

Emmi Salmio

KORJAUSRAKENTAMISEN JA PURKAVAN UUDISRAKENTAMISEN VERTAILU HIILIJALANJÄLJEN NÄKÖKULMASTA

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Dosentti Jukka Lahdensivu
Tarkastaja: Tenure track -professori Satu Huuhka
Syyskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Emmi Salmio: Korjausrakentamisen ja purkavan uudisrakentamisen vertailu hiilijalanjäljen näkökulmasta

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Syyskuu 2022

Tässä diplomityössä verrattiin olemassa olevan rakennuksen korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista ympäristön näkökulmasta. Tarkoitus oli selvittää, kumpi on ympäristön kannalta parempi vaihtoehto. Vertailussa on avainasemassa vaihtoehtojen hiilijalanjäljen kehittyminen ajan saatossa.

Tutkimusmenetelmä oli kirjallisuustutkimus. Tutkimuksessa tarkasteltiin Suomen ilmastossa tai vastaavissa ilmasto-olosuhteissa sijaitsevia rakennuksia. Tutkimusaineiston koko oli 19 julkaisua, joissa oli yhteensä 65 korjaus-uudisrakentamisvertailuparia.

Rakennuksen hiilijalanjälki kertyy ajan saatossa. Aivan elinkaaren alussa, tuote- ja rakentamisvaiheessa, syntyy lyhyessä ajassa runsaasti hiilidioksidipäästöjä. Tämä niin kutsuttu hiilipiikki koostuu pääasiassa rakennusmateriaalien valmistuksesta ja kuljetuksesta aiheutuvista päästöistä. Käyttöönoton jälkeen hiilijalanjälki kumuloituu hitaammin vuosi vuodelta. Käyttövaiheen päästöt aiheutuvat energiankulutuksesta sekä korjaamisesta ja osien vaihtamisesta. Korjausrakentamisella on yleensä uudisrakentamista pienempi tuote- ja rakentamisvaiheen hiilipiikki, mutta jonkin verran suuremmat käyttövaiheen päästöt.

Kun korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon päästöt asetetaan samaan kuvaajaan, nähdään leikkaavatko käyrät toisensa ja millä ajan hetkellä se tapahtuu. Leikkauspisteessä uudisrakentamisvaihtoehto muuttuu korjausvaihtoehtoa paremmaksi ympäristön näkökulmasta. Mikäli päästökäyrät eivät leikkaa, korjaaminen on parempi vaihtoehto koko tarkastellun ajanjakson ajan.

Jokaiselle tutkimusaineiston korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdolle muodostettiin kumulatiivinen päästökäyrä. Sen jälkeen tutkittiin, leikkaavatko vertailuparin korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdon päästökäyrät toisensa. Näin saatiin selville, kuinka monessa vertailuparissa korjaaminen on aina ympäristön kannalta parempi vaihtoehto, ja kuinka monessa uudisrakentaminen muuttuu paremmaksi vaihtoehdoksi jossain vaiheessa.

Aineiston vertailupareista 60 %:ssa korjaaminen oli ympäristön kannalta parempi vaihtoehto koko tarkastelujakson ajan. Tarkastelujakson pituus oli aineiston julkaisuissa 25–75 vuotta. Vertailupareista 38 %:ssa korjaaminen oli aluksi parempi vaihtoehto, mutta uudisrakentaminen muuttui paremmaksi vaihtoehdoksi ajan kuluessa. Tämä tapahtui keskimäärin 17 vuoden kuluttua, vaihteluvälin ollessa yhdestä 55 vuoteen.

Tutkimuksen tavoite oli myös antaa suosituksia korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertailevan hiilijalanjälkiarvioinnin tekemiseen. Huomiota tulisi kiinnittää vaihtoehtojen vertailukelpoisuuteen esimerkiksi laajuuden suhteen, sekä puolueettomuuteen päästötietojen valinnassa. Korjausvaihtoehdon menneitä elinkaarivaiheita ei tule ottaa huomioon, mutta uudisrakennukselle olemassa olevan rakennuksen purkamisen päästöt tulisi lisätä elinkaaren alun päästöihin. Mahdolliset paikallisen energiantuotannon ratkaisut olisi syytä tarkastella molemmille vaihtoehdoille. Tulokset on hyvä esittää aikajanan avulla, niin että päästöjen syntymisajankohta ja päästökäyrien mahdollinen leikkauspiste ovat helposti nähtävissä.

Avainsanat: elinkaariarviointi, LCA, hiilijalanjälki, korjausrakentaminen, purkava uudisrakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Emmi Salmio: Comparing the carbon footprint of renovation and reconstruction
Master of Science Thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Civil Engineering
September 2022

This master's thesis compares renovating an existing building with demolishing and constructing a new building from an environmental perspective. The goal is to figure out which of these two options is better for the environment. The accumulation of the alternative's carbon footprint over time has a pivotal role in the comparison.

The research method is a literature review. The study examines buildings located in the Finnish climate or similar climatic conditions. The size of the research data is 19 publications including a total of 65 renovation-new construction comparison pairs.

The carbon footprint of a building accumulates over time. At the very beginning of the life cycle, at the product and construction phase, a major amount of CO₂ emissions is generated in a short period. This so-called carbon spike consists mainly of emissions from manufacturing and transporting construction materials. After deployment, the carbon footprint cumulates more slowly year by year. Operational emissions are caused by energy consumption and the repair and replacement of building parts. Renovations tend to have lower product and construction phase emissions than new construction, but somewhat higher operational phase emissions.

When the CO₂ emissions of the renovation and the new construction options are set in the same graph, it is seen whether the CO₂ curves intersect each other and when this occurs. At the intersection, the new construction becomes better from an environmental point of view. If the CO₂ curves do not intersect, renovation remains better throughout the period considered.

In this study a cumulative CO₂ curve is formed for all renovation and new construction options of the research publications. This is to find out in how many of the comparison pairs renovation remains a better option throughout the period considered, in how many the new construction turns better at some point and how long does it take.

In 60% of the renovation-new construction comparison pairs the renovation is an environmentally preferable option throughout the reference study period. The reference study period varies from 25 to 75 years. In 38% of the comparison pairs, the renovation is initially a better option, but new construction becomes better over time. This occurs at an average of 17 years, with a range of one to 55 years.

Other aim of the study is to give recommendations for conducting a comparative carbon footprint assessment on renovation and new construction. Attention should be paid to the comparability of the alternatives, for example in terms of size, and impartiality in the selection of emissions data. The past life cycle stages of the repair option should not be considered, but for the new building option, emissions from demolishing the existing building should be added to the emissions at the beginning of the life cycle. Solutions for local energy production, if any, should be considered for both options. It is beneficial to present the results on a timeline. Thus, occurrence of the emissions together with the possible intersection of the CO₂ curves can be identified.

Keywords: life cycle assessment (LCA), carbon footprint, refurbishment, repair, new construction

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on kirjoitettu opinnäytetyöksi rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkintoon Tampereen yliopistossa. Tutkimuksen aineisto on kerätty osittain ympäristöministeriön Purkaa vai korjata (PURKUKO) -tutkimushankkeessa.

Haluan kiittää ohjaajiani Jukka Lahdensivua ja Satu Huuhkaa. Erityiskiitos Satulle mielenkiintoisen opinnäytetyöaiheen tarjoamisesta, luottamuksesta sekä tuesta ja kannustuksesta diplomityöprosessissa.

Kiitos Apa mielenterveyteni ylläpitämisestä ja säännöllisestä ulkoiluttamisesta. Kiitos Oona konkreettisesta avustasi työn alussa ja loppusuoralla.

Helsingissä, 12.9.2022

Emmi Salmio

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tausta.....	1
1.2 Tutkimuksen tarkoitus	2
1.3 Tutkimusmenetelmä, aineisto ja rajaukset.....	3
1.4 Raportin sisältö	4
2. RAKENNUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA HIILIJALANJÄLKI.....	5
2.1 Elinkaariarviointi eli LCA	5
2.2 Rakennuksen hiilijalanjälkiarviointi	7
2.2.1 Systemirajaus ja elinkaarivaiheet	7
2.2.2 Toiminnallinen yksikkö	11
2.2.3 Tarkastelujakson pituus	11
2.2.4 Päästötiedot.....	12
2.2.5 Laskentavalintojen ja -menetelmien merkitys	14
3. TUTKIMUSAINEISTO	16
3.1 Aineiston keruu ja rajaukset	16
3.2 Aineisto	19
3.2.1 Julkaisuvuosi	19
3.2.2 Maa.....	24
3.2.3 Ilmasto	24
3.2.4 Rakennustyyppi	24
3.2.5 Korjattavan rakennuksen rakennusvuosi.....	25
3.2.6 Ympäristövaikutus.....	26
3.2.7 Elinkaarivaiheet	26
3.2.8 Tarkastelujakson pituus	27
3.2.9 Olemassa olevan rakennuksen purkamisen päästöt	30
3.2.10 Toiminnallinen yksikkö.....	30
3.2.11 Korjauksen laajuus	30
3.2.12 Laskentamenetelmät ja päästötiedot	31
3.2.13 Energiankulutuksen määrittäminen.....	31
3.2.14 Tulosten esitystapa.....	32
3.3 Vertailuparien päästötiedot.....	32
3.3.1 Eri korjaustyyppien hiilijalanjälki	41
3.3.2 Eri rakennustyyppien hiilijalanjälki	45
4. KORJAUSRAKENTAMISEN JA UUDISRAKENTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN VERTAAMINEN	49
4.1 Rakennuksen hiilijalanjäljen esitys aikajanalla	49
4.2 Aikajanaesitys korjaamisen ja uudisrakentamisen hiilijalanjäljen vertailussa	51
4.3 Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajan määrittäminen tutkimusaineiston vertailupareille	57
5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	59
5.1 Vertailuparien päästöprofiilit	59

5.2	Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika aineiston vertailupareissa	62
5.2.1	Peruskorjaus	62
5.2.2	Peruskorjaus ja laajennus	69
5.2.3	Rungon uudelleenkäyttö	72
5.2.4	Käyttötarkoituksen muutos	74
5.2.5	Muut korjaustyypit	77
5.3	Kaikki vertailuparit	80
6.	POHDINTA	85
6.1	Metodologiset valinnat aineiston julkaisuissa ja niiden vaikutukset tuloksiin 85	
6.1.1	Vaihtoehtojen määrittely	85
6.1.2	Tarkastelujakson pituus	86
6.1.3	Korjattavan rakennuksen systeimirajaus	87
6.1.4	Materiaalisidonnainen hiilijalanjälki	88
6.1.5	Energiankäytön hiilijalanjälki	89
6.1.6	Purkamisen hiilijalanjälki	92
6.1.7	Tulosten esitystapa	93
6.2	Suosittelava systeimirajaus verrattaessa rakennuksen korjaamista ja uudisrakentamista	94
7.	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	97
7.1	Korjatako vai purkaa ja rakentaa uutta?	97
7.2	Korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen hiilijalanjäljen vertaaminen 99	
7.3	Tulosten ja aineiston laadun arviointi	100
7.4	Jatkotutkimusehdotukset	102
	LÄHTEET	103
	LIITE A: AINEISTOKORTIT	106

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EU	Euroopan Unioni
GBC	World Green Building Council
GWP	engl. global warming potential, ilmaston lämpenemispotentiaali, indikaattori ilmastonmuutokselle, yksikkö: kg CO ₂ e
LCA	engl. life cycle assessment, elinkaariarviointi
LCI	engl. life cycle inventory, inventaarioanalyysi, elinkaariarvioinnin vaihe
LCIA	engl. life cycle impact assessment, vaikutusarviointi, elinkaariarvioinnin vaihe
PED	engl. primary energy demand, primäärienergiankulutus
YM-menetelmä	Ympäristöministeriön Rakennusten vähähiilisyden arviointimenetelmä, viitekehys rakennusten hiilijalanjälkiarvioinnin laatimiseen Suomessa

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Ihmisen toiminnasta johtuen maapallon pinnan lämpötilan arvioidaan nousevan 0,2 astetta celsiusta vuosikymmentä kohti (IPCC, 2018). Kasvihuonekaasut, suurimpana vaikuttajana hiilidioksidi, ovat ilmaston lämpenemistä merkittävimmin kiihdyttävä tekijä (Forster ym., 2007; IPCC, 2021). Maailman kasvihuonekaasupäästöistä 70 % on hiilidioksidia (Huovila ym., 2009). Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä ja hiilinegatiivisuutta 2040-luvulla. Euroopan Unionin (EU) hiilineutraaliustavoite on vuosi 2050. (Kuittinen & Häkkinen, 2020.) Hiilineutraaliudella tarkoitetaan sitä, että yhtä suuri määrä hiilidioksidia, mikä vapautetaan ilmakehään, myös sidotaan ilmakehästä hiilinielujen, kuten metsien, avulla. Käytännössä hiilineutraaliuteen voidaan päästä vähentämällä hiilidioksidipäästöjen määrää merkittävästi ja kompensoimalla syntyneet päästöt. Hiilinegatiivisessa tilanteessa puolestaan sidotun hiilidioksidin määrä on suurempi kuin vapautetun hiilidioksidin määrä. (IPCC, 2018.).

Rakennukset ja rakennusteollisuus käyttävät 36 % maailman energiasta ja aiheuttavat 39 % kasvihuonekaasupäästöistä (Adams ym., 2019; IAE & UNEP, 2018).

Rakennettuun ympäristöön kohdistettavilla toimenpiteillä on suuri potentiaali vähentää kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi ja myös kustannustehokkaasti (Huovila ym., 2009). Suomessa aletaan säädellä rakentamisen hiilijalanjälkeä lainsäädännön avulla 2020-luvun puolivälissä. Maankäyttö- ja rakennuslain uudistuessa luvanvaraisille hankkeille tulee laatia selvitys hankkeen ympäristövaikutuksista. (YM, 2021a.)

Rakennusten merkittävimmät hiilidioksidipäästöt syntyvät rakennusmateriaalien valmistuksesta sekä käytön aikaisesta energiankulutuksesta, jota tarvitaan lämmitykseen, jäähdytykseen ja muihin taloteknisiin järjestelmiin. Rakennusten energiatehokkuutta parantamalla on pyritty vähentämään käytöstä aiheutuvia päästöjä. Esimerkiksi World Green Building Council (GBC) on kampanjoinut nollaenergiarakennusten puolesta (Adams ym., 2019). Ennen rakennuksen käyttöönottoa syntyvän materiaalisidonnaisen hiilijalanjäljen merkitys on kuitenkin korostunut viime vuosina, koska rakennusten energiankulutuksen pienentyessä

materiaalisidonnaisen hiilijalanjäljen suhteellinen osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä on kasvanut.

Rakennustuotteiden ja -materiaalien valmistus aiheutti vuonna 2017 11 % maailman kasvihuonekaasupäästöistä (IEA & UNEP, 2018). Energiatehokkuuden parantuessa materiaalisidonnaisen hiilen, joka syntyy jo ennen rakennuksen käyttöönottoa, suhteellinen osuus rakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä kasvaa. Tutkimuksessa, joka tarkasteli 80:tä eri puolilla maailmaa laadittua rakennuksen elinkaariarviointia, ennen rakennuksen käyttöönottoa syntyvien päästöjen mediaani oli kaksi kolmasosaa rakennuksen kokonaispäästöistä 50–150 vuoden tarkastelujaksoilla (Moncaster ym., 2019).

Keinoja vähentää tuotesidonnaisia hiilidioksidipäästöjä ovat muun muassa vähähiilisempien ja kierrätettyjen materiaalien käyttö, kevyempien rakenteiden suunnittelu (pienempi rakennusmassa), rakennuksen muodon optimoiminen, olemassa olevan rakennuksen eliniän pidentäminen sekä olemassa olevien rakenteiden uudelleenkäyttö uusissa kohteissa (Moncaster ym., 2019). Tässä diplomityössä tarkastellaan näistä kiertotalouden keinoista olemassa olevien rakennusten eliniän pidentämistä rakennusta korjaamalla.

1.2 Tutkimuksen tarkoitus

Tässä diplomityössä verrataan keskenään purkavaa uudisrakentamista ja olemassa olevan rakennuksen korjaamista ympäristön näkökulmasta. Tarkoitus on selvittää, kumpi on vähähiilisempi vaihtoehto, korjausrakentaminen vai purkava uudisrakentaminen. Vaihtoehtoja verrataan siten, että hiilidioksidipäästöjen ajoittuminen rakennuksen elinkaarelle otetaan huomioon. Näin pyritään paremmin ymmärtämään rakennusmateriaaleihin investoidun hiilen sekä rakennuksen käytön aikaisten päästöjen merkitystä lopputulokseen.

Korjaamisella tarkoitetaan olemassa olevan rakennuksen säilyttämistä ja hyödyntämistä joko kokonaan tai osittain muuttamalla rakennusta paremmin käyttötarkoitustaan palvelevaksi, peruskorjaustoimenpiteitä, sisäilmaston parantamiseen tähtäviä toimenpiteitä ja energiaterhokkuuskorjauksia. Rakennuksen käyttötarkoitusta voidaan myös kokonaan muuttaa tai sitä voidaan laajentaa joko lisäkerroksilla tai lisäsiivillä. Purkavalla uudisrakentamisella tarkoitetaan sitä, että olemassa oleva rakennus puretaan ja sen tilalle rakennetaan uusi rakennus.

Rakennuksen korjaamisen ympäristövaikutuksista, ja vielä runsaammin uusien rakennusten ympäristövaikutuksista, löytyy paljon tutkimustietoa. Kuitenkaan sellaisia

tutkimuksia, joissa on laskettu hiilijalanjälki kahdelle vaihtoehdolle, joista toinen on olemassa olevan rakennuksen eliniän jatkaminen korjaamalla ja toinen vaihtoehto kyseisen rakennuksen purkaminen ja uuden rakennuksen rakentaminen, on saatavilla varsin vähän.

Diplomityön tavoitteena on myös ehdottaa hyviä käytäntöjä korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertailevan hiilijalanjälkilaskelman tekemiseen. Työ ottaa kantaa siihen millainen systeimirajaus, toiminnallinen yksikkö ja tulosten esitystapa ovat tällaisen vertailun näkökulmasta toimivia.

1.3 Tutkimusmenetelmä, aineisto ja rajaukset

Tutkimusmenetelmä on kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuustutkimuksen tavoitteena oli kerätä yhteen aiempi tutkimus, joissa verrataan korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen ympäristövaikutuksia toisiinsa. Systemaattisen haun avulla etsittiin julkaisuja, jotka käsittelevät korjaamista ja uudisrakentamista vertaavia elinkaariarviointeja eli LCA-laskelmia (*engl. life cycle assessment*). Aineistoa täydennettiin lumipallomenetelmän avulla sekä pyytämällä hiilijalanjälkilaskentaratortteja suomalaisilta konsulttitoimistoilta.

Tavoitteena oli, että työn tuloksia voidaan soveltaa Suomen olosuhteisiin. Siksi aineistoon rajattiin julkaisut, jotka tutkivat Suomessa tai Suomen kaltaisissa ilmasto-olosuhteissa sijaitsevia rakennuksia.

Aineiston avulla pyrittiin selvittämään, kumpi on ympäristön kannalta parempi vaihtoehto: korjata olemassa oleva rakennus vai purkaa ja korvata se uudella rakennuksella. Avuksi vastaamaan tähän kysymykseen kehitettiin *purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajan* malli. Menetelmän kannalta on oleellista, että aineistona toimivien LCA-laskentojen tuloksissa on eroteltu ennen rakennuksen käyttöönottoa syntyvät päästöt rakennuksen käytön aikaisista päästöistä. Tämä osaltaan rajasi aineistoa.

Aineiston julkaisuista kerättiin tietoa siitä, minkälaisille rakennuksille korjaamista ja uudisrakentamista vertailevaa LCA-laskentaa on tehty ja mistä lähtökohdista, mitä laskentamenetelmiä on käytetty, minkälaisia tuloksia on saatu ja miten tulokset on esitetty. Aineiston pohjalta tehtiin päätelmiä korjausrakentamisen ja uudisrakentamisen ympäristövaikutuksista sekä pohdittiin, mitkä tekijät vaikuttavat vertailevan hiilijalanjälkilaskelman tuloksiin.

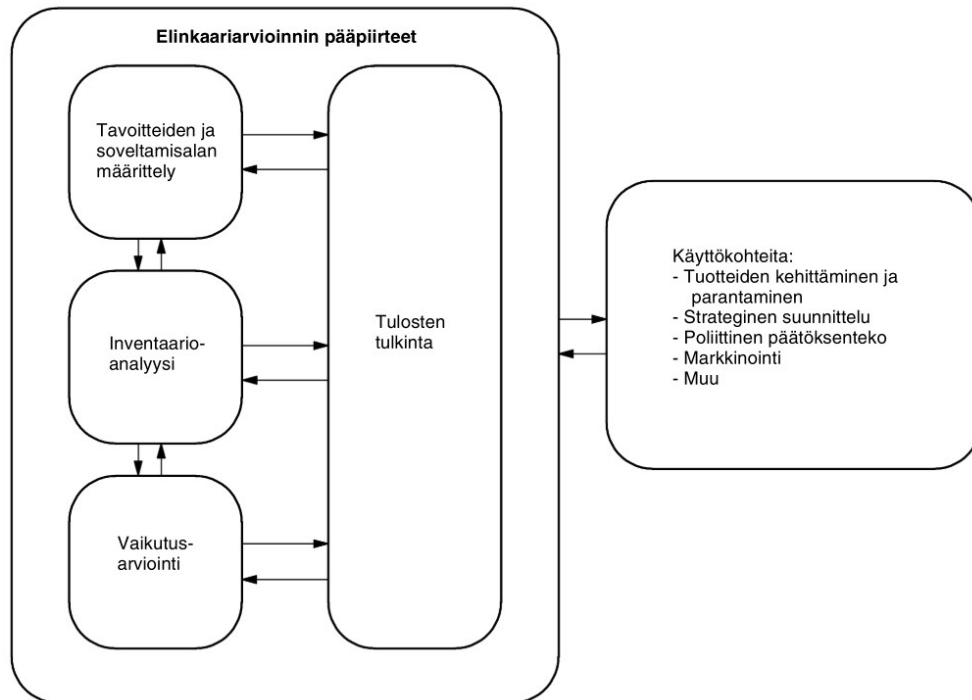
1.4 Raportin sisältö

Diplomityön luvussa 2 esitellään elinkaariarvioinnin perusteet ja ympäristövaikutusten määrittäminen rakennukselle nojautuen eurooppalaiseen standardiin EN 15978 (SFS, 2017). Luvussa esitellään myös rakennusten hiilijalanjälkilaskennassa käytössä olevia menetelmiä. Luvussa 3 kerrotaan, miten kirjallisuustutkimuksen aineisto kerättiin ja millainen aineisto tutkimuksen kohteeksi saatiin. Luvussa 4 paneudutaan korjaamista ja uudisrakentamista vertailevan hiilijalanjälkilaskelman erityispiirteisiin. Luvussa esitellään menetelmä, jolla määritetään purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika verrattaessa keskenään korjaamisen ja uudisrakentamisen ympäristövaikutuksia. Soveltamalla menetelmää tutkimusaineistoon voidaan tehdä päätelmiä olemassa olevan rakennuksen korjaamisen kannattavuudesta ympäristön näkökulmasta. Luvussa 5 esitellään kirjallisuustutkimuksen tulokset, eli minkälaisia johtopäätöksiä aineiston perusteella voidaan tehdä korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen ympäristövaikutuksista. Luvussa 6 pohditaan aineiston julkaisuissa käytettyjä metodologisia valintoja sekä niiden mahdollisia vaikutuksia tutkimuksen tuloksiin. Luvussa 7 on yhteenveto ja päätelmät.

2. RAKENNUSTEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA HIILIJALANJÄLKI

2.1 Elinkaariarviointi eli LCA

Elinkaariarvioinnissa eli LCA:ssa (*engl. life cycle assessment*) kuvataan ja arvioidaan tuotteen tai palvelun käyttämiä materiaali- ja energiaresursseja ja sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia aina raaka-aineiden hankinnasta tuotteen hävittämiseen tai loppusijoitukseen saakka. Elinkaariarvioinnin laatimisesta on annettu ohjeet kansainvälisessä standardissa ISO 14040 (SFS, 2006). Sen mukaan elinkaariarvioinnissa on neljä vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta (kuva 1).



Kuva 1 Elinkaariarvioinnin (LCA) vaiheet. (SFS, 2006)

Elinkaariarvioinnin ensimmäisessä vaiheessa määritellään arvioinnin tavoitteet ja soveltamisala. Ennen arvioinnin aloittamista tulee määritellä sen laatimisen syyt, käyttötarkoitus ja kohdeyleisö. Rakennusten tapauksessa arvioinnin tarkoitus voi olla esimerkiksi tukea päätöksentekoa tai selvitys voidaan tehdä jonkun ympäristösertifikaatin saamiseksi. Useissa maissa kansallisen lainsäädännön mukaan on tehtävä elinkaariarviointi erikseen määritellyille rakennuksille. Käyttötarkoitus

vaikuttaa muun muassa arvioinnin yksityiskohtaisuuteen, rajauksiin ja tarkastelujakson pituuteen.

Seuraavassa vaiheessa, inventaarioanalyysissä (LCI *engl. life cycle inventory*), määritetään rakennuksen elinkaaren aikaiset materiaali- ja energiavirrat. Se, mitkä ja miten tarkasti eri prosessit otetaan huomioon, päätetään tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaiheessa. Inventaariotiedot lasketaan valittua toiminnallista yksikköä kohden.

Inventaarioanalyysissä kerättyjen tietojen perusteella tehdään vaikutusarviointi (LCIA, *engl. life cycle impact assessment*), jossa selvitetään esimerkiksi rakennustuotteiden valmistusprosessien haitallinen vaikutus ympäristölle. Inventaariotiedot luokitellaan vaikutusluokkiin, joita ovat muun muassa ilmastonmuutos, otsonikato, happamoituminen, rehevöityminen, valokemiallisen otsonin muodostuminen, uusiutumattomien luonnonvarojen ehtyminen ja veden käyttö. Vaikutusarvioinnissa sovelletaan karakterisointimenetelmää, jonka avulla ympäristövaikutukset voidaan ilmoittaa samassa yksikössä vaikutusluokan sisällä.

Rakentamisen merkittävin ja tutkituin vaikutusluokka on ilmastonmuutos, jonka indikaattori on ilmaston lämpenemispotentiaali (*engl. global warming potential, GWP*) eli hiilijalanjälki. Hiilijalanjäljen yksikkö on hiilidioksidiekvivalentti, joka ilmoitetaan tavallisesti kilogrammoina, *kg CO₂e*. Hiilidioksidiekvivalentti kuvaa kasvihuonekaasun ilmastoa lämmittävää vaikutusta tietyn ajanjakson aikana. Yksi kilogramma hiilidioksidia aiheuttaa yhden hiilidioksidiekvivalentin suuruisen lämmityspotentiaaliln ilmakehään. Hiilidioksidin lisäksi ilmastoa lämmittävät muun muassa typpioksiduuli (N₂O) ja metaani (CH₄). Näiden päästöt ilmaistaan hiilidioksidiekvivalenteina kertomalla ominaiskertomilla. Esimerkiksi metaani aiheuttaa 21-kertaisen lämmityspotentiaaliln hiilidioksidiin verrattuna sadan vuoden tarkastelujaksolla. (Forster ym., 2007). Puhuttaessa rakennuksen hiilijalanjäljestä, hiilidioksidipäästöistä tai rakennuksen tuotesidonnaisesta hiilestä (*engl. embodied carbon*) viitataan rakennuksen ilmastonmuutosta edistävään vaikutukseen.

Elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe on tulosten tulkinta, jossa tehdään johtopäätökset arvioinnin tuloksista ja niihin perustuvat toimenpide-ehdotukset. Tulosten tulkintaan kuuluu tulosten kriittinen arviointi ja herkkyyden tarkastelu. Tulosten tulkintavaiheessa tuodaan esille arvioinnin puutteet ja rajoitukset.

Elinkaariarviointeihin, menetelmästä riippumatta, liittyy aina virhetekijöitä. Näistä epätarkkuuksista johtuen elinkaariarvioinnin tulokset ovat aina vain arvioita, eivät absoluuttisia arvoja hiilijalanjäljelle tai muille ympäristövaikutuksille.

2.2 Rakennuksen hiilijalanjälkiarviointi

Rakennuksen hiilijalanjälkiarviointi on yksinkertaistettu elinkaariarviointi (*engl. streamlined life cycle assessment*), koska siinä arvioidaan pelkästään rakennuksen ilmastonmuutosta edistävää vaikutusta, mutta ei muita vaikutusluokkia.

Hiilijalanjälkiarviointi noudattaa elinkaariarvioinnin laskennan periaatteita. Arvioinnin tekemiseksi täytyy ensin valita rakennuksen muodostavan systeemin rajaus, tarkastelujakson pituus sekä toiminnallinen yksikkö, jota kohden hiilijalanjälki ilmoitetaan.

Rakennusten ympäristövaikutusten arvioinnin tavoite on suunnitteluvaiheessa yleensä vertailla kahta tai useampaa vaihtoehtoa ja tukea päätöksentekoa. Kyseessä on siis seurausvaikutuksellinen LCA (*engl. consequential LCA*), jossa arvioidaan päätösten ja valintojen vaikutusta päästöjen kehitykseen tulevaisuudessa. Olemassa olevan rakennuksen korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen vertailussa käytetään seurausvaikutuksellista lähestymistapaa. Haitanjaolisessa LCA:ssa (*engl. attributional LCA*) puolestaan pyritään kuvaamaan rakennuksen ympäristövaikutukset mahdollisimman tarkasti koko sen elinkaaren aikana. Arvioinnin lähestymistapa valitaan LCA:n tavoitteiden perusteella.

Rakennusten elinkaariarvioinnin laatimiseen on olemassa eurooppalainen standardi EN 15978 sekä rakennustuotteiden ympäristöselosteita varten standardi EN 15804. Standardit luovat kehyksen elinkaariarvioinnin laatimiselle, mutta mahdollistavat kuitenkin monia erilaisia rajauksia ja laskentatapoja. Esimerkiksi päästötietolähteiden valinnalla on suuri vaikutus laskennan tuloksiin. Kansallisten viitekehysten, kuten EU:n Level(s), avulla pyritään harmonisoimaan rakennusten elinkaariarviointia ja hiilijalanjälkilaskentaa. Useissa maissa on käytössä tai kehitteillä kansallisia viitekehysjä LCA-laskentaan, koska esimerkiksi hiilijalanjälkirajojen asettaminen rakennuksille lainsäädännössä vaatii yhtenäistä laskentamenetelmää. Suomessa rakennusten hiilijalanjälkiarvioinnin viitekehys on toisella lausuntokierroksella oleva Ympäristöministeriön Rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmä (YM-menetelmä) (YM, 2021b).

2.2.1 Systemirajaus ja elinkaarivaiheet

Rakennuksen ympäristövaikutusten määrittämistä varten eurooppalaisessa standardissa EN 15978 (SFS, 2012) rakennuksen elinkaari on jaettu neljään eri päävaiheeseen: tuotevaihe, rakentamisvaihe, käyttövaihe ja purkuvaihe. Päävaiheet on jaettu edelleen alavaiheisiin eli moduuleihin (kuva 2). Tässä luvussa esitetyt määritelmät perustuvat kyseiseen standardiin. Modularisoinnin avulla rakennuksen

muodostama kompleksinen systeemi saadaan jaettua pienempiin osakokonaisuuksiin, mikä helpottaa ympäristövaikutusten määrittämistä. Moduulien avulla voidaan myös helpommin kommunikoida elinkaariarvioinnin systeemirajauksesta sekä arvioinnin tuloksista.

päästö- tyyppi	Käyttöä edeltävät materiaalisidonnaiset päästöt					Käytön materiaalisidonnaiset päästöt					Käytön päästöt		Purun materiaalisidonnaiset päästöt			Hiilikädenjälki	
	raaka-aineet	kuljetus valmistukseen	valmistus	kuljetukset työmaalle	työmaatoiminnot	käyttö	kunnossapito	korjaus	osien vaihto	laajamittaiset korjaukset	energian käyttö	veden käyttö	purkaminen	purkuvaiheen kuljetukset	purkujätteen käsitteily uudelleen-käyttöä, hyödyntämistä ja/tai kiertä- rätystä varten	purkujätteen loppusijoitus	uudelleenkäytöstä, hyödyntä- misestä ja kierrätyksestä arvi- oidut nettovaikutukset
moduuli	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
	Tuotevaihe			Rakentamisvaihe		Käyttövaihe							Purkuvaihe			Elinkaarivaihe	
elinkaari- vaihe																	

Kuva 2 Rakennuksen elinkaaren vaiheet standardin EN 15978 mukaan mukailien lähdeä Mon-caster ym. (2019). Moduulien suomenkieliset nimet SFS EN 15804 (SFS, 2019) mukaan.

Tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) päästöt ovat rakennuksen elinkaaren alussa ennen rakennuksen käyttöönottoa syntyviä hiilidioksidipäästöjä. Tuotevaiheen päästöt muodostuvat raaka-aineiden hankinnasta ja käsittelystä (A1), raaka-aineiden kuljetuksesta tuotantolaitokseen (A2) sekä tuotteiden valmistuksesta (A3). Rakentamisvaiheessa kuljetuksen päästöihin (A4) kuuluvat rakennusmateriaalien ja tarvikkeiden sekä rakentamisessa käytettävien koneiden ja laitteiden työmaalle kuljettamisesta syntyvät päästöt. Mukaan luetaan myös kaikki kuljetuksessa rikkoutuneista tai kadonneista tuotteista ja niiden käsittelystä aiheutuvat päästöt. Moduuliin ei sisälly työvoiman kuljettaminen. Rakentamiseen (A5) liittyvät päästöt syntyvät työmaan energiankulutuksesta sekä laitteiden ja koneiden polttoaineen- ja sähkönkulutuksesta. Myös materiaalien varastointi, työmaalla syntyvä jäte ja hukkamateriaali sekä niiden kuljetus ja käsittely luetaan osaksi tätä moduulia.

Rakennuksen käyttövaihe (B-vaihe) kattaa ajanjakson rakennuksen käyttöönotosta siihen asti, että rakennus puretaan. Tämä vaihe voi todellisuudessa kestää useita vuosikymmeniä tai jopa vuosisatoja. Elinkaariarvioinneissa käyttövaihe otetaan kuitenkin huomioon vain ennalta sovitun ajanjakson ajalta. Käyttövaiheessa syntyy sekä materiaalisidonnaisia päästöjä (*engl. embodied emissions*), että energian ja veden käytön aiheuttamia päästöjä (*engl. operational emissions*).

Materiaaleista voi rakennuksen käytön aikana vapautua erilaisia terveydelle ja ympäristölle haitallisia yhdisteitä niiden ollessa kosketuksissa ilmaan, veteen tai maaperään. Nämä vaikutukset raportoidaan moduulissa B1. (Gantner, 2012). Moduuli ei juurikaan vaikuta hiilijalanjälkeen, vaan muihin ympäristövaikutuksiin.

Huollon päästöihin (B2) sisältyvät huollossa käytettävien tarvikkeiden valmistuksen ja kuljetuksen, rakennuksen sisätilojen ja julkisivun siivouksen ja puhtaanapidon sekä rakennuksen teknisen toiminnan ja ulkonäön ylläpitämiseksi tarvittavien prosessien päästöt. Esimerkiksi ilmanvaihdon suodattimien vaihdossa syntyy päästöjä uuden suodattimen valmistuksesta, kuljetuksesta ja asennuksesta sekä vanhan suodattimen hävittämisestä, jotka kaikki luetaan osaksi tätä moduulia.

