korjaushankkeen kulkuun, korjaustapoihin sekä korjaukseen liittyvään energiatehokkuuden parantamiseen ja sen lainsäädäntöön. Työn hiilijalanjälkeen liittyvässä teoriaosuudessa keskitytään rakennusten elinkaaren hiilijalanjäljen muodostumiseen, nykyisen hallitusohjelman tavoitteisiin, sekä hiilijalanjäljen laskentaohjeisiin.

Ilmastovaikutusten arvioinnit rajataan ainoastaan betonisandwich julkisivurakenteeseen, eikä tarkastelussa oteta huomioon muita julkisivukorjaukseen liittyviä toimenpiteitä kuten esimerkiksi ikkunoiden ja ovien uusimista, yläpohjan lisälämmöneristämistä eikä sokkelin korjaustoimenpiteitä.

Tutkimus suoritetaan todellisen Case-kohteen avulla, johon on hankesuunnitelman pohjalta toteutettu kevyt julkisivuremontti. Teoriaosuus koostetaan aiheesta löytyvästä kirjallisuudesta, ohjeista sekä tällä hetkellä voimassa olevista määräyksistä ja laeista. Laskentaosuus toteutetaan One Click LCA – laskentatyökalua apuna käyttäen. Laskennan toteutuksessa ja tulosten esittämisessä käytetään sekä ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmän 2019 ohjeistusta, että lausuntokierroksella olevaa päivitettyä ympäristöministeriön vähähiilisyden arviointimenetelmän 2021 ohjeistusta.

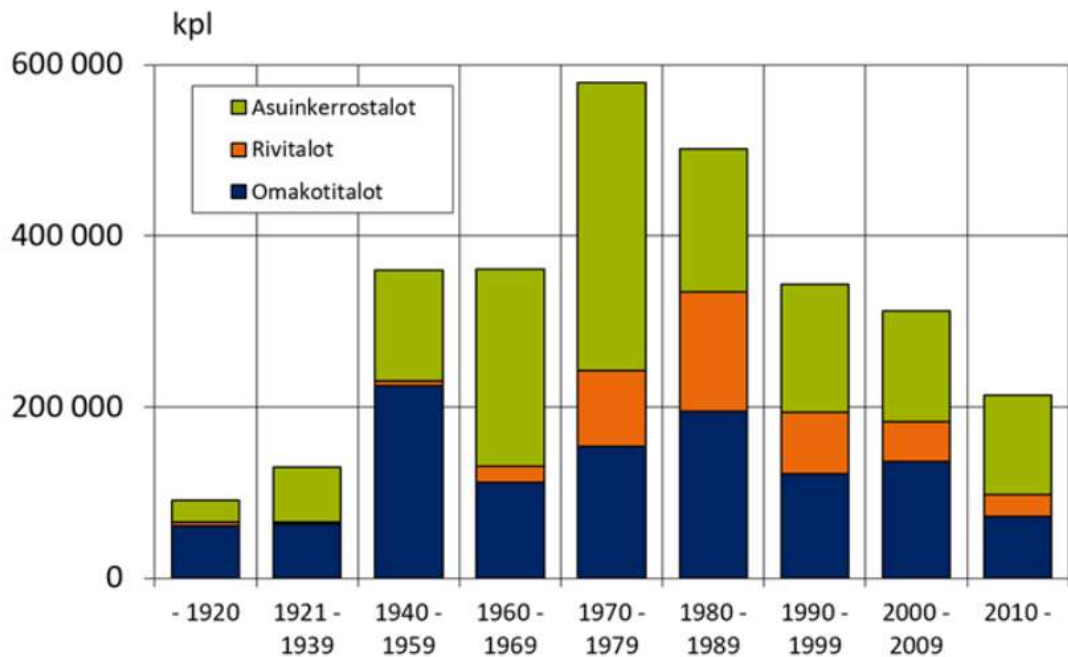
2 JULKISIVUKORJAUKSET

2.1 Julkisivujen korjaustarve Suomessa

Rakennusten korjaaminen on osa suunnitelmallista ja hyvää kiinteistönpitoa. Kiinteistön omistajan kannattaa olla tietoinen siitä, milloin rakenneseosien tekniset käyttöiät alkavat olla loppuillaan, sillä korjausten laiminlyönti voi johtaa useiden suurien kokonaisuuksien korjaamiseen kerralla. (Kerrostalot 1880–2000 2006, 248.) Esimerkiksi pinnoitetun betonijulkisivun keskimääräinen suunniteltu tekninen käyttöikä normaalilla rasitusluokalla on noin 50 vuotta (RT 18-10922 2008, 7–6.) Rakennuksen korjaus- ja muutostyöt tulisi tehdä pitkän tähtäimen korjaussuunnitelman (PTS) pohjalta, jossa kuntoarvioija on arvioinut rakennuksen korjaustarpeet seuraavalle 10–20 vuoden ajalle ja päivittyy sitä mukaa, kun korjauksia tehdään. (Kerrostalot 1880–2000 2006, 248.)

Kuviosta 1 nähdään, että valtaosa Suomen asuntokannasta on rakennettu 1960–1980 välisenä aikana. Kuviosta nähdään myös, että asuntokannasta suurin osa on asuinkerrostaloja. Suomen kerrostalo- ja taloyhtiökanta sisältää lähes 70 miljoonaa neliometriä julkisivua, joista noin 43 % on betonisia julkisivuja. Betonisten julkisivujen osuus on suurta varsinkin 1970 luvun kohteissa. Tällä hetkellä suurin osa korjaustarpeen alaisina olevia julkisivuja on 1973 valmistuneet pinnoitetut betonijulkisivut, joita on yhteensä noin 700 000 m². Näiden korjausten arvioitu arvo on noin 110 miljoonaa euroa. (Kiinteistöposti, 2022.)

Asuntokannan ikäjakauma vuonna 2016



Lähde: Tilastokeskus

KUVIO 1 Asuntokannan ikäjakauma vuonna 2016 (Rakennusteollisuus RT ry 2019).

Suuren asuntokannan kyseisinä vuosikymmeninä selittää 1960–1970-luvulla tapahtunut suuri muuttovirta maalta kaupunkiin, elinkeinorakenteen muutos ja työpaikkojen keskittyminen kaupunkiin. Tämä toi rakentamiseen haasteita, sillä asuntoja oli saatava nopeasti sekä edullisesti. Rakennusteollisuus kykeni vastaamaan tähän haasteeseen suur- ja pöytämuottitekniikan sekä kenttävalimojen avulla, joissa ensimmäiset sandwich-julkisivuelementit valmistettiin. BES-järjestelmää, eli betonielementtistandardia alettiin kehittämään vuosina 1968–1970. Se perustui muun muassa kantaviin pääty- ja väliseiniin sekä ei-kantaviin sandwich-ulkoseiniin. Järjestelmässä standardisoitiin betonielementit sekä niiden liitosdetaljit siten, että urakoitsijat voivat hankkia valmisosia samaan rakennukseen useilta toimittajilta. Yleisin betonielementtijulkisivu onkin ollut sandwich-rakenteinen ja se on säilynyt vallitsevana tekniikkana vuosikymmeniä tähän päivään. (Elementtisuunnittelu 2020.)

Betoniteollisuuden tavoitteena on ollut kehittää betonijulkisivujen laatua, säilyvyyttä ja paremmin toimivia ulkoseinärakenteita (Rakennustieto Oy 2002, 3). Kuviossa 2 on esitetty betonijulkisivujen tekninen kehitys 1960-luvulta vuosisadan vaihteeseen. Kuvasta voidaan todeta, että esimerkiksi betonin pakkasenkestävyysvaatimukset esitettiin ensimmäisen kerran normeissa vasta vuonna 1980. Tästä syystä erityisesti ennen 1980-lukua rakennettujen rakennusten korjausten yhteydessä tulisi kiinnittää huomiota rakennukseen kohdistuvan kosteusrasituksen alentamiseen (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 26).

PITKÄAIKAISKESTÄVYYS				
1960	1970	1980	1990	2000
by 47 Laatuohjeet				
Julkisivu 2000 -ohjeet				
Betoniset julkisivut - ohje, RTT				
Säilyvyysohjeet, by 32				
RST-raudoitus käyttöön				
Pakkasenkestävyysvaatimus				
Pakkasenkestävyystudkimus				
Huokosjako				
by 9 Suojahuokostus				
Myös paarreteräkset RST				
Ruostumaton ansas				
Betoninormit 2000				
Betonipeite 15 mm	16 mm	25 mm (- 10 mm)	25 mm, by 32	12 mm (8 mm)
Max raekoko (pesub.) 25 mm	16 mm	8 mm (4 mm)		
Betonin lujuus K20	K25	vaikeat olosuhteet (klinkkerit) normaalit olosuhteet	K30, by 9 K25, by 9	K45, by 32 K35 - K 45
Ulkokuoren paksuus 50 mm			50 - 85 mm	70 - 85 mm
Tehdasvalmistus alkaa	Luovuttiin lämpökäsittelystä > 60 °C			Pastamäärän kontrollointi
1960	1970	1980	1990	2000
Lämmöneristepaksuus 70 mm	90 mm	120 mm	140 mm	Uritettu Ristiin uritettu
	Eristeen lujuus 2 kN/m ²	3 kN/m ²	4 kN/m ²	
	BES-julkaisu -> moduulimitoitus, tyyppidetallit			
	by 4 Luokitusohjeet by 13		by 40	
	Toleranssit, SBK RT-kortti		Toleranssit, RTT	
	A-luokan julkisivuvalmistajat/SFS			
	Eriytetty julkisivu			
	Kaksoiskuorijulkisivu			
	Saumausten laatujärjestelmä			

KUVIO 2 Betonijulkisivujen tekninen kehitys (Rakennustieto Oy 2002).

2.2 Julkisivukorjaushankkeen eteneminen

Korjaushankkeen eteneminen voidaan jakaa viiteen eri vaiheeseen, joista jokainen on tärkeässä roolissa koko korjaushankkeen onnistumisen kannalta. Jokainen vaihe on sisällöltään erilainen ja jaoteltu eri vastuutahoille. Kuviosta 3 nähdään tyypillisen julkisivukorjaushankkeen kulku.



KUVIO 3 Korjaushankkeen kulku (A-Insinöörit Suunnittelu Oy n.d.).

Korjaushanke alkaa aina korjaustarpeen toteamisesta. Tilaaja teettää kuntotutkimuksen, joka tehdään aina tarkoituksenmukaisessa laajuudessa (Haukijärvi 2005a, 7). Vain laajalla ja oikein kohdistetulla kuntotutkimuksella voidaan saada riittävästi tietoa korjaustavan ja aikataulun valinnan pohjaksi. Puutteellisten tietojen pohjalta valittu korjaustapa on suuri riski korjauksen onnistumisen kannalta, sillä silloin otetaan merkittäviä taloudellisia ja rakenteiden kuntoon liittyviä riskejä. (Suomen Betoniyhdistys ry 2014, 6.) Tutkimuksessa esiin tulleet tulokset esitetään tilaajalle, joka päättää jatkotoimenpiteistä. Jatkotoimenpiteenä voi olla hankkeen siirtäminen tai siitä luopuminen, jos tulokset osoittavat, että siirtäminen ei aiheuta terveellisyyteen tai turvallisuuteen liittyviä riskejä. Jos tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että julkisivulle on suositeltavaa teettää korjaustoimia lähivuosina, voi tilaaja tehdä päätöksen rakennuttajan kiinnittämisestä hankkeeseen ja suunnittelun käynnistämisestä. (Haukijärvi 2005a, 7.)

Korjaustarpeen selvityksen jälkeen tilaajan kannattaa käynnistää hankesuunnittelu, joka on yksi tärkeimmistä korjaushankkeen vaiheista, sillä tarveselvitys- ja hankesuunnitteluvaiheessa tehdyt päätökset muodostavat lähes kokonaan tulevan hankkeen kustannukset. Hankesuunnitelmassa asetetaan laajuutta, toimivuutta, laatua, kustannuksia, ajoitusta, ylläpitoa sekä ympäristövastuita koskevat tavoitteet ja esitetään erilaisia mahdollisia korjausvaihtoehtoja, jotka pohjautuvat korjaustarpeen arvioinnissa tehtyyn kuntotutkimukseen. (RT 18-11220 2016, 1;

A-Insinöörit n.d.) Hankesuunnittelutyössä suunnittelija kokoaa tarvittavat selvitykset ja laatii soveltuvat korjausvaihtoehdot tilaajan tavoitteet ja viranomaisvaatimukset huomioon ottaen. (RT 18-11220 2016, 5.) Hankesuunnitelma sisältää esimerkiksi tiedot hankkeen kohteena olevasta rakennuksesta, lyhyen kuvauksen hankkeen sisällöstä ja suunnitelluista toimenpiteistä, yhteenvedon kuntotutkimusten tuloksista, alustavan kustannusarvion sekä alustavan aikataulun (Haukijärvi 2005a, 9).

Hankesuunnitelman perusteella tehdyn korjaustavan valinnan pohjalta tilaaja valitsee hankkeeseen rakennuttajan, joka ohjaa koko korjaushanketta. Rakennuttaja kilpailuttaa kohteeseen korjaussuunnittelijan. Korjaushankkeen onnistumisen kannalta on tärkeää, että suunnittelijan kokemus, pätevyys sekä referenssit vastaavat korjauskohteen ominaisuuksia. (Haukijärvi 2005a, 9.) Korjaussuunnittelussa on usein mukana rakennesuunnittelijan lisäksi myös arkkitehti. Varsinainen korjaussuunnittelu sisältää korjaustuotteiden valinnan, laatuvaatimusten laatimisen, korjattavien alueiden määrälaskennan, työselitykset ja piirustukset (kuvio 3). Korjauksen toteutusvaiheen sujuvuuden ja kustannustehokkuuden kannalta on tärkeää, että korjaussuunnittelu on tehty maankäyttö- ja rakennuslain mukaisesti huolellisesti ja laadukkaasti.

Ennen toteutusvaihetta tilaaja valitsee urakkamuodon ja urakoitsija valitaan tarjouskilpailun kautta. Urakkakilpailutusvaiheessa rakennuttaja laatii tarjouspyynnön korjauksesta. Rakennuttaja esittää tarjoukset tilaajalle, joka voi rakennuttajan kanssa yhdessä päättää korjauksen toteuttajan. (Haukijärvi 2005g, 5.) Urakkasopimus tehdään aina kirjallisesti, ja jos hankkeeseen liittyy rakennuttajan kilpailuttamia sivu-urakoita, alistetaan ne yleensä pääurakkaan. Aivan kuin suunnittelijan ja rakennuttajan valinnassa, tulee urakoitsijan olla kyvykäs selviytymään hankkeesta, jotta rakennushankkeen toteutusvaihe onnistuu turvallisesti ja suunnitelmien mukaisesti. (Haukijärvi 2005a, 9.)

Toteutusvaiheessa urakoitsija, rakennuttaja ja suunnittelija ovat vastuussa siitä, että työmaalla käytetyt korjausmateriaalit ovat kohteeseen soveltuvat, työmenetelmät tehdään suunnittelijan ja materiaalinvalmistajan ohjeiden mukaisesti, rakennusaikaisia olosuhteita seurataan ja, että työn laatua seurataan vaatimusten mukaisesti (kuvio 3). Toteutusvaihe päättyy luovutukseen, jonka jälkeen alkaa

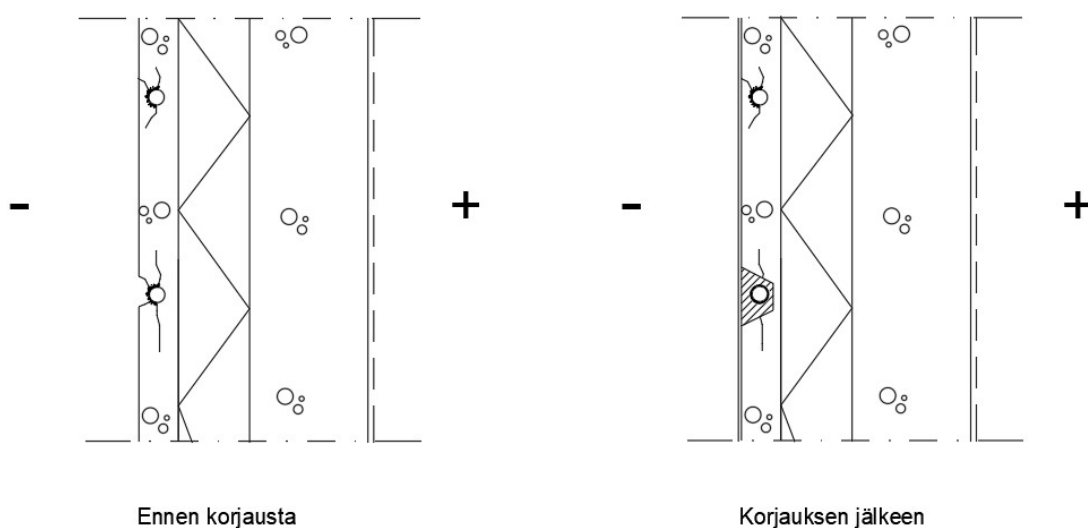
urakkasopimuksessa määritelty takuu-aika heti kun vastaanottotarkastus on tehty. Takuutarkastuksen jälkeen vastuu lopputuotteesta siirtyy tilaajalle, joka vastaa korjatun julkisivun huoltotoimenpiteistä. (Haukijärvi 2005a, 10.)

2.3 Betonisandwich-julkisivun korjausvaihtoehdot

Tässä työssä keskitytään viiteen tyypillisimpään tapaan korjata betonisandwich-rakenteisia julkisivuja. Korjausvaihtoehdot pohjautuvat sovellettavin osin tyypillisesti suomalaisessa rakennuskannassa käytettyihin korjausvaihtoehtoihin, jotka voidaan jakaa karkeasti kolmeen suurempaan kokonaisuuteen: säilyttäviin pinnoitus- ja paikkakorjauksiin, verhouskorjauksiin ja purkaviin korjauksiin (Haukijärvi 2005f, 1). Korjausten toimintaperiaatteena on vaurioiden etenemisen hidastaminen, joka perustuu kosteusrasituksen alentamiseen (Haukijärvi 2005d, 3).

2.3.1 Kevyt pinnoitus- ja paikkakorjaus

Pinnoitus- ja paikkakorjaukset ovat kevyitä korjauksia ja soveltuvat käytettäväksi yleensä vain vähän vaurioituneissa rakenteissa. Kevyen korjauksen käyttöikä (5–10 vuotta) jää yleensä raskaampia korjaustapoja lyhemmäksi, mutta investointikustannukset ovat alhaiset (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 50). Pinnoitus- ja paikkakorjauksilla säilytetään vanhan rakenteen ominaisuuksia, eikä toimintatapaa muuteta merkittävästi (Haukijärvi 2005d, 3.) Tämä tarkoittaa sitä, ettei korjauksella pystytä myöskään vaikuttamaan esimerkiksi rakenteen energiatehokkuuden parantamiseen. Betonijulkisivujen pinnoitus- ja paikkakorjauksiin kuuluu pääasiassa elastisten saumamassojen korjaukset, yksittäisten vaurioiden paikkakorjaukset sekä huoltomaalaus (Haukijärvi 2005d, 3.) Kuvassa 1 on esitetty pinnoitus- ja paikkakorjauksen periaatekuva betonijulkisivuilla.



KUVA 1 Kevyen pinnoitus- ja paikkakorjauksen periaatekuva.