Korjausmoduuliin (B3) kuuluvat rikkoutuneiden osien korjaamiseen tarvittavien tuotteiden valmistusprosessista ja kuljetuksesta aiheutuvat päästöt, korjaustyössä syntyvät päästöt sekä rikkoutuneen osan poiskuljetuksesta, kierrätyksestä tai hävittämisestä aiheutuvat päästöt. Moduuliin kuuluva korjaustyö on esimerkiksi ikkunan rikkoutuneen lasin vaihtaminen.

Uusimisella (B4) puolestaan tarkoitetaan kokonaisten rakennusosien tai järjestelmien uusimista. Esimerkiksi rakennuksen kaikkien ikkunoiden uusiminen on tällainen toimenpide. Kuten edelliseen moduuliin, myös tähän sisältyvät kaikki valmistuksesta, kuljetuksesta, asennuksesta sekä käytöstä poistettujen osien käsittelystä aiheutuvat päästöt. Eurooppalaisen standardin EN 15978 mukaan osien vaihtamisen päästöt voidaan allokoida kahdella eri tavalla. Päästöjen voidaan ajatella synnyttävän elinkaarelle päästöpiikkejä aina niille vuosille, kun osia vaihdetaan. Jos osan vaihtoväli on 20 vuotta, se vaihdetaan 50 vuoden jaksolla kaksi kertaa. Vaihtoväliksi on perusteltua valita valmistajan antama tuotteen käyttöikä. Vaihtoehtoisesti voidaan osan vaihtamisesta syntyvät päästöt esittää jakamalla ne tasaisesti sen käyttöajalle. Silloin osa, jonka käyttöikä on 20 vuotta, vaihdetaan teoreettisesti 1,5 kertaa 50 vuoden jaksolla. Vaikka ensimmäistä tapaa voidaankin pitää todenmukaisempana, on esimerkiksi julkisivujen kohdalla osoitettu, ettei allokointitavalla ole juurikaan vaikutusta

julkisivun kokonaispäästöihin 50 vuoden tai sitä lyhyemmillä tarkastelujaksoilla (Francart ym., 2021).

Rakennuksen energiankäyttöön (B6) kuuluu tilojen lämmityksen, jäähdytyksen, ilmanvaihdon, lämpimän käyttöveden, valaistuksen ja taloteknisten laitteiden kuluttama energia. Energiankäyttö määritetään joko laskennallisesti tai todelliseen kulutukseen perustuen. Rakennuksen energiankäyttöön ei lueta mukaan käytösähköä, mutta se voidaan esittää hiilijalanjälkilaskelmassa erikseen. Mikäli tontilla tuotetaan energiaa esimerkiksi maalämpöjärjestelmän tai aurinkopaneelien avulla, allokoidaan paikallisesti tuotettu energia ensisijaisesti rakennuksen energiankulutukseen ja toissijaisesti esimerkiksi kotitalouslaitteiden käyttöön. Mikäli tontilla tuotetaan ylimääräistä uusiutuvaa energiaa, se raportoidaan moduulissa D.

Rakennuksen käyttöön liittyvä vedenkulutus (B7) sisältää juoma- ja peseytymisveden, viherkattojen ja muiden vastaavien hoitoon kuluvan veden sekä taloteknisten järjestelmien toimintaan tarvittavan veden. Pesukoneiden ja muiden laitteiden, jotka eivät suoraan kuulu rakennuksen käyttöön, vedenkäyttö pitäisi ilmoittaa erikseen. Vedenkulutus voidaan arvioida tilastollisesti, rakennusmääräyksiin perustuen tai todellisen kulutuksen mukaan.

Kun rakennus on poistettu käytöstä, alkaa purkuvaihe, joka jaetaan neljään eri moduuliin. Ensimmäiseen (C1) sijoitetaan purkutyöhön liittyvät päästöt eli työmaatoiminnan ja purussa tarvittavien laitteiden ja koneiden aiheuttamat päästöt. Purkuvaiheen kuljetuksilla (C2) tarkoitetaan purkutyömaan materiaalien kuljetuksesta käsittelylaitokseen ja myös mahdollisesta välivarastoinnista aiheutuvia päästöjä.

Kaikki rakennuksesta purettu materiaali luokitellaan aluksi jätteeksi. Käsittelystä uudelleenkäyttöä varten, energian talteen ottamisesta ja kierrätyksestä aiheutuvat päästöt esitetään moduulissa C3. Moduulissa C4 esitetään päästöt, jotka syntyvät materiaalien hävittämisestä. Tähän sisältyvät myös päästöt, jotka syntyvät hävittämistä valmistelevista prosesseista.

Lisäksi rakennukselle voidaan laskea elinkaaren ulkopuolisia vaikutuksia (D-vaihe). Moduulissa raportoidaan sellaiset ympäristölle suotuisat vaikutukset, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta (Kuittinen, 2019). Esimerkkejä tällaisista vaikutuksista ovat puumateriaalin hiilidioksidin pitkäaikaisvarastona toimiminen, betonin karbonatisoituminen, rakennusosien ja materiaalien uudelleenkäyttö ja kierrätys tai rakennuksessa tuotetun uusiutuvan ylijäämäenergian syöttö sähköverkkoon (Kuittinen & Häkkinen, 2020). Hiilikädenjälki ilmoitetaan myös yksikössä kg CO₂e, mutta lukuarvo on negatiivinen. Hiilikädenjälki ei pienennä rakennuksen hiilijalanjälkeä, mutta sen

avulla voidaan arvioida rakennuksen myönteisiä vaikutuksia ympäristölle. Hiilikädenjälki ilmoitetaan aina erikseen hiilijalanjäljestä.

Kansallisissa laskentamenetelmissä määritellään ne elinkaarivaiheet, joiden vaikutukset tulee määrittää rakennusten hiilijalanjäljen laskennassa. Rajauksissa on eroja maiden välillä, mutta useimmiten otetaan huomioon vähintään moduulit A1-A3, B4, B6 ja C4 (Frischknecht ym., 2020). Näillä elinkaarivaiheilla on rakennuksen hiilijalanjäljen kannalta merkittävin vaikutus, ja näiden vaiheiden päästöjen määräyksestä on myös eniten tietoa ja kokemusta. Suomalaisessa YM-menetelmässä on mukana elinkaarivaiheet A1-A5, B4, B6 ja C1-C4 sekä hiilikädenjälki D (YM, 2021b).

Elinkaarivaiheisiin perustuvan rajauksen lisäksi systeemille valitaan kvantitatiiviset rajaussäännöt (*engl. cutt-off rules*). Säännöissä määritellään ne osat prosesseista ja energia- ja materiaalivirroista, joita voidaan pitää merkityksettöminä, ja sen nojalla ne voidaan rajata laskennan ulkopuolelle. (Antikainen, 2010). Säännöt määrittävät esimerkiksi mitkä rakennusosat otetaan huomioon LCA:ssa.

2.2.2 Toiminnallinen yksikkö

Toiminnallisen yksikön tehtävä on toimia vertailuyksikkönä, joka mahdollistaa eri vaihtoehtojen vertaamisen keskenään. Rakennuksen tehtävä on tarjota tilaa jollekin toiminnalle. Siksi rakennusten kohdalla vertailuyksikkönä käytetään usein pinta-alaa. Suomessa rakennuksen hiilijalanjälki annetaan hiilidioksidiekvivalenteina *per 1 m² rakennuksen lämmitettyä nettoalaa per vuosi* (Kuittinen, 2019). Myös muita vertailuyksiköjä voidaan pitää mielekkäinä. Esimerkiksi koulurakennuksen vertailuyksikkönä voisi olla *per oppilas per vuosi*.

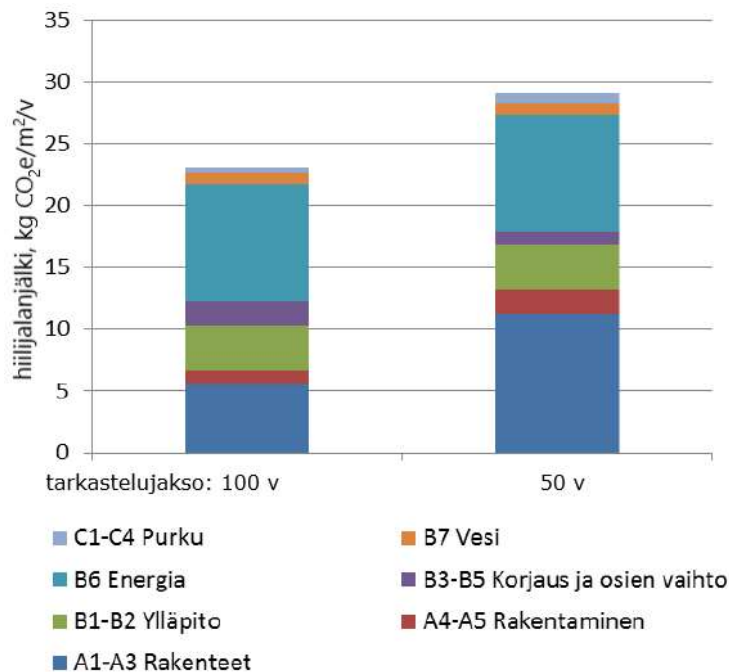
2.2.3 Tarkastelujakson pituus

Rakennuksen elinkaariarviointia varten valitaan tarkastelujakson pituus (*engl. reference study period, RSP*), jonka ajalle käyttövaiheen (B-vaihe) päästöt lasketaan.

Tarkastelujakson pituus vaikuttaa käyttövaiheen hiilijalanjälkeen sekä hiilikädenjälkeen, joka muodostuu rakennuksen käytön aikana (esim. ylijäämäenergiantuotanto). Tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) sekä purkamisen (C-vaihe) päästöt puolestaan eivät ole riippuvaisia arviointijakson pituudesta. Tarkastelujakso valitaan saman pituiseksi kuin rakennuksen tavoitekäyttöikä (*engl. required service life, ReqSL*). Suomessa tarkastelujakson pituus on yleensä 50 vuotta (Kuittinen, 2019).

Tarkastelujakson pituus vaikuttaa siihen kuinka suurena rakennuksen hiilijalanjälki näyttäytyy, kun päästöt esitetään yhtä tarkastelujakson vuotta kohden, esimerkiksi yksikössä $kg\ CO_2e/v$ tai $kg\ CO_2e/m^2/v$. Silloin elinkaaren aikana syntyvät päästöt

jaetaan tasaisesti tarkastelujakson pituudella, riippumatta siitä missä elinkaaren vaiheessa päästöt syntyvät. Tällöin, mitä pidempi tarkastelujakso valitaan, sitä pienempi vuotuinen päästö saadaan. Kuvasta 3 nähdään, että valitsemalla tarkastelujakson pituudeksi 100 vuotta 50 vuoden sijaan, rakennuksen vuotuinen hiilijalanjälki pienenee noin 20 %. Tämä johtuu siitä, että tuote- ja rakennusvaiheessa syntyvät päästöt jakautuvat useamman vuoden kesken. Tällainen esitystapa vaatii tulosten tulkitsemiselta erityistä valppautta ja valvetuneisuutta. A-vaiheen kokonaispäästöt ovat molemmissa tapauksissa tosiasiaa samat.



Kuva 3 Vuonna 2014 rakennetun asuinrakennuksen vuotuinen ($\text{kg CO}_2\text{e/m}^2\text{v}$) hiilijalanjälki 50 ja 100 vuoden tarkastelujaksolla. Muokattu lähteestä Pasanen ym. (2014).

2.2.4 Päästötiedot

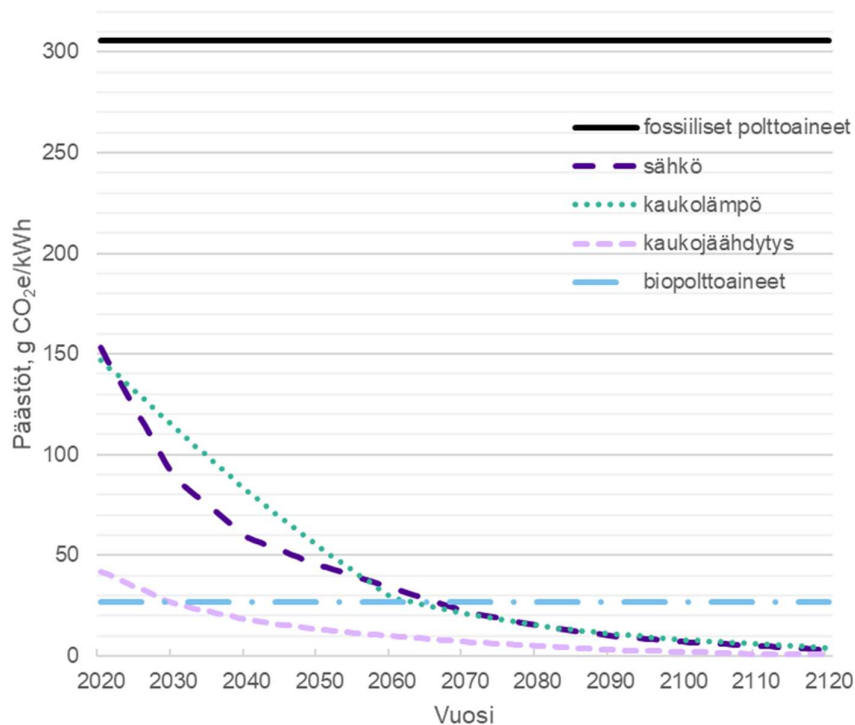
Kun tarvittavat rajaukset on tehty, laaditaan inventaario rakennuksen materiaaleista ja energiavirroista. Materiaali-inventaario voidaan tehdä esimerkiksi tietomallin avulla. Energiankulutus voidaan määrittää tilastoituihin tai ohjeellisiin rakennustyyppikohtaisiin kulutusarvoihin tai käyttöön perustuen. Energiankulutus voidaan myös simuloida siihen tarkoitettujen ohjelmien avulla. Käytettävä tapa määräytyy LCA-viitekehityksen mukaan. Esimerkiksi tehtäessä hiilijalanjälkiarviointia suomalaisen YM-menetelmän mukaan, rakennuksen energiankulutuksen päästöt perustuvat energiaselvityksen mukaiseen laskennalliseen ostoenergiankulutukseen.

Rakennusmateriaaleille ja -tuotteille voidaan saada päästöarvot ympäristöselosteista tai päästötietokannoista. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet eli EPD:t (*engl. environmental product declaration*) ovat rakennustuotteiden valmistajien LCA-

arviointeja tuotteille. Niissä ilmoitetaan tuotteiden ympäristövaikutukset samoissa elinkaarivaiheissa kuin rakennuksen elinkaariarvioinnissa. Päästötietokannoissa taas yleisimmin käytössä oleville rakennustuotteille ja materiaaleille on määritetty geneeriset päästöarvot markkinaa perustuen. Suomessa julkaistiin vuonna 2021 kansallinen päästötietokanta co2data.fi, jota ylläpitää Suomen ympäristökeskus (SYKE).

LCA-laskentaan on olemassa laskentaohjelmistoja, joiden avulla päästötietoja voidaan kerätä eri tietokannoista ja EPD:istä. Laskentaohjelmat ylläpitävät myös omia päästötietokantoja. LCA:ssa voidaan yhdistellä kansallisia ja kansainvälisiä päästötietokantoja, EPD:itä sekä muita lähteitä, mikäli se on perusteltua arvioinnin tavoitteiden kannalta. Lähtökohtaisesti päästötiedot pitäisi pyrkiä valitsemaan niin, että päästään mahdollisimman hyvin todellisuutta kuvaavaan lopputulokseen. On esimerkiksi mielekästä valita tuotteille päästötiedot valmistajien ympäristöselosteista, mikäli tiedetään että aiotaan käyttää kyseisen valmistajan tuotetta. Yleensä suositetaan ensisijaisesti paikallisia päästötietokantoja, ja mikäli sellaista ei ole saatavilla, hyödynnetään muita tietokantoja. Käytettävä LCA-viitekehys saattaa määritellä tai rajata päästötietokantojen käyttämistä.

Energiankäytön hiilijalanjälkeen vaikuttaa käytettävän energiamäärän lisäksi se, millä tavalla energia tuotetaan. Uusiutuville energiamuodoille on määritelty pienemmät päästökertoimet kuin vaikkapa maakaasulle. Energiatuotannossa ennustetaan tapahtuvan sellaisia muutoksia, joiden seurauksena energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöjen odotetaan pienenevän tulevaisuudessa. (Koljonen ym., 2019). Jos rakennuksen käyttämän energian tuotanto vähähiilistyy, silloin myös rakennuksen käytön hiilijalanjälki pienenee, vaikka rakennuksen energiankulutus pysyisi samana. Suomessa eri energiamuodoille on annettu kuvan 4 mukaiset päästökertoimet.



Kuva 4 Energiamuotojen päästökertoimien arvioitu kehitys Suomessa 2020-2120. (Soimakallio, 2020)

Jos energiantuotannon vähähiilistymisolettama otetaan huomioon LCA:ssa, rakennukselle lasketut energiankäytön kokonaispäästöt voivat olla huomattavastikin pienemmät kuin jos energiamuotojen päästökertoimien oletetaan pysyvän samana koko tarkastelujakson ajan. Suomalaisen skenaarion mukaan esimerkiksi kaukolämpöön kytketyn rakennuksen lämmityksen päästöt olisivat 85 % pienemmät vuonna 2072 verrattuna vuoteen 2022, vaikka energiankulutus pysyisikin samalla tasolla.

2.2.5 Laskentavalintojen ja -menetelmien merkitys

Käyttämällä eri laskentamenetelmiä voidaan samalle rakennukselle saada hiilijalanjäljeksi hyvin erilaisia lukemia. Suurimmat erot syntyvät tietokannan ja laskennan rajausten, kuten tarkastelujakson pituuden eroavaisuuksista. Frischknechtin ja kollegoiden (2020) tutkimuksessa samalle Kiinassa sijaitsevalle rakennukselle suoritettiin LCA-laskenta 17 eri maan laskentamenetelmän mukaisesti. Laskentajakson pituus vaihteli 50 ja 120 vuoden välillä. Suppeimmillaan elinkaarivaiheista otettiin huomioon pelkästään tuote- ja rakennusvaihe (A-vaihe) ja laajimmillaan kaikki vaiheet lukuun ottamatta D-vaihetta. Samalle rakennukselle laskettu vuosittainen hiilijalanjälki vaihteli välillä 15-67 kg CO₂e/m²/vuosi eri maissa saaduissa tuloksissa. Tutkijoiden

mukaan tulokset kuvaavat enemmän eroja paikallisessa energiantuotannossa ja materiaalien valmistuksessa, kuin siinä että laskentamenetelmissä olisi merkittäviä metodologisia eroja maiden välillä. Päästötietokantana suosituin oli Ecoinventin eri versiot. Päästötietokannat eivät aina tarjoa päästötietoja halutulle tuotteelle. Käytännössä laskentaa varten joudutaan tällöin valitsemaan jokin muu vaihtoehto, mikä saattaa aiheuttaa virhettä tuloksiin.

3. TUTKIMUSAINEISTO

3.1 Aineiston keruu ja rajaukset

Tutkimusta varten kerättiin tieteellisiä julkaisuja ja laskentaraaportteja, jotka vertaavat olemassa olevan rakennuksen korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen ympäristövaikutuksia keskenään. Ainoastaan saman tutkimuksen sisällä tehdyt korjaamisen ja uudisrakentamisen elinkaariarviointit ovat keskenään vertailukelpoisia. On tärkeää, että elinkaariarviointi suoritetaan molemmille vaihtoehdoille samoin rajauksin ja samalla laskentamenetelmällä. Korjaamisen ja uudisrakentamisen ympäristövaikutusten vertaaminen kahden eri tutkimuksen välillä voi johtaa vääriin johtopäätöksiin.

Tavoitteena oli etsiä tutkimusaineistoa systemaattisen kirjallisuushaun avulla. Kirjavan termistön takia systemaattinen haku ei tuottanut kuitenkaan riittävän tyydyttäviä tuloksia. Aineiston julkaisuista ainoastaan viisi artikkelia löydettiin Scopuksesta hakulausekkeen avulla. Ennen varsinaisen aineistohaun aloittamista aihepiiriä käsitteleviä julkaisuja oli tiedossa neljä kappaletta. LCA-laskentaraaportteja tiedusteltiin Suomessa toimivilta insinööritoimistoilta ja ”Purkaa vai korjata” -hankkeen ohjausryhmän jäseniltä (ks. Huuhka ym., 2021), joilta raaportteja saatiin yhteensä viisi kappaletta. Julkaisuja etsittiin myös jäljittämällä aineistoon kuuluvien julkaisuiden lähdeluetteloiden kautta. Tällä menetelmällä saatiin kerättyä loput viisi aineiston julkaisuista. Aineistoksi saatiin yhteensä 19 julkaisua, joista kahdeksan on konsulttien laatimia laskentaraaportteja, seitsemän vertaisarvioituja tieteellisiä julkaisuja, kaksi tutkimushankkeiden loppuraaportteja, yksi opinnäytetyö ja yksi esitysmateriaali. Aineiston julkaisujen tarkemmat tiedot ovat liitteessä A.

Aineistoon otettiin mukaan julkaisut, joissa:

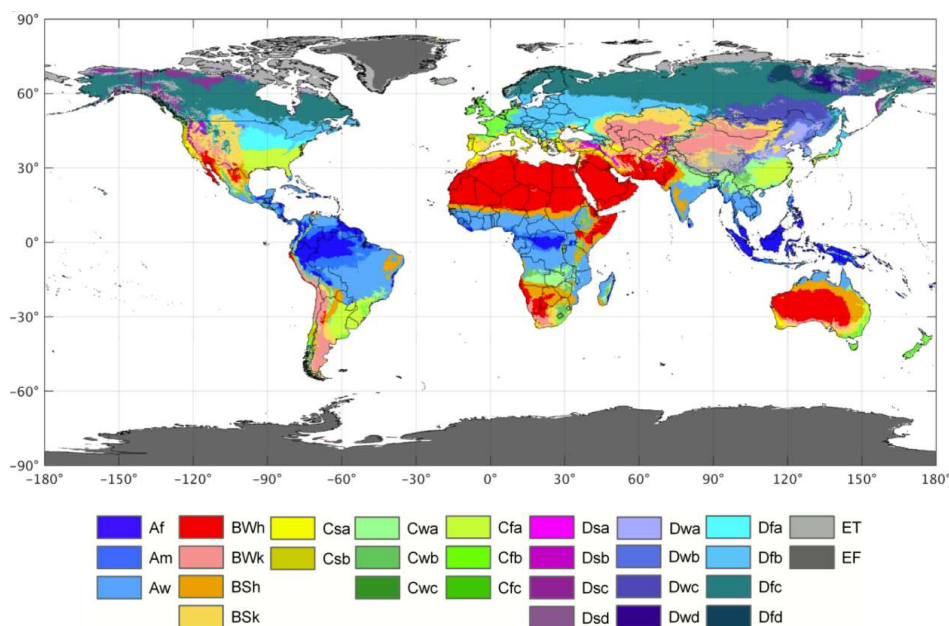
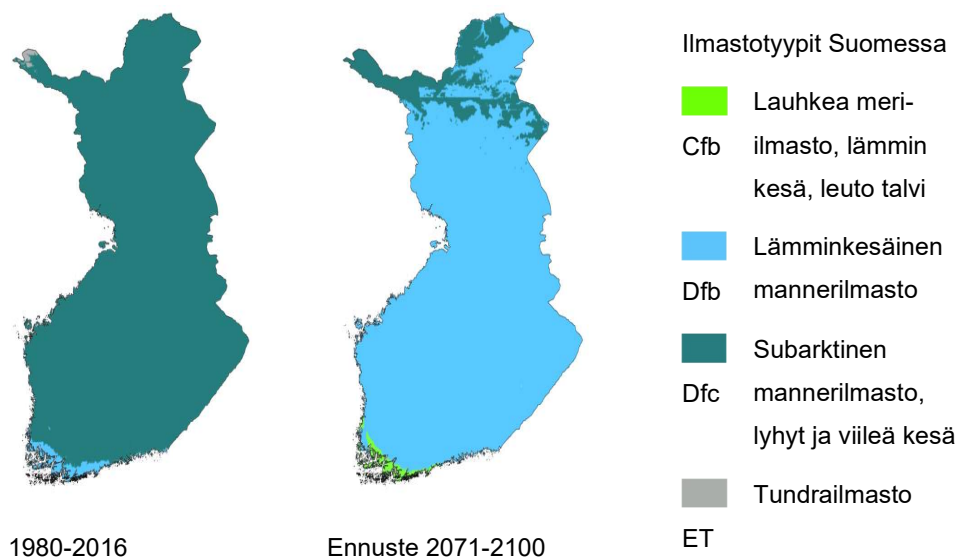
- 1) verrataan korjaamista ja (purkavaa) uudisrakentamista TAI käyttöön jatkamista ja uudisrakentamista
- 2) elinkaariarvio on tehty rakennuksen tai rakennusryhmän käsittävälle kokonaisuudelle
- 3) on laskettu hiilijalanjälki tai primäärienergiankulutus
- 4) elinkaariarvioinnissa on otettu huomioon vähintään sekä tuotevaihe että käytön energiankulutus

- 5) tulokset on esitetty niin, että tuote- ja rakentamisvaiheen päästöt ja käyttövaiheen päästöt pystyttiin eriyttämään toisistaan ja
- 6) tutkittu rakennus sijaitsee Suomea vastaavalla tai lähellä Suomen ilmastoa olevalla alueella.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella rakennusten ympäristövaikutuksia koko niiden elinkaaren ajalta. Siksi aineistosta rajattiin ulkopuolelle julkaisut, joissa ei ollut laskettu rakennuksen energiankulutuksen hiilijalanjälkeä. Nämä julkaisut keskittyivät siis ainoastaan rakennushankkeen tuotesidonnaisen hiilen tai energian laskentaan. Aineistoon otettiin mukaan yksi julkaisu, joissa ei ollut laskettu käytön aikaista energiankulutusta, mutta jossa oli selkeästi ilmaistu, että korjatun rakennuksen ja uudisrakennuksen käytön aikaiset päästöt ovat yhtä suuret. Myös julkaisut, joissa tarkasteltiin yksittäistä rakennusosaa kokonaisen rakennuksen sijasta, jätettiin aineiston ulkopuolelle.

Tuote- ja rakennusvaiheen päästöt ja käyttövaiheen päästöt tuli olla esitetty aineiston julkaisussa niin, että ne voitiin erottaa toisistaan. Näin voitiin muodostaa kumulatiivinen kuvaaja hiilijalanjäljen kertymisestä korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdolle ja määrittää uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika (ks. luku 4.3). Osassa julkaisuissa annettiin laskennan tulokset taulukoituna arvoina, jolloin tulosten lukeminen oli helppoa ja tarkkaa. Osassa julkaisuista tulokset esitettiin erilaisissa kaavioissa, joista lukuarvot jouduttiin arvioimaan. Näissä tapauksissa tulosten lukemisessa syntyy epävarmuutta.

Tutkimukseen haluttiin valita sellaisia rakennuksia, jotka sijaitsevat Suomen kaltaisessa ilmastossa, jotta tulokset olisivat sovellettavissa Suomen olosuhteisiin. Köppen-Geigerin ilmastoluokituksen mukaan Suomen vallitsevin ilmastotyyppi on subarktinen mannerilmasto (Dfc) (kuva 5). Lämminkesäistä mannerilmastoa (Dfb) esiintyy etelärannikolla. Ilmastonmuutoksen seurauksena maailman ilmasto kuitenkin muuttuu. Vuosien 2071-2100 ennusteen mukaan lämminkesäinen ilmastotyyppi levittäytyy laajasti kattamaan lähes koko Suomen subarktisen ilmaston siirtyessä pohjoiseen. Ennusteen mukaan Etelä-Suomessa esiintyy tulevaisuudessa myös jonkin verran lauhkeaa meri-ilmastoa (Cfb). (Beck ym., 2018). Aineistoon valittiin julkaisuja, joissa tarkasteltiin mannerilmastossa eli D-tyypin ilmastoalueilla sijaitsevia rakennuksia. Tällaisia alueita on Pohjoismaiden lisäksi esimerkiksi Pohjois-Amerikassa, Itä-Euroopassa ja Itä- ja Pohjois-Aasiassa.



Kuva 5 Suomen ja maailman ilmasto Köppen-Geigerin ilmastoluokituksen mukaan (Beck ym., 2018). Tulevaisuudessa lämminkesäinen ilmasto levittäytyy laajemmalle Suomeen.

Tutkimusta varten etsittiin julkaisuja suomeksi, englanniksi, tanskaksi, norjaksi ja ruotsiksi. On mahdollista, että muilla kielillä on julkaistu tutkimuksia, jotka sopisivat aineistoon, mutta niitä ei voitu löytää saatikka käsitellä kirjoittajan oman kielitaidon puitteissa. Koska tutkimukseen haluttiin valikoida julkaisuja, jotka käsittelevät Suomen kaltaisissa ilmasto-olosuhteissa sijaitsevia rakennuksia, voidaan ajatella, että englanninkieliset sekä pohjoismaiset julkaisut kattavat tämän alueen melko hyvin.

Kuitenkin esimerkiksi Kanadan ranskankielisellä alueella aiheesta mahdollisesti tehdyt tutkimukset jäivät aineiston ulkopuolelle.

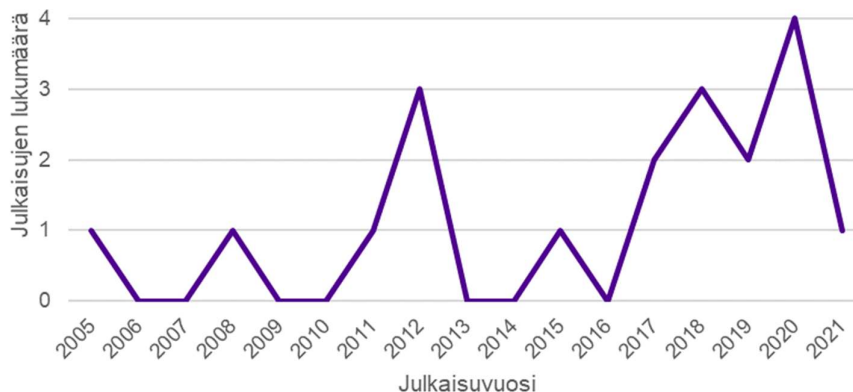
3.2 Aineisto

Aineistoksi saatiin yhteensä 19 julkaisua, ja ne on koottu taulukkoon 1. Osassa julkaisuista tarkasteltiin korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista useammalle kuin yhdelle rakennukselle. Tutkittuja rakennuksia tai rakennusryhmiä oli yhteensä 28 kappaletta.

Korjaamis- ja uudisrakentamisvaihtoehtoista muodostettuja vertailupareja on aineistossa yhteensä 65 kappaletta. Osassa julkaisuista tarkasteltiin vain yhtä korjausvaihtoehtoa ja yhtä uudisrakennusvaihtoehtoa, mutta monissa esitettiin myös useampia vaihtoehtoja toiselle tai molemmille rakennuksille. Korjausvaihtoehtoina saattoi esimerkiksi olla ensimmäiseksi rakennusmääräykset täyttävään tasoon lisäeristäminen ja toisena korjausvaihtoehtona parempi lisäeristys, jolla saavutetaan passiivitaso. Vastaavasti uudisrakennus voitiin ajatella rakennettavaksi ensimmäisessä vaihtoehdossa rakennusmääräykset täyttäväksi ja toisessa määräyksiä energiatehokkaammaksi.

3.2.1 Julkaisuvuosi

Suurin osa aineistosta on julkaistu vuoden 2017 jälkeen (kuva 6). Rakennusten ympäristövaikutusten arviointia tehdään tänä päivänä huomattavasti enemmän kuin vaikkapa 2000-luvun alussa. Monissa maissa rakennusten ympäristövaikutusten arviointi on otettu tai tullaan lähitulevaisuudessa ottamaan pakolliseksi osaksi rakennuslupaprosessia. Tämä on entisestään lisännyt rakennusten LCA-laskentaa ja myös sitä käsittelevien julkaisujen määrää.



Kuva 6 Aineiston julkaisuiden julkaisuvuodet.

Taulukko 1 Aineiston muodostavat julkaisut.