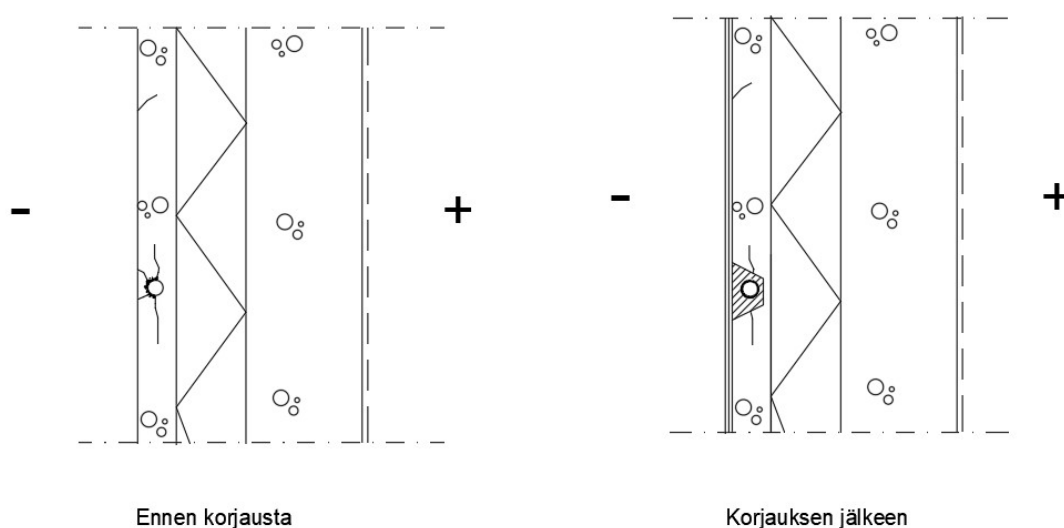
Huoltomaalauksella tarkoitetaan kevyttä maalauskorjausta, jossa vanha rakenne maalataan uudelleen vanhan maalin päälle. Koska vanhaa pinnoitusta ei poisteta, tulee ennen päällemaalausta selvittää vanhan julkisivupinnoitteen tyyppi ja kunto. Maalityypin selvittäminen on tärkeää huoltomaalauksen onnistumisen ja kestämisen kannalta. Jos vanha julkisivu pestään, tulee ennen maalausta selvittää myös maalin asbestipitoisuus. Maalauksen keskeisin tuote on uusi maali tai pinnoite, joka on yhteensopiva tyypiltään sekä tartuntaominaisuuksiltaan vanhan maalipinnoitteen kanssa. (Haukijärvi 2005d, 9.)

Saumakorjauksessa korjataan tai uusitaan betonijulkisivun elastiset elementtisaumat ja on yleensä olennainen osa muita pinnoitus- ja paikkaustyyppisiä korjauksia. Saumauksen tyypillinen rakenne koostuu elastisesta saumamassasta, jonka takana on pohjanauha. Saumakorjaus on suositeltavaa toteuttaa aina kauttaaltaan uusimalla. Uusimisessa tulee huomioida mahdolliset saumoissa olevat PCB- ja lyijy-yhdisteet, jotka ovat terveydelle ja ympäristölle haitallisia.

Uusimiseen sisältyviä keskeisiä tuotteita ovat saumojen tuuletusputket tai kotelot, pohjanauha, pohjusteaine ja saumamassa. (Haukijärvi 2005d, 5, 7.)

2.3.2 Perusteellinen pinnoitus- ja paikkakorjaus

Perusteellisella pinnoitus- ja paikkakorjauksella tarkoitetaan sellaista korjaustapaa, jossa vanhasta rakenteesta uusitaan näkyvien korroosiovauriokohtien lisäksi myös sellaisia kohtia, joissa itse vaurio ei ole vielä edennyt näkyväksi. Laastipaikkausten jälkeen rakenne pinnoitetaan uudelleen kauttaaltaan. Korjauksessa voidaan paikata myös pieniä alkavia pakkasrapautuneita vaurioita. Korjaus soveltuu käytettäväksi silloin, kun julkisivussa on vielä kohtuullisen vähän vaurioita ja kun korjaukselta halutaan kohtalaista varmuutta rakennuksen ulkonäköä kuitenkaan muuttamatta. (Haukijärvi 2005d, 17–18.) Tällä korjauksella ei pystytä vaikuttamaan rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen. Perusteellisella pinnoitus- ja paikkakorjauksella saadaan hieman pidempi käyttöikä (10–20 vuotta) kuin kevyellä pinnoitus- ja paikkakorjauksella (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 50). Kuvassa 2 on esitetty perusteellisen pinnoitus ja paikkakorjauksen periaatekuva.



KUVA 2 Perusteellisen pinnoitus- ja paikkakorjauksen periaatekuva.

Korjaaminen toteutetaan siten, että koko julkisivu hiekkapuhalletaan kauttaaltaan. Esiin tulleissa korroosiovauriokohdissa sijaitsevat teräkset piikataan esiin, puhdistetaan ruosteesta ja suojataan korroosiosuojalaastilla, jonka jälkeen kohdat täytetään paikkauslaastilla ja viimeistellään julkisivun pinnoitteen mukaisesti.

Maalatuissa betonijulkisivuissa tämä tarkoittaa sitä, että koko julkisivun pinta ta-
soitetaan ja pinnoitetaan uudelleen. Korjauksen yhteydessä suositellaan myös
elastisten saumamassojen uusimista kauttaaltaan. Laastipaikkauksen vaiheita
on useita, joten korjaukseen käytettäviä keskeisiä materiaalejakin on useita: kor-
roosiosuojalaasti, tartuntalaasti, paikkauslaasti, ylitasoituslaasti sekä pinnoite.
(Haukijärvi 2005d, 17–18.)

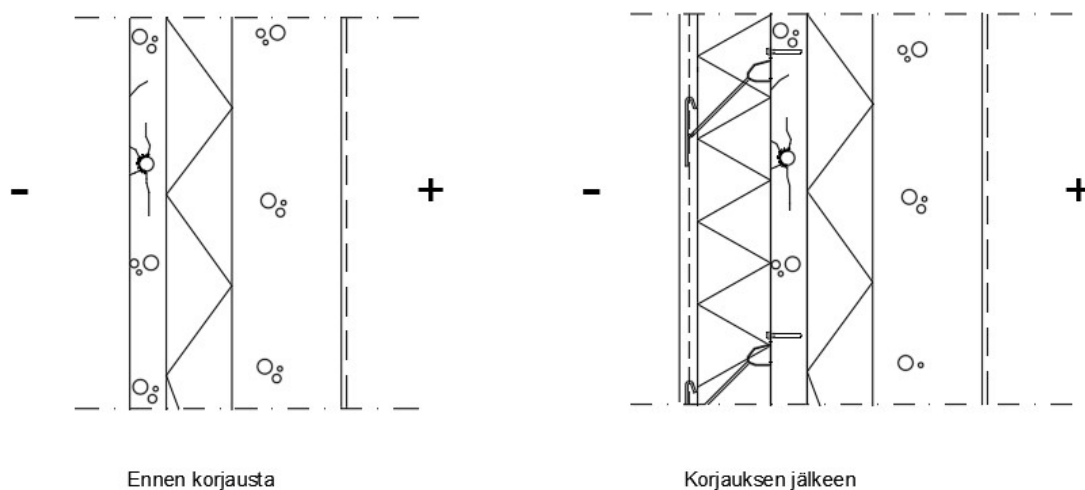
2.3.3 Verhouskorjaus eristerappauksella

Verhouskorjaus on korjaustapa, jossa vanha julkisivupinta peitetään uudella pin-
tarakenteella. Rakenteeseen kuuluu olennaisena osana lisälämmöneristys, joka
sijoitetaan vanhan rakenteen ulkopuolelle. (Haukijärvi 2005h, 4.) Verhouskor-
jauksessa vauriot jäävät uuden pintarakenteen alle, jolloin vanha ulkokuori jää
sellaiseen olosuhteeseen, jossa vaurioiden eteneminen pysähtyy lähes koko-
naan. Tämä perustuu kosteusrasituksen alentumiseen ja siihen, että vanhan ul-
kokuoren lämpötila noustessa lisälämmöneristykseen avulla, rakenne kuivuu pa-
remmin eikä vanha ulkokuori pääse enää jäätymään. Näin ollen esimerkiksi pak-
kasrapautumista ei enää tapahdu. (Haukijärvi 2005h, 5.)

Verhouskorjaus soveltuu käytettäväksi varsin pitkälle vaurioituneisiin julkisivura-
kenteisiin. Verhouskorjaus lisää vanhan rakenteen painoa, jonka vuoksi on tär-
keä varmistaa, ettei vaurioituminen ole heikentänyt vanhan ulkokuoren kiinnitys-
varmuutta. Vanhan ulkokuoren lisäkiinnitys on hyvin yleistä verhouskorjauksen
yhteydessä. (Haukijärvi 2005h, 4.) Verhouskorjauksella käyttöikä saadaan ver-
housratkaisusta riippuen 15–50 vuotta (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 50).
Tällä korjauksella voidaan vaikuttaa merkittävästi myös rakennuksen energiate-
hokkuuden parantamiseen. Tuulettumattomassa eristerappausverhouskorjauk-
sessa uusi lämmöneristekerros asennetaan vanhan ulkokuoren päälle. Läm-
möneriste toimii rappausalustana, jossa käytetään joko kolmikerrosrappaus-
ta tai ohutrappaus- (Haukijärvi 2005h, 7.)

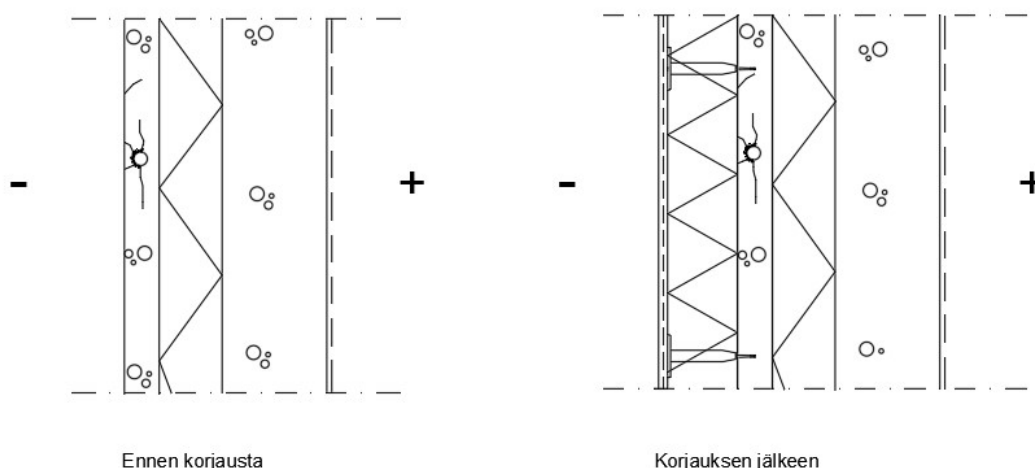
Kolmikerrosrappaus koostuu kolmesta rappauskerroksesta, johon kuuluu pohja-
rappaus, täyttörappaus sekä pintarappaus. Pintarappaus voidaan tehdä värilli-
sellä pintarappauslaastilla tai vaihtoehtoisesti pintarappaus voidaan maalata

kalkki-, kalkkisementti- tai silikaattimaalilla. Kolmikerrosrappaukseen kuuluu olennaisena osana myös lämmöneristeen ulkopintaan asennettava metalliverkko, mikä kiinnitetään rakennuksen vanhaan julkisivuun mekaanisesti. (Haukijärvi 2005i, 15.) Kuvassa 3 on esitetty kolmikerrosrappauseristekorjauksen periaatekuva.



KUVA 3 Tuulettumattoman eristerappauskorjauksen periaatekuva kolmikerrosrappauksella.

Ohutrappaus koostuu kahdesta rappauskerroksesta, johon kuuluu pohjarappaus ja pintarappaus. Pintarappaus voidaan tehdä värillisellä pintarappauslaastilla tai se voidaan maalata. Pohjarappaukseen asennetaan lasikuituverkko, mitä ei yleensä kiinnitetä mekaanisesti. (Haukijärvi 2005j, 13.) Kuvassa 4 on esitetty ohutrappauseristekorjauksen periaatekuva.



KUVA 4 Tuulettumattoman eristerappauskorjauksen periaatekuva ohutrappauksella.

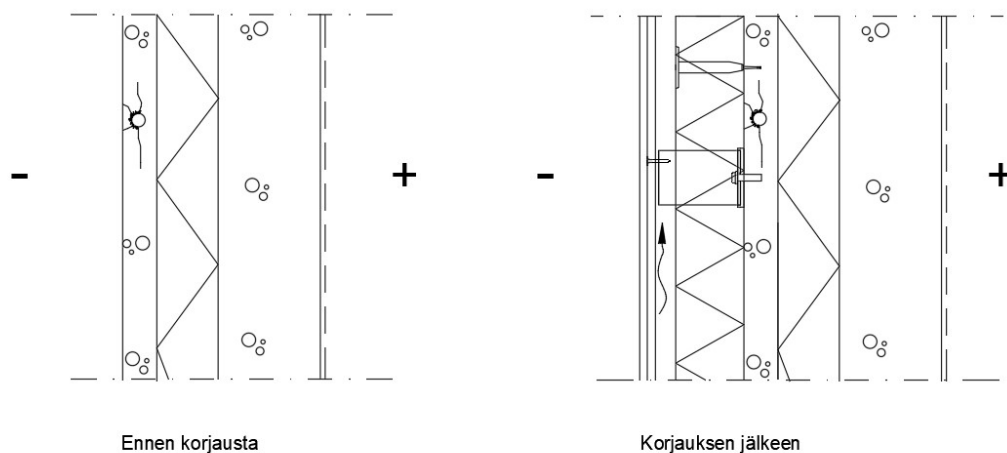
Eristerappaus on tuulettumaton rakenne, jonka vuoksi uusi pinta tehdään yhtenäiseksi ja saumattomaksi, jotta vesivuotoja ei pääse tapahtumaan. Lämmöneristeessä oleva ylimääräinen kosteuden on päästävä kuivumaan rakenteen ulkopinnan läpi, joten eristerappauksessa tulee käyttää riittävän vesihöyrynläpäiseviä tuotteita. Kosteusteknisen toimivuuden edellytyksenä on myös se, että erilaiset sauma- ja liitoskohdat on toteutettu oikein ja että rappauskerrosten kutistuminen sekä lämpö- ja kosteusliikkeet on otettu huomioon suurten halkeamien syntymisen ehkäisemiseksi. (Haukijärvi 2005h, 6.)

Eristerappauksen keskeisimmät tuotteet ovat pääosin samanlaiset riippumatta siitä, onko kyseessä kolmikerros- vai ohutrappausjärjestelmä: lämmöneriste, kiinnikkeet, rappausverkko, rappauslaastit, pinnoitteet, ja muut liittyvät tarvikkeet kuten sokkelipelti ja liikuntasaumapelti. (Haukijärvi 2005h, 8,11.)

2.3.4 Verhouskorjaus levyverhouksella

Tuulettuvan levyverhouskorjauksen periaatekuva on esitetty kuvassa 5. Levyverhouskorjauksessa uusi ulkopinta tehdään julkisivulevyillä, -kaseteilla tai rapattavalla levyllä, jotka kiinnitetään vanhan ulkokuoren pintaan asennettavaan ranka-

rakenteeseen. Rankarakenteeseen asennetaan lisälämmöneristys. Lisälämmöneristysten ja levyverhoilun välissä on oltava yhtenäinen tuuletusväli, jonka kautta rakenteessa oleva kosteus poistuu. (Haukijärvi 2005h, 17.)



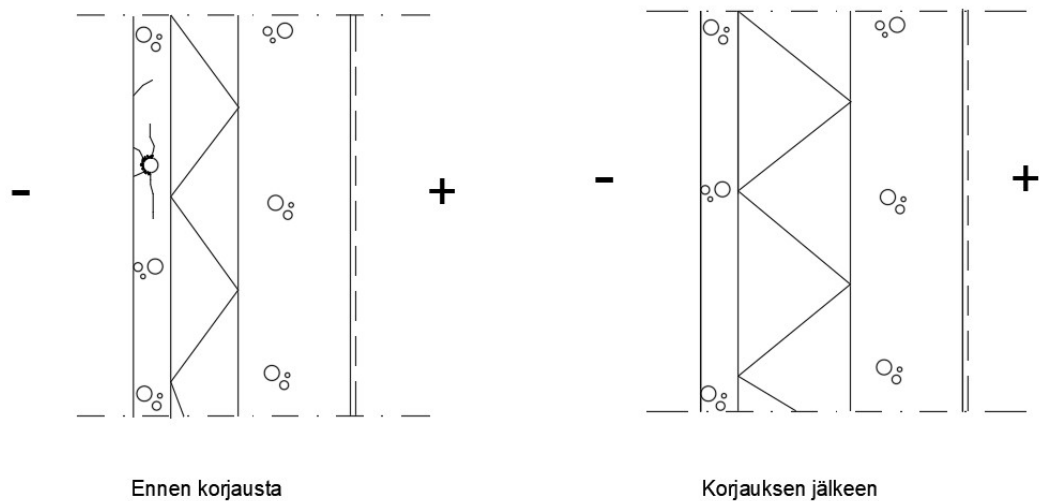
KUVA 5 Tuulettuvan levyverhouskorjauksen periaatekuva.

Keskeisimmät materiaalit levyverhouskorjauksella on yleensä: rankarakenteet, lämmöneriste, verhouslevyt, kiinnikkeet, kiinnitysjärjestelmä ja liittyvät tarvikkeet kuten pellitykset, listat ja profiilit. (Haukijärvi 2005h, 18.)

2.3.5 Ulkokuoren purkaminen ja uudelleen verhous

Ulkokuoren purkavan korjauksen periaatekuva uudella kuorielementillä on esitetty kuvassa 6. Ulkokuoren purkamisella ja uudelleen verhoilulla tarkoitetaan sellaista korjaustapaa, jossa vanha ulkokuori ja lämmöneristeet puretaan kauttaaltaan pois, jonka jälkeen ulkoseinään asennetaan uudet lämmöneristeet ja pintaverhousrakenteet. Korjaus soveltuu sellaisille rakenteille, joissa betonirakenteiden vauriot ovat edenneet erittäin pitkälle. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi tilannetta, jossa betonirakenteessa on pitkälle edennyttä pakkasrapautumista tai lämmöneristeissä esiintyy laajaa tai runsasta mikrobikasvustoa. (Haukijärvi 2005e, 4.) Uudella kuorielementillä saadaan rakennukselle käyttöikää yli 50 vuotta (Suomen Betoniyhdistys ry 2019, 50). Uusi pintaverhousrakenteet voidaan toteuttaa myös esimerkiksi levyverhouksella, jolloin käyttöikä jää hieman lyhyemmäksi ja rakennuksen ääneneristävyys heikkenee betonikuoren purkamisen yhteydessä.

Korjausratkaisulla voidaan vaikuttaa kuitenkin merkittävästi rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen.



KUVA 6 Ulkokuoren purkavan korjauksen periaatekuva uudella kuorielementillä.

Keskeisimmät materiaalit korjauksessa riippuvat siitä, millainen uusi pintaverhousrakenne valitaan. Uusi pintaverhousrakenne voi olla eristerappaus, levyverhous, muuraus tai kuorielementti. (Haukijärvi 2005e, 4.)

2.4 Julkisivukorjausten energiatehokkuusvaatimukset

Rakennusten lämmityksen osuus on noin 32 % Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Tämän vuoksi korjausrakennushankkeiden yhteydessä rakennuksen energiatehokkuutta on parannettava silloin, kun se on teknisesti ja taloudellisesti järkevää. Suurin osa asuntokannasta koostuu jo olemassa olevista rakennuksista ja siksi vanhojen rakennusten korjausten yhteydessä tehdyllä energiatehokkuuskorjauksella on merkittävä vaikutus koko Suomen energiatehokkuuden parantamiseen. (Rakennusteollisuus RT ry n.d.) Esimerkiksi parantamalla rakennuksen energiatehokkuutta lisälämmöneristävällä julkisivukorjauksella, voidaan lämmönkulutusta pienentää jopa 13 % alkuperäiseen rakenteeseen verrattuna (Linne 2010, 2). Moniin korjaus- ja muutostöihin onkin satavilla yhteiskunnallista taloudellista tukea, esimerkiksi energia-avustuksia, joilla tuetaan asuinrakennuksissa

tehtäviä energiataloutta parantavia toimenpiteitä. (Kerrostalot 1880–2000 2006, 249–250.)

Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä säädetään ympäristöministeriön asetuksella 4/13, joka tuli voimaan 1.9.2013 (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu n.d). Ympäristöministeriön asetuksen 4/13 mukaan korjaus- tai muutostyöhankkeeseen ryhtyvän on lupaan tarvittavan suunnittelun yhteydessä esitettävä toimenpiteet, joilla rakennuksen energiatehokkuutta aiotaan parantaa rakennusosittain, järjestelmittäin tai koko rakennuksesta hankkeen laajuuden ja päättämänsä tavan mukaisesti. Asetuksessa annetaan kolme vaihtoehtoista reittiä energiatehokkuuden parantamiseen, joista kiinteistön omistaja voi valita sopivimman (Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu n.d). Kiinteistön omistaja voi parantaa rakennuksen energiatehokkuutta täyttämällä rakennusosakohtaiset vaatimukset, teknisten järjestelmien vaatimukset tai e-lukuvaatimukset rakennusluokittain (Ympäristöministeriön asetus 4/13, 2).

Ulkovaippakorjauksissa energiatehokkuutta parannetaan rakennusosakohtaisesti. Rakennusosakohtaisessa energiatehokkuuden parantamisen suunnittelussa ja toteutuksessa on noudatettava seuraavia vaatimuksia: ”Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin enintään $0,17\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0,5$, kuitenkin $0,60\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$ tai parempi.” (Ympäristöministeriön asetus 4/13 2013, 2.)

Lämmönläpäisykerroin (U-arvo) kertoo rakenteen vapauttamasta lämpöhäviöstä. Olemassa olevien rakennusten lämmönläpäisykerroin selvitetään energiatodistuksesta, erillisen tarkastuksen yhteydessä tai rakennuksen asiakirjoista, kuten piirustuksista tai rakennusaikaisista määräyksistä. Jos rakenteiden ominaisuuksia ei pystytä selvittämään asiakirjoista, tai niitä ei saada tarkastuksen yhteydessä selvitettyä, voidaan käyttää taulukossa 1 esitettyjä valmiita taulukkoarvoja. (Suomen säädöskokoelma 1048/2017, 8–9.) Taulukosta nähdään, että esimerkiksi ennen vuotta 1969 rakennetun ulkoseinärakenteen U-arvon voidaan olettaa olevan $0,81\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$.

TAULUKKO 1 Rakenteiden lämmönläpäisykertoimia (W/m^2K) (Suomen säädös-kokoelma 1048/2017, muokattu).

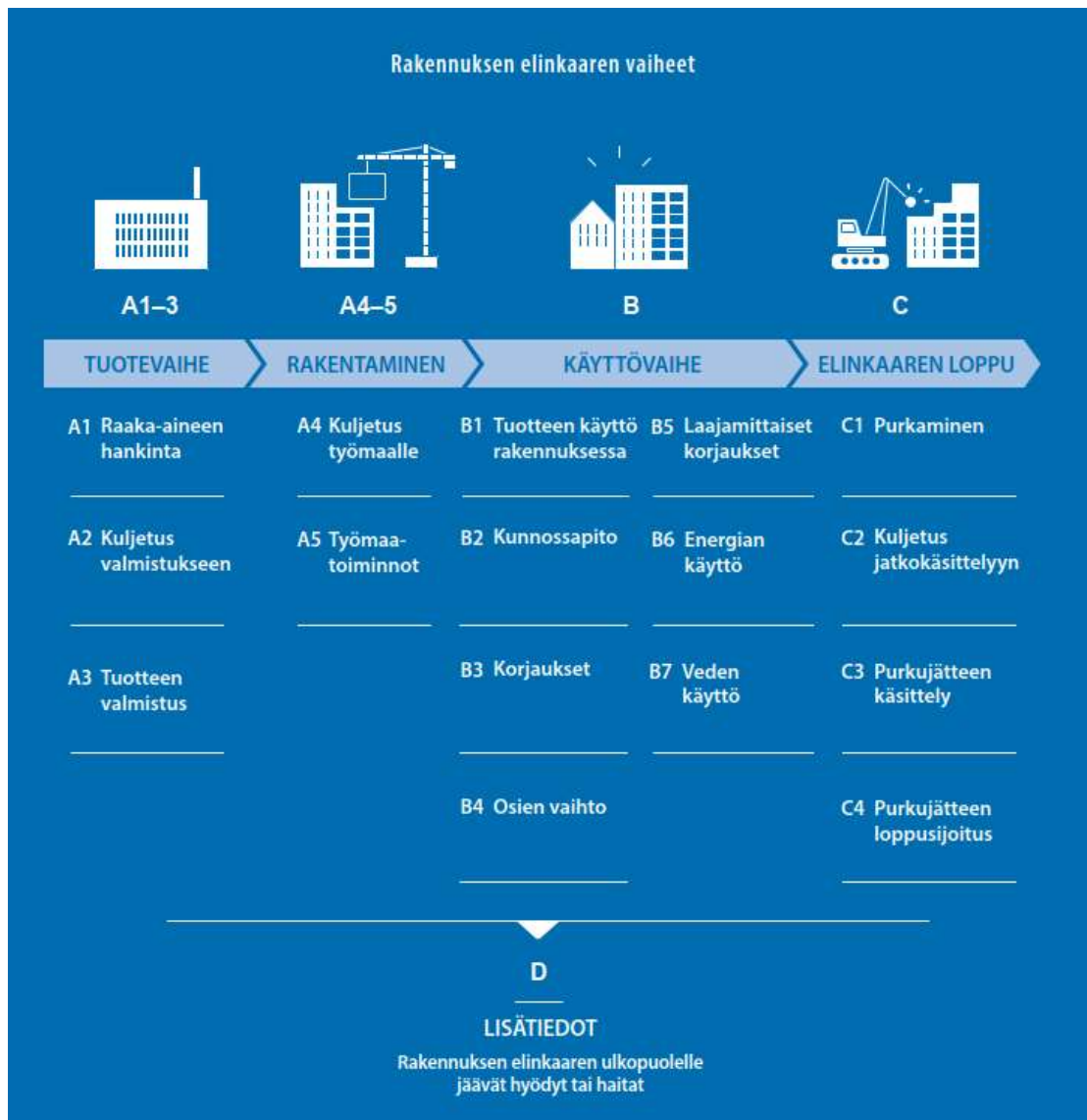
Rakennusosa	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Lämpimät tilat									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17*	0,17*
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätillainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0

3 RAKENNUKSEN ELINKAAREN HIILIJALANJÄLKI

3.1 Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen muodostuminen

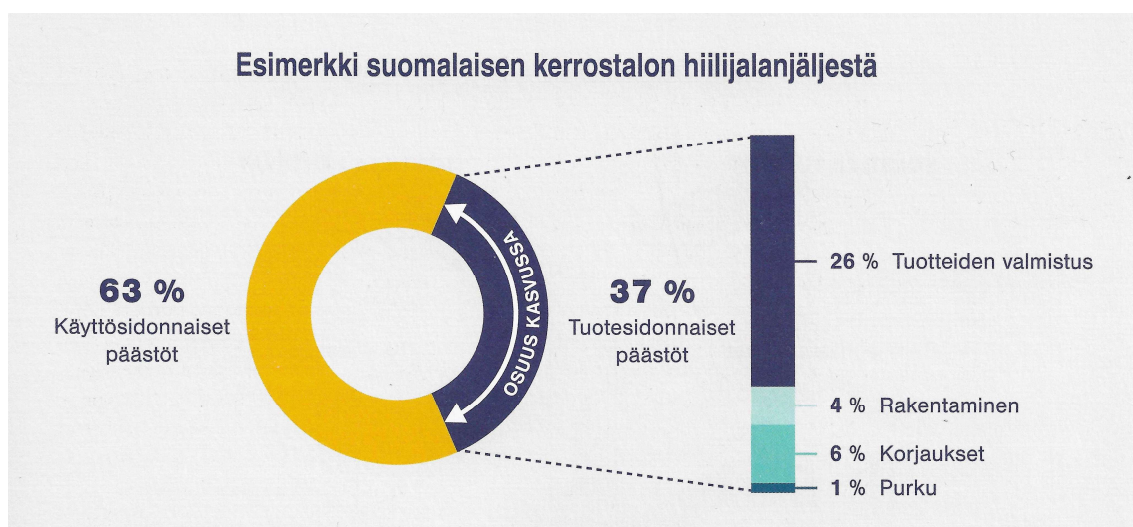
Suomen kasvihuonekaasupäästöistä noin kolmannes tulee rakentamisesta sekä rakennuksista (Vähähiilinen rakentaminen n.d). Yksittäisen rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki syntyy rakennusmateriaalien valmistuksesta, materiaalien kuljuksesta, rakennuksen rakentamisen työmaatoiminnoista, olemassa olevan rakennuksen huoltotoimenpiteistä sekä materiaalien vaihdosta, rakennuksen käytön aikaisesta energiankulutuksesta ja lopulta rakennuksen purkamisesta materiaalien loppuunkäsittelyyn. (Bionova Oy 2017, 2.)

Rakennuksen elinkaaren vaiheet on jaettu erilaisiin moduuleihin, jotka on määritelty EN 15643-2 standardin mukaisesti (Ympäristöministeriö 2019, 12). Kuvioista 4 nähdään rakennushankkeen tyypillinen elinkaarimalli. Moduulit on jaettu siten, että moduuli A muodostuu rakennuksen eri rakennusvaiheista rakennusmateriaalien valmistuksesta valmiiseen rakennukseen, moduuli B muodostuu rakennuksen käytön aikaisista kokonaisuuksista ja moduuli C muodostuu rakennuksen elinkaaren päättymisen vaiheista. Elinkaaren vaiheisiin otetaan mukaan myös moduuli D, joka muodostuu rakennuksen elinkaaren ulkopuolelle jäävistä hyödyistä ja haitoista.



KUVIO 4 Rakennushankkeen elinkaarimalli (Ympäristöministeriö 2019, 14).

Kuviossa 5 on Häkkisen ja Kuittisen (2020) laatima esitys tyypillisen suomalaisen kerrostalon tuottaman päästöjen jakautumisesta. Rakennuksen hiilijalanjäljestä 63 % syntyy rakennuksen käytön aikaisesta energian käytöstä ja 37 % rakennustoiminnasta, joka sisältää rakennusmateriaalien valmistuksen, kuljetukset ja työmaatoiminnot ja purkamisen sekä jätteet. Vähentämällä siis rakennusten käytön aikaisia päästöjä esimerkiksi olemassa olevien rakennusten laajamittaisilla korjaustoimilla energiatehokkuuden parantamiseksi, voidaan kokonaiskuvaan vaikuttaa merkittävästi. Myös uusien rakennusmateriaalien käytöllä on merkittävä vaikutus päästöjen vähentämisen kokonaiskuvaan.



KUVIO 5 Kerrostalon kokonaishiilijalanjäljen jakautuminen (Häkkinen T, 2020. 25)

3.2 Marinin hallitusohjelma

Suomi on osana kansainvälistä Pariisin ilmastosopimusta, jonka tavoitteena on pitää maapallon keskilämpötilan nousu alle kahdessa asteessa. Maailmanlaajuiset kasvihuonekaasupäästöt (hiilijalanjälki) käännetään laskuun siten, että saavutetaan päästöjen ja päästöjä sitovien nielujen (hiilikädenjälki) tasapaino, eli niin sanottu hiilineutraali tilanne (Pariisin ilmastosopimus n.d). Vallitsevan hallitusohjelman (Sanna Marinin hallitusohjelma, 2019) tavoitteena on hiilineutraali Suomi vuonna 2035. Tavoitteet pyritään saavuttamaan erilaisilla kokonaisuuksilla, joista yksi on asumisen ja rakentamisen hiilijalanjäljen pienentäminen (Valtioneuvosto n.d).

Hallitusohjelma esittää asumisen ja rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämiseen erilaisia keinoja, joista yksi on ottaa käyttöön taloyhtiöille suunnattu energia-avustusjärjestelmä, jolla tuetaan energiatehokkuuden parantamiseen ja älykkääseen energiankulutukseen tähtääviä toimenpiteitä. Järjestelmän periaatteena on, että mitä enemmän energiatehokkuushyötyjä toimenpiteillä saadaan saavutettua, sen paremmin myös tukea taloyhtiöt saavat energiatehokkuuden parantamisen toimenpiteisiin. (Valtioneuvosto n.d.)

Toinen isompi kokonaisuus on luoda rakennusalan toimijoiden kanssa hiilineutraaliuteen tähtäävä suunnitelma jokaiselle toimialalle, tehostaa materiaalien kiertäytystä sekä kiertotaloutta rakennusalalla, jatkaa vähähiilisen rakentamisen tiekartan toimeenpanoa ja kehittää rakennuksen elinkaarenaikaista säädösohjausta hiilijalanjälkeen perustuen (Valtioneuvosto n.d.).

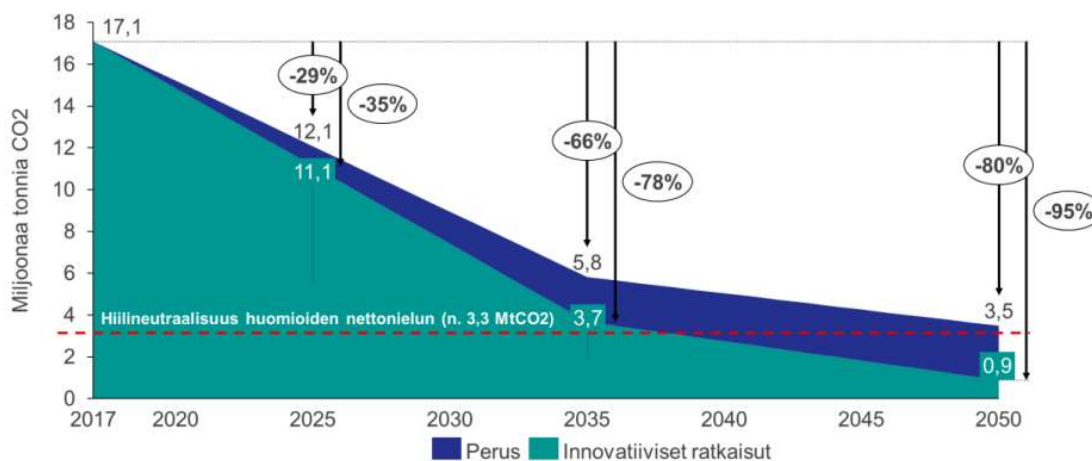
Muita keinoja asumisen ja rakentamisen hiilijalanjäljen pienentämiseen on esimerkiksi selvittää energiaremonttien suunnittelukustannusten ottamista kotitalousvähennyksen piiriin, lisätä rakennusalan täydennyskoulutusta energiatehokkuusosaamisen parantamiseksi, edistää puurakentamista ja jatkaa sähköautojen latausinfrastruktuurin rakentamistukea (Valtioneuvosto n.d.)

3.3 Rakennusteollisuuden tiekartta

Rakennusteollisuus RT on vastannut Suomen hallitusohjelmaan tekemällä oman selvityksen keinoista yhdessä sidosryhmien ja ympäristöministeriön kanssa, joilla tavoitteiseen hiilineutraalista Suomesta saavutettaisiin vuoteen 2035 mennessä. Selvityksessä on kartoitettu hyvin kattavasti mistä rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön hiilijalanjälki muodostuu ja millaisilla painotuksilla. Tähän pohjautuen on esitetty keinoja rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen vähentämiseen. (Vähähiilisyden tiekartta n.d.)

Rakennusteollisuuden tiekartan raportti keskittyy siihen, miten rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa voidaan vaikuttaa rakennuksen tuottamiin päästöihin ja mitä päästöjen vähentämiseen tähtääviä innovatiivisia ratkaisuja on jo kehitteillä. Raportissa esitetään erilaisia konkreettisia keinoja päästövähennysten kestävään toteuttamiseen, joista yksi liittyy rakennusmateriaaleihin ja loput pääasiassa energiankäyttöön. Rakennusmateriaaleista selkeästi eniten päästöjä tuottavat betoni ja teräs. Betonissa suurin päästöjen aiheuttaja on sementti ja siksi uusia innovaatioita esimerkiksi sementinvalmistukseen tai sen korvaamiseen on tutkittu ja kehitetty paljon. Yksi kehitteillä olevista innovaatioista on esimerkiksi sementin poltossa vapautuvan hiilidioksidin talteenotto- ja varastointijärjestelmä (CCS, Carbon Capture and Storage). (Gaia Consulting Oy 2020, 11.)

Raporttiin on laadittu rakennetun ympäristön päästövähennys skenaario, jossa kuvataan vähähiilisyden kehitystä perusskenaarion ja innovatiivisten ratkaisujen avulla. Kuvio 6 osoittaa, että innovatiiviset ratkaisut nopeuttaisivat vähähiilisyden kehitystä siten, että vuonna 2035 oltaisiin lähes samalla tasolla vähähiilisyden kanssa, kuin pelkästään perusratkaisujen avulla tehdyt päästövähennykset olisivat vuonna 2050. (Gaia Consulting Oy 2020, 22–24.)



KUVIO 6 Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen kehitys (Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisyden tiekartta... 2020, 24).

Perusskenaarion kuvaa kehitystä, joka toteutuisi nykyisten julkisen sektorin luomilla toimintaympäristön ja politiikkatoimien pysyessä samana. Innovatiivisten ratkaisujen skenaario kuvaa kehitystä, joka toteutuisi teknisesti suurimman mahdollisen päästövähennyksen kautta, esimerkiksi CCS-tekniikan (Carbon Capture and Storage) käyttöönotto sementin valmistuksessa ja päästöttömään vetytelkistykseen pohjautuva teknologia teräksen valmistuksessa. (Gaia Consulting Oy 2020, 22–23.)

3.4 Ympäristöministeriön vähähiilisyden tiekartta

Ympäristöministeriö on teettänyt vuonna 2017 selvityksen tiekartasta, jonka tavoitteena on vähentää rakentamisen ja rakennusmateriaalien hiilijalanjälkeä, sillä rakennusmateriaalien osuus rakennuksen elinkaarenaikaisista päästöistä on

merkittävä heti rakennuksen energian käytön jälkeen. Materiaalien ja tuotteiden aiheuttamista päästöistä pääosa syntyy valmistusvaiheessa ja tällä hetkellä materiaalien päästöjä ohjataan pääasiassa vapaaehtoisilla ympäristöarviointivälillä, joita ovat esimerkiksi kansainvälinen LEED, suomalainen Rakennustiedon ympäristöluokitus sekä EU:n komission ympäristöraportointijärjestelmä Level(s). (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

Selvityksen pohjalta ympäristöministeriö on laatinut kolmivaiheisen tiekartan rakennuksen elinkaaren päästöjen ohjaukseen. Kolmivaiheisen selvityksen pääta-voite on, että rakennusten elinkaaren vähähiilisyys tulee osaksi rakennusmääräyksiä 2020-luvun puolivälissä rakentamislain kokonaisuudistuksen myötä, joka korvaisi yhdessä alueidenkäytön digitaalisuuden kanssa nykyisen maankäyttö- ja rakennuslain. (Ympäristöministeriö 2019, 3; Valtioneuvosto 2022) Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että rakennuttajalle tulee ilmoitusvelvollisuus rakennuksen päästöistä rakennuslupaa hakiessa. Kun tarvittava määrän tietoa rakennusten päästöistä on kertynyt, laaditaan rakennustyypeille päästöraja-arvot, joita rakennusta suunniteltaessa ei saa ylittää (Bionova Oy 2017, 3).

Kolmivaiheisen tiekartan ensimmäinen vaihe alkoi vuonna 2017 johon kuuluu testaus ja menetelmien laatiminen. Tämä sisältää ohjausjärjestelmän vaikutusten arvioinnit, hiilijalanjäljen laskentamallin ja päästötietokannan kehittämisen, osaa- misen ja työkalujen kehittämisen sekä testauksen julkisissa rakennushankkeissa ja yksityisellä sektorilla. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

Tiekartan toinen vaihe alkoi vuonna 2019, johon kuuluu ohjausjärjestelmän laati- minen. Ohjausjärjestelmä laaditaan säädösohjauksen ja kannusteiden valmiste- lulla, kytkemällä järjestelmä kaavoitukseen ja energiaohjaukseen, pilottihankkei- den laajenuksella ja rakennusten päästötietojen seurannalla sekä tilastoinnin valmistelulla. (Vähähiilisen rakentamisen tiekartta n.d.)

3.5 Ympäristöministeriön vähähiilisyyden laskentamenetelmä

Ympäristöministeriö on julkaissut vuona 2019 rakennuksen vähähiilisyyden arvi- ointimenetelmän, jossa kuvataan rakennusten koko elinkaaren vähähiilisyyden

arviointi menetelmiä pohjautuen Euroopan komission Level(s)- menetelmään sekä EN-standardeihin. Menetelmä on tarkoitettu käytettäväksi sekä uudisrakennuksien että laajojen korjaustoimenpiteiden hiilijalanjäljen sekä hiilikädenjäljen arviointiin. Menetelmä on osa vuonna 2019 alkanutta testausjaksoa. (Ympäristöministeriö 2019, 3.) Arviointimenetelmää on päivitetty vuonna 2021, ja on tällä hetkellä vielä lausuntokierroksella (Rakennuksen ilmastaselvityksen... 2021). Keskeisimmät muutokset vuoden 2019 laadittuun arviointimenetelmään on esimerkiksi arviointijakson pituuden vakiointi 50 vuoden pituiseksi, eloperäistä hiiltä sisältävien tuotteiden hiilijalanjäljen ja -kädenjäljen arvioinnin tarkennus sekä erilaisten taulukkoarvojen ja energiamuotojen päästökertoimien päivitykset (Ympäristöministeriö 2021). Tässä työssä käytetään pääasiassa vuonna 2019 laadittua arviointimenetelmää, johon työn teoriaosuus perustuu.

Kuviosta 7 nähdään vähähiilisuuden arviointiin laskettavat vaiheet. Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmän (2019) mukaan hiilijalanjälkiarviointi tehdään rakennuksen koko elinkaaren ajalle ja se tehdään erikseen rakennusmateriaaleille, rakennuksen käyttämälle energialle, materiaalin kuljetuksille sekä työmaavaiheelle. Rakennuksen hiilijalanjälki saadaan summaamalla rakennuksen elinkaaren eri moduulien kasvihuonepäästöt yhteen. Laskennan tulokset ilmoitetaan positiivisena kokonaislukuna hiilidioksidiekvivalenttien painona jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja arviointijakson pituudella ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$). (Ympäristöministeriö 2019, 34.) Hiilidioksidiekvivalentti kuvaa useiden erilaisten kasvihuonepäästöjen yhteenlaskettua ilmastoa lämmittävää vaikutusta (OpenCO₂ n.d.)



KUVIO 7 Vähähiilisyysarviointiin laskettavat vaiheet (Ympäristöministeriö 2019, 10).

3.5.1 Korjauskohteen hiilijalanjäljen arviointi

Korjauskohteen hiilijalanjäljen arviointi voidaan aloittaa korjauskohteeseen tulevien materiaalien arvioinnista. Itse materiaalien vähähiilisyysarviointi alkaa rakennustuotteiden valmistusvaiheesta (moduulit A1-3), joka tarkoittaa sitä, että kaikki rakennushankkeeseen tulevien materiaalien määrät lasketaan hukka ja ylijäämät mukaan lukien. Laajamittaisessa korjaushankkeessa arviointi rajataan pelkästään korjauksessa tarvittaviin uusiin rakennusosiin ja tuotteisiin. Tähän ei lasketa mukaan esimerkiksi uudelleen käytettäviä rakennusosia tai muilta työmaalta ylijääneitä tuotteita. (Ympäristöministeriö 2019, 17.)

Seuraavana vaiheena on arvioida rakennustuotteiden vaihdot rakennuksen elinkaaren aikana (moduuli B4). Tässä otetaan huomioon kaikki ne tuotteet, joiden tekninen käyttöikä on rakennuksen tavoiteikää lyhyempi. Laajamittaisessa korjauskohteessa otetaan huomioon ainoastaan uuteen rakenteeseen liittyvät tekniset käyttöiät. Rakennusosien ja tuotteiden teknisen käyttöiän valinnassa on otettava huomioon tuotteen käyttöolosuhteet, ilmastorasitusluokat ja muut tuotteiden toiminnalliseen kestävyysvaikuttavat tekijät. (Ympäristöministeriö 2019, 19.)

Viimeisenä arvioidaan materiaalien jätteenkäsittely ja loppusijoitus (moduulit C3-4). Tässä vaiheessa tulee arvioida rakennuksen purkuvaiheessa syntyvien jättemateriaalien määrä. Korjauskohteessa arviointi tehdään ainoastaan uusille korjauksessa käytetyille materiaaleille. Jättemateriaalivirtojen hiilijalanjäljen arviointiin käytetään päästötietokannan materiaaliluokkakohtaisia skenaarioita. Materiaaleja hyödyntäessä energiana, tulee tästä hyödyntämisestä syntyvät päästöhaitat ilmoittaa rakennuksen elinkaaren ulkopuolisina vaikutuksina (moduuli D) ja vastaavat hyödyt osana hiilikädenjälkeä. (Ympäristöministeriö 2019, 35, 21.)

Kuljetusten hiilijalanjäljen arvioimiseen voidaan käyttää arviointimenetelmästä löytyviä keskimääräisiä taulukkoarvoja. Vaihtoehtoisesti voidaan laskea erikseen kaikkien rakennusten elinkaaren aikana tarvittavien kuljetusten aiheuttamat päästöt eri kuljetusmuotojen ja polttoainetyyppien tyypillisiä päästökertoimia käyttäen. Laskentaan otetaan huomioon kaikkien rakennusmateriaalien ja maamasojen kuljetukset rakennustyömaalle mukaan lukien välivarastointi- ja esivalmistuspaikat sekä rakennusjätteiden kuljetukset pois työmaalta. Rakennuskoneiden kuljetuksia tai rakennustyöntekijöiden kuljetuksia ei lasketa mukaan. (Ympäristöministeriö 2019, 23.)

Rakennuksen käytön aikaisen energiankulutuksen hiilijalanjälki lasketaan siten, että laskennallisen ostoenergian kulutus kerrotaan eri energiamuotojen vakioiduilla päästökertoimilla, joissa on otettu huomioon Suomen energia- ja ilmastostrategian toimenpiteistä odotettu energianpäästöjen lasku. Taulukosta 2 nähdään kansalliseen rakentamisen päästötietokantaan päivitettyt päästökertoimet, jotka poikkeavat hieman vuoden 2019 ympäristöministeriön arviointimenetelmästä. Laskennallinen ostoenergiankulutus määritetään energiatehokkuusasetuksen mukaan. (Ympäristöministeriö 2019, 29.)

TAULUKKO 2 Energiamuotojen päästökertoimien odotetut arvot vuosikymmenittäin (gCO₂e/kWh) (CO₂data 2022).

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	0,153	0,089	0,059	0,045	0,034	0,022	0,015	0,01	0,007	0,005	0,003
Kaukolämpö	0,147	0,114	0,082	0,054	0,029	0,021	0,015	0,011	0,008	0,006	0,004
Kaukojäähdytys	0,042	0,026	0,018	0,013	0,01	0,007	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001
Fossiiliset polttoaineet	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306	0,306
Uusiutuvat polttoaineet	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027

Hiilikädenjälki on ilmastohyöty, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta. Hyötyä ei vähennetä hiilijalanjäljestä vaan se esitetään erillisenä lukunaan. Ilmastohyötyjä rakennushankkeessa voi olla esimerkiksi rakennusosien uudelleenkäytön mahdollisuus ja kierrätyksestä saatava hyöty, rakennuksessa tai tontilla tuotettu ylijäävä uusiutuva energia ja rakennusmateriaaliin varastoitunut eloperäinen hiili ja niihin elinkaaren aikana sitoutuva hiilidioksidi. Rakennuksen hiilikädenjälki muodostuu summaamalla yhteen kaikki rakennushankkeen ilmastohyödyt. Laskennan tulokset ilmoitetaan negatiivisena kokonaislukuna hiilidioksidiekvivalenttien painona jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla ja arviointijakson pituudella (kgCO₂/m²/a). (Ympäristöministeriö 2019, 30, 34.)

3.5.2 Ympäristöseloste EPD

Materiaalien ilmastovaikutusten arviointi perustuu vapaaehtoisin materiaalinvalmistajien laatimiin ympäristöselosteisiin EPD (Environmental Product Declaration), jossa esitetään tuotteen ympäristövaikutukset tuotteen koko elinkaaren ajalle. Tiedot esitetään EN 15804 standardin mukaisesti, jolla varmistetaan tietojen vertailukelpoisuus rakennusosien hiilijalanjälkilaskelmia tehtäessä (RTS EPD -ympäristöseloste n.d.) Tuloksissa esitetään muun muassa tuotteen ympäristövaikutukset, luonnonvarojen käyttö, jätekatteoria ja materiaalin hyödyntämis- ja kierrätysmahdollisuudet (Tiedot RTS EPD-ympäristöselosteessa n.d.).

3.5.3 Rakentamisen päästötietokanta

Rakentamisen päästötietokanta on maksuton palvelu, josta voidaan selvittää Suomessa käytössä olevien rakennustuotteiden ja rakentamisen prosessien sekä palveluiden keskimääräisiä päästötietoja. Päästötietokannan ylläpidosta ja kehittämisestä vastaa Suomen ympäristökeskus SYKE. (CO₂Data 2022.) Päästötietokannan tiedot perustuvat pääosin rakennustuotteiden ympäristöselosteisiin, mutta palvelu ei kuitenkaan sisällä yksittäisten tuotteiden ympäristöselosteita. Päästötietokannasta löytyy myös esimerkiksi yleisimpien rakentamisen prosessien ja palveluiden päästötietoja. (Hiilineutraali Suomi 2021). Päästötietokannasta löytyvät arvot ovat kerrottu konservatiivisuuskertoimella (1,2), jolla tasataan samankaltaisten tuotteiden ympäristöselosteiden keskimääräisiä lukuja, sillä saman kaltaisten tuotteiden päästöt voivat erota toisistaan paljonkin. (Häkkinen 2021, 20)

4 ULKOVAIPPAKORJAUKSEN VAIKUTUS RAKENNUKSEN HIILIJALANJÄLKEEN

Ulkovaipparakenteen korjaushankkeen vaikutusta hiilijalanjälkeen on tutkittu aiemmin muutamasta eri näkökulmasta. Fanny Helin (2020) on kandidaatintyössään tutkinut kuvitteellisen, tyypillisen 1980-luvulla rakennetun betonisandwichrakenteisen asuinkerrostalon julkisivukorjaushankkeen hiilipäästöjä One Click LCA -laskentatyökalun avulla. Helin käytti työssään viittä erilaista tyypillistä mahdollista korjausvaihtoehtoa betonisandwichrakenteisen julkisivukorjauksen hiilijalanjäljen arviointiin. Taulukossa 2 on esitetty viiden eri korjausvaihtoehdon hiilijalanjälkilaskelmat. Tuloksista nähdään, että korjausvaihtoehtojen vaikutus elinkaaren hiilijalanjälkeen on hyvin pieni. Eniten päästöjä tuottaa perusteellinen pinnoitus- ja paikkakorjaus, joka esitetään taulukossa vaihtoehtona 2. Vähiten päästöjä tuottaa vaihtoehto 5, joka käsittää julkisivun purun, uuden lämmöneristeen sekä levyverhouksen (Helin 2021, 18).

TAULUKKO 3 Korjausvaihtoehtojen elinkaaren lasketut hiilipäästöt (Helin 2021, 18).

	Kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia ajalta (CO _{2e})	hiilidioksidielinkaaren	Kilogrammaa hiilidioksidiekvivalenttia korjattua julkisivuneliömetriä kohden vuodessa (CO _{2e} /js-m ² /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

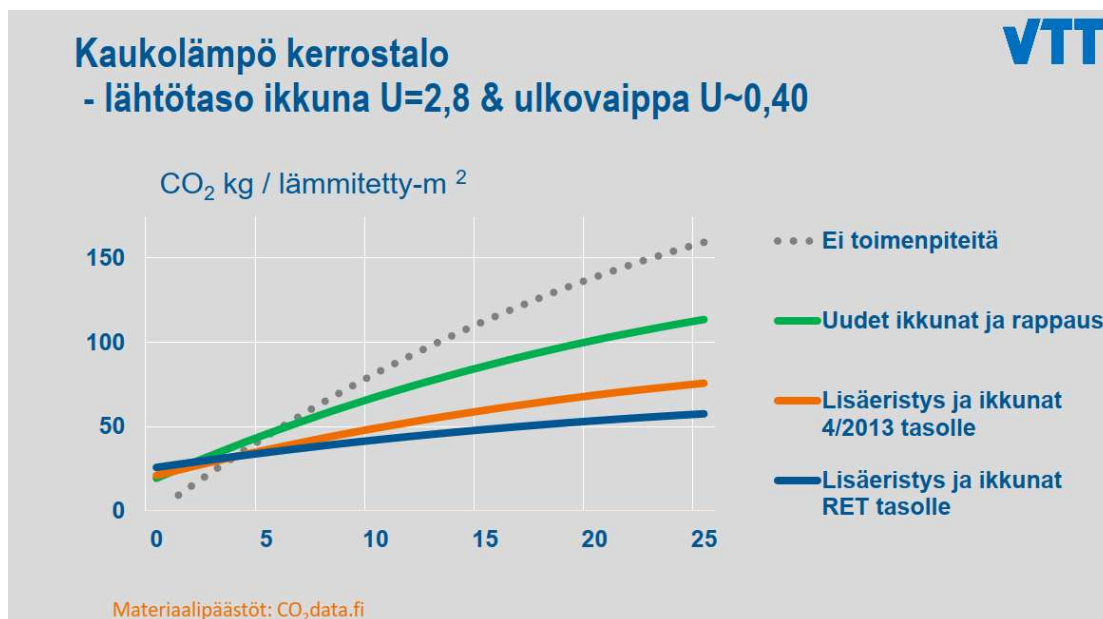
lina Laakkonen (2021) on diplomityössään tutkinut rakenteellisen energiatehokkuuden vaikutusta betoniasuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen uudisrakentamisen näkökulmasta. Tutkimuksessa tarkasteltiin ulkoseinän, yläpohjan ja ikkunoiden sekä ovien U-arvojen vaikutusta rakennuksen hiilijalanjälkeen case-

kohteen avulla. Jokaisen rakenneosan U-arvon parannuksen hiilijalanjälkeä verrattiin alkuperäisen rakenteen hiilijalanjälkeen. Taulukossa 3 esitetyistä tuloksista selviää, että ulkoseinän U-arvoa muuttamalla, uudisrakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki pienenee vain alle 0,4 %, joten sen vaikutus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen ei ole merkittävä (Laakkonen 2021, 41).

TAULUKKO 4 Rakenteellisen energiatehokkuuden vaikutus rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen (Laakkonen 2021, 41).

	Hiilijalanjälki [$kgCO_2e/m^2/a$]	Osuus vertailutasosta [%]
Vertailutaso	16,46	-
US1_33	16,40	99,6 %
YP1_33	16,34	99,3 %
Ikkuna+Ovi_33	16,19	98,4 %
Kaikki_33	16,08	97,4 %

VTT:n erikoistutkija Terttu Vainio (2021) tutki ulkovaipparakenteen korjausten ilmastovaikutuksia. Tutkimuksessa on selvitetty muun muassa ulkovaipparakenteen eri rakenneosien korjausten vaikutusta hiilijalanjälkeen ja korjauksen aiheuttaman hiilipiikin takaisinmaksuaikaa. (Rakennusteollisuus RT ry 2021.) Kuviosta 8 nähdään, että korjauksen hiilijalanjäljen vaikutus kaukolämmöllä lämmitetyssä kerrostalossa saadaan maksettua takaisin noin viidessä vuodessa.

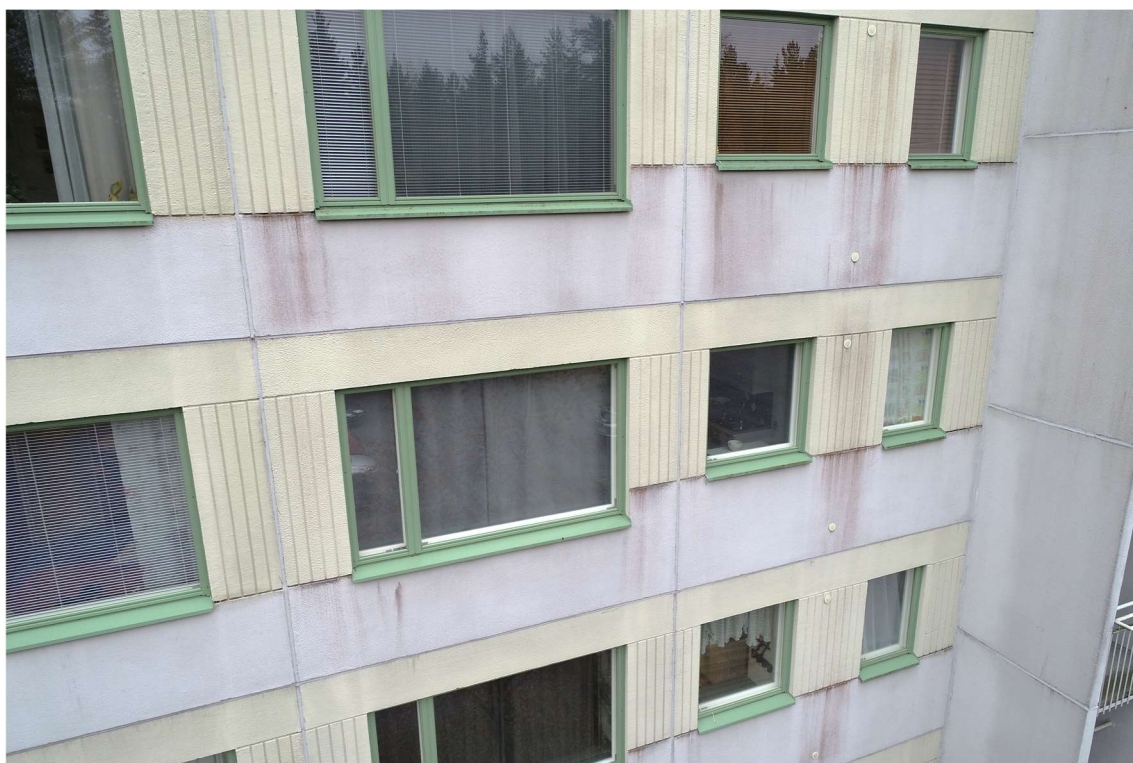


KUVIO 8 Korjauksen hiilijalanjäljen takaisinmaksuaika (Rakennusteollisuus RT ry 2021).

5 LASKENTA

5.1 Case-kohdetiedot ja korjausvaihtoehdot

Kohde käsittää kaksi 1966 valmistunutta asuinkerrostaloa, joista toinen on 1+7 kerroksinen ja toinen on 1+5 kerroksinen. Julkisivut ovat maalattuja betoni-sandwichelementtejä. Kohde on edennyt hankesuunnitelman kautta valmiiseen toteutukseen. Kohde toteutettiin paikkakorjauksella ja huoltomaalauksella. Kohteen rakennukset tulee hiilijalanjälkilaskennassa huomioida erikseen. Tässä työssä on esitetty vain 1+7 kerroksisen rakennuksen hiilijalanjälkilaskennan tulokset. Rakennuksen bruttoala on kerrosalaselvityksen mukaan 12 848 m².