Tun- nus	Viite lähde- luettelossa	Julkaisun tyyppi	Sijainti ^a	Ilmasto ^b	Rakennus- tyyppi	Korjatta- van ra- kennuk- sen ra- kennus- vuosi	Rungon materiaali	Arvioitu ympä- ristö- vaiku- tus ^c	Tutkit- tuja ra- ken- nuksia (kpl)	Kor- jaus- vaihto- ehtoja (kpl)	Uudis- raken- tamis- vaihto- ehtoja (kpl)	Kor- jaus- uudis- vertai- lupareja (kpl)
1	Berg & Fuglseth, 2018	tieteellinen artikkeli	Moss, Norja	Dfb	omakotitalo	1936	puu	GWP	1	1	1	1
2	Dettling, Pike & Humbert, 2012	tutkimus- hankkeen loppura- portti	Chicago, Yhdys- vallat	Dfa	kerrostalo, varasto→ ker- rostalo, toi- misto, va- rasto→ toi- misto, koulu, omakotitalo, sekakäyttö- rakennus	1902–27, 1923, 1929, 1927, 1924, 1896, 1880	useita	GWP	14	1	1	7
3	Dong, Ken- nedy & Pressnail, 2005	tieteellinen artikkeli	Toronto, Kanada	Dfa	omakotitalo	1930-luku, 1960-luku, 1980-luku	useita	PED	3	4	1	12

Tun- nus	Viite lähde- luettelossa	Julkaisun tyyppi	Sijainti ^a	Ilmasto ^b	Rakennus- tyyppi	Korjatta- van ra- kennuk- sen ra- kennus- vuosi	Rungon materiaali	Arvioitu ympä- ristö- vaiku- tus ^c	Tutkit- tuja ra- ken- nuksia (kpl)	Kor- jaus- vaihto- ehtoja (kpl)	Uudis- raken- tamis- vaihto- ehtoja (kpl)	Kor- jaus- uudis- vertai- lupareja (kpl)
4	Enlid, 2018	laskentara- portti	Oslo, Norja	Dfb	lastenkoti→ kerrostalo	1953	betoni, puu (uu- disraken- nus)	GWP	1	1	1	1
5	Enlid & Selvig, 2018	laskentara- portti	Oslo, Norja	Dfb	toimisto	1986	betoni ja teräs	GWP	1	1	1	1
6	Eskilsson, 2015	opinnäyte- työ	Tuk- holma, Ruotsi	Dfb	kerrostalo	1964	betoni	GWP	1	1	1	1
7	Gaia, 2020	esitysmate- riaali	Helsinki, Suomi	Dfb	toimisto→ kerrostalo	2002	betoni	GWP	1	1	1	1
8	Heinonen, Säynäjoki & Junnila, 2011	tieteellinen artikkeli	Espoo, Suomi	Dfb	asuinalue (70 % okt, 30 % kt)	kerrostu- nut alue	useita	GWP	1	*d	7	7
9	Horváth & Szalay, 2012	konferens- sijulkaisu	Buda- pest, Un- kari	Dfb	kerrostalo	1968	betoni	GWP	1	4	2	8

Tun- nus	Viite lähde- luettelossa	Julkaisun tyyppi	Sijainti ^a	Ilmasto ^b	Rakennus- tyyppi	Korjatta- van ra- kennuk- sen ra- kennus- vuosi	Rungon materiaali	Arvioitu ympä- ristö- vaiku- tus ^c	Tutkit- tuja ra- ken- nuksia (kpl)	Kor- jaus- vaihto- ehtoja (kpl)	Uudis- raken- tamis- vaihto- ehtoja (kpl)	Kor- jaus- uudis- vertai- lupareja (kpl)
10	Hu, 2017	tieteellinen artikkeli	Medina, Yhdys- vallat	Dfb	oopperatalo	1865	hiekkakivi, betoni (uu- disraken- nus)	PED	1	3	2	6
11	Huuhka ja muut, 2021	tutkimus- hankkeen loppura- portti	Helsinki, Suomi	Dfb	koulu	1950	betoni, puu (uu- disraken- nus/laajen- nusosa)	GWP	1	3	4	4
12	Jäätvuori, Tepponen & Varteva, 2020	laskentara- portti	Helsinki, Suomi	Dfb	kerrostalo- kortteli	1968	betoni	GWP	2	1	1	2
13	Nöjd, 2019a	laskentara- portti	Helsinki, Suomi	Dfb	kerrostalo	1977	betoni, puu (laa- jennusosa)	GWP	1	1	4	4
14	Nöjd, 2019b	laskentara- portti	Helsinki, Suomi	Dfb	kerrostalo	1979	betoni, puu (laa- jennusosa)	GWP	1	1	4	4

Tun- nus	Viite lähde- luettelossa	Julkaisun tyyppi	Sijainti ^a	Ilmasto ^b	Rakennus- tyyppi	Korjatta- van ra- kennuk- sen ra- kennus- vuosi	Rungon materiaali	Arvioitu ympä- ristö- vaiku- tus ^c	Tutkit- tuja ra- ken- nuksia (kpl)	Kor- jaus- vaihto- ehtoja (kpl)	Uudis- raken- tamis- vaihto- ehtoja (kpl)	Kor- jaus- uudis- vertai- lupareja (kpl)
15	Puurunen, 2020	laskentara- portti	Helsinki, Suomi	Dfb	toimisto	1989	betoni, puu (uudisra- kennus)	GWP	1	1	2	2
16	Rønning & Vold, 2008	laskentara- portti	Trond- heim, Norja	Dfc	toimisto	1970-luku	betoni	GWP	1	1	1	1
17	Säynäjoki, Heinonen & Junnila, 2012	tieteellinen artikkeli	Etelä- Suomi	Dfb	pientaloalue	1960-luku	useita	GWP	1	1	3	3
18	Ulvan, 2020	laskentara- portti	Norja	Dfb/Dfc	omakotitalo	1970-luku	puu	GWP	1	1	1	1
19	Zhang & Wang, 2017	tieteellinen artikkeli	Harbin, Kiina	Dwa	kerrostalo	1980-luku	betoni	GWP	1	1	1	1

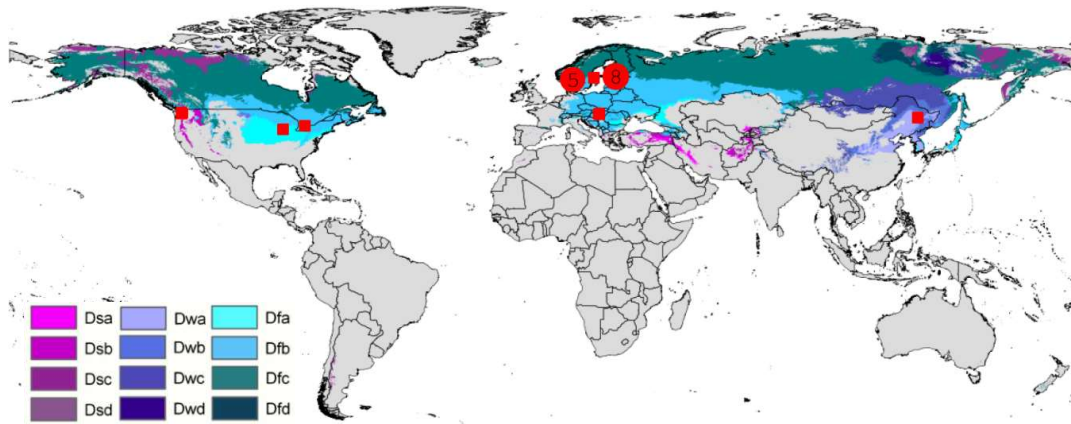
^a Kaupunki ja maa, jossa tutkittu rakennus sijaitsee. ^b Ilmasto Köppen-Geigerin ilmastoluokituksen (Beck ym., 2018) mukaan. Dfa = kuumakesäinen mannerilmasto Dfb = lämminkesäinen mannerilmasto, Dfc = subarktinen mannerilmasto Dwa = kuumakesäinen ja kuivatalvinen mannerilmasto. ^c GWP= lämmitys-potentiaali eli hiilijalanjälki, PED = primäärienergiankulutus. ^d Tutkittu olemassa olevan asuinalueen käytön jatkamista, ei korjaamista.

3.2.2 Maa

Valtaosa aineiston julkaisuissa tarkastelluista rakennuksista sijaitsee Euroopassa. Vajaa puolet julkaisuista (kahdeksan 19:stä) on suomalaisia. Norjassa sijaitsevia rakennuksia tutkittiin viidessä julkaisussa. Julkaisuista neljä on Euroopan ulkopuolelta: Yhdysvalloista, Kanadasta ja Kiinasta. Sijaintivaltio vaikuttaa erityisesti LCA-laskennan rajauksiin sekä määräksiin esimerkiksi rakennuksen energiatehokkuuden tasosta.

3.2.3 Ilmasto

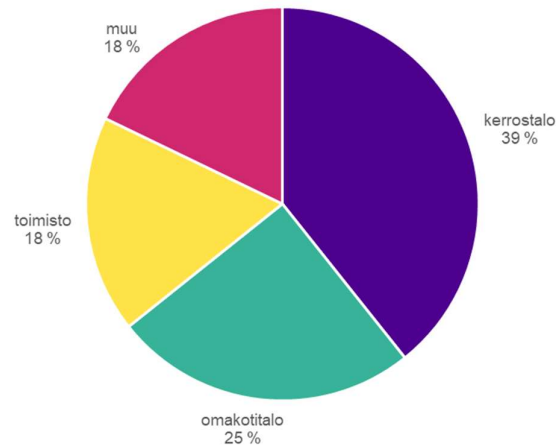
Suurin osa (79 %) aineiston tutkimuksista on tehty rakennuksille, jotka sijaitsevat lämminkesäisellä mannerilmastovyöhykkeellä (Dfb) (kuva 7), joka on myös suurimmassa osassa Suomea vallitseva ilmastotyyppi. Kahden julkaisun rakennukset sijaitsevat kuumakesäisessä mannerilmastossa (Dfa). Yksi rakennus sijoittui subarktiselle (Dfc) ja yksi kuumakesäiselle (Dwa) mannerilmastovyöhykkeelle.



Kuva 7 Aineiston julkaisuissa tutkittujen rakennusten sijainti. Aineistoon valittiin kylmällä ilmastoalueella sijaitsevia rakennuksia. Muokattu lähteestä Beck ym., 2018.

3.2.4 Rakennustyyppi

Kerrostalot edustavat valtaosaa aineiston julkaisuissa tutkituista rakennustyypeistä (kuva 8). Neljäsosa aineiston julkaisuista tarkasteli omakotitaloja ja 18 % toimistorakennuksia. Muihin rakennuksiin kuuluu kaksi koulua; asuinalue, jossa on sekä pientaloja että kerrostaloja sekä sekäkäyttöinen rakennus, jossa on asuntoja, toimistotilaa ja liiketilaa.

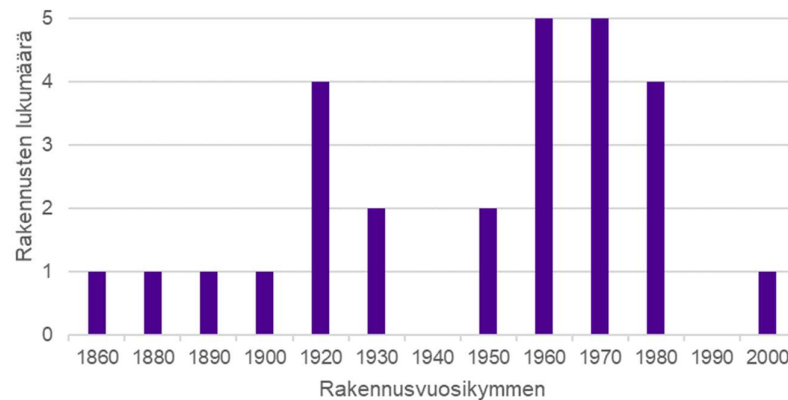


Kuva 8 Aineiston julkaisuissa tutkitut rakennustyypit. N=28.

3.2.5 Korjattavan rakennuksen rakennusvuosi

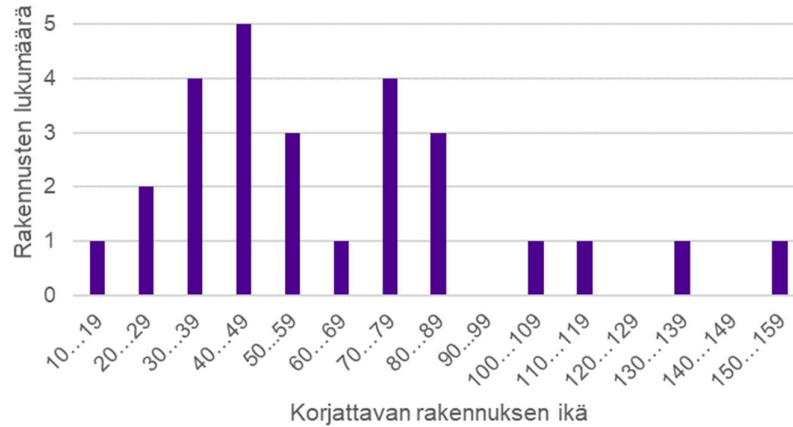
Korjattavien rakennusten rakennusvuosikymmenet on esitetty kuvassa 9.

Suomalaisissa tutkimuksissa korjattavat rakennukset oli rakennettu 1960-1980-luvuilla. Yhdysvaltalaisissa tutkimuksissa (Dettling ym., 2012; Hu, 2017) tutkitut rakennukset olivat selkeästi muuta aineistoa vanhempia, 1860-1920-luvuilla rakennettuja. Tämän ikäisille rakennuksille on todennäköisesti tehty useampia peruskorjauksia jo aiemmin, mutta julkaisuissa ei kerrottu tietoja aiemmista korjauksista. Yhdessä julkaisuissa tutkittiin kerrostunutta asuinalueita.



Kuva 9 Aineiston olemassa olevien korjattavien rakennusten alkuperäinen rakennusvuosi.

Tutkituista korjattavista rakennuksista 45 % olivat alle 50-vuotiaita ja neljäsosa alle 40-vuotiaita. Vanhin korjattava rakennus oli 152 vuotta vanha ja vastaavasti nuorin 18-vuotias. (Kuva 10). Korjaustapauksista 13 oli todellisuudessa toteutettuja korjauksia, jolloin rakennuksen ikä korjausvuonna on laskettu korjausvuoden ja alkuperäisen rakennusvuoden erotuksena. Lopuille tapauksille ikä korjausvuonna on arvioitu julkaisuvuoden ja alkuperäisen rakennusvuoden erotuksena.



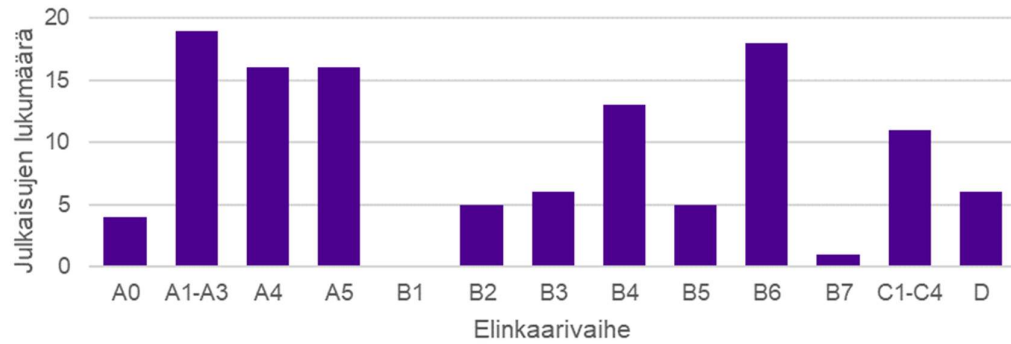
Kuva 10 Korjattavien rakennusten ikäjakauma aineiston julkaisuissa.

3.2.6 Ympäristövaikutus

Lähes kaikissa aineiston julkaisuissa tutkituille rakennuksille on määritetty hiilijalanjälki. Kahdessa julkaisuissa korjaamisen ja uudisrakentamisen ympäristövaikutuksia arvioitiin primäärienergiankulutuksen (*engl. primary energy demand, PED*) perusteella. Joissain julkaisuissa annettiin tulokset myös muista ympäristövaikutuksista, kuten rehevöitymisestä, happamoitumisesta ja otsonikadosta. Tässä diplomityössä tarkasteltiin kuitenkin ensisijaisesti hiilijalanjälkilaskennan tuloksia, koska ilmaston lämpeneminen on rakennusten merkittävin ympäristövaikutus.

3.2.7 Elinkaarivaiheet

Aineiston julkaisuissa on erilaisia rajauksia sen suhteen, mitkä elinkaarivaiheet on otettu huomioon ympäristövaikutusten arvioinnissa (taulukko 2). Tuotevaiheen (A1-A3) ja energiankulutuksen (B6) sisällyttäminen oli kriteerinä aineistoon pääsemiseksi, ja näiden elinkaarivaiheiden ympäristövaikutukset on laskettu kaikissa julkaisuista. Poikkeuksena on yksi julkaisu (Ulvan, 2020), jossa sekä korjatun rakennuksen että uudisrakennuksen energiankulutuksen on ilmoitettu olevan yhtä suuri, vaikka varsinaista päästölaskentaa energiankulutukselle ei ole laadittu. Materiaalien kuljetuksesta työmaalle (A4) sekä rakentamisesta (A5) aiheutuvat päästöt oli määritetty lähes kaikissa aineiston julkaisuissa (kuva 11). Käyttövaiheen yleisin huomioon otettu elinkaarivaihe energiankäytön jälkeen oli osien vaihtaminen (B4). Vain harvassa julkaisuista oli otettu huomioon huollon (B2) tai korjaamisen (B3) ympäristövaikutuksia. Yksikään julkaisuista ei laskenut päästöjä moduulille B1. Purkuvaiheen (C1-C4) päästöt oli arvioitu yli puolessa julkaisuista.



Kuva 11 Arvioidut elinkaarivaiheet aineiston julkaisuissa. $N=19$.

3.2.8 Tarkastelujakson pituus

Puolessa aineiston julkaisuista tarkastelujakson pituudeksi on valittu 50 vuotta. Se on tyypillinen tarkastelujakson pituus suomalaisissa julkaisuissa. Muualla Euroopassa on käytetty aina 60 vuoden tarkastelujaksoa. Pisin tarkastelujakson pituus, 75 vuotta, oli amerikkalaisissa julkaisuissa.

Taulukko 2 Aineiston julkaisuissa käytetyt rajaukset.

Tunnus	Viite lähdeluettelossa	Tarkastelu- jakso (vuotta)	A0	A1- A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1- C4	D	Ole- massa olevan raken- nuksen purku uu- disraken- nettaessa	Energi- antuo- tannon vähähii- listymis- olettama
1	Berg & Fuglseth, 2018	60		X	X	X				X		X		X		X	
2	Detting, Pike & Humbert, 2012	75		X	X	X				X		X		C1	X	X	
3	Dong, Kennedy & Pressnail, 2005	40		X								X				X	
4	Enlid, 2018	60		X	X	X						X					
5	Enlid & Selvig, 2018	60		X								X					X
6	Eskilsson, 2015	50		X								X					
7	Gaia, 2020	50	X	X	X	X		X		X	X	X		X			
8	Heinonen, Säynäjoki & Junnila, 2011	25		X	X	X		X	X			X	X				
9	Horvath & Szalay, 2012	60 ^a		X	X	X			X	X		X		X		X	

Tunnus	Viite lähdeluettelossa	Tarkastelujakso (vuotta)	A0	A1-A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1-C4	D	Ole-massa olevan rakennuksen purku uudisrakennettaessa	Energi-antuo-tannon vähähii-listymis-olettama
10	Hu, 2017	75		X	X	X		X		X		X		X	X		
11	Huuhka ja muut, 2021	50		X	X	X			X	X		X		X	X	X	X
12	Jäätvuori, Tepponen & Varteva, 2020	50		X	X	X			X	X		X		X		X	X
13	Nöjd, 2019a	50	X	X	X	X				X	X	X		X	X	X	X
14	Nöjd, 2019b	50	X	X	X	X				X	X	X		X	X	X	X
15	Puurunen, 2020	50		X	X	X			X	X		X		X	X	X	X
16	Rønning & Vold, 2008	60		X	X	X		X			X	X				X	
17	Säynäjoki, Heinonen & Junnila, 2012	50		X	X	X		X	X	X		X					X
18	Ulvan, 2020	60	X	X	X	X				X	X			X		X	
19	Zhang & Wang, 2017	50		X	X	X				X		X					X

^a Julkaisussa Horvath & Szalay (2012) tarkastelujakson pituus on 120 vuotta, mutta se on muutettu tätä diplomityötä varten 60 vuoteen, koska julkaisussa 60 vuoden kohdalla rakennus puretaan ja tilalle rakennetaan uusi rakennus.

3.2.9 Olemassa olevan rakennuksen purkamisen päästöt

Suurimmassa osassa aineiston julkaisuista (15/19) joko rakennuksen korjaamista tai sen purkamista ja uuden rakentamista tarkastellaan saman tontin sisällä. Suurimmassa osassa näistä julkaisuista on olemassa olevan rakennuksen purkamisesta aiheutuvat päästöt lisätty uudisrakennuksen A-vaiheen päästöihin. Neljä julkaisua puolestaan ei ottanut olemassa olevan rakennuksen purkamisen ympäristövaikutuksia huomioon.

Neljässä aineiston julkaisuissa taas verrataan eri tonteilla sijaitsevia korjattua rakennusta ja uutta rakennusta toisiinsa. Näissä tapauksissa vanhan rakennuksen purkamista ei ole otettu huomioon uudisrakennuksen hiilijalanjäljessä.

3.2.10 Toiminnallinen yksikkö

Kaikissa aineiston julkaisuissa toiminnallisena yksikkönä on rakennuksen pinta-ala. Lämmitetty nettoala on yleisin käytetty pinta-alatyyppe (taulukko 3). LCA-laskennan tulokset oli esitetty joko koko rakennukselle, pinta-alayksikölle jaettuna tai molemmilla tavoilla. Yhdessä julkaisussa oli lisäksi ilmoitettu päästöt kerrostalon asukasta kohden ja yhdessä päästöt toimiston työpistettä kohden.

Taulukko 3 Aineiston julkaisujen toiminnallisena yksikkönä käyttämät pinta-alatyypit.

<i>Pinta-alamääre</i>	<i>kpl</i>
Lämmitetty nettoala	11
Kerrosala	3
Huoneistoala	1
Bruttoala	1
Ei määritelty	4

3.2.11 Korjauksen laajuus

Korjaamisen laajuus vaihteli paljon aineiston julkaisuissa. Useimmissa tapauksissa korjaus oli niin sanottu peruskorjaus, mutta tehtävät toimenpiteet vaihtelivat paljon riippuen rakennuksesta. Peruskorjauksiin sisältyy paljon sellaisia toimenpiteitä, jotka eivät vaikuta rakennuksen käytön energiankulutukseen, mutta joihin korjauksessa investoidaan paljon hiiltä. Hissin lisääminen asuinkerrostaloon on esimerkki tällaisesta toimenpiteestä. Osassa peruskorjauksista tehtiin myös selkeitä energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä, kuten energialähteen muuttaminen uusiutuvaksi tai rakenteiden lisäeristäminen. Peruskorjattaessa laki usein velvoittaa peruskorjauksen yhteydessä parantamaan rakennuksen energiatehokkuutta. Neljässä julkaisuista peruskorjaamisen lisäksi rakennusta myös laajennettiin.

Osa julkaisuista käsittelee tapauksia, joissa korjaamisen tarkoitus on ollut rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen. Näissä korjaustoimenpiteet olivat esimerkiksi vaipan lisäeristämistä ja talotekniikan päivittämistä energiatehokkaammaksi. Kevyin korjaamistapa oli julkaisussa Dong ym. (2005), jossa korjaaminen oli kellarin tai ullakon lisäeristystä ja tiivistämistä.

Kolmessa julkaisussa tutkittiin rakennuksen käyttötarkoituksen muuttamista kokonaan toiseen. Neljässä julkaisussa korjaus oli niin laajamittainen, että pelkästään rakennuksen kantavat runkorakenteet säilytettiin, vaikka rakennuksen käyttötarkoitus säilyikin samana. Yhdessä aineiston julkaisussa ei tehty korjaustoimenpiteitä ollenkaan, koska siinä verrattiin olemassa olevan asuinalueen käytön jatkamista uuden alueen rakentamiseen toisaalle.

3.2.12 Laskentamenetelmät ja päästötiedot

Suurin osa julkaisuista ei kertonut tarkemmin käytettyä LCA viitekehystä. Suomalaisista julkaisuista neljä käytti YM-menetelmää. Yhdessä julkaisussa LCA oli tehty BREEAM-ympäristösertifikaatin saamiseksi. Suurin osa aineiston julkaisuista hyödynsi hiilijalanjalan laskennassa valmista LCA-laskentaohjelmaa (taulukko 4). Kaikki julkaisut eivät suoraa kertoneet, millä tavalla laskenta on suoritettu. Myöskään käytettyä päästötietolähdettä ei usein kerrottu.

Taulukko 4 Laskentamenetelmä ja päästötietokanta aineiston julkaisuissa.

<i>Laskentaohjelmisto</i>	<i>kpl</i>
ATHENA Environmental Impact Estimator	2
SimaPro	2
One Click LCA	6
klimagassregnskap.no	2
taulukkolaskenta (Excel)	3
ei kerrottu	4
<i>Päästötietokanta</i>	<i>kpl</i>
Ecoinvent	4
EPD:t (+ laskentaohjelman tietokannat)	4
kirjallisuuslähteet	1
Carnegie Mellon EIO-LCA (+ suomalainen proses- sidata)	2
NAMEA (+ EPD:t & kirjallisuuslähteet)	1
ei kerrottu	7

3.2.13 Energiankulutuksen määrittäminen

Puolet julkaisuista määrittä energiankulutuksen tutkituille rakennuksille hyödyntämällä energiasimulointiohjelmaa (taulukko 5). Tällaisissa ohjelmissa rakennuksesta ja sen

rakenteista luodaan tietomalli, ja ohjelma simuloi vuosittaisen energiankulutuksen mallin perusteella. Energiasimulointi vaatii, että rakennuksen muoto ja rakenteet on määritetty tarkasti. Hankesuunnitteluvaiheessa energiankulutus voidaan arvioida perustuen kirjallisuuteen, tilastoihin tai ohjeistuksiin.

Taulukko 5 Rakennusten energiankulutuksen määrittystapa aineiston julkaisuissa.

<i>Energiankulutuksen määrittystapa</i>	<i>kpl</i>
Energiasimulointi	8
Kirjallisuuteen/ tilastoihin perustuva	4
Energiatehokkuusohjeisiin perustuva taulukkoarvo	2
Laskennallinen	2
Kulutukseen perustuva	1
Muu tapa tai ei kerrottu	2

Suurimmassa osassa aineiston julkaisuista on oletettu, että energiankulutus ja sen päästöt pysyvät samana koko tarkastelujakson ajan. Kahdeksassa julkaisuissa oletettiin, että energiantuotannossa tapahtuvien muutosten johdosta energiankäytön hiilijalanjälki pienenee ajan saatossa.

3.2.14 Tulosten esitystapa

LCA-laskennan tulokset tulisi esittää siten, että niitä on helppo tulkitä, ja niiden perusteella voidaan luotettavasti tehdä johtopäätöksiä tuloksista. Verrattaessa uudisrakentamista ja olemassa olevan rakentamisen purkamista, tulosten tulkintaan vaikuttaa se, esitetäänkö tulokset yhtenä lukuarvona, elinkaarivaiheisiin jaoteltuna vai kumulatiivisena esityksenä. Aineiston julkaisuissa suosituin tapa esittää vertailuvan LCA-laskennan tulokset oli taulukoida päästöt elinkaarivaiheiden mukaan. Yhtä usein tulokset oli esitetty palkkikaavion sekä aikajanan avulla. Tätä diplomityötä varten jokaiselle aineiston vertailupareista muodostettiin kumulatiivinen päästökertymä (ks. luku 4.3).

3.3 Vertailuparien päästötiedot

Taulukkoon 6 on koottu kaikkien aineiston korjaus-uudisrakentamisvertailuparien päästötiedot. Jokaiselle vertailuparille on annettu vertailuparitunnus, jonka avulla siihen viitataan tekstissä ja kuvissa. Tunnuksen numero viittaa julkaisuun ja kirjaimet julkaisun eri korjaus-uudisrakentamisvertailupareihin.

Tuote- ja rakennusvaiheen (A-vaihe) sekä käyttövaiheen (B-vaihe) hiilijalanjälki on muutettu pinta-alaperusteiseksi (kg CO₂e/m²) kaikille aineiston vertailupareille.

Tarkastelujakson pituudet vaihtelevat aineistossa. Jotta päästöarvot olisivat keskenään vertailukelpoisempia, on käyttövaiheen hiilijalanjälki esitetty vuosiperusteisesti.

Vuosittainen käytön päästö on laskettu jakamalla B-vaiheen kokonaispäästöt tarkastelujakson pituudella. Tällöin energiankäytön päästöt ja käyttövaiheen materiaalisidonnaiset päästöt jakaantuvat tasaisesti tarkastelujakson vuosille. Tarkastelujakson pituudella on kuitenkin vaikutus käyttövaiheen hiilijalanjälkeen. Pidemmällä tarkastelujaksolla B-vaiheen yhteenlaskettu materiaalisidonnainen hiilijalanjälki on suurempi kuin lyhyemmällä tarkastelujaksolla, koska rakennusta todennäköisesti joudutaan korjaamaan enemmän. Tapauksissa, joissa on sovellettu energiantuotannon vähähiilistymisolettamaa, käytön päästöt ovat tosiasiasa suuremmat tarkastelujakson alussa ja pienenevät vuosi vuodelta. Luvussa 4.2. kerrotaan tarkemmin, millainen merkitys B-vaiheen päästöjen jakamisella tasan tarkastelujaksolle on.

Taulukossa 6 on kerrottu myös korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon A-vaiheen ja B-vaiheen päästöjen suhde. Kahdessa julkaisussa (Dong ym., 2005 ja Hu, 2017) ympäristövaikutus on primäärienergiankulutus (PED), ei hiilijalanjälki. Näiden julkaisujen vertailuparien kohdalla on ilmoitettu primäärienergiankulutuksen arvo megajouleina pinta-alayksikköä kohden (MJ/m^2).

Aineisto koostuu erilaisten rakennustyyppien lisäksi myös monista erilaisista korjaustyypeistä. Pienimuotoisin korjaustapa aineistossa on yksittäisen rakennusosan (kellarin tai ullakon) lisäeristäminen (julkaisu Dong ym., 2005). Yhdessä julkaisussa (Heinonen ym., 2011) tutkittiin asuinalueen käytön jatkamista, eikä korjaustoimenpiteitä siis ole lainkaan. Energiatehokkuuskorjauksissa on tehty ainoastaan toimenpiteitä rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi. Peruskorjaustapauksissa lähtökohta on käyttökänsä päähän tulleiden rakennusosien ja järjestelmien uusiminen. Myös peruskorjauksissa rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan, ja sitä edellytetään myös rakennusmääräyksissä. Peruskorjaustapauksissa on usein kuitenkin myös toimenpiteitä, jotka eivät vaikuta energiatehokkuuteen, kuten sisäpintojen uudistaminen tai hissien lisääminen asuin kerrostaloon. Tällaiset toimenpiteet kuitenkin kasvattavat korjaamisen tuote- ja rakennusvaiheen (A-vaihe) hiilijalanjälkeä. Osassa aineiston korjauksissa rakennusta laajennetaan samalla joka lisäkerroksilla tai lisäsiivellä. Oma korjaustyyppiryhmänsä ovat tapaukset, joissa rakennuksen käyttötarkoitusta muutetaan. Aineiston perusteellisimmissä korjauksissa säilytetään pääasiassa vain rakennuksen perustus ja runkorakenteet, mutta kaikki muut osat uusitaan (rungon uudelleenkäyttö).

Taulukko 6 Tuote- ja rakentamisolun (A-vaihe) ja käyttöolun (B-vaihe) päästötiedot aineiston vertailupareissa.

Julkaisun nimi	Vertailuparin tunnus	Rakennustyyppi	Korjaustyyppi	Tarkastelujakson pituus (v)	Pinta-ala (m ²)	Korjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Korjauksen B-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vuosi)	Uudisrakennuksen A-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Uudisrakennuksen B-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vuosi)	A-vaiheen päästöjen suhde	B-vaiheen päästöjen suhde
Berg & Fuglseth, 2018	1a	OKT	Peruskorjaus	60	111	24	19	276	13	9 %	149 %
Dettling ym., 2012	2a	KT	Käyttötarkoituksen muutos	75	korjaus: 19 974 uudis: 17 356	907	92	845	100	107 %	92 %
Dettling ym., 2012	2b	KT	Peruskorjaus	75	korjaus: 6 863 uudis: 17 356	432	94	845	100	51 %	93 %
Dettling ym., 2012	2c	OKT	Peruskorjaus	75	korjaus: 219 uudis: 230	372	70	773	73	48 %	95 %
Dettling ym., 2012	2d	T	Peruskorjaus	75	korjaus: 11 892 uudis: 24 698	663	180	1 869	188	35 %	96 %
Dettling ym., 2012	2e	T	Käyttötarkoituksen muutos	75	korjaus: 24 698 uudis: 24 698	1 262	187	1 869	188	68 %	100 %
Dettling ym., 2012	2f	koulu	Peruskorjaus ja laajennus	75	korjaus: 9 081 uudis: 7 510	1 070	112	1 567	126	68 %	89 %
Dettling ym., 2012	2g	seka-käyttöinen rakennus	Peruskorjaus	75	korjaus: 2 024 uudis: 2 134	608	169	2 212	188	27 %	90 %
Dong ym., 2005	3a	OKT	Yksittäinen lisäeristystoimenpide	40	153	5 ^a	2 827 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	4 %	231 %
Dong ym., 2005	3b	OKT	Yksittäinen lisäeristystoimenpide	40	153	5 ^a	2 607 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	4 %	211 %
Dong ym., 2005	3c	OKT	Yksittäinen lisäeristystoimenpide	40	153	91 ^a	2 556 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	0,2 %	255 %
Dong ym., 2005	3d	OKT	Yksittäinen lisäeristystoimenpide	40	153	91 ^a	2 339 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	0,2 %	235 %

Julkaisun nimi	Vertailu- parin- tun- nus	Raken- nus- tyyppi	Korjaustyyppi	Tarkas- telujak- son pi- tuus (v)	Pinta-ala (m ²)	Korjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Korjauksen B-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	Uudisraken- nuksen A- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Uudisraken- nuksen B- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	A-vaiheen päästöjen suhde	B-vaiheen päästöjen suhde
Dong ym., 2005	3e	OKT	Yksittäinen lisäeris- tystoimenpide	40	153	4 ^a	2 189 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	4 %	169 %
Dong ym., 2005	3f	OKT	Yksittäinen lisäeris- tystoimenpide	40	153	4 ^a	2 071 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	4 %	158 %
Dong ym., 2005	3g	OKT	Yksittäinen lisäeris- tystoimenpide	40	153	95 ^a	1 871 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	0,2 %	198 %
Dong ym., 2005	3h	OKT	Yksittäinen lisäeris- tystoimenpide	40	153	95 ^a	1 754 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	0,2 %	187 %
Dong ym., 2005	3i	OKT	Yksittäinen lisäeris- tystoimenpide	40	153	2 ^a	1 408 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	4 %	117 %
Dong ym., 2005	3j	OKT	Yksittäinen lisäeris- tystoimenpide	40	153	2 ^a	1 362 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	4 %	121 %
Dong ym., 2005	3k	OKT	Yksittäinen lisäeris- tystoimenpide	40	153	91 ^a	1 344 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	0,1 %	127 %
Dong ym., 2005	3l	OKT	Yksittäinen lisäeris- tystoimenpide	40	153	91 ^a	1 296 ^a	2 153 ^a	1 107 ^a	0,1 %	123 %
Enlid & Selvig, 2018	5a	T	Rungon uudelleen- käyttö	60	16 442	139	9	305	14	45 %	61 %
Enlid, 2018	4a	KT	Käyttötarkoituksen muutos	60	760	181	7	439	11	41 %	67 %
Eskilsson, 2015	6a	KT	Peruskorjaus, kor- jattu rakennus laa- jempi	50	korjaus: 7 295 uudis: 1 118	17	11	530	7	3 %	158 %
Gaia, 2020	7a	KT	Käyttötarkoituksen muutos	50	2 670	192	14	589	13	33 %	109 %
Heinonen ym., 2011	8a	OKT/KT -alue	Käytön jatkaminen	25	70 000	ei korjausta	89	1 500	68	0 %	130 %
Heinonen ym., 2011	8b	OKT/KT -alue	Käytön jatkaminen	25	70 000	ei korjausta	89	1 365	68	0 %	130 %

Julkaisun nimi	Vertailu- parin- tun- nus	Raken- nus- tyyppi	Korjaustyyppi	Tarkas- telujak- son pi- tuus (v)	Pinta-ala (m ²)	Korjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Korjauksen B-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	Uudisraken- nuksen A- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Uudisraken- nuksen B- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	A-vaiheen päästöjen suhde	B-vaiheen päästöjen suhde
Heinonen ym., 2011	8c	OKT/KT -alue	Käytön jatkaminen	25	70 000	ei korjausta	89	1 500	58	0 %	152 %
Heinonen ym., 2011	8d	OKT/KT -alue	Käytön jatkaminen	25	70 000	ei korjausta	89	1 500	28	0 %	316 %
Heinonen ym., 2011	8e	OKT/KT -alue	Käytön jatkaminen	25	70 000	ei korjausta	89	1 500	58	0 %	153 %
Heinonen ym., 2011	8f	OKT/KT -alue	Käytön jatkaminen	25	70 000	ei korjausta	89	1 500	53	0 %	168 %
Heinonen ym., 2011	8g	OKT/KT -alue	Käytön jatkaminen	25	70 000	ei korjausta	89	1 500	54	0 %	163 %
Horvath & Szalay, 2012	9a	KT	Peruskorjaus	60	22 185	25	20	375	19	7 %	104 %
Horvath & Szalay, 2012	9b	KT	Peruskorjaus	60	22 185	50	18	375	19	13 %	96 %
Horvath & Szalay, 2012	9c	KT	Peruskorjaus	60	22 185	70	16	375	19	19 %	83 %
Horvath & Szalay, 2012	9d	KT	Peruskorjaus	60	22 185	75	10	375	19	20 %	56 %
Horvath & Szalay, 2012	9e	KT	Peruskorjaus	60	22 185	25	20	380	12	7 %	163 %
Horvath & Szalay, 2012	9f	KT	Peruskorjaus	60	22 185	50	18	380	12	13 %	150 %
Horvath & Szalay, 2012	9g	KT	Peruskorjaus	60	22 185	70	16	380	12	18 %	129 %
Horvath & Szalay, 2012	9h	KT	Peruskorjaus	60	22 185	75	10	380	12	20 %	87 %
Hu, 2017	10a	ooppe- ratalo	Peruskorjaus	75	2 138	338 ^a	2 339 ^a	2 586 ^a	2 339 ^a	13 %	100 %