KUVA 7 Yleiskuva rakennuksen julkisivusta ennen korjausta.

Kuntotutkimuksessa on selvinnyt, että ulkokuori on karbonisoitunut syväälle ja elementin reunojen lähellä olevat raudotteet ovat korroosion seurauksena aiheuttanut betonin lohkeilua. Maalipinnoilla on paikoin kulumaa ja runsaasti likaa sekä punalevää. Pääosin julkisivun kunto on kuitenkin hyvä ja sille voidaan esittää myös kevyempiä korjauksia.

Hankesuunnitelmassa esitetyt korjausvaihtoehdot ja niiden sisällöt ovat seuraavat:

1. Julkisivujen paikkakorjaus ja huoltomaalaus
 - syöksytorvien irrotus
 - julkisivujen pesu homeenpoistolla
 - elementtien elastisten saumamassojen paikkakorjaus
 - betoni- ja teräskorroosioaurioiden paikkakorjaus
 - julkisivujen huoltomaalaus
 - syöksytorvien takaisin asennus
 - ikkunapeltien reunanostojen tiivistys
 - keittiöiden tuloilmakanavien ritilät uusitaan

2. Perusteellinen pinnoitus- ja paikkakorjaus
 - syöksytorvien ja räystäskourujen irrotus
 - julkisivujen hiekkapuhallus
 - betoni- ja teräskorroosioaurioiden paikkakorjaus
 - julkisivujen ylitasoitus
 - julkisivujen pinnoitus
 - elementtien elastisten saumamassojen uusiminen
 - ikkunapellitusten uusiminen
 - syöksytorvien ja räystäskourujen takaisin asennus

3. Julkisivujen verhoavakorjaus ohutrappauseristejärjestelmällä
 - elementtien elastisten saumamassojen purku
 - julkisivujen pesu homeenpoistolla
 - julkisivujen lisälämmöneristäminen
 - ohutrappaus ja pinnoitus
 - ikkunoiden vesipeltien uusiminen
 - räystäiden pidennys
 - syöksytorvet ja räystäskourut uusitaan

4. Julkisivujen verhoavakorjaus levyrappauksella
 - elementtien elastisten saumamassojen purku
 - julkisivujen pesu homeenpoistolla
 - julkisivut lisälämmöneristetään

- rankarakenteen asentaminen rapattavalle julkisivulevyille
- julkisivuverhous tuulettuvalla levyrappauksella
- uusitaan ikkunoiden vesipellit
- räystäät pidennetään
- syöksytorvet ja räystäskourut uusitaan

5.2 Laskennan vaiheet

Laskennassa käytetään apuna One Click LCA ohjelmistoa, joka kerää kaiken laskennassa tarvittavat tiedot yhteen tietokantaan. Ohjelmistossa voidaan laskea ilmastovaikutukset rakennuksen koko elinkaaren ajalle ympäristöministeriön laatimaan vähähiilisyiden arviointimenetelmään perustuvaan valmiiseen laskentapohjaan. Pohjassa on valmiina vähähiilisyiden arviointimenetelmässä ohjeistetut valmiit taulukkoarvot ja kertoimet sekä eri materiaalivalmistajien laatimat ympäristöselosteet ja esimerkiksi Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) laatimat yleisesti käytössä olevien materiaalien keskiarvolliset ilmastovaikutusten arvot. Ohjelmaan syötetään rakennuksen yleistiedot ja bruttoala, eri korjausvaihtoehtojen rakennusmateriaalit ja niiden määrät, arviointijakson pituus, rakennuksen lämmitetty nettoala sekä energiankulutus korjausvaihtoehtoina siten, että korjauksen vaikutus rakennuksen lämmitysenergian käyttöön on huomioituna. (OneClick LCA n.d.)

Rakennetyypin vaikutus rakennuksen energiankulutukseen lasketaan laskentapalvelut.fi energiatehokkuuden laskeminen korjaus- ja muutostöissä laskurin avulla. Laskentapalvelut.fi on D.O.F. tech Oy:n ja Saint-Gobain Finland Oy:n tarjoama palvelu, joka pohjautuu erilaisiin rakentamiseen liittyviin määräyksiin, asetuksiin ja ohjeisiin. Energiatehokkuuden laskeminen korjaus- ja muutostöissä laskuri pohjautuu ympäristöministeriön asetukseen rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. (Laskentapalvelut.fi n.d.)

Ohjelmaan syötetään tiedot kohteen korjaustoimenpiteistä rakennetyypeittäin. Ulkovaippakorjauksessa seinärakenteesta tarvitsee tietää vanhan seinärakenteen paksuus, määrä neliöinä sekä sen U-arvo (W/m^2K). Jos U-arvoa ei ole tie-

dossa, ohjelma etsii yleisesti käytössä olleet U-arvot ympäristöministeriön asetuksessa laaditusta taulukosta rakennusluvan vireilletulovuoden mukaisesti. Ohjelmaan liitetään myös tulevan mahdollisen lisälämmöneristyksen paksuus, jolloin saadaan tulokseksi alkuperäisen sekä korjatun ratkaisun lämpöhäviön määrät ja niiden erotukset kWh/vuosi. Näin saadaan selville rakennuksen korjaustoimenpiteistä aiheutuvat lämpöenergiankäytön säästöt kWh/vuosi. (Laskentapalvelut.fi n.d.)

Hiilijalanjäljen laskennan kulku julkisivukorjauksessa tiivistettynä:

1. Kohteen korjaukseen tulevien materiaalien määrälaskenta
2. Kohteen korjausvaihtoehtojen vaikutusten laskenta vuosittaiseen lämmitysenergian kulutukseen laskentapalvelut.fi ohjelman avulla
3. Tietojen syöttö OneClick LCA ohjelmaan:
 - a. Rakennuksen yleistiedot ja bruttoala
 - b. Eri korjausvaihtoehtojen ja korjaamattoman rakenteen luonti
 - c. Rakennusmateriaalit ja määrät korjausvaihtoehtoin
 - d. Lämmitys- ja sähköenergian kulutus korjausvaihtoehtoin
 - e. Arviointijakson pituus
 - f. Rakennuksen lämmitetty nettoala
4. Tulosten tarkastelu

OneClick LCA näyttää uuden korjatun rakenteen elinkaaren hiilijalanjäljen yhteenlasketut tulokset $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$, joka sisältää kaikki taulukossa 5 esitetyt elinkaaren vaiheet. Elinkaarenvaiheet ovat ympäristöministeriön vähähiilisyyden arviointimenetelmän 2019 mukaiset. Tummennetut vaiheet ovat niitä vaiheita, joiden arviointi tehdään vain hankekohtaisin tiedoin. Rakennustuotteiden työmahävikin määrän voi itse arvioida, mutta ohjelma antaa valmiiksi jokaiselle materiaalille tyypillisen hävikkiprosentin. Muut elinkaaren vaiheet ovat valmiita taulukkoarvoja. Valmiit taulukkoarvot on laadittu Suomessa tehtyjen rakennusten elinkaaren hiilijalanjälkilaskelmista keskimääräisesti (Ympäristöministeriö 2019, 45).

TAULUKKO 5 Hiilijalanjäljen laskentaan arvioitavat elinkaaren vaiheet.

A. Ennen käyttöä	A1-3 Tuotteiden valmistus
	A4 Kuljetukset työmaalle
	A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
	A5-YM Uudisrakennustyömaan toiminnot
B. Käytön aikana	B3-4 Korjausten energiankulutus
	B4 Rakennusosien vaihto
	B6 Energian käyttö
C. Käytön jälkeen	C1 Purkutyömaan toiminnot
	C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn
	C3-4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus
Elinkaaren ulkopuolella	A-D Hiilikädenjälki

6 TULOKSET

6.1 Laskelmien yhteenlasketut tulokset

Taulukossa 6 on esitetty case-kohteen hiilijalanjäljen yhteenlasketut tulokset. Laskelmat on tehty 50 vuoden tarkastelujaksolle. Keskimmaisessä sarakkeessa korjausvaihtoehtojen hiilijalanjäljen tulokset on ilmoitettu hiilidioksidiekvivalenttien painona jaettuna rakennuksen lämmitetyllä nettopinta-alalla per vuosi ($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{a}$). Keskimmaisessä sarakkeessa on ilmoitettu uuden korjatun rakenteen elinkaaren kokonaispäästöt 50 vuoden tarkastelujaksolla hiilidioksidiekvivalenttien painona (tCO_2e). Oikeanpuolimmaisessa sarakkeessa on ilmoitettu korjauksen vaikutukset korjaamattomaan rakenteeseen nähden prosentteina.

Pinnoituskorjauksien rakennusosien vaihdot on arvioitu siten, että 50 vuoden tarkastelujaksolla suoritetaan kaksi huoltomaalausta ja saumojen vaihtoa korjauksittavalle tyypillisessä laajuudessaan, vaikka todellisuudessa julkisivuille on teetettävä 10–15 vuoden välein kuntotutkimus, jossa selvitetään julkisivun sen hetkinen kunto ja mahdollinen korjaustarve. Verhouskorjauksissa rakennusosien vaihdossa on huomioitu kaksi huoltomaalausta 50 vuoden tarkastelujakson aikana. Tuloksissa on huomioitu myös lisälämmöneristyskorjauksissa tyypillisesti toteutettava räystäiden ja ikkunapeltien pidennykset.

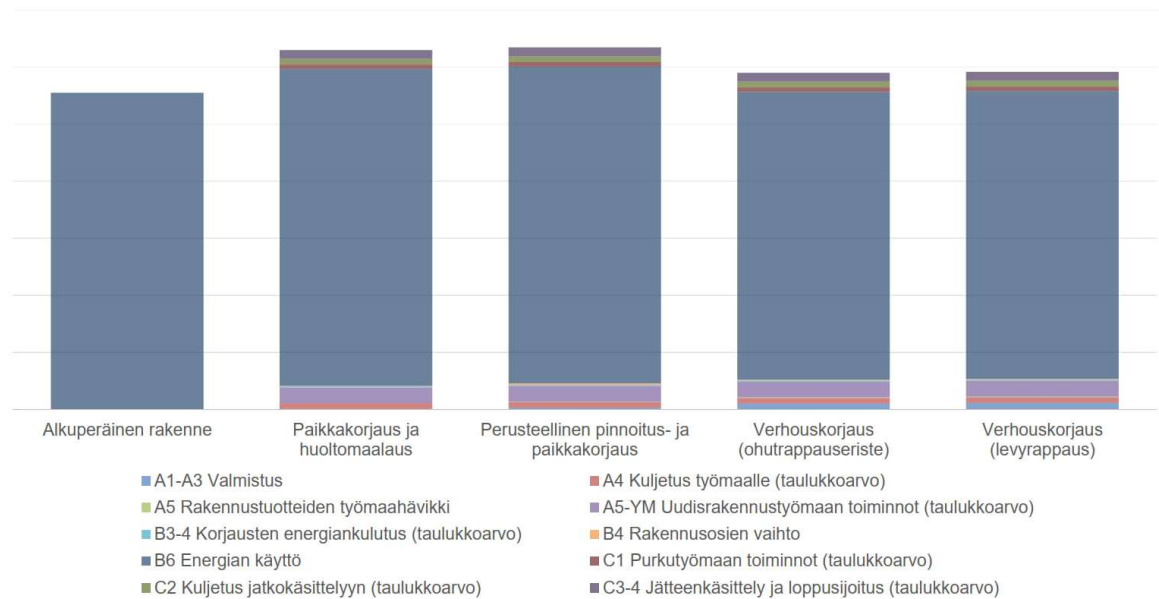
TAULUKKO 6 Korjausvaihtoehtojen kokonaispäästöt.

Korjausvaihtoehto	Hiilijalanjälki (kgCO ₂ e/m ² /a)	Kokonaispäästöt 50 vuoden tarkas- telujaksolla (tCO ₂ e)	Korjauksen vai- kutuksen kokonais- päästöihin
Korjaamaton rakenne	11,10	6 128	0 %
Paikkakorjaus ja huol- tomaalaus	12,62	6 970	+ 13,74 %
Perusteellinen pinnoi- tus- ja paikkakorjaus	12,70	7 011	+ 14,41 %
Verhouskorjaus (ohutrappauseriste)	11,80	6 516	+ 6,33 %
Verhouskorjaus (levy- rappaus)	11,84	6 536	+ 6,66 %

Taulukosta 6 nähdään, että jokainen korjausvaihtoehto aiheuttaa rakennuksen elinkaaren vaiheisiin jonkin verran lisää päästöjä verrattuna korjaamattomaan rakenteeseen. Eniten päästöjä tuottaa perusteellinen pinnoitus- ja paikkakorjaus ja vähiten ohutrappauseristekorjaus.

Jotta hiilijalanjäljen muodostumisesta saadaan parempi kokonaiskuva, on kuviossa 9 esitetty korjausvaihtoehtojen hiilijalanjäljen jakautuminen elinkaarivaiheittain. Taulukossa 7 on esitetty hiilijalanjäljen jakautuminen moduuleittain prosentteina. Kuviossa on esitetty myös alkuperäinen rakenne olettaen, että siihen ei 50 vuoden aikana tehdä mitään korjauksia, ja hiilijalanjälki muodostuu ainoastaan rakennuksen energiankulutuksesta.

KORJauKSEN HIILIJALANJÄLJEN JAKAUTUMINEN ELINKAARIVAIHEITTAIN
(kgCO₂e/m²/a)



KUVIO 9 Hiilijalanjäljen jakautuminen elinkaaren vaiheissa.

TAULUKKO 7 Korjausvaihtoehtojen prosentuaalinen päästöjakautuminen moduuleittain.

Moduuli	Paikkakorjaus ja huoltomaalaus	Perusteellinen pinnoitus- ja paikkakorjaus	Verhouskorjaus (ohutrappauseriste)	Verhouskorjaus (levyrappaus)
A1-A3 Valmistus	0,2 %	0,5 %	1,7 %	1,9 %
A4 Kuljetus työmaalle (taulukkoarvo)	1,6 %	1,6 %	1,7 %	1,7 %
A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki	0,0 %	0,1 %	0,2 %	0,2 %
A5-YM Uudisrakennustyömaan toiminnot (taulukkoarvo)	4,4 %	4,3 %	4,7 %	4,6 %
B3-4 Korjausten energiankulutus (taulukkoarvo)	0,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %
B4 Rakennusosien vaihto	0,2 %	0,5 %	0,3 %	0,3 %
B6 Energian käyttö	88,0 %	87,4 %	85,5 %	85,2 %
C1 Purkutyömaan toiminnot (taulukkoarvo)	1,3 %	1,3 %	1,4 %	1,4 %
C2 Kuljetus jatkokäsittelyyn (taulukkoarvo)	1,6 %	1,6 %	1,7 %	1,7 %
C3-4 Jätteenkäsittely ja loppusijoitus (taulukkoarvo)	2,5 %	2,4 %	2,6 %	2,6 %

Kuviosta 9 ja taulukosta 7 nähdään, että elinkaaren vaiheista selkeästi suurimmat päästöt aiheuttaa rakennuksen energiankäyttö, jonka osuus korjaustavasta riip-

puen on noin 85–88 %. Energiankäytön jälkeen toiseksi suurin osa tulee uudisrakennustyömaan toiminnoista, jonka osuus korjaustavasta riippuen on noin 4–5 %. Uudisrakennustyömaatoiminnon taulukkoarvolla otetaan kantaa korjaustyömaan toimintojen päästöihin, mutta koska arvo on tarkoitettu uudistyömaan toiminoille per rakennuksen lämmitetty nettoala, se ei ole suoraan verrattavissa julkisivuneliöiden työmaatoiminoille. Esimerkiksi paikkakorjaus ja huoltomaalaus korjauksen työmaatoiminnot ovat todellisuudessa vähäisemmät, kuin verhoavassa levyrappauskorjauksessa, sillä paikkakorjauksessa työvaiheita on vähemmän ja ne on nopeampi toteuttaa kuin verhoavassa korjauksessa.

Korjauksessa käytettävien materiaalien valmistusvaiheen osuus jää alle kahden prosentin. Tuloksista saadaan käsitys, että korjauksen työmaatoiminnot aiheuttaisivat enemmän päästöjä, kuin materiaalien valmistuksesta ja toimituksesta aiheutuvat päästöt. Tulokset eivät kuitenkaan ole sellaisinaan verrattavissa julkisivukorjauksesta aiheutuneiden työmaatoimintojen päästöihin. Käytönjälkeiset päästöt ovat myös valmiita taulukkoarvoja ja laskennassa ne huomioidaan myös lämmitetyn nettoalan mukaan. Tästä syystä käytön jälkeiset päästöt eivät myöskään ole suoraan verrattavissa julkisivukorjaukseen.

6.2 Korjauksen vaikutus rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen

Koska rakennuksen käytön aikaisen energiankulutuksen hiilijalanjälki on merkittävä, tarkastellaan julkisivujen lisälämmöneristyskorjausten vaikutusta rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen ja lämmitysenergiasta aiheutuneiden päästöjen vaikutuksiin. Vanhan rakenteen U-arvon oletetaan olevan rakennusvuoden määräysten mukainen $0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$. Laskentapalvelut.fi työkalun avulla arvioitiin, että lisälämmöneristyskorjauksella, ulkoseinärakenteen U-arvoksi saadaan $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ulkoseinärakenteen uusi U-arvo täyttää ympäristöministeriön asetuksen 4/13 vaatimukset. Taulukossa 7 on esitetty korjausvaihtoehtojen lämmitysenergiankulutukset 50 vuoden tarkastelujaksolla kilowattitunneittain per lämmitetty nettoala per vuosi ($\text{kWh/m}^2/\text{a}$) sekä kaukolämmityksestä aiheutuneet päästöt per lämmitetty nettoala per vuosi ($\text{kgCO}_2\text{e/m}^2/\text{a}$).

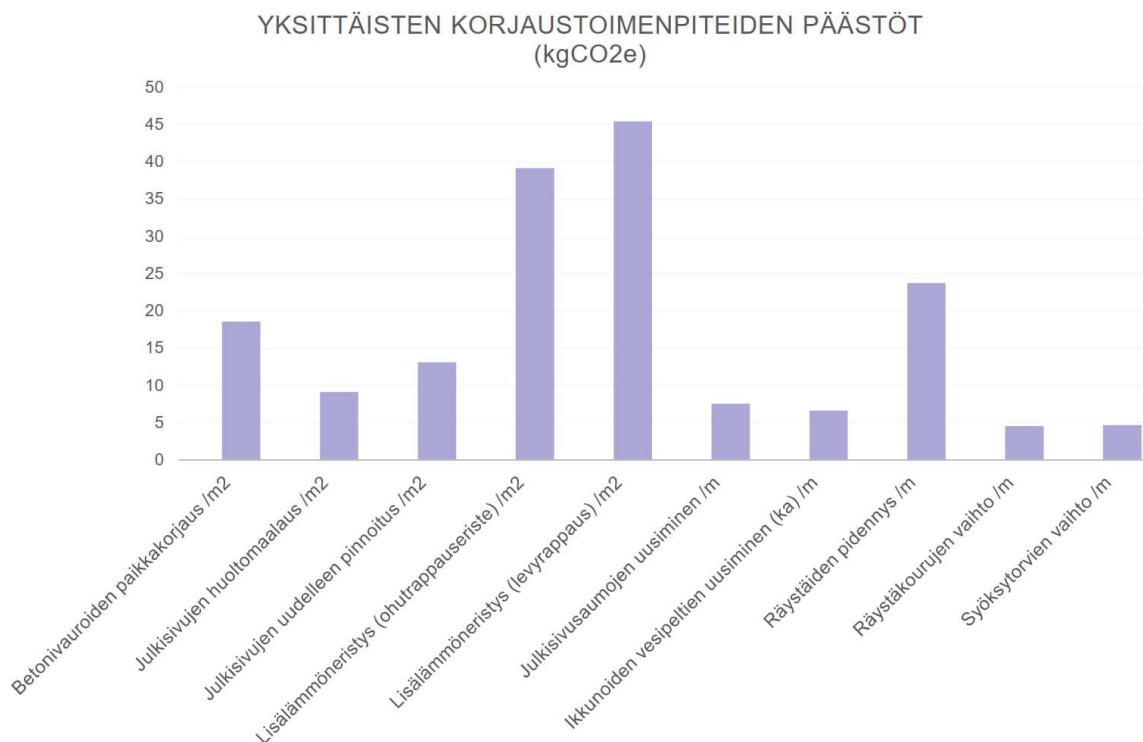
TAULUKKO 8 Rakennuksen lämmitysenergiankulutus ja lämmityksestä aiheutuvat hiilipäästöt korjausvaihtoehdoittain.