Julkaisun nimi	Vertailu- parin- tun- nus	Raken- nus- tyyppi	Korjaustyyppi	Tarkas- telujak- son pi- tuus (v)	Pinta-ala (m ²)	Korjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Korjauksen B-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	Uudisraken- nuksen A- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Uudisraken- nuksen B- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	A-vaiheen päästöjen suhde	B-vaiheen päästöjen suhde
Hu, 2017	10b	ooppe- ratalo	Peruskorjaus	75	2 138	338 ^a	2 339 ^a	2 586 ^a	546 ^a	13 %	429 %
Hu, 2017	10c	ooppe- ratalo	Peruskorjaus	75	2 138	338 ^a	1 166 ^a	2 586 ^a	2 339 ^a	13 %	50 %
Hu, 2017	10d	ooppe- ratalo	Peruskorjaus	75	2 138	338 ^a	1 166 ^a	2 586 ^a	546 ^a	13 %	214 %
Huuhka ym., 2021	11a	koulu	Peruskorjaus	50	2412	117	14	353	9	33 %	150 %
Huuhka ym., 2021	11b	koulu	Peruskorjaus	50	2412	117	14	230	10	51 %	137 %
Huuhka ym., 2021	11c	koulu	Peruskorjaus ja laajennus	50	9 647	243	9	323	9	75 %	106 %
Huuhka ym., 2021	11d	koulu	Peruskorjaus ja laajennus	50	9 647	160	10	203	9	79 %	104 %
Jäätvuori ym., 2020	12a	KT	Peruskorjaus, uu- disrakennus laa- jempi	50	korjaus: 3 920 uudis: 9 616	83	12	326	5	25 %	247 %
Jäätvuori ym., 2020	12b	KT	Peruskorjaus, uu- disrakennus laa- jempi, vain uudisra- kennuksessa maa- lämpö	50	korjaus: 14 833 uudis: 70 000	42	11	326	8	13 %	134 %
Nöjd, 2019a	13a	KT	Peruskorjaus ja laajennus	50	2 266	137	11	336	11	41 %	104 %
Nöjd, 2019a	13b	KT	Peruskorjaus ja laajennus	50	2 266	137	11	296	11	46 %	104 %
Nöjd, 2019a	13c	KT	Peruskorjaus ja laajennus, vain uu- disrakennuksessa maalämpö	50	2 266	137	11	336	4	41 %	252 %

Julkaisun nimi	Vertailu- parin tun- nus	Raken- nus- tyyppi	Korjaustyyppi	Tarkas- telujak- son pi- tuus (v)	Pinta-ala (m ²)	Korjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Korjauksen B-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	Uudisraken- nuksen A- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Uudisraken- nuksen B- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	A-vaiheen päästöjen suhde	B-vaiheen päästöjen suhde
Nöjd, 2019a	13d	KT	Peruskorjaus ja laajennus, vain uudisrakennuksessa maalämpö	50	2 266	137	11	296	4	46 %	252 %
Nöjd, 2019b	14a	KT	Peruskorjaus ja laajennus	50	2 100	147	10	365	10	40 %	107 %
Nöjd, 2019b	14b	KT	Peruskorjaus ja laajennus	50	2 100	147	10	318	10	46 %	106 %
Nöjd, 2019b	14c	KT	Peruskorjaus ja laajennus, vain uudisrakennuksessa maalämpö	50	2 100	147	10	318	4	46 %	248 %
Nöjd, 2019b	14d	KT	Peruskorjaus ja laajennus, vain uudisrakennuksessa maalämpö	50	2 100	147	10	365	4	40 %	254 %
Puurunen, 2020	15a	T	Rungon uudelleenkäyttö	50	3 264	156	7	287	7	54 %	100 %
Puurunen, 2020	15b	T	Rungon uudelleenkäyttö	50	3 264	156	7	216	7	72 %	100 %
Rønning & Vold, 2008	16a	T	Peruskorjaus	60	korjaus: 12 069 uudis: 12 740	506	65	1 319	20	38 %	319 %
Säynäjoki ym., 2012	17a	OKT- alue	Energiatohokkuus- korjaus, omakotita- loalue	50	yht. 35 270, ~160/okt	1 140	16	1 715	25	66 %	62 %
Säynäjoki ym., 2012	17b	OKT- alue	Energiatohokkuus- korjaus, omakotita- loalue	50	yht. 35 270, ~160/okt	1 140	16	1 744	16	65 %	100 %

Julkaisun nimi	Vertailu- parin- tun- nus	Raken- nus- tyyppi	Korjaustyyppi	Tarkas- telujak- son pi- tuus (v)	Pinta-ala (m ²)	Korjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Korjauksen B-vaiheen hiilijalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	Uudisraken- nuksen A- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ²)	Uudisraken- nuksen B- vaiheen hiili- jalanjälki, (kg CO ₂ e/m ² /vu osi)	A-vaiheen päästöjen suhde	B-vaiheen päästöjen suhde
Säynäjoki ym., 2012	17c	OKT- alue	Energiatehokkuus- korjaus, omakotita- loalue	50	yht. 35 270, ~160/okt	1 140	16	1 806	9	63 %	173 %
Ulvan, 2020	18a	OKT	Rungon uudelleen- käyttö	60	150	95	ei laskettu, yhtä suuri korjatulle ja uudisraken- nukselle	325	ei laskettu, yhtä suuri korjatulle ja uudisraken- nukselle	29 %	100 %
Zhang & Wang, 2017	19a	KT	Peruskorjaus	50	17 559	53	43	491	37	11 %	115 %

OKT = omakotitalo, T = toimisto, KT = asuinkerrostalo

^a primäärienergiankulutus, yksikkö MJ/m² (A-vaihe) tai MJ/m²/vuosi (B-vaihe).

Kun aineiston vertailuparit jaetaan ryhmiin rakennus- ja korjaustyyppin mukaan, ryhmäkoot ovat melko pieniä. Taulukossa 7 on eri rakennustyyppisiä ja korjaustyyppisiä edustavien vertailuparien lukumäärät. Suluissa oleva luku kertoo, kuinka monesta eri julkaisusta vertailuparit ovat. Tyypillisin korjaustapaus on asuinkerrostalon peruskorjaus. Seuraavaksi eniten on lisäeristettyjä omakotitaloja. Ryhmän vertailuparit ovat tosin kaikki samasta julkaisusta. Asuinkerrostaloja on aineistossa kaikista eniten: vertailupareja on yhteensä 24 kappaletta kymmenessä eri julkaisussa. Muita rakennustyyppisiä tutkineita julkaisuja on aineistossa huomattavasti vähemmän. Aineistossa on eniten vertailupareja, joissa korjausvaihtoehto on peruskorjaus tai peruskorjaus laajennuksella. Muita korjaustyyppisiä edustaa vähäisempi määrä vertailupareja.

Taulukko 7 Vertailuparien lukumäärät eri rakennus- ja korjaustyypeissä. Sulkeissa on julkaisujen määrä.

vertailu- paria (julkaisua)	<i>perus- korjaus</i>	<i>perus- korjaus ja laajen- nus</i>	<i>rungon uudel- leen- käyttö</i>	<i>käyttö- tarkoi- tuksen muutos</i>	<i>energia- tehok- kuus- korjaus</i>	<i>yksittäi- nen lisäeris- tystoi- menpi- de</i>	<i>käytön jatka- minen</i>	<i>yhteen- sä</i>
<i>asuin kerros- talo</i>	13 (6)	8 (2)		3 (3)				24 (10)
<i>omakotitalo</i>	2 (2)		1 (1)			12 (1)		15 (4)
<i>toimisto</i>	2 (2)		3 (2)	1(1)				6 (5)
<i>koulu</i>	2 (1)	3 (2)						5 (2)
<i>sekakäyttöi- nen rakennus</i>	1 (1)							1 (1)
<i>oopperatalo</i>	4 (1)							4 (1)
<i>OKT-alue</i>					3 (1)			3 (1)
<i>OKT/KT- alue</i>							7 (1)	7 (1)
<i>yhteensä</i>	23 (9)	11 (4)	4 (3)	4 (3)	4 (2)	12 (1)	7 (1)	65 (19)

3.3.1 Eri korjaustyyppien hiilijalanjälki

Neljän suurimman korjaustyyppiryhmän korjaustapausten tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) päästötiedot on koottu taulukkoon 8. Mukana ovat kaikki ne vertailuparit, joille on julkaisuissa laskettu hiilijalanjälki. Mukana eivät ole ne vertailuparit, joille on julkaisuissa laskettu primäärienergiankulutus. Myöskään vertailupareja, joissa olemassa olevan rakennuksen käyttöä on jatkettu, ei ole otettu lukuun, koska käytön jatkamista ei voida pitää korjaamisena ja A-vaiheen päästöt ovat käytön jatkamiselle nolla.

Aineistossa on eniten peruskorjauksia ja sellaisia korjauksia, joissa rakennusta on peruskorjauksen lisäksi laajennettu. Korjattujen ja laajennettujen rakennusten hiilijalanjälki on suurempi kuin vain peruskorjattujen, koska laajennettaessa osa hankkeesta on uudisrakentamista. Käyttötarkoituksen muutoksissa hiilijalanjälki on kaikista suurin. Rungon uudelleenkäytössä hiilijalanjäljen mediaani on yhtä suuri kuin laajennetuilla korjatuilla rakennuksilla, mutta keskiarvo on kuitenkin pienempi.

Vaihteluvälit ovat suuria kaikissa ryhmissä.

Taulukko 8 Korjausvaihtoehtojen tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) päästöjen keskiarvo, mediaani ja hajonta sekä osuus uudisrakentamisen A-vaiheen päästöistä eri korjaustyyppiryhmissä aineistossa.

	vertailu- pareja (kpl)	A-vaiheen hiilijalanjälki, mediaani (kg CO ₂ e/m ²)	A-vaiheen hiilijalanjälki, keskiarvo (kg CO ₂ e/m ²)	A-vaiheen hiilijalanjälki, vaihteluväli (kg CO ₂ e/m ²)	Verrattuna uudisrakenta- misvaihtoehtoon, mediaani
Peruskorjaus	20	73	172	17...663	19 %
Peruskorjaus ja laajennus	11	147	237	137...1070	46 %
Rungon uudelleen- käyttö	4	147	136	95...156	50 %
Käyttötarkoi- tuksen muutos	4	550	635	181...1262	54 %
Kaikki korjaustyyppit	42	143	300	17...1262	35 %

Kun verrataan korjatun rakennuksen A-vaiheen hiilijalanjälkeä vertailuparin uudisrakentamisvaihtoehtoon, ovat korjaamisen päästöt kaikissa vertailupareissa yhtä lukuun ottamatta pienemmät kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla. Aineistossa peruskorjaustapausten A-vaiheen hiilijalanjäljen mediaani on 19 %

uudisrakentamisvaihtoehdon päästöistä. Muissa korjaustyypeissä korjaamisen A-vaiheen päästöt ovat mediaaniltaan noin puolet uudisrakentamisen päästöistä.

Taulukossa 9 on aineiston korjausvaihtoehtojen B-vaiheen hiilijalanjälki korjaustyyppien mukaan jaoteltuna. Yhdelle aineiston vertailuparille ei ollut julkaisussa annettu korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdon käyttövaiheen päästöjä, koska ne oli ajateltu yhtä suuriksi. Siksi vertailupari ei ole mukana taulukon 9 luvuissa. Siten vertailuparien kokonaismäärä taulukossa 9 on yhtä pienempi kuin taulukossa 8.

Taulukko 9 Korjausvaihtoehtojen käyttövaiheen (B-vaihe) päästöjen keskiarvo, mediaani ja hajonta sekä osuus uudisrakentamisen A-vaiheen päästöistä eri korjaustyyppiryhmissä aineistossa.

	vertailu- pareja (kpl)	B-vaiheen hiilijalanjälki, mediaani (kg CO ₂ e/m ² /v)	B-vaiheen hiilijalanjälki, keskiarvo (kg CO ₂ e/m ² /v)	B-vaiheen hiilijalanjälki, vaihteluväli (kg CO ₂ e/m ² /v)	Verrattuna uudisrakenta- misvaihtoeh- toon, mediaani
Peruskorjaus	20	18	41	10...180	122 %
Peruskorjaus ja laajennus	11	10	20	9...112	106 %
Käyttötarkoi- tuksen muutos	4	53	75	7...187	96 %
Rungon uudelleen- käyttö	3	7	7	7...9	100 %
Kaikki korjaustyypit	41	14	34	7...187	108 %

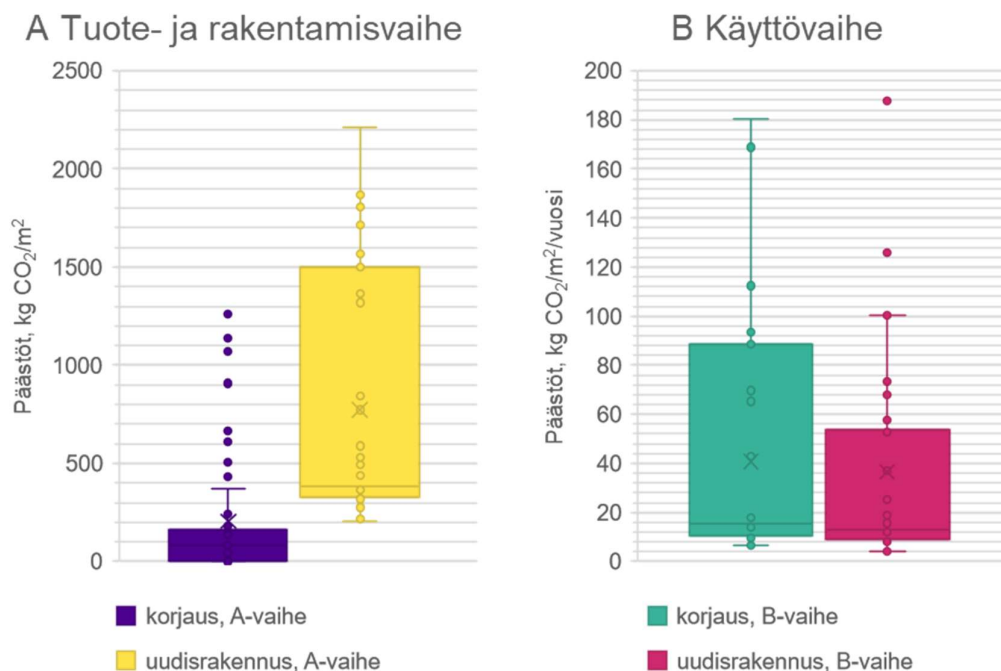
Korjaustyypeittäin jaoteltuna kaikista suurin B-vaiheen hiilijalanjälki on tapauksissa, joissa rakennuksen käyttötarkoitusta on muutettu. B-vaiheen päästöjen mediaani ja keskiarvo ovat huomattavasti suuremmat verrattuna muihin ryhmiin, samoin kuin A-vaiheen päästöjen kohdalla (ks. taulukko 8). Peruskorjausten ja käyttötarkoituksen muutosten käytön päästöjen vaihteluvälit ovat kuitenkin lähes samat.

Peruskorjaustapausten B-vaiheen päästöt ovat noin kaksinkertaiset verrattuna tapauksiin, joissa rakennusta on myös laajennettu. Uudisosa on usein energiatehokkaampi ja siten laskee rakennuksen vuosittaista pinta-alakohtaista käytön hiilijalanjälkeä. Kaikista pienimmät B-vaiheen päästöt on korjauksissa, joissa olemassa olevasta rakennuksen on säilytetty pelkästään runkorakenteet. Käytön päästöjen

vaihteluvälit ovat kaikissa korjaustyyppiryhmissä suuria, lukuun ottamatta rungon uudelleenkäyttöä.

Käyttötarkoitusta muutettaessa korjatun rakennuksen käyttövaiheen hiilijalanjälki on mediaaniltaan hieman pienempi suhteessa uudisrakentamisvaihtoehtoon. Rungon uudelleenkäytössä B-vaiheen päästöt ovat yhtä suuret korjatulla ja uudisrakennuksella. Peruskorjauksissa korjatun rakennuksen B-vaiheen päästöt ovat mediaaniltaan 15 % suuremmat kuin uudisrakennuksella. Tapauksissa, joissa peruskorjauksen lisäksi rakennusta on laajennettu, käyttövaiheen päästöt ovat vain vähän uudisrakennusvaihtoehtoa suuremmat.

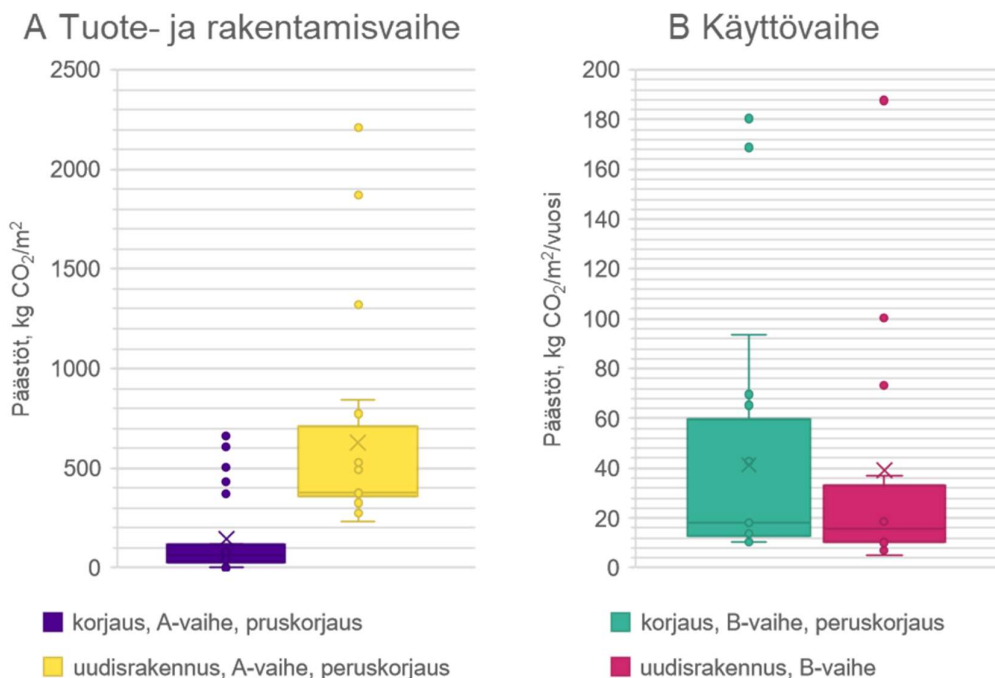
Kuvassa 12 on koko aineiston kaikkien vertailuparien korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehtojen hiilijalanjälki tuote- ja rakentamisvaiheessa (A-vaihe) sekä käyttövaiheessa (B-vaihe). Aineiston perusteella korjaamisella on pääasiassa pienempi A-vaiheen hiilijalanjälki kuin uudisrakentamisella. Aineiston korjaus- ja uudisrakentamistapausten B-vaiheen hiilijalanjäljen jakaumat ovat samankaltaiset, mutta uudisrakennuksilla on keskimäärin hieman pienemmät käyttövaiheen päästöt kuin korjatuilla rakennuksilla.



Kuva 12 Kaikkien aineiston vertailuparien korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehtojen tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) ja käyttövaiheen (B-vaihe) hiilijalanjälki. A: korjaus N=42, uudisrakennus N=49; B: korjaus N=48, uudisrakennus N=48.

Kuvassa 13 on aineiston peruskorjattujen rakennusten A- ja B-vaiheen hiilijalanjälki, sekä myös näiden vertailuparien uudisrakentamisvaihtoehtojen vastaavat arvot. Kuvasta nähdään, että aineistossa peruskorjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi kuin uudisrakentamisvaihtoehdoilla. Aineiston peruskorjausten A-vaiheen päästöjen keskiarvo on 182 kg CO₂e/m² ja mediaani 75 kg CO₂e/m². Vastaavat arvot uudisrakennuksille ovat 380 kg CO₂e/m² ja 647 kg CO₂e/m². Peruskorjausten A-vaiheen päästöjen kvartiiliväli on 50-245 kg CO₂e/m² ja näiden vertailuparien uudisrakentamistapausten 375-652 kg CO₂e/m².

B-vaiheessa puolestaan uudisrakennuksilla on pienempi hiilijalanjälki. Aineiston peruskorjattujen rakennusten B-vaiheen hiilijalanjäljen keskiarvo on 18 kg CO₂e/m²/v ja mediaani 43 kg CO₂e/m²/v. Vertailuparien uudisrakentamisvaihtoehdoille vastaavat arvot ovat 19 kg CO₂e/m²/v ja 40 kg CO₂e/m²/v. Peruskorjauksilla B-vaiheen päästöjen kvartiiliväli on 13-54 kg CO₂e/m², ja vastaavasti vertailuparien uudisrakentamistapausten 11-29 kg CO₂e/m².



Kuva 13 Aineiston vertailuparien, joissa korjaus on peruskorjaus, tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) ja käyttövaiheen (B-vaihe) hiilijalanjälki korjausvaihtoehdoissa ja uudisrakentamisvaihtoehdoissa. N=20.

3.3.2 Eri rakennustyyppien hiilijalanjälki

Taulukkoon 10 on koottu aineiston vertailuparien korjausvaihtoehtojen päästötiedot rakennustyyppien mukaan lajiteltuna. Taulukossa on neljä suurinta ryhmää.

Kerrostalovertailupareja on aineistossa kaikista eniten, yhteensä 24 kappaletta. Muita rakennustyyppisiä edustaa aineistossa huomattavasti vähäisempi määrä vertailupareja. Esimekriksi omakotitaloja on vain kolme kappaletta, eikä niiden perusteella siksi voida luotettavasti tehdä yleistettäviä päätelmiä.

Aineistossa on vain kolme vertailuparia, joissa hiilijalanjälkivertailu on tehty yksittäiselle omakotitalolle. Näiden lisäksi omakotitaloja on tarkastelu myös kolmessa muussa aineiston julkaisussa. Yhdessä julkaisussa (Säynäjoki ym., 2012) on tarkasteltu kokonaista omakotitaloaluetta, ja toisessa (Heinonen ym., 2011) asuinalueita, jossa on sekä omakotitaloja että asuinkerrostaloja. Jälkimmäisessä on uudisasuinalueen hiilijalanjälkilaskennassa otettu huomioon myös alueen infrarakenteiden rakentaminen. Näiden kokonaisista asuinalueita käsittelevien julkaisuiden vertailuparit eivät ole mukana taulukossa 10, koska ne eivät ole kyllin hyvin verrattavissa yksittäisen omakotitalon tarkasteluun ja vääristäisivät tuloksia. Lisäksi yhdessä aineiston julkaisussa (Dong ym., 2005) on tutkittu omakotitalon elinkaaren primäärienergiankulutusta (PED) eikä hiilijalanjälkeä, ja julkaisun vertailuparit eivät siksi ole mukana taulukossa 10. Muita aineiston julkaisuissa tutkittuja rakennustyyppisiä ovat oopperatalo sekä sekäkäyttöinen rakennus, jossa on asuinhuoneistoja, toimistotiloja ja ravintola.

Taulukko 10 Korjausvaihtoehtojen tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) päästöjen keskiarvo, mediaani ja hajonta sekä osuus uudisrakentamisen A-vaiheen päästöistä eri rakennustyyppiryhmissä aineistossa.

		A-vaiheen	A-vaiheen	A-vaiheen	Verrattuna
	vertailu-	hiilijalanjälki,	hiilijalanjälki,	hiilijalanjälki,	uudisraken-
	pareja	mediaani	keskiarvo	vaihteluväli	tamivaihto-
	(kpl)	(kg CO ₂ e/m ²)	(kg CO ₂ e/m ²)	(kg CO ₂ e/m ²)	ehtoon,
					mediaani
Asuinkerrostalot	24	110	145	17...907	29 %
Toimistorakennukset	6	331	480	139...1262	50 %
Koulut	5	160	341	117...1070	68 %
Omakotitalot	3	95	162	24...372	47 %

Rakennustyypeistä aineiston omakotitaloilla ja kerrostaloilla on kaikista pienin hiilijalanjälki. Toimistorakennusten korjauksilla on aineistossa selkeästi suurempi A-

vaiheen hiilijalanjälki kuin muilla rakennustyypeillä. Tämä voi selittyä sillä, että lähes kaikissa aineiston toimistorakennuksissa korjaustapa on joko rungon uudelleenkäyttö tai käyttötarkoituksen muutos. Niissä A-vaiheen hiilijalanjälki on suurempi kuin esimerkiksi peruskorjauksissa, koska uusia materiaaleja tarvitaan enemmän. A-vaiheen hiilijalanjäljen vaihteluvälit ovat suuria kaikissa aineiston rakennustyyppiryhmissä.

Aineistossa kerrostaloilla on kaikista pienimmät korjaamisen päästöt verrattuna uudisrakentamiseen. Kerrostalon korjaamisen päästöt ovat mediaaniltaan noin 30 % uudisrakentamisen päästöistä. Aineiston toimistorakennusten ja omakotitalojen korjaamisen päästöt ovat puolestaan mediaaniltaan noin puolet uudisrakentamisvaihtoehdon A-vaiheen hiilijalanjäljestä. Aineiston koulujen korjaamisen päästöt ovat kaikista suurimmat uudisrakentamisvaihtoehtoon verrattuna. Selittävä tekijä on todennäköisesti se, että aineiston koulurakennusten korjausvaihtoehtoihin sisältyi lähes aina myös uudisrakentamista, koska rakennusta laajennettiin korjauksen yhteydessä.

Taulukossa 11 on aineiston korjaustapausten B-vaiheen päästöt rakennustyypeittäin. Omakotitalojen B-vaiheen päästöjä ei ole koottu tähän taulukkoon, koska vain kahdessa omakotilovertilu-parissa on laskettu B-vaiheen hiilijalanjälki.

Rakennustyypeittäin lajiteltuna aineiston kerrostalojen B-vaiheen hiilijalanjälki on mediaaniltaan ja keskiarvoltaan kaikista pienin. Toimistorakennusten B-vaiheen päästöt ovat huomattavasti suuremmat kuin asuinkerrostaloilla ja kouluilla. B-vaiheen hiilijalanjäljen vaihteluvälit ovat kuitenkin samankaltaisia kaikissa kolmessa ryhmässä.

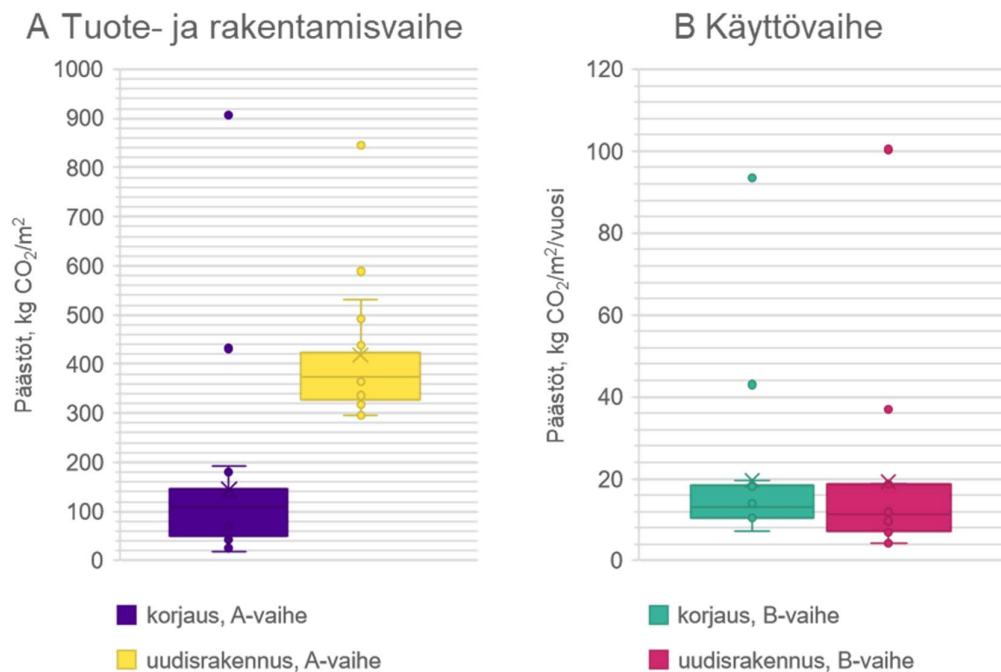
Taulukko 11 Korjausvaihtoehtojen tuote- ja rakentamisvaiheen (B-vaihe) päästöjen keskiarvo, mediaani ja hajonta sekä osuus uudisrakentamisen B-vaiheen päästöistä eri rakennustyyppiryhmissä aineistossa.

	<i>B-vaiheen vertailu- pareja (kpl)</i>	<i>B-vaiheen hiilijalanjälki, mediaani (kg CO₂e/m²/v)</i>	<i>B-vaiheen hiilijalanjälki, keskiarvo (kg CO₂e/m²/v)</i>	<i>B-vaiheen hiilijalanjälki, vaihteluväli (kg CO₂e/m²/v)</i>	<i>Verrattuna uudisrakenta- misvaihtoeh- toon, mediaani</i>
<i>Asuinker- rostalot</i>	24	11	21	7...94	108 %
<i>Toimistora- kennukset</i>	6	37	76	7...187	100 %
<i>Koulut</i>	5	14	33	9...117	106 %

Kun tarkastellaan vertailuparien korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon B-vaiheen hiilijalanjäljen suhdetta, on toimistorakennusten ryhmässä suhdeluvun mediaani 100 %, eli päästöt ovat molemmilla vaihtoehdoilla yhtä suuret.

Asuinkerrostaloilla ja koulurakennuksilla päästöjen suhteen mediaani hieman yli sata prosenttia, eli korjausvaihtoehdolla on suuremmat käyttövaiheen päästöt.

Kuvassa 14 on aineiston asuinkerrostalojen korjaustapausten ja uudisrakentamistapausten A- ja B-vaiheen hiilijalanjäljet. Tuote- ja rakentamisvaiheessa korjaamisen päästöt ovat huomattavasti alhaisemmat kuin uudisrakennustapauksissa. Aineiston asuinkerrostalojen A-vaiheen päästöjen keskiarvo korjaustapauksilla on 145 kg CO₂e/m², ja vastaavasti uudisrakentamistapauksilla 418 kg CO₂e/m². Mediaani on korjaustapauksilla 110 kg CO₂e/m² ja uudiskerrostaloilla 375 kg CO₂e/m². A-vaiheen päästöjen kvartiiliväli korjaustapauksilla on 52-147 kg CO₂e/m², ja vastaavasti uudisrakentamistapauksilla 333-395 kg CO₂e/m².



Kuva 14 Aineiston asuinkerrostalojen korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehtojen tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) ja käyttövaiheen (B-vaihe) hiilijalanjälki. N=24.

Käyttövaiheessa puolestaan aineiston kerrostalojen korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehtojen päästöt ovat samankaltaiset. B-vaiheen päästöt ovat aineiston kerrostalojen korjaustapauksilla keskimäärin 21 kg CO₂e/m²/v ja uudistapauksilla keskimäärin 19 kg CO₂e/m²/v. B-vaiheen päästöjen mediaani on puolestaan sekä korjatuilla että uudiskerrostaloilla 11 kg CO₂e/m²/v. Korjaustapausten

B-vaiheen päästöjen kvartiiliväli on 10-18 kg CO₂e/m², ja vastaavasti uudisrakentamistapausten 8-19 kg CO₂e/m².

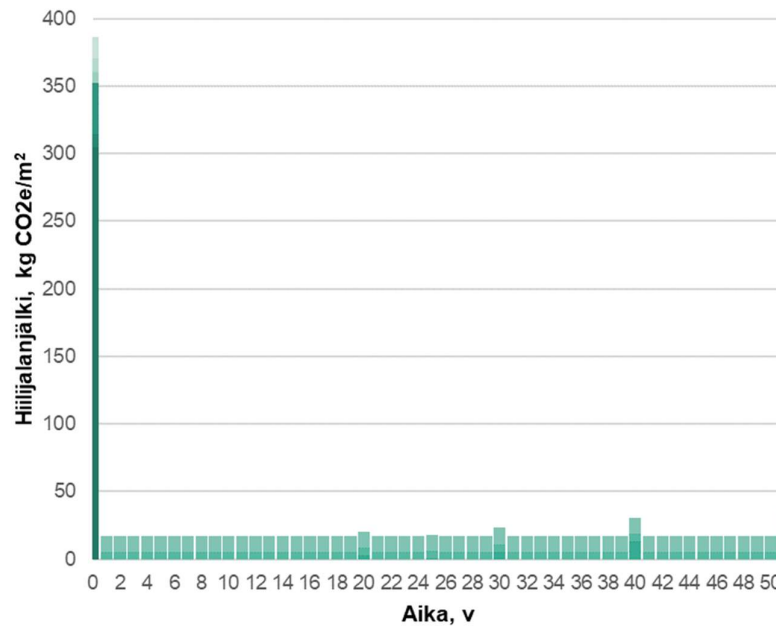
4. KORJAUSRAKENTAMISEN JA UUDISRAKENTAMISEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN VERTAAMINEN

Tässä luvussa kerrotaan, miksi rakennuksen hiilijalanjäljen esityksessä olisi perusteltua käyttää aikajanaesitystä yksittäisen lukuarvon sijasta. Aikajanaesitystä hyödynnetään korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen hiilijalanjälkien vertaamiseen. Luvussa esitellään yksinkertaistettu laskennallinen malli, jonka avulla voidaan selvittää purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika, eli ajanhetki, jonka jälkeen uudisrakennus on ympäristön kannalta parempi vaihtoehto. Mallia sovelletaan kirjallisuustutkimuksen aineistoon.

4.1 Rakennuksen hiilijalanjäljen esitys aikajanalla

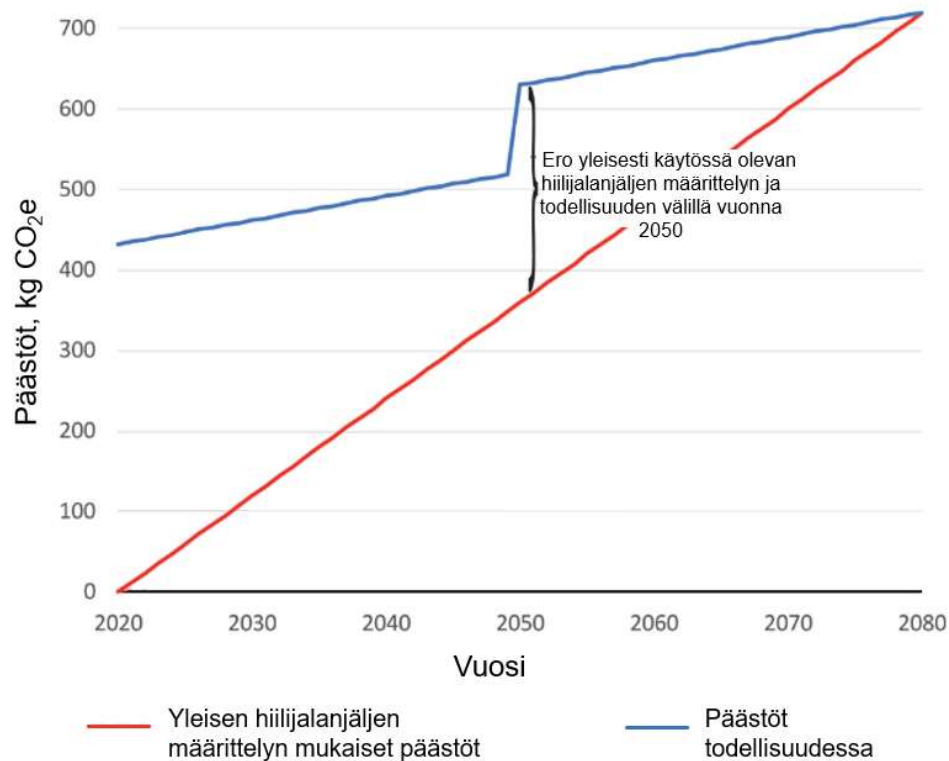
Rakennuksen hiilijalanjälki ilmoitetaan usein hiilidioksidiekvivalenttikiloina vuotta kohden (kg CO₂e/v). Vuotuisen hiilijalanjäljen määrittäminen tapahtuu jakamalla rakennuksen kokonaishiilijalanjälki, eli kaikkien elinkaarivaiheiden päästöjen summa, tarkastelujakson pituudella. Tällainen hiilijalanjäljen esitys yhden lukuarvon avulla ei ota huomioon päästöjen syntymisen ajankohtaa.

Todellisuudessa rakennuksen hiilijalanjälki ei ole joka vuosi yhtä suuri. Huomattava hiilijalanjälki syntyy aivan rakennuksen elinkaaren alussa tuote- ja rakentamisvaiheessa (kuva 15). Käyttövaiheessa vuosittaiset päästöt ovat puolestaan paljon pienemmät. Huoltoon, korjaamiseen ja osien vaihtamiseen liittyvät päästöt aiheuttavat tietyille vuosille hiilipiikkejä. Näiden hiilipiikkien määrä riippuu siitä, millainen käyttöikä rakennusosilla ja -materiaaleilla on, sekä tarkastelujakson pituudesta.



Kuva 15 Uudisrakennuksen vuotuinen hiilijalanjälki elinkaaren aikana. Perustuu Purkaa vai korjata -hankkeen LCA-tuloksiin (ks. Huuhka ym., 2021).

Hiilijalanjäljen esittäminen hiilidioksidiekvivalenttikiloina vuotta kohden vähättelee elinkaaren alkuosan päästöjen määrää. Kuvassa 16 on esitetty rakennuksen hiilijalanjäljen kumuloituminen kahdella eri tavalla: niin, että kokonaispäästöt on jaettu tasan tarkastelujakson vuosille sekä niin, että päästökäyrä mukailee päästöjen todellista ajoittumista. Jälkimmäisellä päästökäyrällä elinkaaren alussa on tuote- ja rakentamisvaiheen hiilipiikki, joka on yli puolet kokonaispäästöistä, sekä vuoden 2050 kohdalla peruskorjauksesta syntyvä hiilipiikki. Kuvan esimerkissä yleinen esitystapa aliarvioi päästöjen määrää noin 40 prosentilla vuonna 2050. Suurin päästöjen aliarviointi tapahtuu tarkastelujakson alkupuolella eli niinä vuosina, kun ilmaston lämpenemisen hidastamisen kannalta olisi erityisen tärkeää vähentää päästöjen määrää.



Kuva 16 Rakennuksen päästöjen kumuloituminen yleisen määrittelytavan perusteella (punainen viiva) ja päästöjen todellisen syntymisajankohdan perusteella (sininen viiva). Muokattu lähteestä Habert ym., 2020.

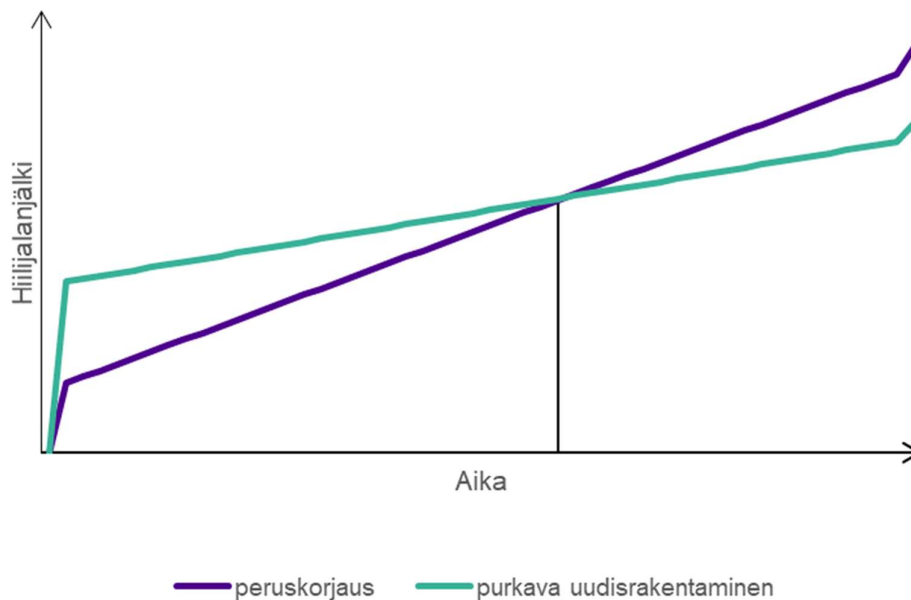
Tuote- ja rakentamisvaiheen päästöt muodostuvat varmuudella, kun rakennus rakennetaan. Käytön aikaisten päästöjen ennustaminen taas on sitä vaikeampaa, mitä kauemmas tulevaisuuteen mennään. Muutokset rakennuksen energiankulutuksessa, energiantuotannon vähähiilistyminen, osien kuluminen ja uusimistarpeet, peruskorjaaminen sekä tilamuutokset ovat esimerkkejä tekijöistä, jotka vaikuttavat käyttövaiheen päästöihin, mutta joiden esiintyvyys ja siten vaikutus rakennuksen hiilijalanjälkeen on epävarma. Oikea-aikaisella huollolla ja kunnossapidolla voidaan vaikuttaa osien vaihtotarpeeseen ja pidentää rakennusosien käyttöikä, jolloin myös osien vaihtamisesta aiheutuvat päästöt siirtyvät myöhempään ajankohtaan.

4.2 Aikajanaesitys korjaamisen ja uudisrakentamisen hiilijalanjalan vertailussa

Kun verrataan olemassa olevan rakennuksen korjaamista ja sen korvaamista uudisrakennuksella, on ympäristön näkökulmasta merkittävin tekijä se, **kummalla vaihtoehdoista on suurempi hiilijalanjälki**. Vertaamalla vaihtoehtojen hiilijalanjälkiä toisiinsa aikajanaesityksen avulla, saadaan selville, **millä ajanhetkellä toisen vaihtoehdon kumulatiivinen hiilijalanjälki muuttuu toista suuremmaksi**. Usein

uudisrakennuksen hiilijalanjälki on tarkastelujakson alussa suurempi kuin korjaamisella, koska uudisrakentamisessa tarvitaan enemmän uusia materiaaleja.

Oletetaan kuvitteellista esimerkkiä varten, että korjatun rakennuksen käytön aikainen hiilijalanjälki on suurempi kuin uudisrakennuksella, koska korjatun rakennuksen energiankulutus on suurempi. Uudisrakennuksen rakentaminen aiheuttaa kuitenkin suuremman hiilipiikin elinkaaren alussa. Jotta voidaan tutkia vaihtoehtojen paremmuutta toisiinsa nähden hiilijalanjäljen näkökulmasta, muodostetaan molemmille vaihtoehdoille kumulatiivinen kuvaaja hiilijalanjäljen kertymisestä tarkastelujakson aikana. Sijoittamalla vaihtoehtojen päästökäyrät samaan kuvaajaan saadaan selville, **millä ajan hetkellä korjatun rakennuksen kumuloituva hiilijalanjälki ohittaa uudisrakennuksen hiilijalanjälkikertymän** (kuva 17). Tässä esimerkissä käyttövaiheen materiaalisidonnaiset päästöt on jaettu tasaisesti tarkastelujakson ajalle yksinkertaistuksen vuoksi. Todellisuudessa korjaaminen ja osien vaihtaminen aiheuttaisivat päästökäyrille hiilipiikkejä.



Kuva 17 Peruskorjaamisen ja pukavan uudisrakentamisen hiilijalanjälkikertymät. Ajanhetki, jolloin käyrät leikkaavat, on pukavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika.

Ajanhetkeä, jolloin korjatun rakennuksen hiilijalanjälkikertymä ohittaa uudisrakennuksen hiilijalanjälkikertymän nimitetään **pukavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajaksi**. Pukavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaikaan vaikuttavia tekijöitä ovat:

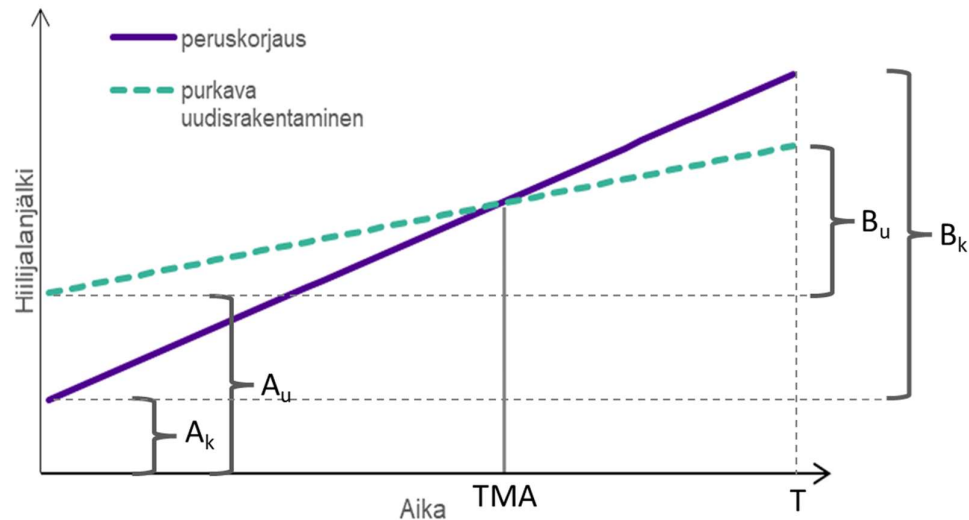
- Miten suuri on korjaamisen hiilijalanjälki tuote- ja rakennusvaiheessa (A-vaiheessa)?
- Miten suuri on uudisrakennuksen hiilijalanjälki tuote- ja rakennusvaiheessa (A-vaiheessa)?
- Miten suuri on korjatun rakennuksen käytön (B-vaihe) aikainen vuotuinen hiilijalanjälki?
- Miten suuri on uuden rakennuksen käytön (B-vaihe) aikainen vuotuinen hiilijalanjälki?

Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika on ajanhetki, jonka jälkeen purkava uudisrakentaminen muuttuu kannattavaksi hiilijalanjäljen näkökulmasta verrattuna korjattuun rakennukseen. Kun vaihtoehtojen päästökäyrät leikkaavat toisensa, on niiden hiilijalanjälki sillä ajan hetkellä yhtä suuri. Takaisinmaksuajan määrittämiseen laskennallisesti voidaan siis käyttää kahden suoran leikkauspisteen yhtälöä.

Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika (TMA) voidaan laskea kaavalla

$$TMA = \frac{A_u - A_k}{B_k - B_u} * T, \quad (1)$$

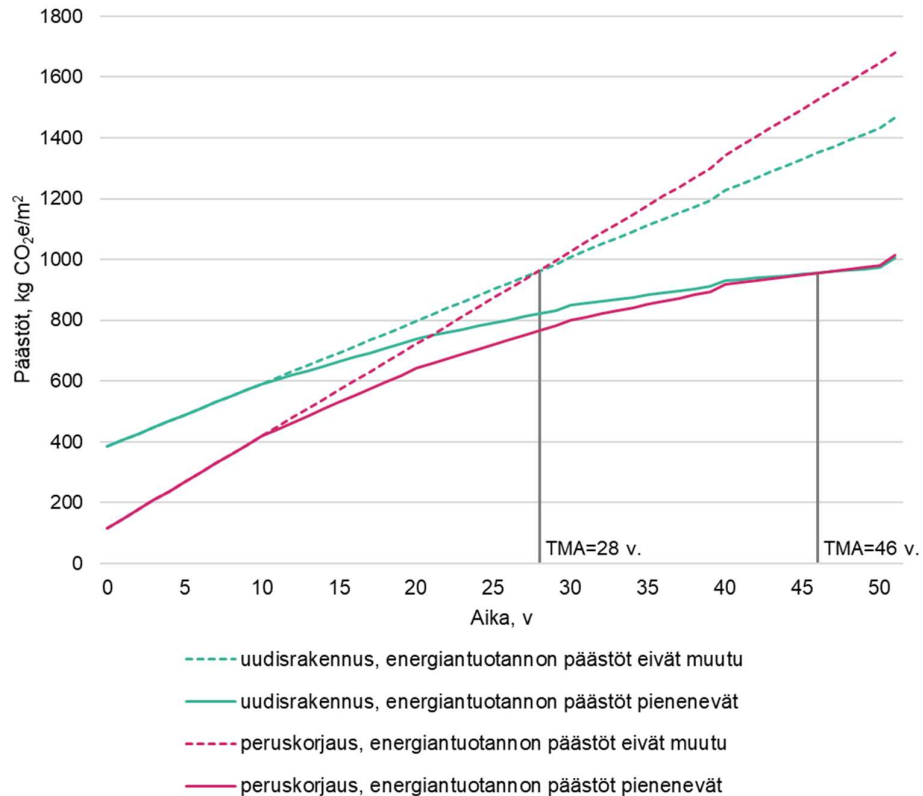
jossa TMA on purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaika, A_u on uudisrakennuksen tuote- ja rakentamisvaiheen päästö, A_k on korjaamisen tuote- ja rakennusvaiheen päästö, B_k on korjatun rakennuksen käytön aikainen päästö koko tarkastelujakson aikana, B_u on uudisrakennuksen käytön aikainen päästö koko tarkastelujakson T aikana (kuva 18).



Kuva 18 Peruskorjauksen ja purkavan uudisrakentamisen päästökäyrien leikkaushetki on purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika (TMA).

Esitettyssä yksinkertaistetussa laskentamallissa käyttövaiheen päästöjen kertyminen on lineaarista. Todellisuudessa käyttövaiheen huollosta (B2), korjauksista (B3) ja osien vaihdosta (B4) aiheutuu hiilipiikkejä tietyille ajanhetkille tarkastelujaksolla (ks. kuva 15). Suorien leikkauspisteiden mallissa näiden moduulien päästöt jakautuvat tasaisesti koko tarkastelujakson ajalle.

Mikäli energiantuotannon päästöjen oletetaan pienentyvän tulevaisuudessa, hiilijalanjäljen kumuloituminen hidastuu ajan saatossa, jolloin rakennuksen energiankäytön kokonaishiilijalanjälki pienenee. Kuvassa 19 on esitetty erään koulurakennuksen peruskorjauksen sekä purkavan uudisrakentamisen päästökäyrät. Kuvassa on esitetty hiilijalanjäljen kumuloituminen huomioiden energiantuotannon päästöjen pienentyminen SYKE:n arvion (Soimakallio, 2020) mukaan, sekä niin että energiantuotannon päästöjen on oletettu pysyvän samana koko tarkastelujakson ajan. Jälkimmäisellä menetelmällä uudisrakennuksen kokonaishiilijalanjäljeksi saadaan $1466 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$, joka vastaa $29 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$ vuodessa. Kun vähähiilistyminen otetaan huomioon, kokonaishiilijalanjälki on vastaavasti $1007 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$ ja vuotuinen hiilijalanjälki $20 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$. Uudisrakennuksen kokonaishiilijalanjälki pienenee siis energiantuotannon vähähiilistymisen vaikutuksesta 31 %. Peruskorjauksen hiilijalanjälki alenee vastaavasti 40 %. Eli pelkästään ottamalla huomioon energiantuotannossa tapahtuvat muutokset ympäristöystävällisempään suuntaan pienenee rakennuksen hiilijalanjälki merkittävästi.



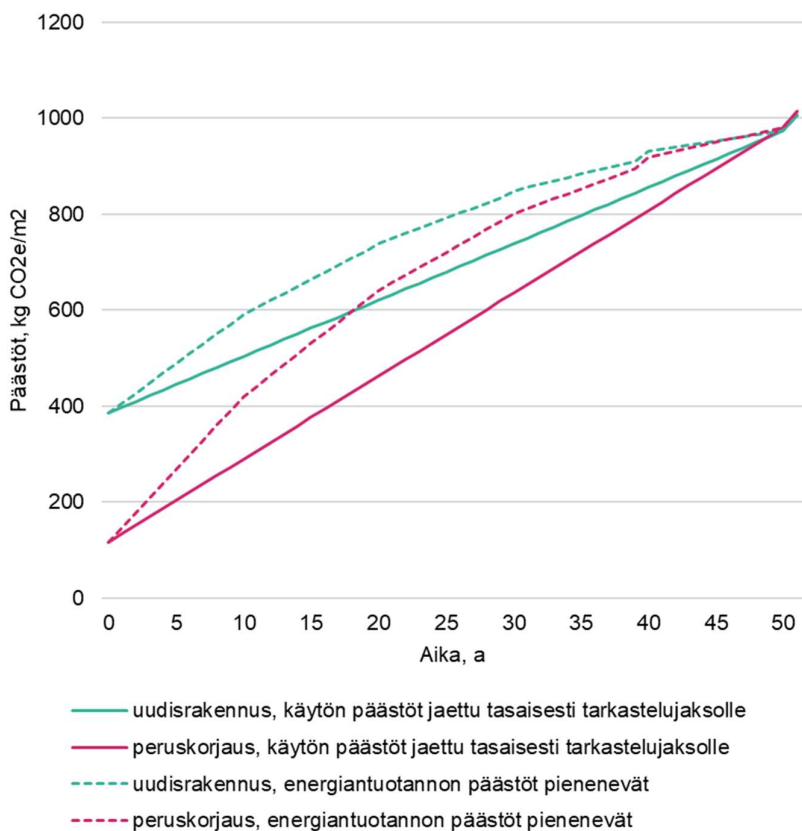
Kuva 19 Energiantuotannon vähähiilistymisolettaman vaikutus päästökäyriin ja purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaikaan. Kuvaajan muodostamisessa on hyödynnetty Purkaa vai korjata -hankkeen (Huuhka ym., 2021) aineistoa.

Energiantuotannon vähähiilistymisolettama ei vaikuta juurikaan elinkaaren alun hiilijalanjälkeen: molemmilla menetelmillä ensimmäisen 10 vuoden aikana hiilijalanjäljen kertyminen on yhtä vauhdikasta. Tuona aikana syntyy kuitenkin 40 % (kun vähähiilistymistä ei huomioida) tai 59 % (kun vähähiilistyminen huomioidaan) uudisrakennuksen kokonaishiilijalanjäljestä. Vastaavat luvut peruskorjaukselle ovat 25 % ja 41 %.

Kuvassa 19 purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika on 28 vuotta, kun energiantuotannon päästöt pysyvät samana. Kun energiantuotannon päästöjen pieneneminen otetaan huomioon, takaisinmaksuaika pitenee 46 vuoteen. Tämä johtuu siitä, että energiantuotannon vähähiilistymisestä on enemmän etua peruskorjatulle rakennukselle, koska sen käytönaikainen energiankulutus on suurempi. Mitä voimakkaampaa energiantuotannon vähähiilistyminen on, sitä pidemmäksi purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaika muodostuu tapauksessa, jossa uudisrakennus on korjattua rakennusta energiatehokkaampi.

Mikäli rakennuksen elinkaariarvioinnissa on otettu huomioon energiantuotannon vähähiilistymisolettama, käytön päästöjen kertyminen hidastuu tarkastelujakson loppua

kohden ja päästökäyrä taittuu alaspäin. Esittämässäni yksinkertaistetussa purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajan laskentamallissa energiankulutuksen päästöt jakautuvat kuitenkin tasan tarkastelujakson ajalle niin, että päästökäyrä on lineaarinen. Kuvassa 20 on esitetty yksinkertaistuksen vaikutus purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksu aikaan. Kuvassa olevat kaarevat päästökäyrät esittävät tilannetta, jossa osien vaihtamisen hiilipiikit on ajoitettu vuosille, jolloin osia vaihdetaan, ja energiantuotannon vähähiilistyminen on kiihtyvää. Kuvassa olevat lineaariset päästökäyrät on muodostettu jakamalla käyttövaiheen päästöt tasaisesti tarkastelujakson vuosille. Ne esittävät yksinkertaistetun laskentamallin mukaisia päästökäyriä. Yksinkertaistetun mallin mukaan purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika on 49 vuotta, eli kolme vuotta pidempi kuin tarkemman esityksen mukainen takaisinmaksuaika. Yksinkertaistetun laskentamallin käyttäminen aiheuttaa siis takaisinmaksu aikaan jonkin verran virhettä.



Kuva 20 Peruskorjauksen ja purkavan uudisrakentamisen päästökäyrät, joissa käyttövaiheen päästöt ovat jaettu tasaisesti tarkastelujakson vuosille (yhtenäiset käyrät), verrattuna todenmukaisempaan esitykseen, jossa on nähtävillä käyttövaiheen materiaalisidonnaiset hiilipiikit sekä energiantuotannon vähähiilistyminen (katkoviivaiset käyrät). Perustuu Purkaa vai korjata -hankkeen LCA-tuloksiin (ks. Huuhka ym., 2021).

4.3 Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajan määrittäminen tutkimusaineiston vertailupareille

Julkaisuista kerättiin tiedot sekä korjatun rakennuksen että uudisrakennuksen tuote- ja rakentamisvaiheen päästöistä ja käyttövaiheen päästöistä. Kaikille aineiston korjaus-uudisrakentamisvertailupareille muodostettiin kumulatiivinen hiilijalanjäljen esitys. Osassa julkaisuissa kumulatiivinen esitys oli valmiina.

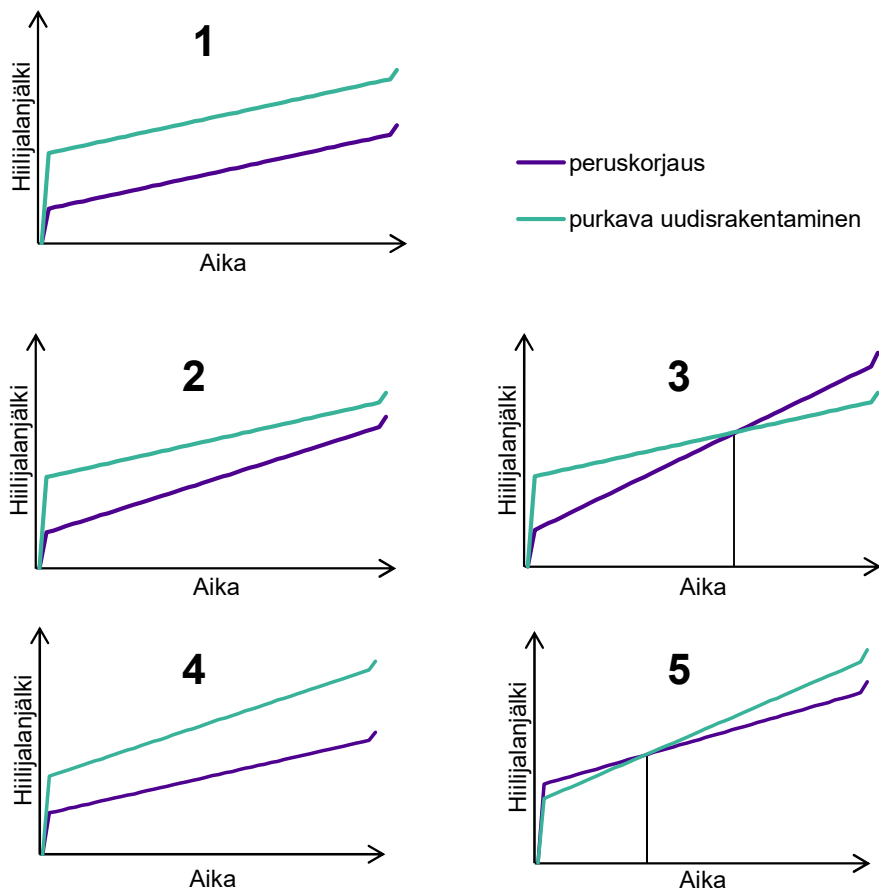
Korjausvaihtoehto ja uudisrakentamisvaihtoehto eivät olleet kaikissa julkaisuissa laajuudeltaan yhtä suuret. Tätä diplomityötä varten hiilijalanjälki on jokaiselle vaihtoehdolle muutettu yksikköön kg CO₂e/m².

Vertailupareille määritettiin purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika joko lukemalla korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon päästökäyrien leikkauspiste kuvaajalta tai kaavan (1) mukaan. Kuvaajalta luettua takaisinmaksuaikaa käytettiin ensisijaisesti laskennallisen takaisinmaksuajan sijasta.

Vertailuparit voidaan jakaa päästöprofiilien mukaan viiteen eri ryhmään (Kuva 21):

- 1) Vertailuparit, joissa korjatun rakennuksen ja uudisrakennuksen käytön aikainen päästö on yhtä suuri. Uudisrakentamisen suuremmasta tuote- ja rakentamisvaiheen hiilipiikistä johtuen korjattu rakennus aiheuttaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä koko tarkastelujakson ajan.
- 2) Vertailuparit, joissa korjatun rakennuksen käytön aikainen päästö on suurempi kuin uudisrakennuksen, mutta uudisrakentamisen tuote- ja rakentamisvaiheen suuren hiilipiikin takia korjattu rakennus on vähäpäästöisempi koko tarkastelujakson ajan.
- 3) Vertailuparit, joissa korjatun rakennuksen käytön aikainen päästö on niin paljon suurempi verrattuna uudisrakennukseen, että korjatun rakennuksen päästökertymä ohittaa uudisrakennuksen päästökertymän tarkastelujaksolla. Ajanhetki, jolloin näin tapahtuu, on uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika.
- 4) Vertailuparit, joissa korjatun rakennuksen käytön aikainen päästö on pienempi kuin uudisrakennuksen, ja uudisrakentamisen tuote- ja rakentamisvaiheen hiilipiikki on korjaamista suurempi.
- 5) Vertailuparit, joissa korjaamisen tuote- ja rakentamisvaiheen hiilipiikki on uudisrakentamista suurempi, mutta korjatun rakennuksen käytön aikainen päästö on niin paljon pienempi verrattuna uudisrakennukseen, että

uudisrakennuksen päästökertymä ohittaa korjatun rakennuksen päästöt tarkastelujaksolla.



Kuva 21 Periaatekuvat korjaus-uudisrakennusvertailuparien hiilijalanjälkikertymien suhtautumisesta toisiinsa. Elinkaaren alun tuote- ja rakentamisvaiheen hiilipiikin suuruus ja käytön aikainen hiilijalanjäljen kertyminen vaikuttavat siihen, muuttuuko toinen vaihtoehtoista vähäpäästöisemmäksi tarkastelujakson aikana.

5. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELO

Aineiston kaikille vertailupareille on määritetty kumulatiiviset päästökäyrät sekä uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika (TMA). Tässä luvussa kirjallisuusaineiston korjaus-uudisrakentamisvertailuparit jaotellaan aluksi luvun 4.3 mukaisiin päästöprofiiliryhmiin sen perusteella, millaiset korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon päästökäyrät ovat suhteessa toisiinsa. Vertailuparien purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaikoja (TMA) tarkastellaan korjaustyyppiryhmittäin sekä yhteisesti kaikille vertailupareille. Aineiston julkaisuja arvioidaan, ja pyritään esittämään syitä saaduille tuloksille. Tarkemmat tiedot vertailuparien korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdoista sekä niiden päästökäyrät ovat saatavissa liitteessä A.

5.1 Vertailuparien päästöprofiilit

Vertailuparit voidaan jaotella viiteen eri päästöprofiiliryhmään perustuen siihen, millaiset korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon päästökäyrät ovat suhteessa toisiinsa. Aineiston vertailuparien jakautuminen päästöprofiiliryhmiin on esitetty taulukossa 12.

Päästöprofiilityypissä 1 korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdon käytön aikaiset päästöt ovat yhtä suuret. Ryhmän vertailupareissa olemassa oleva rakennus on ajateltu saatettavan korjauksessa täysin uudisrakennusta vastaavaksi, ja käytön aikaiset päästöt on siten oletettu yhtä suuriksi sekä energiankulutuksen (B6) että käytön materiaalisidonnaisten päästöjen (B2-B5) osalta. Tähän ryhmään kuuluu aineiston vertailupareista vajaa viidennes.

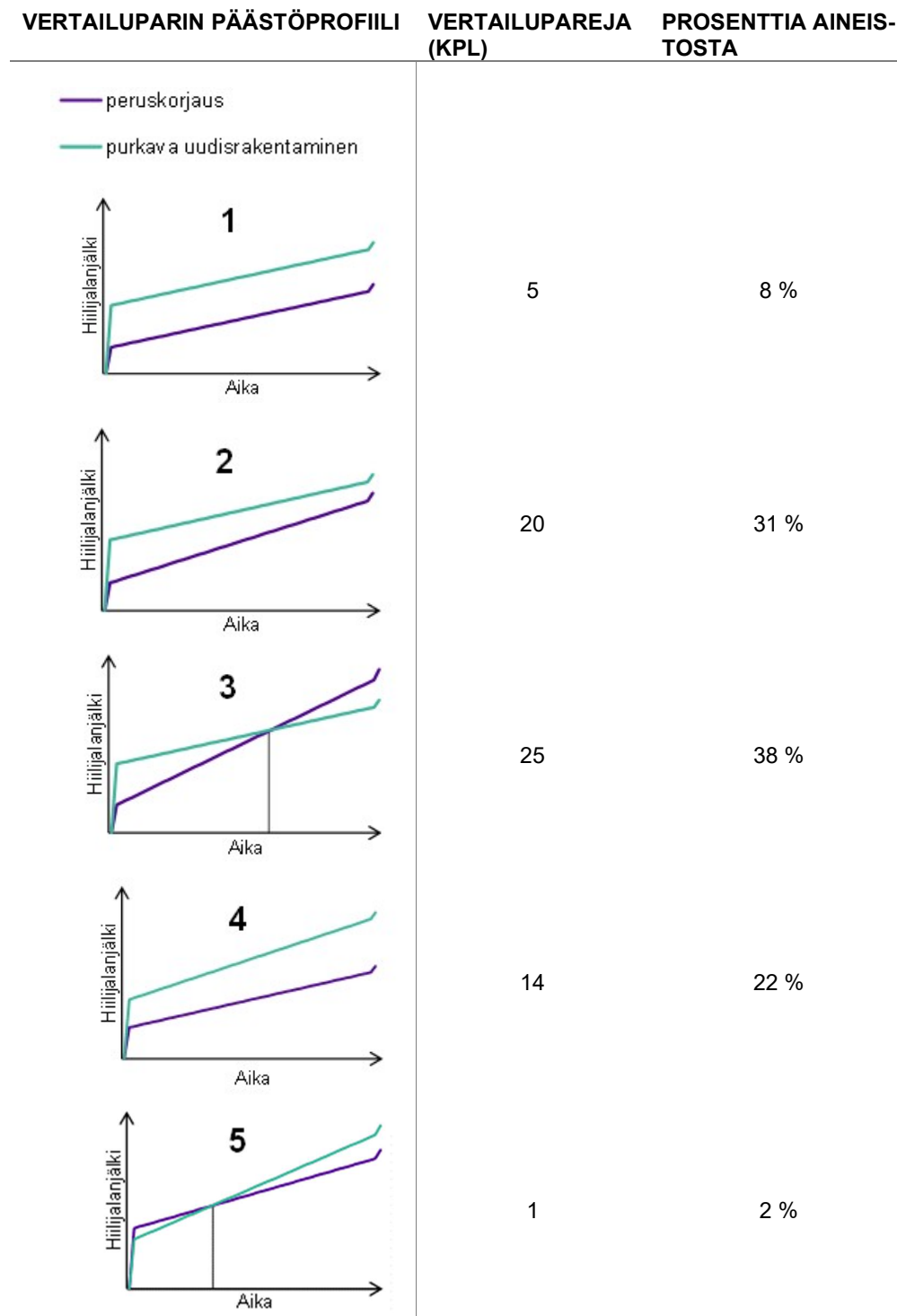
Noin kolmasosassa aineiston vertailupareista on päästöprofiilityyppiä 2.

Päästöprofiilissa 2 korjatun rakennuksen käytön aikainen hiilijalanjälki on suurempi kuin uudisrakennuksella, mutta päästökäyrät eivät kuitenkaan leikkaa tarkastelujaksolla. Tämä johtuu siitä, että uudisrakentamisvaihtoehdon tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) hiilijalanjälki on paljon suurempi verrattuna korjausvaihtoehtoon.

Aineiston vertailupareista 38 % kuuluu päästöprofiiliryhmään 3, jossa korjausvaihtoehdon päästökäyrä leikkaa uudisrakentamisvaihtoehdon päästökäyrän. Näissä vertailupareissa uudisrakennus siis muuttuu vähäpäästöisemmäksi vaihtoehdoksi jossain vaiheessa tarkastelujakson aikana. Päästöprofiiliin 3 omaavilla

vertailupareilla on siis purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika (TMA).

Taulukko 12 Päästökäyrätyypit aineiston korjaus-uudisrakentamisvertailupareissa.



Aineiston vertailupareista reilu viidesosa on päästöprofiililtaan tyyppiä 4. Ryhmän vertailupareissa korjausvaihtoehdolla on pienempi B-vaiheen hiilijalanjälki kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla.

Päästöprofiilin 4 vertailupareista kuusi on julkaisusta 2 (Dettling ym., 2012). Julkaisun vertailupareissa korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdon energiankäytön (B6) päästöt on määritelty yhtä suuriksi, mutta korjatun rakennuksen osien vaihtamisen (B4) päästöt ovat pienemmät kuin uudisrakennuksella. Tämä johtuu osittain siitä, että julkaisussa on otettu huomioon ainoastaan korjauksessa uusittujen materiaalien B4-päästöt, mutta korjauksen yhteydessä ennalleen jääneiden rakennusosien uusimisen päästöt myöhemmin tarkastelujaksolla on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Rajaus aliarvioi korjatun rakennuksen käytön aikaista hiilijalanjälkeä. Julkaisun verrattain pitkällä 75-vuotisella tarkastelujaksolla B4-päästöt ovat kuitenkin merkittävässä roolissa: ne muodostavat vertailuparista riippuen 12-21 % uudisrakentamisvaihtoehdon käyttövaiheen päästöistä. Korjausvaihtoehtojen B4-päästöt ovat julkaisun vertailupareissa 3-73 % uudisrakentamisvaihtoehtoa alhaisemat. Julkaisun kuudessa vertailuparissa, jotka kuuluvat päästöprofiiliryhmään 4, purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaikaa ei kuitenkaan muodostuisi silloinkaan, jos vaihtoehtojen B4-päästöt olisivat yhtä suuret. Näin ollessa käyttövaiheen kokonaispäästöt olisivat yhtä suuret ja päästöt kumuloituisivat yksinkertaistetussa mallissa samalla kulmakertoimella. Vertailuparien päästöprofiilit olisivat siis tyyppiä 1. Mikäli korjausvaihtoehdon B4-päästöt olisivat suuremmat kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla, korjausvaihtoehdon päästöt kumuloituisivat jyrkemmin ja vertailupareille saattaisi muodostua päästökäyrän leikkauspiste tarkastelujakson aikana. Silloin vertailuparit kuuluisivat päästöprofiiliryhmään 3. Vertailuparista riippuen korjausvaihtoehdon B4-päästöjen tulisi kuitenkin olla 35-85 % suuremmat uudisrakentamisvaihtoehtoon verrattuna, jotta päästökäyrät leikkaisivat edes tarkastelujakson loppupuolella.