Korjaustoimenpide	Rakennuksen lämmitysenergiankulutus (kWh/m ² /a)	Lämmityksestä aiheutuvat päästöt (kgCO _{2e} /m ² /a)
Alkuperäinen rakenne	154,8	10,66
Paikkakorjaus ja huoltomaalaus	154,8	10,66
Pinnoitteiden uusiminen	154,8	10,66
Verhoava korjaus eristerappauksella	140,1	9,65
Verhoava korjaus levyrappauksella	140,1	9,65

Taulukosta 8 nähdään, että julkisivujen pinnoituskorjauksilla lämmitysenergiankulutusta ja siitä aiheutuvia päästöjä ei saada vähennettyä. Lisälämmöneristyksellä saadaan vähennettyä rakennuksen energiankulutusta ja siitä aiheutuvia päästöjä noin 9,5 %. Päästövähennykset ovat suoraan verrannolliset lämmitysenergiankulutuksen vähentämisen kanssa.

6.3 Yksittäisten korjaustoimenpiteiden hiilijalanjälki

Julkisivukorjauksien hiilijalanjäljen arvioinnissa on hyödyllistä tietää, millainen hiilijalanjälki syntyy mistäkin yksittäisen korjaustoimen materiaaleista per julkisivuneliö tai julkisivumetri. Kuviossa 10 on esitetty yksittäisten tapahtumien ja rakennetyyppien päästöt per julkisivuneliö tai julkisivumetri. Tarkastelu on tehty 50 vuoden tarkastelujaksolle, jossa on otettu mukaan ainoastaan materiaalien valmistukset ja materiaalien vaihdot ilman työmaatoimintoja. Liitteessä 1 on esitetty korjaustoimenpiteiden hiilijalanjälkilaskennassa huomioon otetut materiaalit. Tulokset on esitetty kilogrammahiilidioksidiekvivalentin painona (kgCO_{2e}) per yksikkö. Kuvion 10 tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia keskenään, sillä esimerkiksi betonivaurioiden määrä julkisivuilla on aina kohdekohtainen.



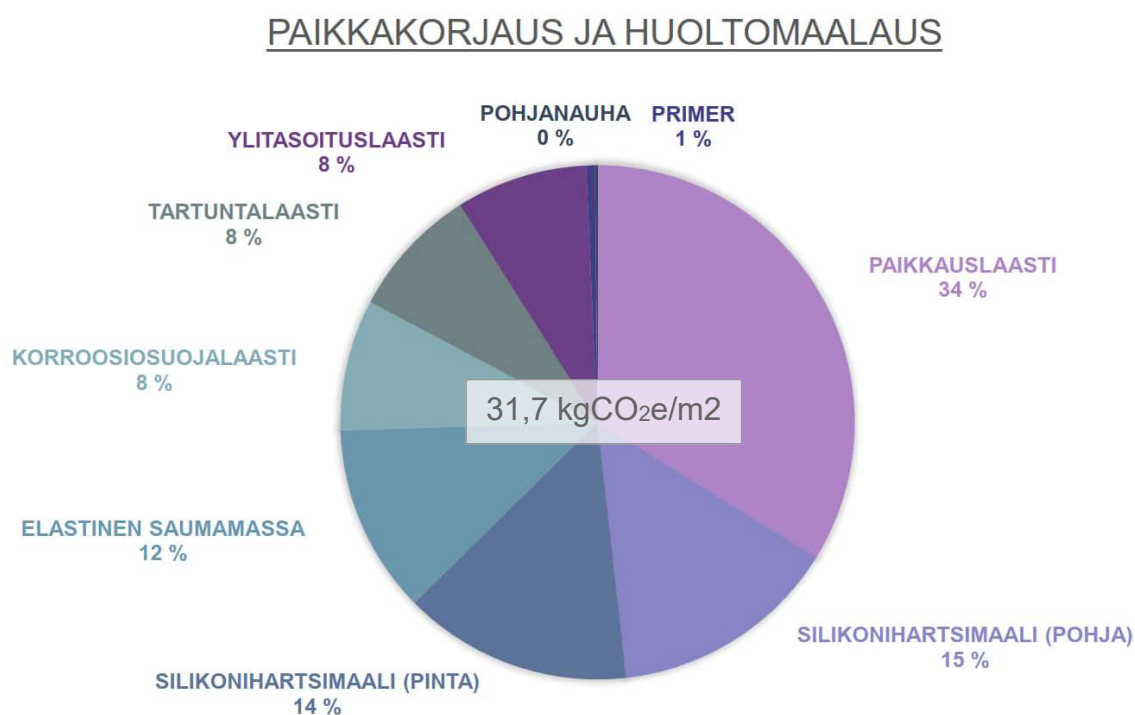
KUVIO 10 Yksittäisten korjaustoimenpiteiden sekä rakennetyyppien päästöt yksikköä kohden.

Kuviosta 10 nähdään, että korjaustoimenpiteissä käytettyjen materiaalien valmistusvaiheessa suurimmat päästöt syntyvät verhoukorausten materiaaleista. Suurimmat päästöt tuottaa levyrapauskorjaus per julkisivuneliö.

Julkisivujen lisälämmöneristämiseen liittyy usein myös räystäiden pidennykset, sillä julkisivun paksuus kasvaa korjauksen myötä. Tästä syystä kuviossa 10 on esitetty myös räystäiden pidennyksistä aiheutuneiden päästöjen suhde muihin julkisivukorjaustoimenpiteisiin nähden. Nähdään, että räystäiden pidennykset tuottavat kaikista yksittäisistä korjaustoimenpiteistä kolmanneksi eniten päästöjä. Tuloksissa tulee kuitenkin huomioida se, että esimerkiksi räystäiden metrimäärä on yleensä pienempi, kuin elementtien elastisten saumojen määrä, joten todellisuudessa yhteenlasketuissa tuloksissa julkisivusaumojen uusimisen päästöt voivat nousta suuremmiksi kuin räystäiden pidennyksistä aiheutuvat päästöt.

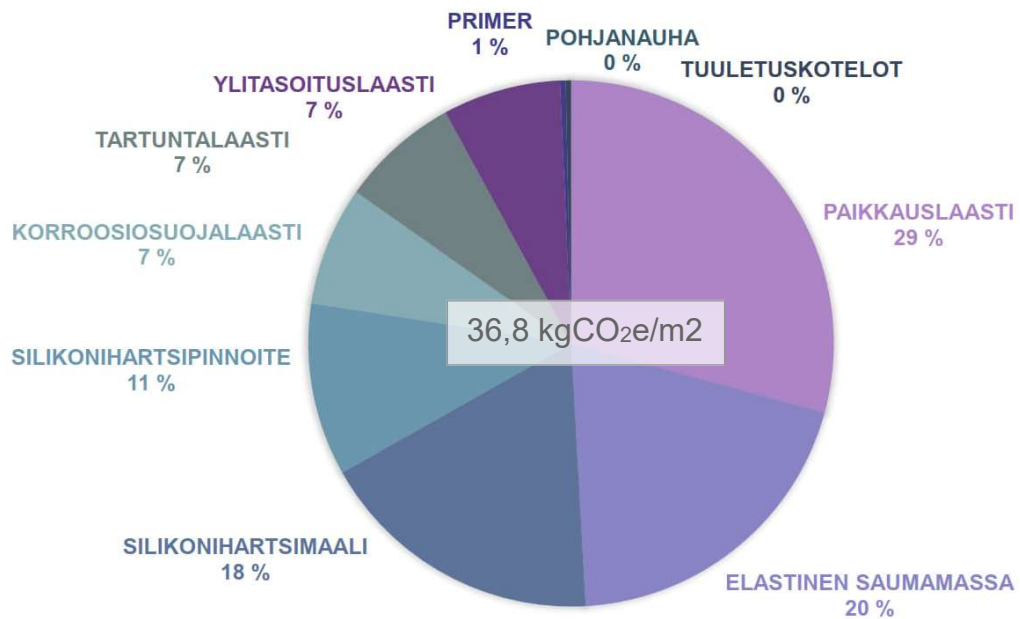
Kun jokaisen korjausvaihtoehdon kaikista päästöisimmät materiaalit saadaan selville, voidaan esimerkiksi materiaalien tuotekohtaisella vertailulla vaikuttaa jonkin

verran korjauksen kokonaispäästöihin. Kuvioissa 11–14 on esitetty korjausvaihtoehtojen materiaaleista aiheutuneiden päästöjen jakautuminen materiaaliakohtaisesti per julkisivuneliö. Kuvioiden keskellä on esitetty korjausvaihtoehdolle tyypillisten materiaalien yhteenlasketut kokonaispäästöt per julkisivuneliö. Materiaaleissa ei ole otettu huomioon räystäiden ja ikkunoiden vesipeltien pidennyksiä. Pinnoituskorjausten tulokset ovat kohdekohtaiset, joten niillä ei voida tämän tutkimuksen perusteella tehdä yleistäviä johtopäätöksiä.



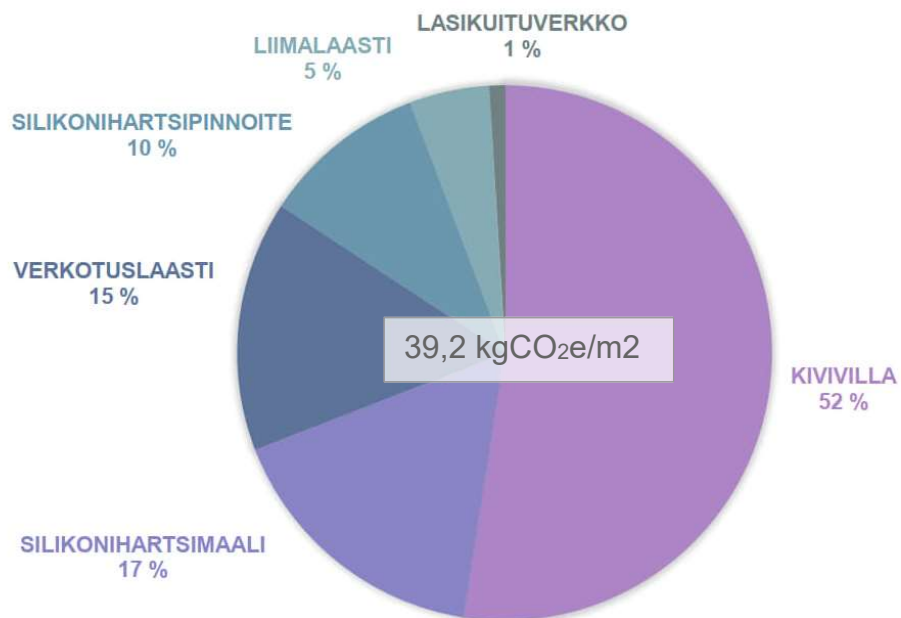
KUVIO 11 Materiaalien päästöjakautuminen paikkakorjaus- ja huoltomaalauksessa.

PERUSTEELLINEN PINNOITUS- JA PAIKKAKORJAUS

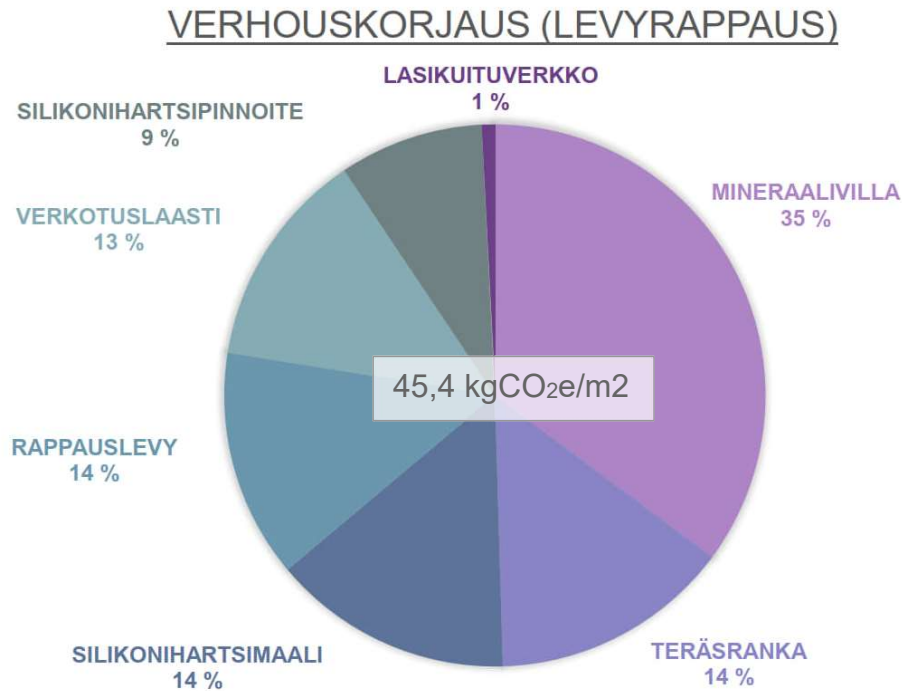


KUVIO 12 Materiaalien päästökautuminen perusteellisessa pinnoitus- ja paikkakorjauksessa.

VERHOUSKORJAUS (OHUTRAPPAUSERISTE)



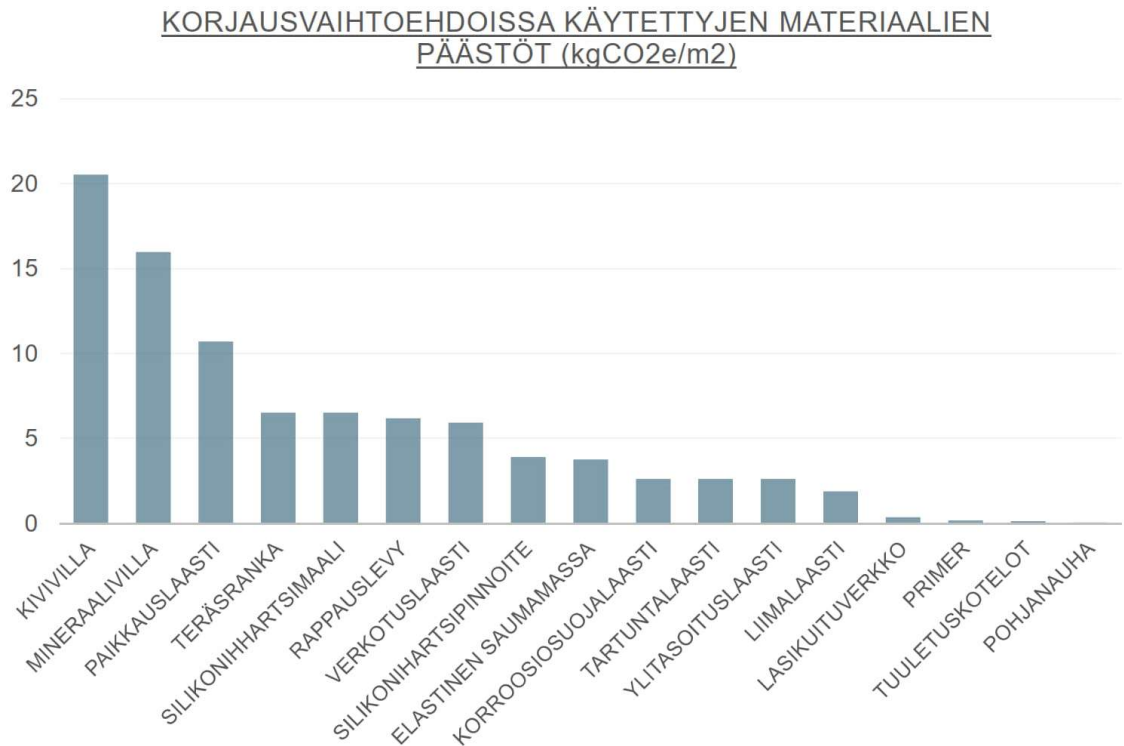
KUVIO 13 Materiaalien päästökautuminen ohutrappauskeräilykorjauksessa.



KUVIO 14 Materiaalien päästöjakautuminen levyrappauskorjauksessa.

Kuvioiden 11 ja 12 mukaan pinnoituskorjauksissa päästöjä syntyy eniten paikkauslaastista ja pinnoituksista. Pinnoitekorjauksissa tehtävien saumojen vaihtoon liittyvät primer, pohjanauha ja tuuletuskotelot tuottavat selkeästi vähiten päästöjä, mutta itse elastinen saumamassa tuottaa paikkauslaastin ja pinnoitteiden jälkeen seuraavaksi eniten päästöjä.

Verhouskorjauksissa suurimmat päästöt aiheuttavat lämmöneristeet ja pinnoitteet. Selkeästi vähiten päästöjä tuottaa rappauksen vahvistusverkkona käytettävä lasikuituverkko. Ohutrappauseristekorjauksessa käytettyjen materiaalien valmistuksesta aiheutuneet päästöt ovat noin 16 % pienemmät kuin levyrappauskorjauksessa. Kuviossa 15 on tarkemmin esitetty kaikkien korjausvaihtoehtojen materiaalien päästöt kilogramma hiilidioksidiekvivalentin painona per julkisivuneiliö (kgCO₂e/m²).



KUVIO 15 Korjauksissa yleisimmin käytettyjä materiaaleja.

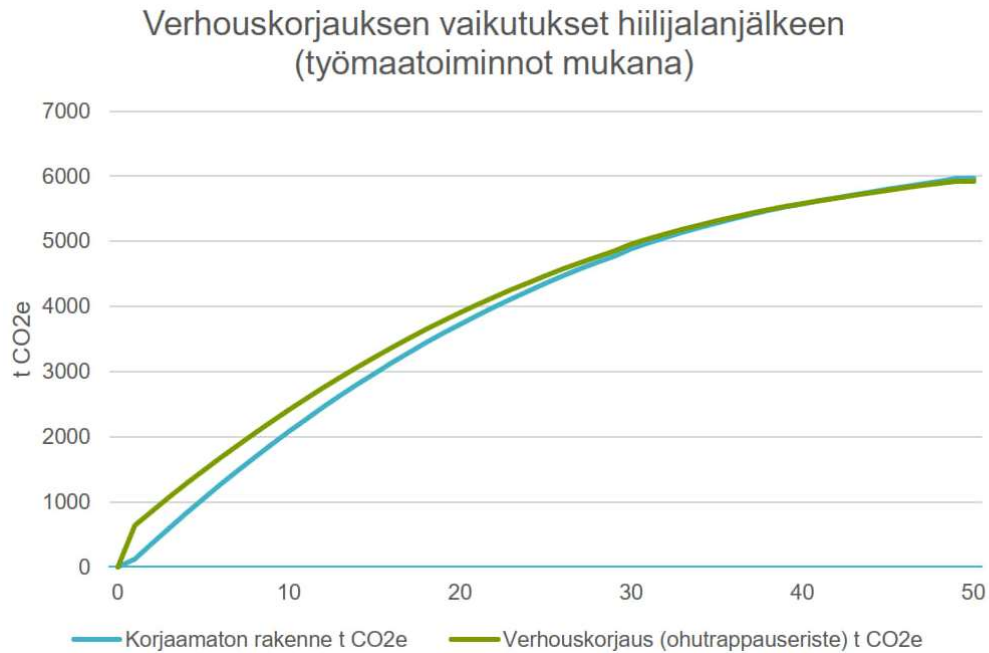
Kuviosta 15 huomataan, että ohutrappauskorjauksessa yleisesti käytetty kivivilla aiheuttaa materiaaleista eniten päästöjä. Toiseksi eniten päästöjä syntyy levyrappauskorjauksessa yleisesti käytettävästä mineraalivillasta, joka aiheuttaa noin 29 % vähemmän päästöjä kuin kivivilla.