Suurin osa muista päästöprofiiliryhmään 4 kuuluvista vertailupareista on sellaisia, joissa korjausvaihtoehto on rakennusmääräyksiä korkeatasoisempi eristävyydeltään ja energiankulutukseltaan, mutta uudisrakentamisvaihtoehto on rakennusmääräykset täyttävä tavanomainen rakennus. Siksi korjatun rakennuksen päästökäyrä on muodoltaan loivempi. Yhdessä vertailuparissa (4a) vaihtoehdoilla on yhtä suuri energiankulutus, mutta erilaisten energianlähteiden takia korjatun rakennuksen käytön päästöt ovat uudisrakennusta alhaisemmat.

Yksi aineiston vertailupari (2a) on päästöprofiililtaan tyyppiä 5, eli korjausvaihtoehdon A-vaiheen päästöt ovat suuremmat kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla. Koska korjausvaihtoehdon B-vaiheen päästöt ovat uudisrakentamisvaihtoehtoa pienemmät,

korjausvaihtoehto muuttuu tarkastelujakson alkupuolella vähäpäästöisemmäksi. Jos B-vaiheen päästöt olisivat vaihtoehtoille yhtä suuret, ei päästökäyrien leikkausta tapahtuisi, vaan korjaaminen olisi koko tarkastelujakson hiilijalanjäljeltään suurempi.

Kaikkiin muihin päästöprofiiliryhmiin kuin ryhmään 3 ja 5 kuuluvat vertailuparit ovat sellaisia, joissa korjatun rakennuksen hiilijalanjälki on koko tarkastelujakson uudisrakentamisvaihtoehtoa alhaisempi. Yhteensä 60 % aineiston vertailupareista on tällaisia.

5.2 Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika aineiston vertailupareissa

5.2.1 Peruskorjaus

Peruskorjaukset on aineiston suurin korjaustyyppi ryhmä. Peruskorjausvertailupareja on yhteensä 24 kappaletta ja ne on esitelty taulukossa 13. Peruskorjausryhmän vertailupareista reilu puolet on asuinkerrostaloja. Muita rakennustyyppisiä on vain yksittäisiä vertailupareja. Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajan (TMA) pituus vuosina on taulukon 13 viimeisessä sarakkeessa. Jos vertailuparille ei muodostu TMA:ta tarkastelujakson aikana, on sarakkeeseen merkitty TMA:n olevan suurempi kuin tarkastelujakson pituus (esim. >50).

Peruskorjausvertailupareissa uudisrakentamisvaihtoehto on pääsääntöisesti rakennusmääräykset täyttävä rakennus. Riippuen maasta ja vuodesta rakennusmääräyksissä on eroja. Korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdon kuvauksessa kerrotaan maa ja vuosi, jonka rakennusmääräysten mukainen rakennus on. Myös energiankulutus on esitetty, mikäli se on julkaisussa kerrottu. Taulukossa on myös mainittu paikallisen energiantuotannon ratkaisut, kuten maalämpö- ja aurinkosähköjärjestelmä. Alkuperäisen rakennuksen rakennusvuosi ja kulutustiedot on annettu niiltä osin, kun ne on kerrottu julkaisussa. Rakennuksen runkomateriaali, mikäli se on kerrottu julkaisussa, on kirjoitettu kuvaukseen suuraakkosin (esim. "BETONI"). Aineiston vertailupareissa korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehto ovat pääsääntöisesti pinta-alaltaan saman kokoisia. Uudisrakentamisvaihtoehdon kuvauksessa taulukossa 13 on kerrottu, mikäli uudisrakennus on laajempi tai pienempi verrattuna korjausvaihtoehtoon. Kolmessa peruskorjausvertailuparissa uudisrakennus on moninkertainen verrattuna korjattuun rakennukseen (2b, 12a ja 12b) ja yhdessä tapauksessa (6a) uudisrakennus on puolestaan merkittävästi korjattua rakennusta pienempi.

Taulukko 13 Aineiston korjaus-uudisrakennusvertailuparit, joissa korjausvaihtoehto on peruskorjaus, sekä niiden purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajat (TMA).

Julkaisu	Vertailuparin tunnus	Alkuperäinen rakennus	Korjausvaihtoehto	Uudisrakentamismuutokset	TMA (v)
Berg & Fuglseth, 2018	1a	OKT, rak. 1936, PUU, 110 m ² , 427 kWh/m ²	PUU, varaava takka, jolla LKV-esilämmitys, lämpöpumppu, jäteveden LTO, lisäeristys ja tiivistys, 287 kWh/m ²	PUU, rakennusmääräysten mukainen (TEK10/Norja), 112,5 kWh/m ²	52
Dettling, Pike & Humbert, 2012	2b	KT, rak. 1923, BETONI, 6860 m ²	Peruskorjaus, maa-lämpö/kylmä, 200 kWh/m ² (USA)	2,5-kertainen laajuus, ilmalämpöpumput, 200 kWh/m ² (USA)	>75
	2c	OKT, rak. 1896, PUU, 220 m ²	Keittiön laajennus rakennusvaipan sisällä, 2 kph rakennus, tiivistys, ikkunoiden uusiminen, 148 kWh/m ² (USA)	PUU, 148 kWh/m ² (USA)	>75
	2d	T, rak. 1929, TERÄS, 11892 m ²	Sisäpintojen ja ikkunoiden uusiminen, tate:n päivitys, YP ja US lisäeristys, 290 kWh/m ² (USA)	BETONI+TERÄS, 2-kertainen laajuus, 290 kWh/m ² (USA)	>75
	2g	Sekäkäyttöinen rakennus (toimisto, ravintola, asuntoja) rak. 1880, TIILI, 2024 m ²	Maalämpö/-kylmäjärjestelmä, ikkunoiden uusiminen, lisäeristys, julkisivun entisöinti, 297 kWh/m ² (USA)	toimisto ja liiketila; TERÄS+BETONI, 297 kWh/m ² (USA)	>75
Eskilsson, 2015	6a	KT, rak. 1964, BETONI, 7300 m ² , 123 kWh/m ²	YP, US lisäeristys, ikkunoiden ja vesikatteen uusiminen, IV-LTO, 107 kWh/m ² (Ruotsi 2014)	0,15-kertainen laajuus, 66 kWh/m ² , Miljöbyggnad hopeataso 2013 (25 % rakennusmääräyksiä alhaisempi energiankulutus)	>50
Horvath & Szalay, 2012	9a	KT, rak. 1968, BETONI, 22185 m ² , 140 kWh/m ²	Lisäeristys, ovien ja ikkunoiden uusinta	Energialuokka A (Unkari)	>60
	9b		+ paksumpi US eristys		>60
	9c		+ lämmitysjärjestelmän ja IV:n uusinta (LTO)		>60
	9d		+ aurinkokeräimet		>60
	9e		Lisäeristys, ovien ja ikkunoiden uusinta	Energialuokka A++ (Unkari), aurinkosähköjärjestelmä	45
	9f		+ paksumpi US eristys		55
	9g		+ lämmitysjärjestelmän ja IV:n uusinta (LTO)		>60
	9h		+ aurinkokeräimet		>60
Hu, 2017	10a	Operatalo, rak. 1865, TIILI, 2138 m ²	YP ja US lisäeristys, uudet ikkunat, standardi tate, 246 kWh/m ² (USA 2017)	BETONI, energiatehokas tate, 123 kWh/m ²	>75 ^a
	10b			BETONI, erittäin energiatehokas tate, 57 kWh/m ²	1 ^a
	10c		+ erittäin energiatehokas tate, 123 kWh/m ² , Energy Star 2017 (USA)	BETONI, energiatehokas tate, 123 kWh/m ²	>75 ^a
	10d			BETONI, erittäin energiatehokas tate, 57 kWh/m ²	4 ^a

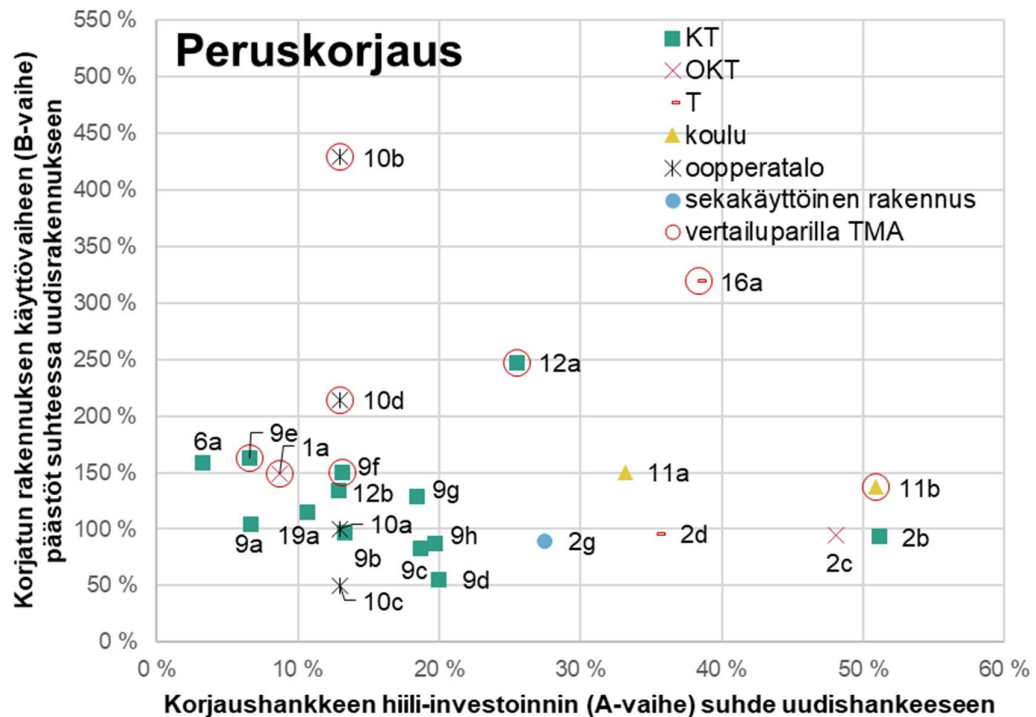
Julkaisu	Vertailuparin tunnus	Alkuperäinen rakennus	Korjausvaihtoehto	Uudisrakentamismvaihtoehto	TMA (v)
Huuhka ym., 2021	11a	Koulu, rak. 1950, TIILI, 2412 m ² , 211 kWh/m ²	Julkisivun, vesikatteen, ovien ja ikkunoiden uusiminen, riskirakenteiden korjauksia, AP uusiminen osittain, LVIS-saneeraus, 204 kWh/m ²	BETONI, 137 kWh/m ²	>50
	11b			PUU, CLT-elementit, 149 kWh/m ²	30
Jäätvuori ym., 2020	12a	KT, rak. 1974, BETONI, 3 rakennusta, yht. 3920 htm ²	LVISA-saneeraus, hissien lisäys, IV-LTO, 30 % parannus lämmön- ja 10 % sähkönkulutukseen	3 rakennusta, 2,5-kertainen laajuus (Suomi 2020)	34
	12b	KT, rak. 1968, BETONI, 7 rakennusta, yht. 14833 brm ²	LVIS-saneeraus, hissien lisäys, 30 % parannus lämmön- ja 10 % sähkönkulutukseen	20 rakennusta, maalämpö + aurinkosähkö, 4,7-kertainen laajuus	>50
Rønning & Vold, 2008	16a	T, rak. 1970-luvulla, BETONI, 12070 brm ² , 524 kWh/m ²	Sisärakenteiden uusiminen, 300 kWh/m ²	Matalaenergiarakennus, 1,05-kertainen laajuus, 100 kWh/m ² (TEK07/Norja), lämpöpumput ja aurinkokeräimet	19
Zhang & Wang, 2017	19a	KT, rak. 1980-luvulla, BETONI, 17560 m ²	Katon, ikkunoiden, putkien ja radiaattorien uusiminen, lisäeristys, 88 kWh/m ²	70 kWh/m ² (Kiina 2017)	>50

^a Julkaisun Hu (2007) vertailupareille takaisinmaksuaika on laskettu perustuen elinkaaren primäärienergiankulutukseen, ei hiilijalanjälkeen.

Peruskorjausvertailupareista 70 %:ssa korjaaminen on vähäpäästöisempi vaihtoehto koko tarkastelujakson ajan. Kahdeksalla vertailuparilla 24:sta (33 %) on purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika (TMA) ja sen mediaani on 32 vuotta. TMA:n vaihteluväli on suuri: yhdestä vuodesta 55 vuoteen.

Julkaisussa 10 (Hu, 2017) on arvioitu hiilijalanjäljen sijasta primäärienergiankulutusta, mikä saattaa vääristää tuloksia, sillä primäärienergiankulutus ei ole välttämättä täysin rinnastettaessa hiilijalanjälkeen. Mikäli julkaisun 10 vertailupareja ei oteta mukaan lukuun, on aineiston peruskorjausryhmässä TMA vain 20 %:lla vertailupareista, TMA:n mediaani on 40 vuotta ja vaihteluväli 19...55 vuotta.

Kuvassa 22 on aineiston peruskorjausvertailuparien korjausvaihtoehdon A-vaiheen ja B-vaiheen hiilijalanjälki verrattuna vertailuparin uudisrakentamismvaihtoehtoon. Vaaka-akselilla on korjausvaihtoehdon A-vaiheen hiilijalanjäljen suuruus prosentteina uudisrakentamismvaihtoehdon hiilijalanjäljestä ja pystyakselilla vastaavasti korjausvaihtoehdon B-vaiheen hiilijalanjäljen suuruus prosentteina uudisrakentamismvaihtoehdon B-vaiheen hiilijalanjäljestä. Vertailuparit, joilla on TMA, on ympyröity kuvassa 22.



Kuva 22 Aineiston peruskorjausvertailuparit. Korjausvaihtoehdon A-vaiheen hiilijalanjälki verrattuna uudisrakentamismvaihtoehtoon (vaaka-akseli) ja korjausvaihtoehdon B-vaiheen hiilijalanjälki prosentteina uudisrakentamismvaihtoehdosta

Peruskorjausryhmässä vertailuparin korjausvaihtoehdolla on aina pienempi A-vaiheen hiilijalanjälki kuin uudisrakentamismvaihtoehdolla. Korjausvaihtoehdon A-vaiheen päästöt ovat keskimäärin 78 % pienemmät kuin uudisrakentamisen.

Yhtenäistä sääntöä sille, milloin vertailuparilla on TMA, ei ole. TMA on vain sellaisilla vertailupareilla, joiden korjausvaihtoehdon B-vaiheen hiilijalanjälki on 137 % tai suurempi uudisrakentamismvaihtoehtoon verrattuna. TMA:ta ei kuitenkaan ole kaikilla tällaisilla vertailupareilla. Vertailuparien, joilla on TMA, korjausvaihtoehdon A-vaiheen päästöjen suuruus verrattuna uudisrakentamismvaihtoehtoon vaihtelee 7-51 % välillä. Vertailuparin vaihtoehtojen päästöjen suhteesta toisiinsa ei siis suoraan voida päätellä onko vertailuparilla TMA vai ei.

Julkaisussa 2 (Dettling ym. 2012) on tarkasteltu useita erityyppisiä rakennuksia, jotka on valittu vastaamaan Yhdysvalloissa yleisimmin purettuja rakennustyyppisiä ja tyypillisesti korjattuja rakennuksia. Näihin kuuluu kerrostalon, omakotitalon, toimiston ja sekakäyttöisen rakennuksen peruskorjaustapaukset. Julkaisussa tutkitut rakennukset ovat todellisia korjaus- ja uudisrakentamiskohteita. Sen takia rakennukset eivät täysin vastaa toisiaan esimerkiksi laajuudeltaan. Osassa rakennuksista on jätetty tarkastelun ulkopuolelle esimerkiksi parkkihalli, jotta vastaavuus olisi parempi. Julkaisussa on haluttu, että korjatun rakennuksen ja uudisrakennuksen energiankulutus on sama,

joten molempiin vaihtoehtoihin on lisätty teoreettisia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Toimenpiteiden vaikutus energiankulutukseen perustuu asiantuntija-arvioihin. On kuitenkin hieman kyseenalaista voisiko kaikkia valittuja toimenpiteitä todellisuudessa toteuttaa ja että mikä toimenpiteiden todellinen yhteisvaikutus on. Rakennusten energiankulutusta ennen näiden toimenpiteiden lisäämistä, ei ole kerrottu, eikä myöskään korjausvaihtoehdon kulutusta ennen korjausta. Julkaisussa ei oteta huomioon korjauksessa säilytettyjen rakennusosien uusimista (moduuli B4), vaan pelkästään korjauksen yhteydessä uusittujen osien vaihtamisen tulevaisuudessa. Uudisrakennukselle puolestaan osien vaihtaminen on otettu huomioon kokonaisuudessaan. Verrattain pitkällä 75-vuotisella tarkastelujaksolla osien vaihtamisen päästöt muodostavat kuitenkin merkittävän osuuden rakennusten käyttövaiheen hiilijalanjäljestä: julkaisun uudisrakentamisvaihtoehdoilla B4-päästöt ovat 12-21 % käyttövaiheen päästöistä. Julkaisun 2 peruskorjausvertailupareista yhdelläkään ei ole TMA:ta, koska kaikissa korjausvaihtoehdon B-vaiheen päästöt ovat uudisrakentamisvaihtoehtoa pienemmät.

Vertailuparissa 6a korjaaminen on vähäpäästöisempi vaihtoehto koko 60 vuoden tarkastelujakson ajan, vaikka uudisrakennuksen B-vaiheen päästöt pinta-alayksikköä kohden ovatkin yli 60 % pienemmät kuin korjatulla rakennuksella. TMA:ta ei muodostu, koska uudisrakennuksella on 30 kertaa suurempi A-vaiheen hiilijalanjälki. Suuri ero A-vaiheen päästöissä johtuu todennäköisesti siitä, että vertailuparin korjausvaihtoehto on noin 5,5 kertaa uudisrakentamisvaihtoehtoa laajempi. On kyseenalaista tehdä hiilijalanjälkiarviointi näin erilaajuisille vaihtoehdoille, koska rakennuksen koko vaikuttaa sen pinta-alaperusteiseen hiilijalanjälkeen. Yleensä suuremmalla rakennuksella on pienempi hiilijalanjälki neliometriä kohden, koska ulkovaippaa on suhteessa vähemmän ja lämpöhäviöt ovat pienemmät. On myös epätodennäköistä, että laaja asuinkerrostalo purettaisiin ja sen tilalle rakennettaisiin pienempi rakennus. Julkaisussa 6 (Eskilsson, 2015) ei kuitenkaan varsinaisesti tutkittu purkavaa uudisrakentamista, vaan tarkastellut rakennukset olivat todellisia eri tonteilla sijaitsevia kohteita. Myös vertailupareissa 2b, 12a ja 12b korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehtojen laajuudessa oli eroja, mikä saattaa vaikuttaa tuloksiin.

Julkaisun 9 (Horvat ja Szalay, 2017) tavoitteena oli selvittää, mikäli vuonna 2007 tehdyt korjaustoimenpiteet (korjausvaihtoehto vertailupareissa 9a ja 9e) 1960-luvun betonielementtikerrostaloon olivat hyviä vaihtoehtoja uudisrakentamisella päästy hiilijalanjäljen kannalta parempaan lopputulokseen. Uudisrakentamisvaihtoehto vastaa muodoltaan ja kooltaan korjausvaihtoehtoa. Vain tilanteessa, jossa uudisrakennus on rakennusmääräyksiä energiatehokkaampi (vertailuparit 9e ja 9f),

uudisrakennuksen päästöt muuttuvat alhaisemmiksi tarkastelujaksolla. Se tapahtuu kuitenkin vasta 4-5 vuosikymmenen päästä. Kun myös korjaukseen yhdistetään energiatehokasta talotekniikkaa (vertailuparit 9g ja 9h), säilyy korjaaminen vähäpäästöisempänä vaihtoehtona koko tarkastelujakson ajan.

Toinen vertailupari, jossa korjatun rakennuksen B-vaiheen päästöt ovat poikkeavan suuret (319 % uudisrakentamismvaihtoehtoon verrattuna), on vertailupari 16a. Vertailuparissa 16a uudisrakentamismvaihtoehto on matalaenergiarakennus ja energiankulutukseltaan kolme kertaa pienempi kuin korjattu. Vaihtoehtojen energiankulutus oli määritelty julkaisussa 16 (Rønning & Vold, 2008) nyrkkisäännön omaisesti. Tahtotila purkaa ja korvata olemassa oleva 1970-luvun toimistotalo uudella rakennuksella oli havaittavissa julkaisussa. Uudisrakennuksesta on tehty erittäin energiatehokas, jotta purkava uudisrakentaminen olisi perusteltua. Julkaisussa on todettu, että korjaamalla ei voida saavuttaa korkeampaa energiatehokkuuden tasoa. Uudisrakennuksessa on suunniteltu käytettävän lämpöpumppuja tai vastaavaa tekniikkaa pienentämään energiankulutusta, mutta näitä vaihtoehtoja ei ole kuitenkaan tarkasteltu korjausvaihtoehdossa.

Vertailuparissa 12b uudisrakentamismvaihtoehdon käyttövaiheen materiaalisidonnaiset päästöt (B3-B4) ovat niin paljon suuremmat korjattuun rakennukseen verrattuna, että maalämpöjärjestelmästä huolimatta korjatun rakennuksen B-vaiheen päästöt ovat vain 34 % uudisrakennusta korkeammat. Julkaisun 12 (Jäätvuori ym., 2020) toisessa vertailuparissa (12a), korjausvaihtoehdon päästöt ovat lähes 2,5-kertaiset uudisrakentamismvaiheeseen verrattuna. Tämä voisi selittyä sillä, että alkuperäinen rakennus olisi ollut lähtökohtaisesti energiatehokkuudeltaan huono, ja korjauksen yhteydessä lämmön- ja sähkönkulutusta on alennettu vain rakennusmääräysten vaatima määrä. Julkaisussa ei kuitenkaan ole kerrottu riittävästi alkuperäisen rakennuksen suorituskyvystä päätelmän tueksi.

Peruskorjausryhmässä on kaksi omakotitalovertailuparia. Vertailuparissa 2c A-vaiheen hiili-investointi verrattuna uudisrakentamismvaihtoehtoon on noin viisi kertaa suurempi kuin vertailuparissa 1a. Syy saattaa olla siinä, että vertailuparin 2c korjauksessa omakotitaloon on tehty isoja tilamuutoksia laajentamalla keittiötä asuintilaan sekä rakentamalla uusia märkätiloja. Toisaalta julkaisun 2 (Dettling ym., 2012) muissakin vertailupareissa korjaus- ja uudisrakentamismvaihtoehdon A-vaiheen päästöjen suhde on melko korkea verrattuna muihin vertailupareihin. Vertailuparissa 1a puolestaan olemassa olevaan 1930-luvun puutaloon tehtiin mittavia parannuksia energiatehokkuuteen. Alapohjan ja yläpohjan lisäeristämistä voidaan pitää tavanomaisena korjaustoimenpiteenä, mutta esimerkiksi jäteveden lämmöntalteenotto

on harvinaisempi ratkaisu. Uudisrakentamisvaihtoehto on tavanomainen rakennusmääräykset täyttävä tyypillinen norjalainen omakotitalo, joka on muokattu laajuudeltaan vastaamaan korjattua taloa. Uudisomakotitalon lämmitys toteutetaan puutakan lisäksi sähköllä. Korjatussa rakennuksessa hyödynnetään varaavaa takkaa myös lämpimän käyttöveden lämmitykseen ja lämpöä tuotetaan lämpöpumpun avulla. Vaikka korjatun rakennuksen energiankulutus on yli 100 kWh suurempi kuin uudisrakennuksella, energiankulutuksen päästöt ovat eri energiamuotojen takia lähempänä toisiaan. Julkaisussa 1 (Berg & Fuglseth, 2018) tulokset oli esitetty aikajanalla, jolta purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuajaksi voitiin lukea 52 vuotta.

Julkaisussa 11 (Huuhka ym., 2021) koulurakennuksen peruskorjaamista verrataan betonirakenteiseen ja puurakenteiseen uuteen kouluun. Vertailuparissa 11b puurakenne alentaa uudisrakennusvaihtoehdon A-vaiheen hiilipiikkiä kolmasosalla verrattuna vertailuparin 11a betoniseen vaihtoehtoon. Koska uudisrakennus on lisäksi korjattua rakennusta energiatehokkaampi, uudisrakennuksen päästöt alittavat korjatun rakennuksen päästöt 30 vuoden jälkeen (taulukko 13).

Julkaisussa 10 (Hu, 2017) on verrattu historiallisesti merkittävän oopperatalon peruskorjaamista purkavaan uudisrakentamiseen. Tarkastelun lähtökohta on kyseenalainen, koska on melko epätodennäköistä että suojeltu rakennus puretaan. Hiilijalanjäljen sijasta vaihtoehdoille on arvioitu elinkaaren primäärienergiankulutus. Vertailupareissa 10b ja 10d uudisrakennus on niin paljon energiatehokkaampi, että TMA muodostuu aivan tarkastelujakson alkuun. Vertailuparissa 10b korjatun rakennuksen B-vaiheen päästöt suhteessa uudisrakentamisvaihtoehtoon ovat muihin vertailupareihin verrattuna huomattavasti korkeammat, koska korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdon energiatehokkuuksissa on niin suuri ero. Samassa vertailuparissa TMA onkin vain yksi vuosi. Julkaisussa 10 (Hu, 2017) on mahdollisesti haettu rajoja sille, miten energiatehokas uuden rakennuksen tulee olla, jotta se olisi ympäristön kannalta mielekkäämpi vaihtoehto. Tehokkaampien taloteknisten järjestelmien valitseminen korjaus- tai uudisrakentamisvaihtoehtoon ei kuitenkaan muuta A-vaiheen hiilijalanjälkeä, vaan vaikuttaa ainoastaan käyttövaiheen energiankulutusta alentavasti. Julkaisussa ei ole kerrottu olemassa olevan rakennuksen lähtötasoa ennen korjausta, joten sitä miten paljon korjaus parantaa energiatehokkuutta, ei voida sanoa. Vertailuparissa 10c korjausvaihtoehdolla on pienemmät B-vaiheen päästöt, vaikka vaihtoehdoilla on yhtä suuri energiankulutus. Julkaisussa ei kuitenkaan kerrota, mistä tämä johtuu.

5.2.2 Peruskorjaus ja laajennus

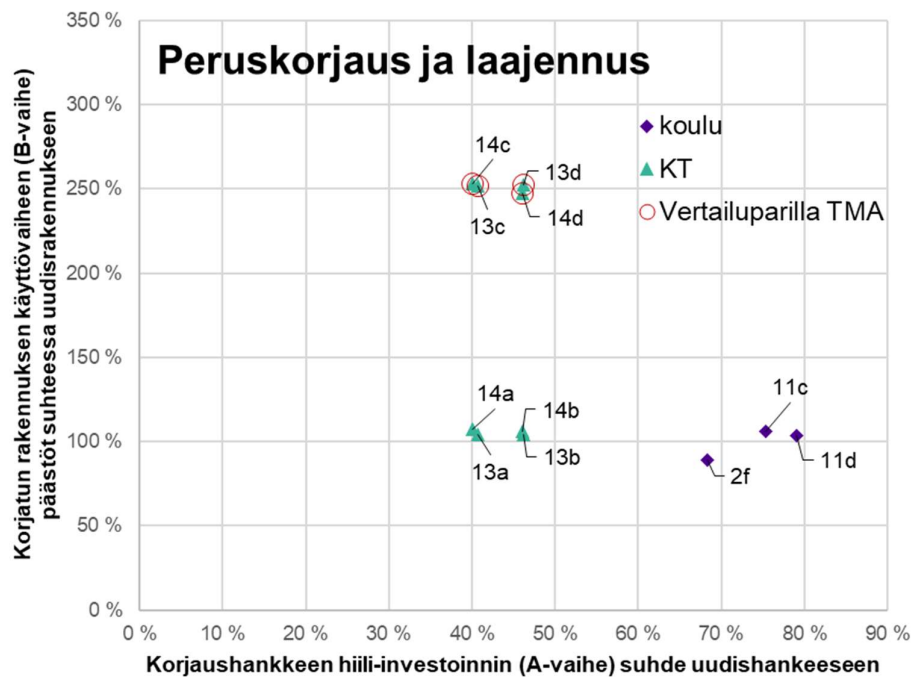
Aineiston vertailuparit, joiden korjausvaihtoehdossa olemassa oleva rakennus peruskorjataan ja siihen rakennetaan laajennus, ovat taulukossa 14. Aineistossa on yksitoista vertailuparia, joissa korjattua rakennusta peruskorjauksen lisäksi laajennetaan. Näistä kahdeksan on asuinkerrostaloja ja kolme koulurakennuksia.

Taulukko 14 Aineiston ”peruskorjaus ja laajennus” -korjaustyyppien korjaus-uudisrakentamisvertailuparit ja niiden purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajat (TMA).

Julkaisu	Vertailuparin tunnus	Alkuperäinen rakennus	Korjausvaihtoehto	Uudisrakentamisvaihtoehto	TMA (v)
Detting, Pike & Humbert, 2012	2f	Koulu, rak. 1924, BETONI+TERÄS, 5585 m ²	Laajennusosa (+60 %), YP lisäeristys, uudet ikkunat, sisätilojen kunnostus, keittiön uusiminen, tate:n uusinta, 250 kWh/m ² (USA)	BETONI, 0,8-kertainen laajuus, 250 kWh/m ² (USA)	>75
Nöjd, 2019a	13a	KT, rak. 1977, BETONI, 1510 m ²	LVIS-saneeraus, julkisivun, seinäeristeen, ikkunoiden ja ovien uusiminen + 2 puurakenteista lisäkerrosta (+50 %), perustuksen vahvistus	10 % pienempi energiankulutus kuin korjatulla rakennuksella	>50
	13b			Kierrätysbetoni (sideaineesta 40 % kierrätysmateriaalia)	>50
	13c			Maalämpö, 70 % pienempi energiankulutus	30
	13d			Kierrätysbetoni (sideaineesta 40 % kierrätysmateriaalia) + maalämpö, 70 % pienempi energiankulutus	24
Nöjd, 2019b	14a	KT, rak. 1979, BETONI, 1400 m ²	LVIS-saneeraus, julkisivun, seinäeristeen, ikkunoiden ja ovien uusiminen + 2 puurakenteista lisäkerrosta (+50 %), perustuksen vahvistus	12 % pienempi energiankulutus kuin korjatulla rakennuksella	>50
	14b			Kierrätysbetoni (sideaineesta 40 % kierrätysmateriaalia)	>50
	14c			Maalämpö, 70 % pienempi energiankulutus	34
	14d			Kierrätysbetoni (sideaineesta 40 % kierrätysmateriaalia) + maalämpö, 70 % pienempi energiankulutus	27
Huuha ym., 2021	11c	Koulu, rak. 1950, TIILI, 2412 m ² , 211 kWh/m ²	Julkisivun, vesikatteen, ovien ja ikkunoiden uusiminen, riskirakenteiden korjauksia, AP uusiminen osittain, LVIS-saneeraus, laajennus (BETONI) (+300 %), 138 kWh/m ²	BETONI, 129 kWh/m ²	>50
	11d				

Seitsemässä ryhmän ”peruskorjaus ja laajennus” vertailupareista korjausvaihtoehdon hiilijalanjälki on uudisrakentamisvaihtoehtoa pienempi koko tarkastelujakson ajan. Neljällä vertailuparilla on TMA, ja sen mediaani on 29 vuotta. TMA:n vaihteluväli on 24...34 vuotta.

Kuvassa 23 on peruskorjaus ja laajennus -ryhmän vertailuparien korjausvaihtoehdon A- ja B-vaiheen hiilijalanjäljen suhde uudisrakentamisvaihtoehtoon. Kaikilla vertailupareilla korjaamisen A-vaiheen hiilijalanjälki on pienempi kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla, vaihdellen 40-79 % uudisrakentamisvaihtoehtoon verrattuna. Kuvasta 23 nähdään, että peruskorjaus ja laajennus -ryhmässä TMA on vain sellaisilla vertailupareilla, joissa korjausvaihtoehdon B-vaiheen hiilijalanjälki on huomattavasti suurempi kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla.



Kuva 23 Korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon A-vaiheen ja B-vaiheen päästöjen suhde aineiston korjaustyyppiin ”peruskorjaus ja laajennus” vertailupareissa.

Julkaisuissa 13 ja 14 (Nöjd, 2019a ja 2009b) neljäkerroksinen asuinkerrostalo peruskorjataan ja siihen rakennetaan kaksi puurakenteista lisäkerrosta. Laajennuksen suuruus on noin 50 % alkuperäisestä kerrosalasta. Samaa korjaustapausta verrataan neljään erilaiseen uudisrakentamisvaihtoehtoon: ensimmäinen on tavanomainen betonielementtikerrostalo, toisessa on betonin sideaineessa käytetty ensimmäistä vaihtoehtoa enemmän kierrätettyä materiaalia, kolmannessa vaihtoehdossa rakennuksessa on kaukolämmön sijaan maalämpöjärjestelmä ja neljännessä sekä suurempi betonin sideaineen kierrätysaste että maalämpöjärjestelmä. Näissä

vertailupapreissa (13a-d ja 14a-d) korjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki on 41-46 % uudisrakentamiseen verrattuna riippuen uudisrakentamisvaihtoehdon betonin sideaineessa käytetyn kierrätysmateriaalin määrästä (kuva 23). Mikäli sideaineessa on enemmän kierrätysmateriaalia (vertailuparit 13b, 13d, 14b ja 14d), ovat korjausvaihtoehdon A-vaiheen päästöt verrattuna uudisrakentamisvaihtoehtoon hieman suuremmat kuin vaihtoehdoissa, joissa on käytetty vähemmän kierrätettyä sideainetta (vertailuparit 13a, 13c, 14a ja 14c). Laskentamenetelmä ja rajaukset ovat olleet molemmissa julkaisuissa samat, joten ero näiden julkaisujen tuloksissa johtunee talojen erilaisesta perustustavasta. Maalämpöjärjestelmän rakentamisen vaikutusta ei ole otettu huomioon tuote- ja rakentamisvaiheessa eikä myöskään käyttövaiheen materiaalisidonnaisissa päästöissä. Julkaisussa ei ole tarkasteltu maalämpöjärjestelmän lisäämistä korjattuun rakennukseen, vaikka sen avulla voitaisiin merkittävästi pienentää myös korjatun rakennuksen hiilijalanjälkeä.

Aineiston peruskorjattujen ja laajennettujen koulurakennusten (vertailuparit 2f, 11c ja 11d) A-vaiheen hiilijalanjäljen suhde niiden uudisrakentamisvaihtoehtoihin on korkeampi kuin asuinkerrostalotapauksilla. A-vaiheen päästöt ovat 68-79 % uudishankkeen päästöistä. Vertailupareissa 11c ja 11d koulua on laajennettu niin, että peruskorjattu osa muodostaa vain neljäsosan kokonaisuudesta ja 75 % rakennuksen alasta on uudisrakenteista laajennusta. Vertailuparissa 2f laajennusosa muodostaa reilun kolmanneksen korjausvaihtoehdon kokonaisalasta.

Vaikka julkaisun 13 ja 14 vertailupareissa ja vertailuparissa 2f laajennusosan koko on lähes yhtä suuri (noin kolmannes kokonaisalasta), on vertailuparin 2f A-vaiheen hiilijalanjälki suhteessa uudisrakentamisvaihtoehtoon suurempi. Eroa voi selittää se, että vertailuparin 2f koulu on betoni- ja teräsrakenteinen kun taas vertailupareissa 13a-d ja 14a-d asuinkerrostalon lisäkerrokset ovat puurakenteisia.

Vertailuparissa 11c peruskorjatun koulun laajennusosa on betonirakenteinen ja uudisrakentamisvaihtoehto on myös betonia. Vertailuparissa 11d on taas korjausvaihtoehdon laajennusosa sekä uudisrakentamisvaihtoehto puurakenteisia. Koska puurakenteista laajennusta verrataan puurakenteiseen uudiskouluun, ja vastaavasti betonirakenteista betonirakenteiseen, ei kuvassa 23 ole näiden vertailuparien välillä suurta eroa korjaus- ja uudisvaihtoehtojen päästöjen suhteissa.

Aineiston kouluja (2f, 11c ja 11d) on laajennettu lämpösiivillä, joille on täytynyt rakentaa myös perustukset. Kerrostalotapauksissa (13a-d ja 14a-d) puolestaan lisäkerrokset ovat olemassaolevan rakenteen päällä ja perustuksia on vain täytynyt vahvistaa, jolloin materiaalia kuluu vähemmän. Tämä on mahdollinen syy sille, että kouluilla on suurempi

A-vaiheen hiilijalanjälki suhteessa uudisrakentamisvaihtoehtoon kuin asuinkerrostalotapauksilla.

Suurimmassa osassa ”peruskorjaus ja laajennus” -ryhmän vertailupareissa korjattu ja laajennettu rakennus on B-vaiheen päästöiltään lähellä uudisrakentamisvaihtoehtoa (kuva 23). Yksi vaikuttava tekijä on se, että korjausvaihtoehdoissa 33-75 % rakennuksen kokonaisalasta on laajennusosaa eli uudisrakentamista. Vertailupareissa 13c, 3d, 14c ja 14d uudisrakentamistapauksessa on maalämpöjärjestelmä ja korjatussa rakennuksessa kaukolämpö. Siksi näissä vertailupareissa korjausvaihtoehden B-vaiheen päästöt ovat moninkertaiset verrattuna uudisrakentamisvaihtoehtoon. Näissä vertailupareissa uudisrakentaminen myös muuttuu vähäpäästöisemmäksi tarkastelujakson aikana, joskin vasta 24-34 vuoden päästä.

Aineiston perusteella peruskorjaus ja laajennus on hiilijalanjäljen kannalta parempi vaihtoehto kuin purkava uudisrakentaminen, mikäli korjatussa rakennuksessa ja uudisrakennuksessa on sama energiamuoto. Vertailupareissa, joissa uudisrakentamisvaihtoehdossa on maalämpö ja korjausvaihtoehdossa on kaukolämpö, muuttuu uudisrakentamisvaihtoehto vähähiilisemmäksi tarkastelujaksolla, joskin vasta useamman vuosikymmenen päästä.

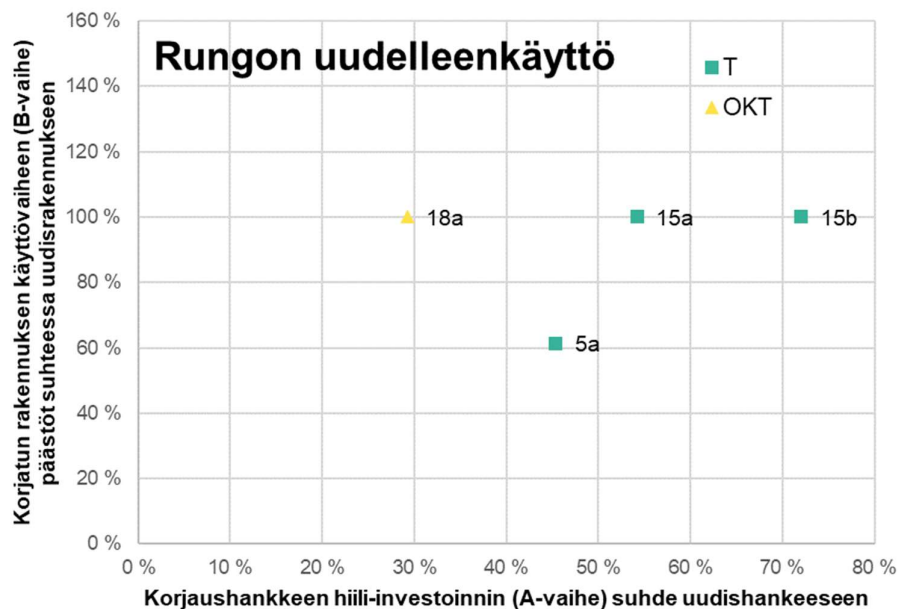
5.2.3 Rungon uudelleenkäyttö

Rungon uudelleenkäytössä rakennuksen kantavat runkorakenteet ja perustus säilytetään ja kaikki muut rakenteet uusitaan. Tällaisia tapauksia on aineistossa neljä ja vertailuparien tiedot ovat taulukossa 15. Yhdellekään vertailupareista ei ole TMA:ta, vaan korjausvaihtoehto on koko tarkastelujakson ajan hiilijalanjäljeltään pienempi kuin uudisrakentamisvaihtoehto.

Taulukko 15 Aineiston vertailuparit, joissa korjausvaihtoehto on rungon uudelleenkäyttö, sekä vertailuparien purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajat (TMA).

Julkaisun nimi	Vertailuparin tunnus	Alkuperäinen rakennus	Korjausvaihtoehto	Uudisrakentamisvaihtoehto	TMA (v)
Enlid & Selvig, 2018	5a	Rak. 1989, BETONI+TERÄS, 16420 m ²	Vain kantavat rakenteet säilytetään, lämpöpumppu, 95 kWh/m ² (BREEAM Excellent, Norja)	BETONI+TERÄS, lämpöpumppu, 149 kWh/m ²	>60
Puurunen, 2020	15a	Rak. 1989, BETONI, 3264 m ²	Vain kantavat rakenteet säilytetään, energialuokka B (16 kWh/m ³ , Suomi 2020)	BETONI, tavanomainen toimistorakennus, energialuokka B (16 kWh/m ³ , Suomi 2020)	>50
	15b			PUU, Energialuokka B (16 kWh/m ³ , Suomi 2020)	>50
Ulvan, 2020	18a	Rak. 1970-luvulla, PUU, 150 m ²	Vain kantava runko säilytetään, (TEK10/Norja)	PUU, (TEK10/Norja)	>60

Kuvassa 24 on rungon uudelleenkäyttö -ryhmän vertailuparien korjausvaihtoehdon hiilijalanjäljen suhde uudisrakentamisvaihtoehtoon A-vaiheessa ja B-vaiheessa. Aineiston kaikissa rungon uudelleenkäytön tapauksissa korjausvaihtoehdon A-vaiheen päästöt ovat alhaisemmat kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla. Alhaisimmat A-vaiheen päästöt verrattuna uudisrakennukseen ovat vertailuparissa 18a, jossa kyseessä on omakotitalo: korjaamisen päästöt ovat yli 70 % alhaisemmat kuin uudisrakentamisen. Muut ryhmän tapaukset ovat toimistorakennuksia.



Kuva 24 Korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon A-vaiheen ja B-vaiheen päästöjen suhde aineiston korjaustyyppin ”peruskorjaus ja laajennus” vertailupareissa.

Kolmessa neljästä vertailuparista korjatun rakennuksen ja uudisrakennuksen käytön päästöt (B-vaihe) ovat yhtä suuret. Näin on siksi, koska rungon uudelleenkäytössä olemassa oleva rakennus on arvioitu energiatehokkuudeltaan uudisrakennusta vastaavaksi. Vertailuparissa 5a korjattu rakennus on rakennusmääräysten velvoittamaa energiatehokkuustasoa parempi mutta sitä on verrattu tavanomaiseen rakennusmääräykset täyttävään udisrakennukseen. Siksi korjatun rakennuksen B-vaiheen päästöt ovat vain 61 % uudisrakentamisvaihtoehtoon verrattuna.

Kaikissa aineiston rungon uudelleenkäyttö -ryhmän vertailupareissa korjausvaihtoehdon A-vaiheen hiilijalanjälki on pienempi ja B-vaiheen hiilijalanjälki on yhtä suuri tai pienempi kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla. Siksi kaikissa vertailupareissa korjausvaihtoehto on vähäpäästöisempi koko tarkastelujakson ajan. Ryhmässä on kuitenkin vain neljä vertailuparia, eikä sen perusteella ei voida luotettavasti tehdä yleistäviä päätelmiä.

Kolme ryhmän vertailupareista on toimistorakennuksia. Julkaisun 15 (Puurunen, 2020) vertailupareissa 15a aj 15b käytön päästöt ovat yhtä suuret sekä korjausvaihtoehdossa että molemmissa uudisrakentamisvaihtoehdoissa. Puurakentamisella on pyritty pienentämään uudisrakennuksen hiilipiikkiä (vertailupari 15b).

Vertailuparin 18a 1970-luvun omakotitalosta säilytetään perustus, runkorakenteet ja osittain myös ulkoseinien eristys. Olemassa oleva rakennus kunnostetaan ominaisuuksiltaan uutta taloa vastaavaksi, joten käytön energiankulutus on molemmille taloille sama. Koska korjaamisen A-vaiheen hiilipiikki on vain 30 % uudisrakentamisen hiilipiikistä, on korjaaminen vähäpäästöisempi vaihtoehto.

Rakennusten perustukset ja useimmiten runkorakenteet ovat betoni- ja teräsrakenteisia. Betonilla ja teräksellä on korkea hiilijalanjälki. Siksi hyödyntämällä jo olemassa olevat rakenteet uudelleen voidaan vähentää rakennuksen materiaalisidonnaisia päästöjä olennaisesti. Lisäksi on todennäköistä, että kun rakennuksesta hyödynnetään ainoastaan runkorakenteet, voidaan sen energiatekniset ominaisuudet saattaa uudisrakennuksia vastaavalle tasolle.

5.2.4 Käyttötarkoituksen muutos

Käyttötarkoituksen muutoksia on aineistossa neljä vertailuparia. Kolmessa näistä uusi käyttötarkoitus on asuinkerrostalo. Yhdessä puolestaan varastorakennus on muutettu toimistorakennukseksi.

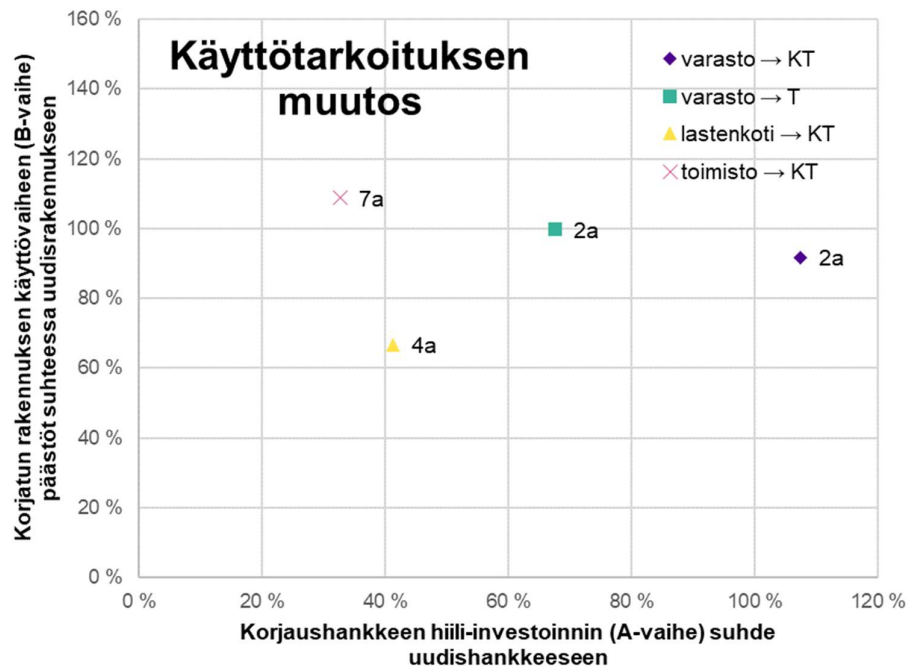
Taulukko 16 Aineiston ”rungon uudelleenkäyttö” -korjaustyyppien korjaus-uudisrakentamisvertailuparit ja niiden purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajat (TMA).

Julkaisu	Vertailuparin tunnus	Alkuperäinen rakennus	Korjausvaihtoehto	Uudisrakentamisvaihtoehto	TMA (v)
Dettling, Pike & Humbert, 2012	2a	Varastorakennus, rak. 1929, 17475 m ² , BETONI+TERÄS	Muutos asuinkerrostaloksi, 200 kWh/m ² (USA)	0,85-kertainen laajuus, ilmalämpöpumput, 200 kWh/m ² (USA)	^a
	2e		Muutos toimistoksi, hissien lisäys, julkisivun ja ikkunoiden uusiminen, 290 kWh/m ² (USA)	BETONI+TERÄS, 1,4-kertainen laajuus, 290 kWh/m ² (USA)	>75
Enlid, 2018	4a	Lastenkoti, rak.1953, 860 m ² , (TEK49/Norja)	Muutos asunnoiksi, hissien lisäys, ikkunoiden, ovien ja YP eristyksen uusiminen, US lisäeristys+rappaus, lämpöpumppu, jäteveden-LTO, aurinkokeräimet, 115 kWh/m ²	Lämpöpumppu, 115 kWh/m ² (TEK10/Norja 2010)	>60
Gaia, 2020	7a	T, rak. 2002, 2670 m ²	Muutos asuinkerrostaloksi: perustus, kantava runko, ikkunat, katto, julkisivut, US + puolet TATE:sta säilytetään	Tavanomainen asuinkerrostalo (Suomi, 2020)	>50

^a Vertailuparissa 2a korjaamisella on suuremmat päästöt kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla ensimmäiset 7 vuotta, jonka jälkeen korjattu rakennus muuttuu vähäpäästöisemmäksi.

Aineiston käyttötarkoituksen muutoksissa kolmessa neljästä vertailuparista korjausvaihtoehdolla on koko tarkastelujakson pienempi hiilijalanjälki kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla. Vertailuparissa 2a asuinkerrostaloksi muutetulla varastorakennuksella on aluksi suuremmat päästöt kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla, mutta 7 vuoden jälkeen korjausvaihtoehdon hiilijalanjälki muuttuu pienemmäksi. Julkaisun 2 (Dettling ym., 2012) mukaan todennäköinen syy korjausvaihtoehdon suuremmalle A-vaiheen hiilijalanjäljelle on valittujen materiaalien hiili-intensiivisyys, koska uudisrakennuksessa on kuitenkin käytetty määrällisesti enemmän uutta materiaalia kuin korjausvaihtoehdossa. Korjausvaihtoehdon muuttuminen vähäpäästöisemmäksi 7 vuoden jälkeen johtunee metodologisesta puutteesta osien vaihdon (B4) hiilijalanjäljen laskennassa (ks. luku 5.1).

Kuvassa 25 on aineiston käyttötarkoituksen muutosten A-vaiheen ja B-vaiheen hiilijalanjäljen suuruus verrattuna uudisrakentamisvaihtoehtoon. Kolmessa neljästä vertailuparista A-vaiheen hiilijalanjälki on alle 80 % uudisrakentamisvaihtoehdon hiilijalanjäljestä. Poikkeus on vertailupari 2a, jossa korjausvaihtoehdon A-vaiheen päästöt ovat 7 % uudisrakentamisvaihtoehtoa korkeammat.



Kuva 25 Korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon A-vaiheen ja B-vaiheen päästöjen suhde aineiston korjaustyyppin ”käyttötarkoituksen muutos” vertailupareissa.

Vertailupareista kolmessa korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon B-vaiheen päästöt ovat lähellä toisiaan. Poikkeus on vertailupari 4a, jossa korjatun rakennuksen käytön päästöt ovat huomattavasti alhaisemmat kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla. Tämä johtuu siitä, että vaikka vaihtoehtojen energiantarve on suurin piirtein yhtä suuri, niiden tarvitsema energia tulee eri lähteistä, ja eri energiamuodoilla on erilaiset päästökertoimet.

Vertailuparissa 4a 1950-luvun lastenkotina toiminut rakennus on muutettu yhdeksäksi vuokra-asunnoksi. Korjaamalla päästään käytönaikaisessa päästössä alhaisemmalle tasolle kuin määräysten mukaisella uudisrakentamisella, koska korjattu rakennus on uudisrakennusta energiatehokkaampi. Korjausvaihtoehdossa on lämpöpumpun lisäksi hyödynnetty jäteveden talteenottoa ja aurinkokeräimiä. Esimerkiksi jäteveden talteenottoa ei voida pitää tyypillisenä ratkaisuna, ja se olisi toisaalta voitu toteuttaa myös uuteen rakennukseen. Hiilijalanjäkilaskelman lähtökohtana on ollut todellisen olemassa olevan rakennuksen säilyttäminen ja muutos asunnoiksi on oikeasti toteutettu. Vertailuun on otettu vastaavan muotoinen betonielementtinen kerrostalo, joka täyttää rakennusmääräykset. Ei kuitenkaan liene realistista, että uudesta kerrostalosta tehtäisiin muodoltaan täysin 1950-luvun rakennusta vastaava.

Vertailuparissa 7a korjausvaihtoehdossa entinen toimistorakennus on muutettu kerrostaloasunnoiksi. Uudisrakentamisvaihtoehdona on niin sanottu greenfield-rakentaminen, eli vastaavan kerrostalon rakentaminen alueelle, jossa ei vielä ole

tarvittavaa infrastruktuuria. Päästötiedot eri elinkaarivaiheille on kerätty eri julkaisuista ja raporteista, ja hiilijalanjäljen arviointi on siten melko karkealla tasolla. Greenfield-vaihtoehdon A-vaiheen päästöistä merkittävä osuus muodostuu aluerakentamisesta. Korjausvaihtoehto on joka tapauksessa vähäpäästöisempi vaihtoehto 50 vuoden tarkastelujaksolla, otettiinpa aluerakentamisen päästöt lukuun tai ei.

Aineiston tapauksissa olemassa olevan rakennuksen hyödyntäminen toiseen käyttötarkoitukseen on hiilijalanjäljen näkökulmasta edullisempi vaihtoehto kuin purkava uudisrakentaminen. Neljän vertailuparin ryhmä on kuitenkin niin pieni, ettei yleistäviä päätelmiä voida tehdä. Aineistossa myös rakennusten alkuperäinen ja uusi käyttötarkoitus ovat jokaisessa vertailuparissa eri.

5.2.5 Muut korjaustyyppit

Muihin korjaustyyppihin kuuluvien korjaus-uudisrakentamisvertailuparien kuvaukset ja purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajat (TMA) ovat taulukossa 17. Julkaisun 3 (Dong ym., 2005) kaikissa korjausvaihtoehtoissa rakennukseen tehtiin vain yksittäinen lisäeristystoimenpide, ja korjaustavan suppeuden takia vertailuparit eivät ole peruskorjausryhmässä. Julkaisuissa 8 (Heinonen ym., 2011) ja 17 (Säynäjoki ym., 2012) puolestaan tarkasteltiin kokonaisia asuinalueita eikä yksittäisiä rakennuksia, kuten aineiston muissa julkaisuissa. Lisäksi julkaisun 8 vertailupareissa ei ole ollenkaan korjaustoimenpiteitä, vaan alueen käytön jatkamista verrattiin uuden alueen rakentamiseen olemassa olevan kaupunkirakenteen ulkopuolelle.

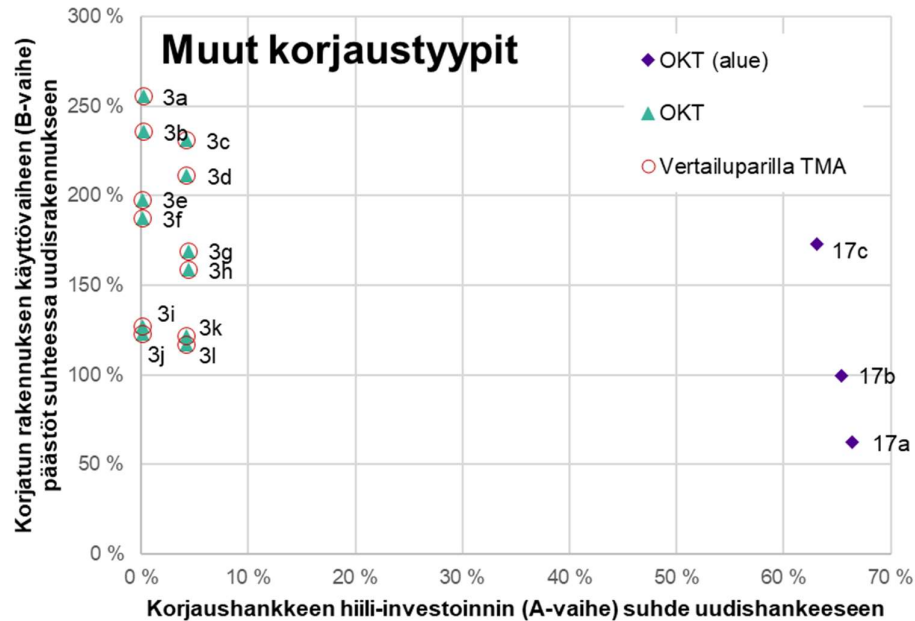
Taulukko 17 Aineiston muita korjaustyyppijä edustavat korjaus-uudisvertailuparit ja niiden purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajat.

Julkaisu	Vertailuparin tunnus	Alkuperäinen rakennus	Korjausvaihtoehto	Uudisrakentamisvaihtoehto	TMA (v)
Dong, Kennedy & Pressnail, 2005	3a	OKT, rak. 1930-luvulla, TIILI, 230 m ²	Kellarin eristys, 10 % parempi ilmatiiviyys	R2000 energialuokituksen (Natural Resources Canada) mukainen (n. 50 % rakennusmääräyksiä pienempi energiankulutus)	1 ^a
	3b		Kellarin eristys ja tiivistys, 40 % parempi ilmatiiviyys		2
	3c		Ullakon lisäeristys, 10 % parempi ilmatiiviyys		1
	3d		Ullakon lisäeristys ja tiivistys, 40 % parempi ilmatiiviyys		1
	3e	OKT, rak. 1960-luvulla, PUU, 230 m ²	Kellarin eristys, 10 % parempi ilmatiiviyys		3
	3f		Kellarin eristys ja tiivistys, 40 % parempi ilmatiiviyys		3
	3g		Ullakon lisäeristys, 10 % parempi ilmatiiviyys		2

Julkaisu	Vertailuparin tunnus	Alkuperäinen rakennus	Korjausvaihtoehto	Uudisrakentamismuutos	TMA (v)
Dong, Kennedy & Pressnail, 2005	3h	OKT, rak. 1960-luvulla, PUU, 230 m ²	Ullakon lisäeristys ja tiivistys, 40 % parempi ilmatiiviyys		2
	3i	OKT, rak. 1980-luvulla, PUU, 230 m ²	Kellarin eristys, 10 % parempi ilmatiiviyys		9
	3j		Kellarin eristys ja tiivistys, 40 % parempi ilmatiiviyys		11
	3k		Ullakon lisäeristys, 10 % parempi ilmatiiviyys		7
	3l		Ullakon lisäeristys ja tiivistys, 40 % parempi ilmatiiviyys		8
Heinonen, Säynäjoki & Junnila, 2011	8a	Asuinalue, 70 % omakotitaloja ja 30 % kerrostaloja (Espoon keskimääräinen asuinkanta), 70000 m ²	Käytön jatkaminen	Uusi asuinalue sis. infrarakenteet, 100 kWh/m ² (Suomi, 2010)	>25
	8a			+ 50 % betonirakenteista korvattu puurakenteilla	>25
	8c			Uusi asuinalue sis. infrarakenteet, 80 kWh/m ² (Suomi, 2012)	>25
	8d			Uusi asuinalue sis. infrarakenteet, 40 kWh/m ² (passiivi)	24
	8e			Uusi asuinalue sis. infrarakenteet, maalämpö (3 kertaa kaukolämpöä tehokkaampi)	>25
Säynäjoki, Heinonen & Junnila, 2012	17a	Omakotitaloalue (220 taloa), 35270 m ² , 195 kWh/m ²	Energiatohokkuuden parantaminen matalaenergiatasolle, 50 kWh/m ²	Asuinalue (220 taloa), 100 kWh/m ² (Suomi, 2008)	>50
	17b			Asuinalue (220 taloa), matalaenergia, 50 kWh/m ²	>50
	17c			Asuinalue (220 taloa), passiivi, 15 kWh/m ²	>50

^a Julkaisun Dong ym. (2005) vertailupareille takaisinmaksuaika on laskettu perustuen elinkaaren primäärienergiankulutukseen, ei hiilijalanjälkeen.

Kuvassa 26 on taulukon 17 vertailuparien korjausvaihtoehdon A-vaiheen ja B-vaiheen hiilijalanjäljen suuruus verrattuna uudisrakentamismuutokseen. Kuvassa ei ole julkaisun 8 (Heinonen ym., 2011) vertailupareja, koska niissä olemassa olevalle asuinalueelle ei tehty ollenkaan korjaustoimenpiteitä, ja siten korjausvaihtoehtojen A-vaiheen päästöt ovat kaikissa julkaisun vertailupareissa 0 % uudisrakentamismuutokseen verrattuna.



Kuva 26 Korjausvaihtoehdon ja uudisrakentamisvaihtoehdon A-vaiheen ja B-vaiheen päästöjen suhde aineiston muiden korjaustyypin vertailupareissa.

Julkaisussa 3 (Dong ym. 2005) esitettiin eri vaihtoehtojen hiilijalanjälki vain prosentuaalisessa suhteessa toisiinsa, joten tuote- ja rakentamisvaiheen päästöjä ei voitu eritellä. Purkavan uudisrakentamisen (tai energiainvestoinnin) takaisinmaksuaika pystyttiin kuitenkin määrittelemään vertailupareille primäärienergiankulutuksen perusteella, koska se oli julkaisussa suhteessa hiilijalanjäljen kanssa. Julkaisun korjaustapauksissa on tehty yhteen rakennusosaan keskittyvää lisäeristämistä ja tiivistystä, joita ei voida pitää kokonaisvaltaisina tai erityisesti energiatehokkuutta parantavina toimenpiteinä. Esimerkiksi ikkunoiden vaihtoa ei tarkasteltu suurten kustannusten takia. Tarkastelujakson aikana tehtäviä peruskorjaustoimenpiteitä ei ole myöskään otettu huomioon, vaikka todennäköisesti jotain korjauksia on pakko tehdä 1930-, 1960- ja 1980-luvuilla rakennetuille taloille 40 vuoden jakson aikana. Vertailupariksi oli valittu tavanomaisen uudisrakennuksen sijaan 50 % määräyksiä tehokkaampi rakennus. TMA on kaikilla julkaisun vertailupareilla lyhyt, 1-11 vuotta. Vertailupareissa 3i, 3j, 3k ja 3l korjaamisen hiili-investointi on vajaan 5 % uudisrakentamisen hiili-investoinnista, mutta käyttövaiheessa päästään kuitenkin vain noin neljäsosa suurempaan päästötasoon kuin uudisrakennuksella. Takaisinmaksuajat ovat 7-11 vuotta. Näille julkaisun 3 (Dong ym., 2005) vertailupareille määritettiin TMA primäärienergiankulutuksen perusteella. Tämä on mahdollinen virhelähde, koska hiilijalanjälki ja primäärienergiankulutus eivät välttämättä ole kovin luotettavasti verrattavissa toisiinsa. Aihetta käsitellään lisää luvussa 5.3 kaikkien vertailuparien tarkastelun yhteydessä.

Omakotitaloalueen energiatehokkuusparannuksissa (vertailuparit 17a, 17b ja 17c) korjaamisen hiili-investointi on suuri verrattuna muihin vertailupareihin. Julkaisussa 17 (Säynäjoki ym., 2012) ei ole tarkemmin kerrottu, minkälaisia toimenpiteitä korjaaminen pitää sisällään, mutta kaikki alueen rakennukset on ajateltu saatettavan matalaenergiatasolle. Todennäköisesti tällainen teoreettinen omakotitaloalueen kehitys on kuitenkin käytännössä erittäin harvinaista. Korjatun alueen käyttövaiheen päästöjen suhde uudisrakentamisvaihtoehtoon riippuu vertailuparin uudisrakentamisvaihtoehdon energiatehokkuuden tasosta. Korjausta on verrattu niin rakennusmääräysten mukaiseen kuin matalaenergia- ja passiivitaso uudisvaihtoehtoihin. Kaikissa kolmessa vertailuparissa korjaaminen on vähäpäästöisempi vaihtoehto koko 50 vuoden tarkastelujakson ajan. Julkaisun aikajanatarkastelussa on huomioitu energiantuotannon vähähiilistyminen, jolloin energiankulutuksen hiilijalanjälki kumuloituu ajan saatossa hitaammin. Energiantuotannon vähähiilistymisellä on sitä voimakkaampi vaikutus, mitä enemmän energiaa kulutetaan. Mikäli energiankulutus ja sen päästöt pysyisivät samalla tasolla, vertailuparilla 17c saattaisi olla TMA tarkastelujakson loppupuolella.

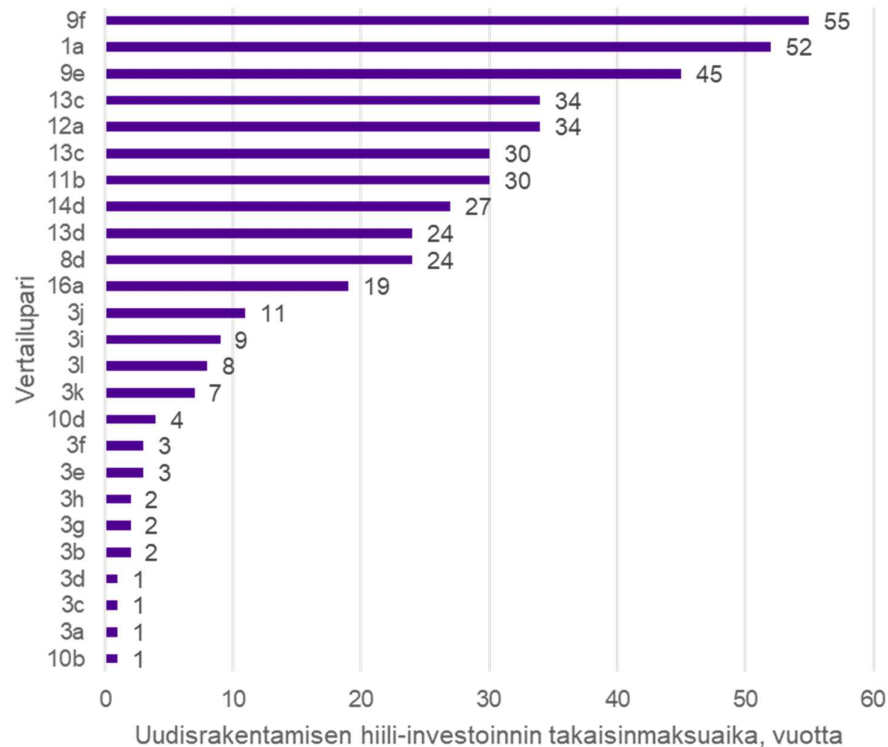
Julkaisussa 8 (Heinonen ym., 2011) taas oli pyritty etsimään olemassa olevan alueen käytön jatkamiselle hiilijalanjäljen kannalta parempi vaihtoehto muokkaamalla uudisrakentamisvaihtoehtoa vähähiilisempään suuntaan niin parantamalla energiatehokkuutta kuin pyrkimällä pienentämään tuote- ja rakentamisvaiheen hiilipiikkiä puurakenteiden avulla (vertailuparit 8a-g). Ainoastaan passiivirakentamisella (vertailupari 8d) saadaan uudisalueen päästöt alittamaan olemassa olevan alueen päästöt, ja se tapahtuu arviointijakson loppupuolella 25 vuoden jälkeen. Tällaiset herkkyytarkastelut auttavat hahmottamaan, minkä tasoista materiaali- ja energiatehokkuutta uudisrakentamiselta vaaditaan, jotta voitaisiin oikeuttaa olemassa olevien rakennusten purkaminen ympäristöperustein.

5.3 Kaikki vertailuparit

Aineistossa on yhteensä 65 korjaus-uudisrakentamisvertailuparia. Niistä 60 %:ssa korjaaminen on ympäristövaikutuksiltaan uudisrakentamista alhaisempi koko tarkastelujakson ajan.

Aineiston vertailupareista 38 %:ssa uudisrakennus muuttuu vähäpäästöisemmäksi tarkastelujakson aikana. Nämä vertailuparit ja niiden purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajat on koottu kuvaan 27. Takaisinmaksuaika on keskimäärin 17 vuotta. Mikäli joukkoon ei huomioida sellaisia vertailupareja, joissa korjaaminen on ollut yksittäinen lisäeristystoimenpide (vertailuparit 3a-l), on purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika keskimäärin 29 vuotta. Yksi

aineiston vertailupareista (2a) on sellainen, jossa korjaamisella on aluksi suuremmat päästöt kuin uudisrakennuksella, mutta se muuttuu vähäpäästöisemmäksi 7 vuoden kuluttua.



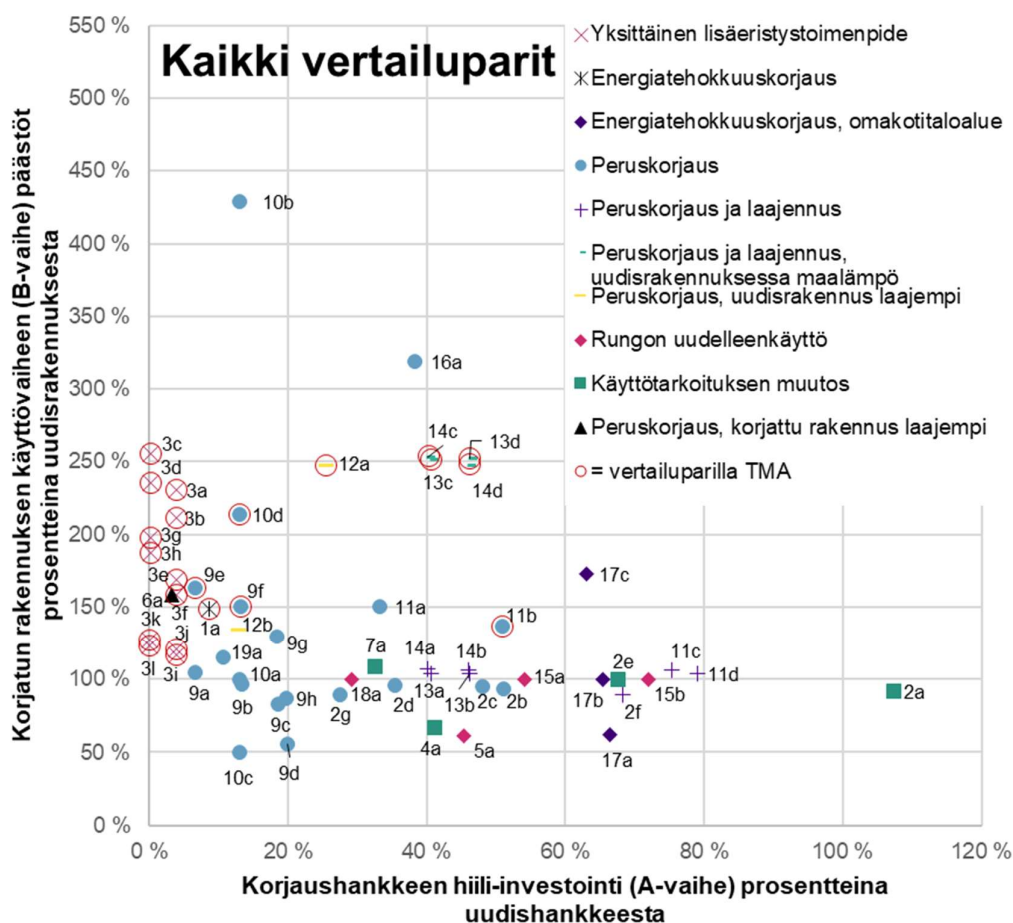
Kuva 27 Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika niissä aineiston 25 vertailuparissa, joissa uudisrakennus muuttuu vähäpäästöisemmäksi tarkastelujaksolla.