Vaikka kivivilla on materiaaleista kaikista päästöisin, se ei nosta koko järjestelmän julkisivuneliöpäästöjä levyrappauksen yli, sillä muut ohutrappausjärjestelmässä käytettävien materiaalien (pinnoitteet, liimalaasti ja lasikuituverkko) päästöt ovat huomattavasti pienemmät ja tasoittavat järjestelmän kokonaispäästöt. Suurin osa levyrappausjärjestelmän materiaaleista (mineraalivilla, teräsranka, rappauslevy ja pinnoitteet) ovat vertailun päästöisimpien materiaalien joukossa.

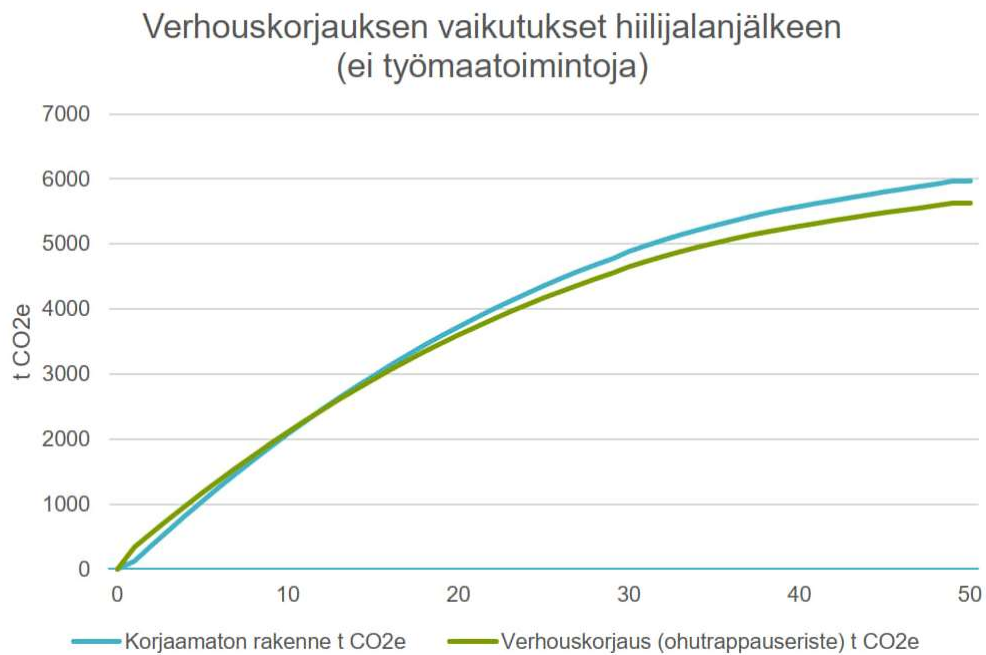
6.4 Materiaalien ja rakennuksen energiankäytön yhteisvaikutukset

Jotta rakennuksen kaukolämpöenergiankäytön päästöistä sekä korjauksesta aiheutuvien päästöjen yhteisvaikutuksesta saadaan parempi kokonaiskuva, on kuvioissa 16 ja 17 on esitetty vähiten päästöjä tuottavan vaihtoehdon korjauksen vaikutukset rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen verrattuna täysin korjaamattomaan rakenteeseen 50 vuoden tarkastelujaksolla. Korjaamattomassa rakenteessa on otettu huomioon ainoastaan rakennuksen kaukolämpöenergian kuluksista johtuvat päästöt, eikä rakenteessa ole otettu huomioon mitään 50 vuoden aikana suoritettavia korjauksia, vaikka todellisuudessa korjauksia joudutaankin tekemään.

Jotta lisälämmöneristyskorjauksen kannattavuutta hiilijalanjäljen näkökulmasta voidaan arvioida, tulee selvittää korjauksesta aiheutuvan hiilipiikin takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajalla tarkoitetaan sitä ajankohtaa, milloin korjatun rakenteen vaikutus alkaa näkyä positiivisena vaikutuksena korjaamattomaan rakenteeseen nähden. Uudistyömaatoimintojen valmiin taulukkoarvon vaikutus korjauksen hiilipiikin takaisinmaksu-aikaan on huomattavan suuri, joten tarkastelu tehdään erikseen työmaatoimintojen kanssa ja ilman työmaatoimintoja. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon korjatun rakenteen elinkaaren lopun purkutyöstä aiheutuvia päästöjä.



KUVIO 16 Ohutrappauseristekorjauksen vaikutukset rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen.



KUVIO 17 Ohutrappauseristekorjauksen vaikutukset rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen.

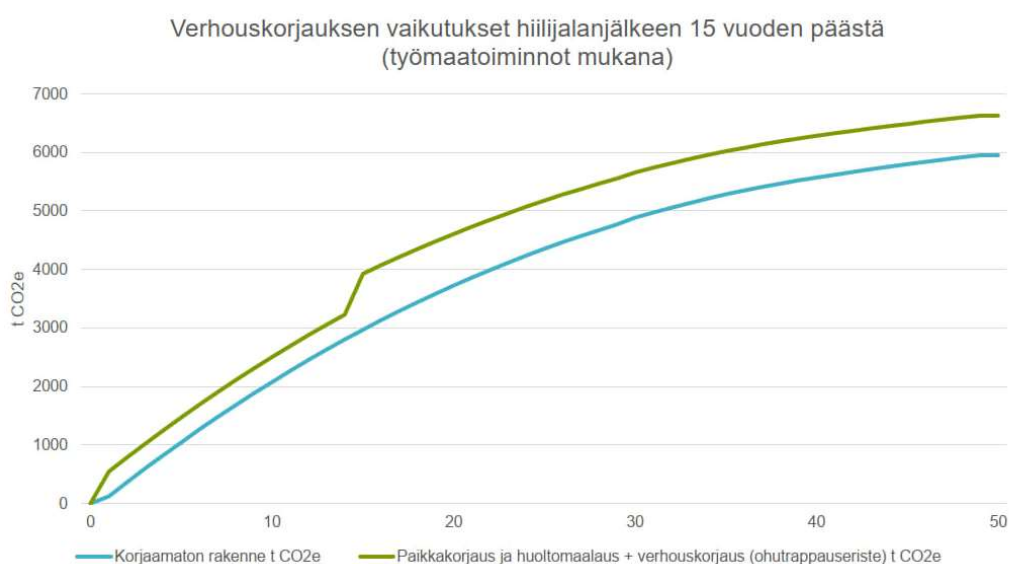
Korjaustoimenpiteistä aiheutuvat materiaalin valmistukset, kuljetukset ja asennukset nostavat korjatun rakenteen hiilijalanjälkeä alkuun hieman verrattuna korjaamattomaan rakenteeseen. Hiilipiikin jälkeen alkaa uuden rakenteen käyttö.

Kuviossa on otettu huomioon kaukolämpöenergian kulutuksen päästökehitys oletetuilla päästökertoimilla. Huomataan, että korjatun rakenteen lämmitysenergiankulutuksen päästöt vähenevät nopeammin kuin korjaamattomassa rakenteessa.

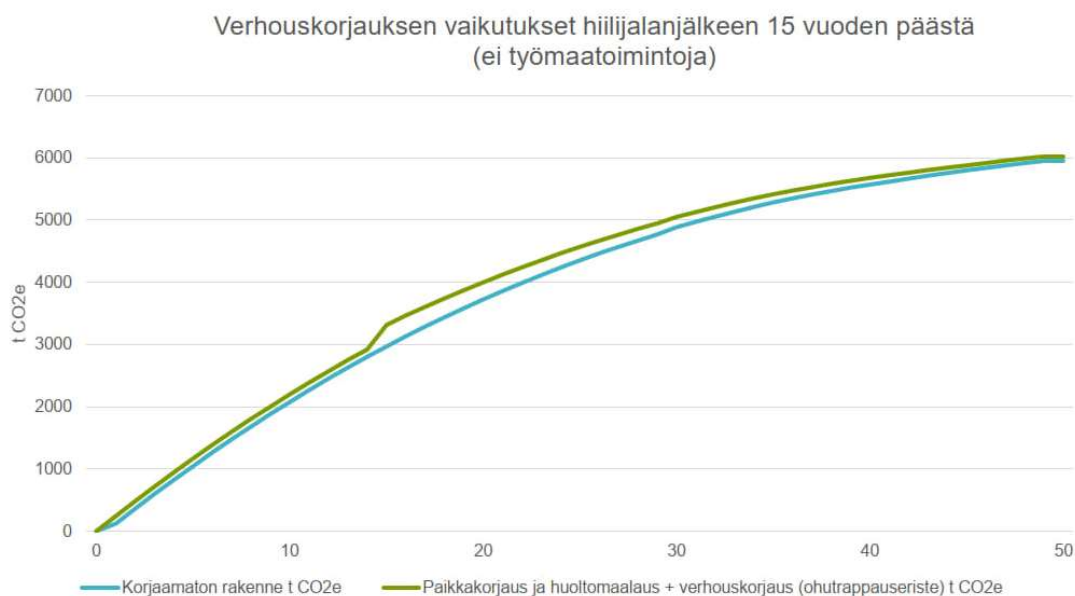
Kuviossa 16 on otettu huomioon uudisrakennustyömaatoiminnon valmis taulukoarvo ja kuviossa 17 se on jätetty kokonaan pois. Jos uudistyömaatoiminnot otetaan mukaan, takaisinmaksu aika korjaukselle on noin 41 vuotta. Kun työmaatoimintoja ei oteta mukaan, huomataan takaisinmaksu ajan olevan noin 12 vuotta.

Hiilipiikin takaisinmaksuajassa ei ole merkittävää eroa siltä osin, tehdäänkö korjaus ohutrappauseristeellä vai tuulettuvalla levyrappauksella. Tuulettuvalla levyrappauksella tehdyn korjauksen hiilipiikki saadaan maksettua takaisin työmaatoiminnot mukaan otettuna 42 vuodessa ja ilman työmaatoimintoja 13 vuodessa.

Pinnoituskorjauksia ei pystytä hiilijalanjäljen näkökulmasta maksamaan takaisin, sillä siihen ei liity lämmitysenergiankulutuksen merkittävää vähenemää. Kuvioissa 18 ja 19 on esitetty tilanne, jossa päätetään korjaus toteuttaa ensin paikka-
korjauksella ja huoltomaalauksella, jonka käyttöön päätyttyä 15 vuoden kuluttua teetetään ohutrappauseristekorjaus.



KUVIO 18 Pinnoituskorjausten vaikutukset rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen.



KUVIO 19 Pinnoituskorjausten vaikutukset rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälkeen.

Kuvioista 18 ja 19 huomataan, että ennen lisälämmöneristyskorjauksia teetetty paikkakorjaus ja huoltomaalaus johtaa siihen, että lisälämmöneristyskorjauksen hiilipiikkiä ei saada maksettua takaisin 50 vuoden tarkastelujakson aikana. Takaisinmaksuajan selvittämiseen tulee laskelmat tehdä pidemmälle tarkastelujaksolle.

6.5 Tulosten luotettavuus

Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän mukaan arvioinnin tulokset katsotaan luotettaviksi, kun arviointi on tehty arviointimenetelmän ohjeen mukaisella rajauksella sekä elinkaariarviointimenetelmää varten laadittua kansallista päästötietokantaa käyttämällä. Päästötietokannan kehitys on kuitenkin vielä kesken, joten tässä vaiheessa voidaan käyttää vielä päästötietoja sellaisista materiaaleista, jotka soveltuvat Suomen oloihin. (Ympäristöministeriö 2019, 36.)

Arviointimenetelmä ohjeistaa esittämään tulokset per lämmitetty nettoala (Ympäristöministeriö 2021, 35). Jotta korjausvaihtoehtojen ilmastovaikutuksia pystytään paremmin vertailemaan, tehtiin laskelmat arviointimenetelmän rajauksen lisäksi

myös per julkisivuneliö. Arviointimenetelmän 2021 ohjeesta tarkemmin, päästö-tiedot laskettiin myös julkisivun saumauksille sillä saumojen materiaalit ovat mer-kittävä osa kahta arvioitavaa korjausvaihtoehtoa.

Ympäristöselosteiden laatimisen vapaaehtoisuus näkyy julkisivujen korjausvaih-toehtoien hiilijalanjäljen laskennassa materiaalien päästötietojen vähäisellä saa-tavuudella. Joissain tapauksissa jouduttiin käyttämään vanhentuneita ympäris-töselosteita ja vastaavia tuotteita. Tämä luo hieman epävarmuutta laskentaan, mutta koska korjausvaihtoehtojen päästöjen eroavaisuudet olivat pieniä, voidaan olettaa, että oikeanlaisten materiaalien korvaaminen vastaavilla tuotteilla, ei vai-kuta merkittävästi saatuihin tuloksiin.

Arviointimenetelmän mukaiset valmiit taulukkoarvot lasketaan rakennuksen läm-mitetyn nettoalan mukaan ja ne on laadittu vastaamaan uudisrakennustyömaa-toimintoja. Arvoja voi siis olla hankala käyttää korjauskohteissa, sillä jokainen kor-jauskohde on yksilöllinen ja yleensä uudisrakentamista huomattavasti pienempi toimenpide, eikä korjauksilla ole välttämättä mitään tekemistä rakennuksen läm-mitetyn nettoalan kanssa. Taulukkoarvot eivät siis suoranaisesti sovellu käytettä-väksi julkisivujen korjauksesta aiheutuneiden päästöjen arviointiin. Laskelmissa on kuitenkin tärkeä ottaa huomioon myös rakentamisesta ja purkamisesta aiheu-tuvat päästöt ja kokonaislaskelmissa nämä on huomioitu käyttämällä arviointime-netelmän valmiita taulukkoarvoja.

Osassa tuloksia korjattua rakennetta on verrattu täysin korjaamattomaan raken-teeseen 50 vuoden tarkastelujaksolle. Tämä on kuitenkin epäreilu tilanne korjat-tujen rakenteiden näkökulmasta, sillä todellisuudessa julkisivuille tulee 50 vuoden aikana tehdä jonkinlaisia huoltotoimenpiteitä.

Määrälaskenta tehtiin olemassa olevista julkisivupiirustuksista. Julkisivupiirustuk-sista ei saada sentin tarkkoja mittoja, mutta määrääarviota voidaan pitää silti luo-tettavana, sillä muutaman neliön muutoksella ei ole merkitystä hiilijalanjäljen ko-konaistulokseen. Case kohteen julkisivun korroosio- ja betonivaurioiden määrä katsottiin suoraan kuntotutkimuksen perusteella laaditusta karkeasta arviosta. Betonivaurioiden tarkkaa määrää ei kuitenkaan todellisuudessa pystytä tarkasti

arvioimaan. Julkisivun hiekkapuhalluksen jälkeen vaurioiden määrä kasvaa alkuperäisestä arvioista sillä osa vaurioista on pinnoitteiden alla piilossa. Levyrappauksen runkorakenteita ja räystäiden pidennyksiin liittyviä rakenteita on mahdollista toteuttaa erilaisin tavoin, joten näiden hiilijalanjälkeä ei voida yleistää suoraan tämän työn perusteella. Tämän työn levyrappauksen runkorakenteen laskelmat tehtiin liitteen 3 mukaisella rakenteella ja räystäsrakenne liitteen 4 mukaisella rakenteella.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Rakennusten hiilijalanjäljen muodostuminen ja sen laskenta on monialainen kokonaisuus, johon vaikuttaa lukuisat eri toimijat ja tekijät. Laskenta perustuu rakennusmateriaalien päästötietoihin, joten materiaalivalmistajien rooli hiilijalanjälkilaskennassa on merkittävä. Yksi tämänkin tutkimuksen haasteista oli niukka valikoima korjauksissa käytettävien materiaalien ympäristöselosteita ja kansallisen päästötietokannan valikoima. Tähän on kuitenkin ennustettavissa muutosta, sillä uusi rakentamislaki tuo rakennuslupaprosessiin myös päästöjen ilmoitusvelvollisuuden. Tämä johtaa siihen, että materiaalivalmistajien tulee tehdä materiaaleihinsa ympäristöselosteita rivakampaan tahtiin ja kiinnittää huomiota valmistuksessa käytettyyn prosessiin, sillä suunnittelijan tarvitsee tietää materiaalien päästötiedot lähtiessään suunnittelemaan rakennuksiin vähäpäästöisiä ratkaisuja. Tällä voidaan ohjata valmistajia myös vaihtoehtoisten materiaalien tuotekehitykseen. Esimerkiksi julkisivukorjausvaihtoehtojen materiaaleista suurimmat päästöt tuottavat selkeästi kivi- ja mineraalivilla, joten näille tulisi miettiä vaihtoehtoisia, vähäpäästöisempiä ratkaisuja.

Kaikista neljästä vertailussa olleesta korjausvaihtoehdoista, suurimmat päästöt aiheuttavat perusteellinen pinnoitus- ja paikkakorjaus. Vaihtoehdoista vähäpäästöisin on ohutrappauseristekorjaus ja siitä aiheutuvan korjaustoimenpiteiden hiiliin takaisinmaksuaika nopein. Ohutrappauseristejärjestelmissä on kuitenkin havaittu jonkin verran vaurioherkkyyttä, jotka pääasiassa johtuvat detaljikaan suunnittelusta ja työvirheistä, joten sitä käytetään nykyään hyvin harkitusti (Julksivuyhdistys n.d.) Ohutrappauseriste- ja levyrappauskorjausten hiilijalanjäljen ero ei ole merkittävän suuri, eikä takaisinmaksuajassakaan havaittu kuin vuoden eroavaisuus. Tästä syystä myös levyrappaus verhoavana korjausvaihtoehtona on hiilijalanjäljen näkökulmasta parempi vaihtoehto kuin pinnoituskorjaukset.

Korjauksen elinkaaren kokonaispäästöistä rakennuksen energiankäyttö aiheuttaa päästöistä merkittävän osan. Verhoavilla lisälämmöneristyskorjauksilla lämmitysenergiankäytön päästöjä voidaan vähentää lähes 10 %. Koska valtaosa Suomen asuinrakennuskannasta on tällä hetkellä korjauksissa, voidaan pelkäs-

tään julkisivujen energiaremonteilla vaikuttaa merkittävästi Suomen asuntokannan lämpöenergiankulutuksen päästöihin. Kun tuloksia verrataan aiemmin esitettyyn Laakkosen (2021) tekemään tutkimukseen uudisrakennusten ulkoseinäraakenteen U-arvon muuttamisen vaikutuksesta hiilijalanjälkeen, huomataan, että uudisrakentamisessa hiilipäästöjä ei pystytä vähentämään yhtä tehokkaasti rakennuksen U-arvoa muuttamalla. Tämä johtuu siitä, että korjauskohteissa U-arvot ovat voivat olla jopa viisin kertaiset verrattuna nykyisiin uudisrakentamisessa vaadittuihin arvoihin.

Vaikka lähes kymmenen prosentin päästövähennykset yksittäiselle rakennukselle ovatkin jo itsessään melko suuret, ei tähän tarvitse vielä tyytyä. Esimerkiksi älykkäillä energiankäytön järjestelmillä voidaan päästövähennyksiä toteuttaa suoraan, kun rakennuksen ostoenergiankulutus vähenee. Tällaisten ratkaisujen energiankäytön päästövähennyksistä tulee kuitenkin tehdä erillinen tarkastelu, jotta sen vaikutuksen suuruus saadaan selville. Erillistä tarkastelua voisi tehdä myös esimerkiksi puuverhouksen käytön mahdollisuuksista sekä päästövaikutuksista levyrappauksen tilalla, sillä puu varastoi itseensä hiilidioksidia.

Julkisivun lisälämmöneristysremontista aiheutuvan hiilipiikin tarkkaa takaisinmaksuaikaa on hyvin vaikea arvioida ympäristöministeriön arviointimenetelmän mukaisilla valmiilla työmaatoimintojen taulukkoarvoilla. Arvojen käytön ja käyttämättömyyden välillä on melkein 30 vuoden ero. Ero on merkittävä ja tästä syystä se vaatii tarkempaa tarkastelua. Valmista arvoa ei voida myöskään käyttää erilaisten korjausvaihtoehtojen päästöjen vertailuun. Tarkempi työmaanaikaisen päästöjen tarkastelu vaatii urakoitsijoiden ohjausta työmaatoimintojen energiankäytön datan keräämiseen, joka voisi olla esimerkiksi osa työmaapäiväkirjan pitoa. Dataa tarvitaan myös monenlaisista korjauskohteista, jotta korjausten laajuuksiin voitaisiin laatia omanlaisensa perusarvot, sillä keskiarvot kaikenlaisista korjaushankkeista voivat antaa tuloksissa epätarkkaa tietoa.

Kun hiilipiikin takaisinmaksuaikaa verrataan tämän työn tuloksia aiemmin esitettyihin Vainion (2021) tuloksiin, nähdään, että ulkovaippakorjauksesta syntyvän hiilipiikin takaisinmaksu ajalle tulee eroa noin 7 vuotta. Vainion tulokset eivät kui-

tenkaan ole täysin verrattavissa tämän tutkimuksen tuloksiin, sillä Vainion tutkimuksessa on otettu kantaa koko ulkovaipparakenteen korjaukseen, mikä sisältää sekä ikkunat, yläpohjan että ulkoseinät.

Koska tämän työn tarkoitus oli keskittyä ainoastaan betonisandwichelementtirakenteisten julkisivujen korjausvaihtoehtojen hiilijalanjälkeen, ei se anna kuvaa esimerkiksi tiilimuurattujen tai puujulkisivujen korjauksista aiheutuvista päästöistä ja niille tulisi tehdä erillinen tarkastelu. Erillistä tarkastelua vaatii myös muiden energiakorjausten vaikutukset rakennuksen hiilijalanjälkeen julkisivukorjausten lisäksi, kuten yläpohjan lisälämmöneristäminen ja ikkunoiden vaihdot.

LÄHTEET

A-Insinöörit. n.d. Hankesuunnittelu. Viitattu: 9.3.2022. <https://www.ains.fi/palvelut/rakennuttamispalvelut/hankesuunnittelu>

A-Insinöörit Suunnittelu Oy. n.d. Korjaushankkeen kulku. Julkaisematon. Opin-
näytetyöntekijän hallussa.

Bionova Oy. 2017. Tiekartta rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen huomioi-
miseksi rakentamisen ohjauksessa. Ympäristöministeriö. Viitattu: 9.3.2022.
<https://ym.fi/vahahiilisen-rakentamisen-tiekartta>

CO₂Data. 2022. Rakentamisen päästötietokanta. Viitattu: 11.3.2022.
<https://co2data.fi/>

Elementtisuunnittelu. 2020. Elementtirakentamisen historia. Viitattu: 3.2.2022.
<https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>

Gaia Consulting Oy. 2020. Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vä-
hähiilisuuden tiekartta 2020–2035–2050. Vähähiilinen rakennusteollisuus 2035.
Osa 4. Viitattu: 11.2.2022. <https://www.rakennusteollisuus.fi/tiekartta>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005a. Korjaushanke asunto-osakeyhtiössä.
JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Viitattu:
1.2.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005b. Korjaustarpeen selvittäminen ja kunto-
tutkimukset. JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Vii-
tattu: 28.1.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005c. Korjaustavan valinta. JUKO-Ohjeisto-
kansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Viitattu: 28.1.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005d. Pinnoitus- ja paikkakorjaukset – yleisku-
vaus. JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Viitattu:
28.1.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005e. Purkaminen ja uudelleenverhous-yleis-
kuvaus. JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Viitattu:
30.1.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005f. Rakenteet ja korjausmahdollisuudet.
JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Viitattu:
28.1.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005g. Suunnittelun valmistelu. JUKO-Ohjeis-
tokansio julkisivukorjaus-hankkeen läpiviemiseksi. Viitattu: 1.2.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005h. Verhouskorjaukset-yleiskuvaus. JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Viitattu: 30.1.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005i. Verhouskorjaukset eristerappauksella / kolmikerrosrappaus- suunnitteluohjeet. JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Viitattu: 30.1.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Haukijärvi, M. Julkisivuyhdistys. 2005j. Verhouskorjaukset eristerappauksella / ohutrappaus-suunnitteluohjeet. JUKO-Ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Viitattu: 30.1.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/juko-ohjeistokansio/>

Helin, F. 2021. Julkisivukorjaushankkeen hiilipäästöjen arviointi. Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma. Tampereen yliopisto. Kandidaatintyö.

Hiilineutraali Suomi. 2021. Viitattu: 11.3.2022. https://www.hiilineutraali-suomi.fi/fi-FI/Tyokalut/Rakentamisen_paastotietokanta

Häkkinen, T., Kuittinen, M. 2020. Kohti vähähiilistä rakentamista. Opas arviointiin ja suunnitteluun. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Häkkinen T. 2021. Emission database for building products, services and systems. Viitattu: 5.4.2022. [Report database content and methods 2021-02-24 \(1\).pdf](#)

Ilmasto-opas. n.d. Ilmastonmuutos ilmiönä. Viitattu: 13.2.2022. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/962d9aa2-e7e3-4df5-89a2-9f1f653e0d4e/ilmastonmuutos-ilmiona.html>

Julkisivuyhdistys. n.d. Julkisivuyhdistys kommentoi eristerappausjärjestelmien ongelmiin liittyvää keskustelua. Viitattu: 8.4.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/uutishuone/nakokulmia/julkisivuyhdistys-kommentoi-eristerappausjarjestelmien-ongelmiin-liittyvaa-keskustelua/>

Kerrostalot 1880–2000 – arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. 2006. Rakennustieto Oy. Julkaisijat: Rakennustieto säätiö RTS. Rakennustekniikan keskus- säätiö. Museovirasto.

Kiinteistöposti. 2022. Viitattu: 1.3.2022. <https://www.kiinteistoposti.fi/forecon-pinnoitetun-betonijulkisivun-korjaustarve-huipussaan/>

Laakkonen, I. 2021. Rakenteellisen energiatehokkuuden vaikutus betoniasuin-kerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen yliopisto. Diplomityö.

Laskentapalvelut.fi. n.d. Viitattu: 25.3.2022. <https://www.laskentapalvelut.fi>

Linne, S. 2010. Ulkovaipan lämpötalouteen vaikuttavat korjaustoimenpiteet käytännössä. Raportti. Viitattu: 10.2.2022. <https://julkisivuyhdistys.fi/tietoa-julkisivuista/tutkimukset/>

OpenCO₂. n.d. Mitä tarkoitetaan hiilijalanjäljellä, päästökertoimella tai CO₂-ekvi-
valentilla?. Viitattu: 17.2.2022. <https://www.openco2.net/fi/taustaa>

Pariisin ilmastososopimus. n.d. Ympäristöministeriö. Viitattu: 8.2.2022.
<https://ym.fi/pariisin-ilmastosopimus>

Rakennuksen ilmastaselvityksen asetusluonnos lausunnoille – tavoitteena yh-
denmukainen ja luotettava vähähiilisyiden arviointi. 2021. Ympäristöministeriö.
Viitattu: 17.2.2022. [https://ym.fi/-/rakennusten-ilmastaselvityksen-asetusluon-
nos-lausunnoille-tavoitteena-yhdenmukainen-ja-luotettava-vahahiilisyiden-arvi-
ointi](https://ym.fi/-/rakennusten-ilmastaselvityksen-asetusluon-
nos-lausunnoille-tavoitteena-yhdenmukainen-ja-luotettava-vahahiilisyiden-arvi-
ointi)

Rakennusteollisuus RT ry. 2021 Rakennustuoteteollisuus RTT RY. Rakenteelli-
nen energiatehokkuus korjausrakentamisessa. Webinaari. Julkaisija: Rakennus-
lehti. Viitattu: 13.2.2022. [https://rakennuslehti.videosync.fi/2021-09-01-raken-
teellinen-energiatehokkuus?seek=0](https://rakennuslehti.videosync.fi/2021-09-01-raken-
teellinen-energiatehokkuus?seek=0)

Rakennustieto Oy. 2016. Rakennustietosäätiö RTS. Asunto-osakeyhtiön kor-
jaushankkeen hankesuunnittelu. RT 18-11220. Viitattu: 12.2.2022. [https://kortis-
tot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2018-11220](https://kortis-
tot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2018-11220)

Rakennustieto Oy. 2002. Rakennustietosäätiö RTS. Rakennusmestarit ja Insi-
nöörit AMK RKL ry. Betonijulkisivujen tekninen kehitys 1991–2001. Julkaisija:
Rakennustieto RT. Viitattu: 4.2.2022. [https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakenta-
jain-kalenteri/RK020404.pdf](https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakenta-
jain-kalenteri/RK020404.pdf)

RTS EPD – ympäristöseloste. n.d. Rakennustietosäätiö RTS. Viitattu:
17.2.2022. <https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/>

Tiedot RTS EPD ympäristöselosteessa. n.d. Rakennustietosäätiö RTS. Viitattu:
17.2.2022. [https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/tiedot-rts-epd-ymparistoselos-
teessa/](https://cer.rts.fi/epd-ymparistoseloste/tiedot-rts-epd-ymparistoselos-
teessa/)

Rakennusteollisuus RT ry. 2019. Asuntokannan ikäjakauma vuonna 2016.
Asuntokanta. Viitattu: 28.1.2022. [https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-
alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Asuntomarkkinat/Asuntokanta/](https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-
alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Asuntomarkkinat/Asuntokanta/)

Rakennusteollisuus RT ry. n.d. Korjausrakentaminen ja energiatehokkuus. Vii-
tattu: 13.2.2022. [https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakenta-
minen1/Korjausrakentaminen-ja-energiatehokkuus/](https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakenta-
minen1/Korjausrakentaminen-ja-energiatehokkuus/)

RT 18-10922. 2008. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS. Kiinteistön
tekniset käyttöiät ja kunnossa-pitojaksot. Viitattu: 12.2.2022. Vaatii käyttöoi-
keuden. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2018-10922>

RT 18-11220. 2016. Rakennustieto Oy. Rakennustietosäätiö RTS. Asunto-osa-
keyhtiön korjaushankkeen hankesuunnittelu. Viitattu: 9.3.2022. Vaatii käyttöoi-
keuden. [https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2018-11220?external_sys-
tem=Juha&page=1](https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2018-11220?external_sys-
tem=Juha&page=1)

Suomen Betoniyhdistys ry. 2019. Betonijulkisivun kuntotutkimus 2019 by 42.
Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2014. Tilaajan ohje. Betonijulkisivun ja parvekkeiden kuntotutkimus. Viitattu: 13.2.2022. <http://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/verkkojulkaisut.html>

Suomen säädöskokoelma 1048/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. Viitattu: 13.2.2022. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>

Valtioneuvosto. 2022. Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuksen jatkosta linjaus: uusi rakentamislaki sekä alueidenkäytön digitaalisuus eduskuntaan syksyllä. Viitattu: 14.4.2022. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/maankaytto-ja-rakennuslain-uudistuksen-jatkosta-linjaus-uusi-rakentamislaki-seka-alueidenkayton-digitaalisuus-eduskuntaan-syksylla>

Valtioneuvosto. n.d. Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. Marinin hallitusohjelma. Viitattu: 13.2.2022 <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>

WWF. n.d. Viitattu: 13.2.2022. <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>

Ympäristöministeriön asetus 4/13. 2013. Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Viitattu: 2.3.2022. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriö. 2022. Viitattu: 2.3.2022. <https://ym.fi/-/ipcc-n-raportti-ilmastonmuutos-on-vaikuttanut-vakavalla-tavalla-luontoon-ja-ihmisiin-vaikutukset-ja-kautuvat-epatasaisesti>

Ympäristöministeriö. 2021. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän ohjeen luonnos lausuntokierrosta varten 6/2021. Viitattu: 3.3.2022. <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposalId=0b297461-cdee-4657-9a4e-d2791315257d>

Ympäristöministeriö. 2019. Rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä. Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:22. Julkaistu: 30.8.2019. Viitattu: 13.1.2022. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161761>

Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu. n.d. Olemassa olevan rakennuksen energiatehokkuus. Viitattu: 1.2.2022. <https://www.ymparisto.fi/fi-fi/rakentaminen/rakennuksen-energia-ja-ekotehokkuus/olemassa-olevan-rakennuksen-energiatehokkuus>

Vähähiilinen rakentaminen. n.d. Ympäristöministeriö. Viitattu: 16.2.2022. <https://ym.fi/vahahiilinen-rakentaminen>

Vähähiilisyden tiekartta. n.d. Rakennusteollisuus RT ry. Viitattu: 11.2.2022. <https://www.rakennusteollisuus.fi/tiekartta>

LIITTEET

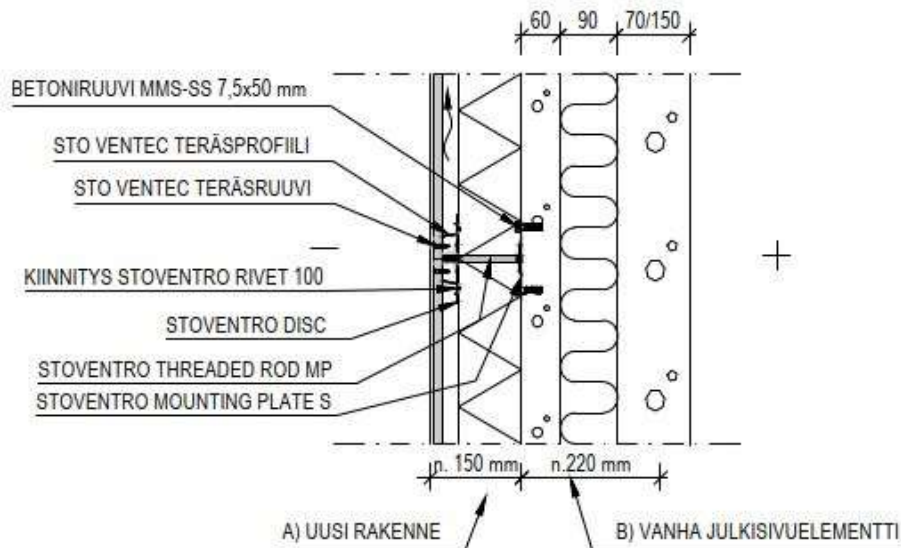
Liite 1 (2). Hiilijalanjätkilaskennassa huomioidut materiaalit.

Vaihtoehto 1: Julkisivujen paikkakorjaus ja huoltomaalaus	
Toimenpide	Materiaali
Julkisivujen saumojen paikkakorjaus	Pohjanauha Primer Elastinen saumamassa
Betoni- ja teräskorroosioaurioiden paikkakorjaus	Korroosiosuojalaasti Tartuntalaasti betonille Paikkauslaasti Ylitasoituslaasti
Julkisivujen huoltomaalaus	Silikonihartsimaali (Pohjuste) Silikonihartsimaali (Pinta)
Ikkunapeltien reunanostojen tiivistys	Primer Elastinen saumamassa
Keittiöiden tuloilmakanavien ritilät	Ulkosäleikkö (alumiini)
Vaihtoehto 2: Perusteellinen pinnoitus- ja paikkakorjaus	
Betoni- ja teräskorroosioaurioiden paikkakorjaus	Korroosiosuojalaasti Tartuntalaasti betonille Paikkauslaasti Ylitasoituslaasti
Julkisivun pinnoitus	Silikonihartsimaali (Pohjuste) Silikonihartsipinnoite (Pinta)
Julkisivujen saumojen uusiminen	Tuuletuskotelot Pohjanauha (solumuovi) Primer Elastinen saumamassa
Ikkunapellitysten uusiminen	Ikkunoiden vesipelti
Vaihtoehto 3: Julkisivujen verhoava korjaus ohutrappauseristejärjestelmällä	
Julkisivut lisälämmöneristetään	Tartuntalaasti Lämmöneriste 100 mm (kivivilla)
Ohutrappaus	Verkotuslaasti Lasikuituverkko Verkotuslaasti Silikonihartsimaali (Pohjuste) Silikonihartsipinnoite (Pinta)
Uusitaan ikkunoiden vesipellit	Ikkunoiden vesipelti
Räystäät pidennetään	Räystäspellit Puutavara 50x100mm k600 Kertopuu 48x100 Kulmarauta 60x60x8 k600 Kulmarauta 80x80x8 k600 Säänkestävä vaneri 12 mm Bitumikermi TL2+TL2
Syöksytorvet ja räystäskourut uusitaan	Uudet räystäskourut Uudet syöksytorvet

Liite 2 (2). Hiilijalanjätkilaskennassa huomioidut materiaalit.

Vaihtoehto 4: Julkisivujen verhoava korjaus levyrappauksella	
Julkisivut lisälämmöneristetään Julkisivuverhous tuulettuvalla levyrappauksella	Lämmöneriste 100 mm (mineraalivilla) Teräsranka K600 vaakaan Rappauslevy 12,5 mm Verkotuslaasti Lasikuituverkko Verkotuslaasti Silikonihartsimaali (Pohjuste) Silikonihartsipinnoite (Pinta)
Uusitaan ikkunoiden vesipellit	Ikkunoiden vesipelti
Räystäät pidennetään	Räystäspellit Puutavara 50x100mm k600 Kertopuu 48x100 Kulmarauta 60x60x8 k600 Kulmarauta 80x80x8 k600 Säänkestävä vaneri 12 mm Bitumikermi TL2+TL2
Syöksytorvet ja räystäskourut uusitaan	Uudet räystäskourut Uudet syöksytorvet

Liite 3. Levyrappauslaskelmissa huomioitu rakenne.



RAKENNE ULKOAPÄIN:

A) JULKISIVUJEN LISÄLÄMMÖNERISTYS JA LEVYRAPPAAUS

- | | |
|-----------|--|
| 5-8mm | <p>STOVENTEC LEVYRAPPAAUS</p> <ul style="list-style-type: none"> - laastit ja verkotus järjestelmätoimittajan mukaan - pinnoite STOLOTUSAN K raekoko 2 mm, hiertopinta, väri ARK |
| 12mm | <p>JULKISIVULEVY, STOVENTEC</p> <ul style="list-style-type: none"> - ruuvikiinnitys tuotoimittajan ohjeen mukaan - levyn ja rangan väliin EPDM-nauha |
| n. 125 mm | <p>RANKAJÄRJESTELMÄ STOVENTRO X, TUULETUSVÄLI JA LÄMMÖNERISTE</p> <ul style="list-style-type: none"> - tuuletusväli 25 mm, StoVentec tuulettuvat teräsprofiilit - StoVentec asennuskiekot - etäisyyskiinnike MP ja aluslevy S - rankajärjestelmän asennus ja kiinnikkeet tuotoimittajan ohjeen, laskelmien ja alustatyyppin mukaan - järjestelmä kiinnitetään elementin ulkokuoreen - LÄMMÖNERISTE: tuulensuojapintainen mineraalivilla 100mm ISOVER RKL-31 Facade - lämmöneristeen levysaumot teipataan tuotoimittajan ohjeen mukaan |

Liite 4. Räystäslaskelmissa huomioitu rakenne.