Lyhyt takaisinmaksuaika julkaisun Dong ym. (2005) vertailupareissa 3a-l sekä julkaisun Hu (2017) vertailupareissa 10b ja 10d voi johtua siitä, että tutkittu ympäristövaikutus oli primäärienergiankulutus, ei hiilijalanjälki. Julkaisun Dong ym. (2005) vertailuparien alhaiset takaisinmaksuajat selittyvät kyllä sillä, että korjaustoimenpiteet olivat tapauksissa pienimuotoisia. Kuitenkin myös julkaisun Hu (2017) kahdessa vertailuparissa (10b ja 10d), joissa takaisinmaksuaika muodostuu, on se hyvin lyhyt (1 ja 4 vuotta). Havainto asettaa kyseenalaiseksi sen, voiko primäärienergiankulutusta käyttää vastaavasti kuin hiilijalanjälkeä hiili-investoinnin takaisinmaksuajan laskemiseen. Energia ja hiilijalanjälki eivät välttämättä korreloi samassa suhteessa, kun lasketaan ympäristövaikutuksia tuote- ja rakentamisvaiheessa (A-vaihe) ja rakennuksen käytön aikana (B-vaihe), vaikka korkeampi primäärienergiankulutus johtaakin aina myös suurempaan hiilijalanjälkeen. Julkaisujen Dong ym. (2005) ja Hu (2017) vertailupareille tässä tutkimuksessa laskettuja tuloksia uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajasta ei voida pitää täysin luotettavina. Lukuarvot

kuvaavat oikeasti uudisrakentamisen A-vaiheen primäärienergiainvestoinnin takaisinmaksuaikaa.

Kun tarkastellaan ainoastaan niitä aineiston julkaisuja, joissa on laskettu hiilijalanjälki, aineiston koko on 49 vertailuparia. Näistä vain 11 tapauksessa (22 %) uudisrakennus muuttuu korjattua rakennusta vähäpäästöisemmäksi tarkastelujakson aikana, ja purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaika on keskimäärin 34 vuotta.

Kuvassa 28 on aineiston kaikkien vertailuparien korjausvaihtoehdon A- ja B-vaiheen päästöjen suuruus verrattuna uudisrakentamisvaihtoehtoon. Julkaisun 7 vertailupareja 7a-e ei ole kuvassa 28, koska niissä ei tehty korjausta ja A-vaiheen päästöt ovat korjausvaihtoehdoissa nolla.



Kuva 28 Aineiston kaikkien vertailuparien korjausvaihtoehdon A-vaiheen ja B-vaiheen päästöjen suhteet uudisrakentamisvaihtoehtoon. Punaisella ympyrällä on merkitty ne vertailuparit, joille muodostuu purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika.

Korjaamisen A-vaiheen päästöt ovat yhtä vertailuparia (2a) lukuun ottamatta aina pienemmät kuin uudisrakentamisella (kuva 28). Korjausvaihtoehdon A-vaiheen päästöt

ovat aineiston vertailupareissa mediaaniltaan 17 % ja keskiarvoisesti 27 % verrattuna uudisrakentamisvaihtoehtoon.

Aineistossa on paljon tapauksia, joissa korjauksen A-vaiheen hiilijalanjälki on matala verrattuna uudisrakentamisvaihtoehtoon, mutta korjaamalla on kuitenkin päästy uudisrakennusta vastaavaan käyttövaiheen päästötasoon. Myös toiseen suuntaan on tapauksia, eli vaikka korjaamisen A-vaiheen päästöt olisivatkin lähemmäs puolet uudisrakentamisvaihtoehtoon verrattuna, ovat käyttövaiheen päästöt korjatulla rakennuksella silti moninkertaiset. Käyttövaiheen päästöihin vaikuttavat rakennuksen energiantarve ja käytettävien energianlähteille poliittisesti määritellyt päästökertoimet. Aineiston vertailupareista 29 %:ssa korjaamisen käyttövaiheen ympäristövaikutukset ovat yhtä suuret tai alemmat kuin uudisrakennuksella.

Kuvassa 28 on ympyröity ne vertailuparit, joissa uudisrakennus muuttuu vähäpätöisemmäksi tarkastelujakson aikana. Purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika muodostuu pääsääntöisesti sellaisille vertailupareille, joissa korjatun rakennuksen käytön aikaiset päästöt ovat yli kaksinkertaiset verrattuna uudisrakennukseen. Suurimmassa osassa näistä tapauksista uudisrakentamisvaihtoehto on ollut energiatehokkuudeltaan rakennusmääräyksiä parempi. Myös mikäli korjaamisen hiili-investointi on pieni suhteessa uudisrakentamisen hiili-investointiin (alle 10 % uudisrakentamisen A-vaiheen hiilipiikistä) on todennäköistä, että uudisrakennus muuttuu päästöiltään korjattua rakennusta alhaisemmaksi jossain vaiheessa tarkastelujaksolla. Monissa näistä tapauksista korjaaminen oli pienimuotoista lisäeristämistä (vertailuparit 3a-l), jolloin korjaamisen hiili-investointi on pieni, mutta myöskään käyttövaiheen päästöt eivät merkittävästi alene.

Aineistossa on nähtävillä vain heikko trendi siitä, että mitä suurempi on hiili-investointi suhteessa uudishankkeeseen, sitä pienempi käytön aikainen päästö saavutetaan. Poikkeuksia on kuitenkin molempiin suuntiin. Rakennusten peruskorjauksissa voidaan tehdä myös toimenpiteitä, jotka eivät vaikuta rakennuksen energiatehokkuuteen ja siten käyttövaiheen hiilijalanjälkeen alentavasti. Tällaisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi tilamuutokset, pintojen modernisointi tai rakenteiden korjaaminen ja vahvistaminen. Energiatehokkuushankkeissa puolestaan korjaaminen tähtää käytön aikaisen energiankulutuksen pienentämiseen. Toimenpiteiksi valikoidaan tyypillisesti kustannustehokkaimmat energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet. Esimerkiksi julkaisussa Dong ym. (2005) kerrottiin, että ikkunoiden ja ovien vaihtaminen on jätetty pois korjaustoimenpiteistä niiden korkeiden kustannusten takia. Vain kuudessa aineiston 19:ssä julkaisusta kerrottiin, mikä oli olemassa olevan rakennuksen

energiankulutus ennen korjaamista. Suurimman osan vertailupareista kohdalla on siis vaikeaa päätellä, miten suuri vaikutus korjaustoimenpiteillä on ollut rakennuksen energiankulutukseen ja sitä kautta käyttövaiheen hiilijalanjälkeen.

Aineiston peruskorjausten hiili-investointi on pääsääntöisesti pienempi verrattuna tapauksiin, joissa olemassa olevaa rakennusta samalla laajennetaan tai kun rakennuksen käyttötarkoitus muutetaan toiseksi. Kun rakennusta laajennetaan, hankkeesta osa on korjaamista ja osa taas uudisrakentamista. Uudisosan materiaalien valmistuksesta syntyy paljon päästöjä, jolloin myös koko hankkeen tuote- ja rakennusvaiheen hiilipiikki kasvaa. Myös aineiston omakotitalojen energiatehokkuuskorjauksilla (vertailuparit 17a-c) on keskimääräistä suuremmat A-vaiheen päästöt verrattuna uudisrakentamiseen.

Vain kolmessa aineiston julkaisussa (yhteensä 4 vertailuparia) oli tavoiteltu vähähiilisempää uudisrakentamista puurakentamisella. Puurakentamisella voidaan julkaisun 15 (Puurunen, 2020) perusteella pienentää uudisrakennuksen A-vaiheen hiilijalanjälkeä 25 % verrattuna betonirakentamiseen, ja julkaisun 11 (Huuhka ym., 2021) mukaan vastaavasti 35-37 %. Julkaisussa 8 (Heinonen ym., 2011) korvaamalla puolet asuinalueen betonirakenteista puulla, A-vaiheen päästöt pienenevät 9 %. Julkaisun 15 (Puurunen, 2020) vertailuparissa 15b ja julkaisun 8 (Heinonen ym., 2011) vertailuparissa 8b puurakentamisesta huolimatta uudisrakentamisen päästöt ovat korjaamisen päästöjä suuremmat koko tarkastelujakson ajan. Julkaisun 11 (Huuhka ym., 2021) vertailuparissa 11b purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaika on 30 vuotta. Saman julkaisun vertailuparissa 11d peruskorjattua koulurakennusta laajennettiin puurakenteisena ja verrattiin kokonaan puurakenteiseen uudisrakennukseen. Suurin osa korjausvaihtoehdosta oli uudisrakentamista, koska laajennus oli kolme kertaa alkuperäisen rakennuksen kokoinen. Vaihtoehtojen käytön päästöt ovat lähes yhtä suuret, eivätkä päästökäyrät leikkaa toisiaan tarkastelujaksolla.

6. POHDINTA

Tässä luvussa tarkastellaan kirjallisuustutkimuksen julkaisujen metodologisia valintoja, sekä näiden valintojen mahdollisia vaikutuksia hiilijalanjälkilaskelmien tuloksiin. Havaintojen pohjalta annetaan ehdotus siitä, millä tavalla korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertaileva hiilijalanjälkiarviointi olisi hyvä tehdä.

6.1 Metodologiset valinnat aineiston julkaisuissa ja niiden vaikutukset tuloksiin

6.1.1 Vaihtoehtojen määrittely

Aineiston julkaisuissa on käytetty pääsääntöisesti kolmea erilaista tapaa määrittellä korjaus- ja uudisrakentamismuutokset. Ensimmäinen tapa oli verrata toisiinsa todellisia rakennuksia, joista toinen olemassa oleva korjattu rakennus ja toinen toteutettu uudisrakennus. Tätä tapaa käytti 4 julkaisua (yhteensä 14 vertailuparia). Kuudessa näistä vertailuparissa epäkohdaksi muodostuu se, että tutkitut rakennukset olivat laajuudeltaan erilaiset. Vaikka hiilijalanjälki laskettaisiin pinta-alaa kohden, voi laajuusero kuitenkin vaikuttaa lopputulokseen. Kahdessa julkaisuissa (yhteensä 6 vertailuparia) olemassa olevaa uudisrakennusta olikin muokattu niin, että se vastasi laajuudeltaan korjattavaa rakennusta. Tällöin vertailun tulokset ovat paremmin verrattavissa toisiinsa. Toinen tapa, jota käytti 10 julkaisua (yhteensä 26 vertailuparia), oli verrata olemassa olevaa korjattavaa rakennusta teoreettiseen uudisrakentamismuutokseen, joka oli laajuudeltaan korjattavaa rakennusta vastaava. Julkaisun Jäätvuori ym. (2020) kahdessa vertailuparissa teoreettinen uudisrakentamismuutosto oli kuitenkin laajuudeltaan moninkertainen verrattuna korjausvaihtoehtoon. Tämä johtuu siitä, että julkaisuissa tutkittiin purkavaa täydennysrakentamista vaihtoehtona peruskorjaukselle. Kolmannessa tapassa, jota käytti neljä julkaisua (yhteensä 23 vertailuparia), sekä korjaus- että uudisrakentamismuutosto oli teoreettinen, esimerkiksi tyypillinen 1970-luvun omakotitalo.

Vaihtoehtojen määrittely on aina tapauskohtaista, mutta vertailtavuuden kannalta olisi hyvä, että molemmat vaihtoehdot ovat laajuudeltaan yhtä suuret. Erilainen laajuus voi aiheuttaa epätasapainon vertailuparien vaihtoehtojen välille, koska suuren rakennuksen pinta-alaperusteinen hiilijalanjälki on yleensä pienempi kuin pienemmän rakennuksen. Esimerkiksi julkaisuissa Huuhka ym. (2021), jossa on tutkittu kahta erikokoista koulurakennusta, on suuremman uudiskoulun A-vaiheen hiilijalanjälki 8 % ja

B-vaiheen 7 % alhaisempi kuin 4-kertaa pienemmän uudiskoulun, vaikka rakenteet ovat samanlaiset.

Useimmissa aineiston julkaisuissa, joissa vaihtoehtojen laajuudet on määritelty samaksi, on lähes aina myös rakennuksen muoto ja tilajako täysin samanlainen, mitä ei myöskään voida välttämättä pitää realistisena. Miksi olemassa rakennus purettaisiin, jos tilalle halutaan rakentaa täysin samanlainen uusi rakennus? Ongelman voisi ratkaista suunnittelemalla uudisrakennuksesta korjattua rakennusta vastaava laajuudeltaan, mutta kuitenkin niin että rakennus muilta piirteiltään olisi tämän päivän mukainen. Näin onkin menetelty esimerkiksi julkaisussa Huuhka ym. (2021), jossa uudisrakentamisvaihtoehto on muokattu todellisesta 2010-luvun koulurakennuksesta vastaamaan korjattavan koulun laajuutta. Tällä tavalla vertailtavuus vaihtoehtojen välillä on hyvä.

Mikäli purkavan uudisrakentamisen tavoite on saada enemmän kerrosalaa, olisi hyvä lisätä korjausvaihtoehdon rinnalle uudisrakentamista jossain muualla. Silloin vertailtavien vaihtoehtojen laajuus olisi yhtenevä. Esimerkiksi julkaisun Jäätvuori ym. (2020) uudisrakentamisvaihtoehdoissa tonttitehokkuutta on kasvatettu tiheämmällä ja korkeammalla rakentamisella. Olemassa olevien rakennusten laajentamista korjaamisen yhteydessä ei ole kuitenkaan tutkittu. Tällaisessa tilanteessa tarkastelua voitaisiin laajentaa niin, että korjausvaihtoehtoon olisi sisällynyt myös olemassa olevien rakennusten laajentaminen tai uudisrakentamista toisaalla, siten että vaihtoehtojen pinta-ala tai asukasmäärä olisi molemmissa vaihtoehdoissa yhtä suuri.

6.1.2 Tarkastelujakson pituus

Kaikissa aineiston julkaisuissa oli tarkastelujakson pituudeksi valittu yhtä pitkä jakso molemmille vaihtoehdoille. Lyhin tarkastelujakso oli 25 vuotta ja pisin 75 vuotta. Julkaisussa Horvath & Szalay (2012) kerrostalon ajateltiin peruskorjauksen jälkeen säilyvän käytössä 60 vuotta ja uudisrakennuksen puolestaan 80 vuotta. Tämän ajan jälkeen rakennus puretaan ja samalle paikalle rakennetaan uusi samanlainen rakennus. Eurooppalainen standardi EN15978 ohjeistaa toimimaan tällä tavalla, mikäli tarkastelujakso ulotetaan rakennuksen elinkaarta pidemmälle ajalle. Lähestymistapa pyrkii mahdollistamaan käyttöiltään erilaisten rakennusten vertailun. Ei voida kuitenkaan pitää realistisena, että purkamisen jälkeen tontille rakennettaisiin uudelleen tismalleen samanlainen rakennus. Todennäköisempää ehkä olisi, että rakennukselle toteutettaisiin uusi peruskorjaus.

Tarkastelujakson pituus vaikuttaa ainoastaan B-vaiheen päästöjen suuruuteen.

Tarkastelujakson pituudella on merkitystä silloin, jos hiilijalanjälki ilmoitetaan yhtenä

lukuna koko tarkastelujakson ajalta (ks. luku 2.2.3). Tällainen esitystapa ei kuitenkaan ota huomioon A-vaiheen päästöjen sijoittumista tarkastelujakson alkuun. Hiilijalanjäljen aikajanatarkastelun kannalta ei ole oleellista, kuinka pitkä tarkastelujakso valitaan. Periaatteessa tarkastelua voitaisiin jatkaa miten pitkälle vain, jos esimerkiksi halutaan selvittää, miten pitkään kuluu, että saavutetaan purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaika. Hiilijalanjälkiarvioinnin tarkkuus kuitenkin pienenee mitä pidemmälle tulevaisuuteen mennään. Tässä hetkessä voidaan vain pyrkiä ennustamaan esimerkiksi energiantuotannon päästöjen muutoksia tai rakennusmateriaalien tuotannon päästöjen muutoksia. Myöskään tulevaisuudessa mahdollisesti tapahtuvia rakennuksen käytön muutoksia tai tehtäviä korjaustoimenpiteitä ja niiden vaikutusta rakennuksen energiantarpeeseen ei voida etukäteen tietää. Todellisuudessa ei voida tietää miten pitkään rakennuksen elinkaari tulee jatkumaan, mutta tarkastelu täytyy kuitenkin rajata johonkin ajan hetkeen. Esimerkiksi Suomessa käytettävä YM-menetelmä ohjeistaa tarkastelujakson pituudeksi 50 vuotta. Korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertailevassa laskennassa tarkastelujakson on hyvä olla yhtä pitkä molemmille vaihtoehdoille.

6.1.3 Korjattavan rakennuksen systeimirajaus

Korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen hiilijalanjäljen vertailu on seurausvaikutuksellinen LCA, jolloin menneisyydessä synnytettyjä päästöjä ei tule ottaa huomioon arvioinnissa. Olemassa olevan rakennuksen ennen korjausta olleet elinkaarivaiheet jätetään siis arvioinnin ulkopuolelle. Tällaista rajausta olivat käyttäneet kaikki aineiston julkaisut yhtä lukuun ottamatta. Julkaisussa Hu (2017) on otettu huomioon olemassa olevaan rakennukseen jo aiemmin sitoutunut energia (julkaisussa on tutkittu primäärienergiankulutusta hiilijalanjäljen sijasta). Metodologista ongelmaa pyrittiin korjaamaan tätä diplomityötä varten vähentämällä julkaisun korjausvaihtoehtojen A-vaiheen primäärienergiasta korjaamattoman rakennuksen A-vaiheen energia. Koska näin on menetelty, ei voida julkaisun korjausvaihtoehtojen A-vaiheen arvoja pitää täysin luotettavina. Lisäksi yksi korjausvaihtoehto, olemassa olevan oopperatalon entisöinti, jätettiin tässä diplomityössä kokonaan pois aineistosta. Entisöinnin ja korjaamattoman rakennuksen A-vaiheen primäärienergiankulutus oli yhtä suuri, koska entisöity rakennus oli tismalleen samanlainen kuin alkuperäinen rakennus. Näin ollen entisöinnin korjattu A-vaiheen primäärienergiankulutus sai arvoksi nolla.

Olemassa olevaan rakennukseen korjauksen yhteydessä jäävien materiaalien huollon, korjauksen ja vaihtamisen päästöt tulisi ottaa huomioon vertailevassa hiilijalanjälkiarvioinnissa samalla tavalla kuin uudisrakennuksellekin. Jos korjauksen yhteydessä ei esimerkiksi uusita vesikattoa, sen uusiminen tulee vastaan jossain

vaiheessa aiheuttaen tarkastelujaksolle hiilipiikin. Julkaisussa Dettling ym. (2012) korjattuun rakennukseen jääneet alkuperäiset materiaalit on rajattu tarkastelun ulkopuolelle, mikä johtaa korjatun rakennuksen B-vaiheen materiaalisidonnaisten päästöjen aliarvioimiseen. Vastaava metodologinen ongelma saattaa esiintyä myös joissain muissakin aineiston julkaisuissa, erityisesti jos korjausvaihtoehdon B-vaiheen materiaalisidonnaiset päästöt ovat huomattavasti pienemmät kuin uudisrakentamisvaihtoehdolla. Muissa julkaisuissa systeimirajausta ei kuitenkaan ollut esitelty riittävän tarkasti, jotta voitaisiin sanoa millä tavalla korjauksen yhteydessä säilytettyjä materiaaleja on käsitelty LCA:ssa.

6.1.4 Materiaalisidonnainen hiilijalanjälki

6.1.4.1 Käytön materiaalisidonnainen hiilijalanjälki

Aineiston julkaisuista 15 arvioi hiilijalanjäljen vähintään yhdelle käyttövaiheen moduuleista B2-B5. Osien vaihtamista (B4) pidetään merkittävimpänä käyttövaiheen materiaalisidonnaisten päästöjen aiheuttajana, ja sen hiilijalanjäljen olikin arvioinut suurin osa aineiston julkaisuista. Muiden B-vaiheen materiaalisidonnaisten päästöjen huomioon ottamisessa oli suuria vaihteluita. Käytön aikaisten materiaalisidonnaisten päästöjen määrittäminen on hankalaa erityisesti huollolle (B2) ja korjauksille (B3), eikä näiden vaiheiden ympäristövaikutuksista ole saatavilla riittävästi tietoa. Esimerkiksi YM-menetelmä rajaa nämä moduulit tarkastelun ulkopuolelle, koska niiden vaikutus on vähäinen tai niiden arvioiminen kyllin luotettavasti on vaikeaa (YM, 2021). Huollon (B2) päästöt oli arvioitu viidessä aineiston julkaisussa, mutta ne oli eritelty vain julkaisussa Gaia (2020), jossa niiden osuus kokonaishiilijalanjäljestä oli 9-13 %. Julkaisussa Rønning & Vold (2008) huollon ja tilamuutosten päästöt oli ilmoitettu yhdessä, ja niiden osuus oli 14-26 % kokonaishiilijalanjäljestä. Kaksi julkaisua antoi korjauksen (B3) ja osien vaihdon (B5) päästöt yhdessä, ja niiden osuus oli 2-15 % kokonaishiilijalanjäljestä. Neljässä julkaisussa osien vaihdon (B4) ja laajamittaisten korjausten (B5) päästöt oli ilmoitettu yhdessä, ja niiden osuus oli 4-26 % kokonaishiilijalanjäljestä. Suuret erot päästöjen osuuksissa johtuvat todennäköisesti siitä, ettei kaikissa julkaisuissa ole arvioitu samoja asioita ja niissä on käytetty erilaisia päästötietolähteitä. Osuuteen kokonaishiilijalanjäljestä vaikuttaa myös muiden elinkaarivaiheiden päästöjen suuruus. Kuitenkin aineiston perusteella on perusteetonta väittää, että huollon ja korjausten hiilijalanjälki olisi merkityksetön.

6.1.4.2 Taloteknisten järjestelmien materiaalisidonnainen hiilijalanjälki

Talotekniikan materiaaleihin liittyvät päästöt on aineiston julkaisuissa lähes poikkeuksetta jätetty pois laskuista. Tyypillistä oli ottaa huomioon ainoastaan niiden vaikutus alentavana tekijänä käyttövaiheen päästöihin. Esimerkiksi julkaisuissa Nöjd

(2019a) ja Nöjd (2019b), on maalämpöjärjestelmän perustamisen sekä osien vaihtamisen päästöt jätetty pois laskennasta. Syynä saattaa olla se, ettei taloteknisille järjestelmille välttämättä ole saatavilla tarvittavia päästötietoja käytössä olevista päästötietokannoista. Esimerkiksi Suomen YM-menetelmä antaa erityyppisille rakennuksille taulukkoarvot taloteknisten järjestelmien materiaalisidonnaisille päästöille. Taloteknisillä järjestelmillä on rakennuksen elinkaareen verrattuna lyhyet käyttöiät, joten niiden käytön materiaalisidonnaisten päästöjen vaikutus kokonaishiilijalanjälkeen korostuu erityisesti pidemmillä tarkastelujaksoilla.

6.1.5 Energiankäytön hiilijalanjälki

6.1.5.1 *Energiatehokkuus ja energianlähteet*

Osassa julkaisuista korjaus- ja uudisrakentamismvaihtoehdot olivat energiatehokkuudeltaan merkittävästi erilaiset. Julkaisussa Eskilsson (2015) peruskorjattu rakennus oli rakennusmääräykset täyttävä, mutta uudisrakennus 25 % määräyksiä energiatehokkaampi. Julkaisuissa Dong (2005) uudisrakennusvaihtoehto oli 30 % rakennusmääräyksiä energiatehokkaampi, mutta korjausvaihtoehdoissa tehtiin vain yksittäisiä lisäeristys- ja tiivistystoimenpiteitä. Julkaisussa Rønning & Vold (2008) uudisrakennus on matalaenergiarakennus ja korjatun rakennuksen energiankulutus on kolminkertainen uudisvaihtoehtoon nähden. Syy tähän saattaa olla, että purkavan uudisrakentamisen perustelemiseksi uudisrakennuksesta on haluttu tehdä todella energiatehokas. Energiankulutukseen vaikuttaa myös rakennuksen muoto, joka on tässä julkaisussa vaihtoehdoilla erilainen. Julkaisussa Enlid & Selvig (2018) puolestaan korjattu rakennus oli määräystasoa parempi uudisrakennuksen ollessa tavanomainen rakennus.

Julkaisussa Dettling (2012) oli korjaus- ja uudisrakentamismvaihtoehdoille haluttu yhtä suuret energiankulutuksen päästöt. Tarkastellut rakennukset olivat todellisia korjaus- ja uudiskohteita, mutta vaihtoehtoihin vielä lisättiin teoreettisia energiatehokkuuteen vaikuttavia toimenpiteitä, siten että energiankulutus saatiin samalle tasolle. Toimenpiteiden vaikutus arvioitiin nyrkkisäännön omaisesti. Tällaista menettelyä voidaan pitää hieman kyseenalaisena. Käyttämällä rakennusten todellisia ominaisuuksia ja energiasimulaatiota olisi saatu realistisempaa tietoa rakennusten energiankäytön hiilijalanjäljestä.

Myös julkaisuissa Ulvan (2020) ja Puurunen (2020) oletettiin energiankulutuksen hiilijalanjäljen yhtä suureksi kaikissa vaihtoehdoissa. Näissä julkaisuissa korjaus- ja uudisrakennusvaihtoehto olivat muodoltaan ja tilajaoiltaan täysin samanlaiset ja korjauksessa säilytettiin ainoastaan rakennuksen runkorakenteet. Voidaan siis pitää

melko realistisena, että vaihtoehdoilla on yhtä suuri energiankulutus. Julkaisussa Huuhka ym. (2021) oli puolestaan otettu huomioon esimerkiksi puurakenteisen koulun energiankulutuksen olevan hieman suurempi verrattuna betonielementtikouluun, koska puurakenteilla on hieman heikommat U-arvot kuin betonirakenteilla, vaikka rakennukset muuten olivatkin muodoltaan samanlaiset.

Vaikka rakennuksilla olisi samansuuruinen energiankulutus, ei energiankäytön (B6) hiilijalanjälki kuitenkaan ole välttämättä yhtä suuri. Energiantarpeen lisäksi B6-moduulin hiilijalanjälkeen vaikuttaa se, millä tavalla energia on tuotettu. Esimerkiksi julkaisussa Enlid (2018) korjaus- ja uudisrakentamisvaihtoehdon energiantarve on yhtä suuri, mutta korjatun rakennuksen B6-moduulin päästöt ovat noin kolmasosan pienemmät. Korjatussa rakennuksessa lämpöpumppu kattaa suuremman osan lämmöntarpeesta ja siinä on lisäksi jäteveden lämmöntalteenotto ja aurinkosähköjärjestelmä, joita ei puolestaan ole uudisrakennuksessa.

On epäselvää, miksi julkaisussa Hu (2017) tietyillä vaihtoehdoilla on yhtä suuri energiankulutus, mutta niiden käytönaikaiset päästöt ovat kuitenkin erisuuret. Esimerkiksi uudisvaihtoehdolla 1, jonka energiankulutuksen päästöt ovat yhtä suuret kuin korjausvaihtoehdolla 2, on yhtä suuret B-vaiheen päästöt kuin korjausvaihtoehdolla 1, jonka energiankulutus on kaksinkertainen. Julkaisun tulokset on esitetty palkkikaaviossa, josta tulokset oli vaikea lukea, joten myös lukuvirhettä on myös saattanut syntyä jonkin verran.

Useat energiankulutuksen hiilijalanjälkeä alentavat ratkaisut, kuten paikallinen energiantuotanto, on usein mahdollista toteuttaa niin korjaus- kuin uudishankkeessakin. Koska esimerkiksi maalämpö luetaan uusiutuvaksi energiaksi, on sen päästökerroin huomattavasti alhaisempi kuin esimerkiksi kaukolämmöllä. Mikäli paikallisen energiantuotannon ratkaisut ovat mahdollisia, olisi ne hyvä tarkastella sekä korjaus- että uudisrakentamisvaihtoehdolle. Esimerkiksi julkaisussa Horvath & Szalay (2012) oli tutkittu aurinkosähköjärjestelmän vaikutus sekä uudis- että korjausvaihtoehdon hiilijalanjälkeen. Julkaisuissa Jäätvuori ym. (2020), Nöjd (2019a), Nöjd (2019b) ja Rønning & Vold (2008) puolestaan paikallisen energiantuotannon ratkaisuja oli tutkittu vain uudisrakentamisvaihtoehdon kohdalla.

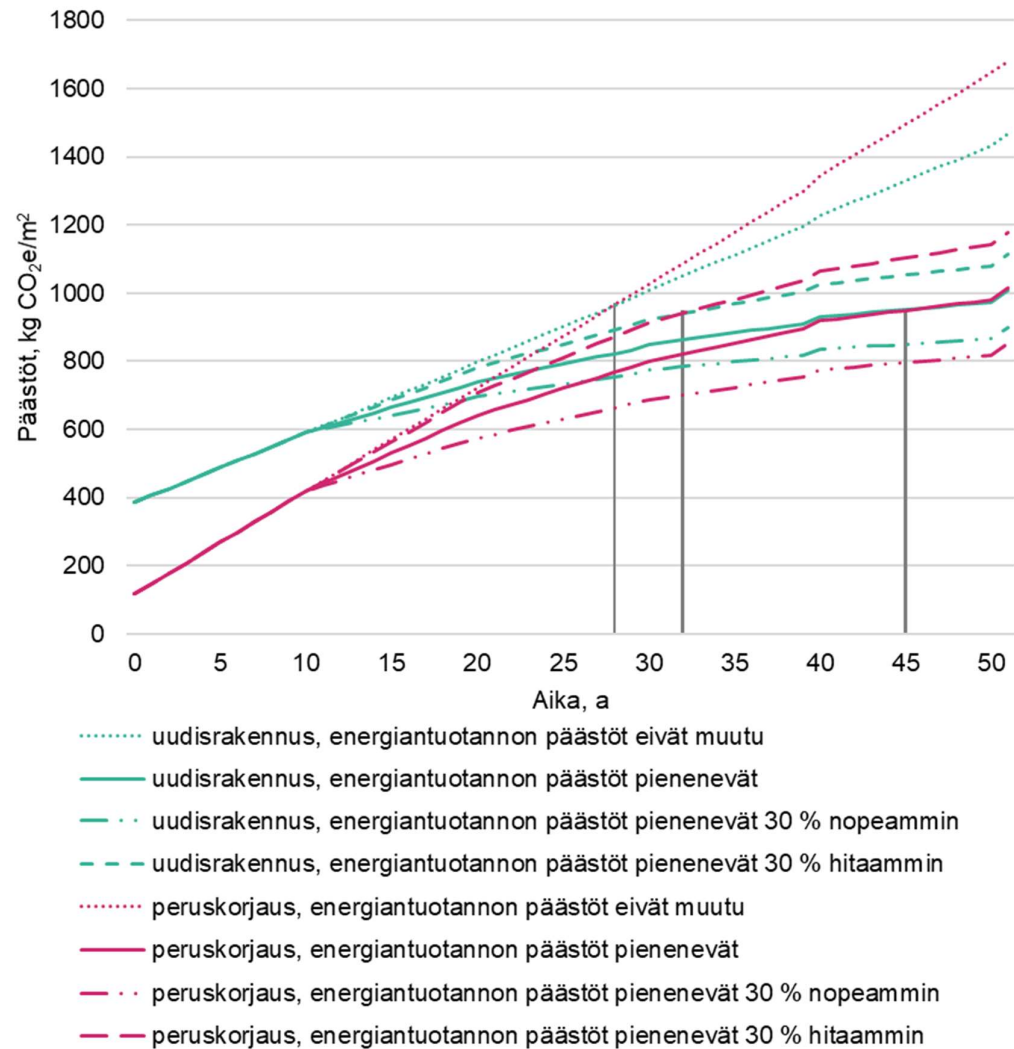
6.1.5.2 *Energiantuotannon vähähiilistymisolettama*

Energiantuotannon vähähiilistymisen on otettu huomioon 6 julkaisussa (yhteensä 13 vertailuparia). Julkaisuissa Zhang ja Wang (2017), Huuhka ym. (2021) ja Säynäjoki ym. (2012) päästöjen kertyminen on esitetty aikajanan avulla. Näiden julkaisujen vertailupareille purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuajat on siis voitu lukea päästökäyrien leikkauspisteestä, mikäli leikkauspiste on olemassa.

Energiantuotannon vähähiilistyminen on huomioitu myös julkaisuissa Enlid & Selvig (2018), Puurunen (2020) ja Jäätvuori ym. (2020), mutta niissä ei ole esitetty päästöjä aikajanalla. Purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaika on määritetty näille vertailupareille yksinkertaistetun mallin (kaava 1) avulla, joka olettaa, että käytönajan päästöt kertyvät lineaarisesti. Julkaisussa Puurunen (2020) B-vaiheen päästöt oli oletettu yhtä suureksi sekä korjatulle rakennukselle että uudisrakennukselle, jolloin päästökäyrien leikkausta ei synny. Julkaisussa Enlid & Selvig (2018) päästökäyrien leikkausta ei puolestaan tapahdu siitä syystä, että korjatun rakennuksen B-vaiheen päästöt ovat uudisrakennusvaihtoehtoa pienemmät. Julkaisun Jäätvuori ym. (2020) vertailuparissa 12b uudisrakennuksen A-vaiheen päästöt ovat niin paljon suuremmat kuin korjauksella, että leikkauspistettä ei synny tarkastelujaksolla. Näiden vertailuparien lopputuloksiin ei siis yksinkertaistetulla menetelmällä ole vaikutusta. Yksinkertaistetun laskukaavan (kaava 1) käyttäminen aiheuttaa virheen purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaikaan ainoastaan julkaisun Jäätvuori ym. (2020) vertailuparissa 12a. Yksinkertaistettua mallia käytettäessä päästökäyrät leikkaavat toisensa 34 vuoden jälkeen. Mikäli energiankulutuksen päästöt mallinnettaisiin pienemmän energiantuotannon vähähiilistymisolettaman mukaisesti, niin leikkaus tapahtuisi jo joiain vuosia aikaisemmin (ks. luku 4.2).

Energiantuotannon vähähiilistyminen ei ole varmaa, mutta kuitenkin todennäköistä (Koljonen ym., 2019). Aineiston vertailupareista 80 % kuitenkin oletti energiankäytön päästöjen pysyvän samana koko tarkastelujakson ajan. Energiantuotannon vähähiilistymisolettaman vaikutusta olisi hyvä tarkastella vertailevassa hiilijalanjälkilaskennassa, koska se vaikuttaa purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuajan pituuteen. Myös herkkyyštarkastelu erilaisilla energiantuotannon päästöjen kehittymisen skenaarioilla voi olla hyödyllistä.

Mitä voimakkaampaa energiantuotannon vähähiilistyminen on, sitä pidempi on purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaika niissä tapauksissa, joissa korjatun rakennuksen A-vaiheen päästöt ovat pienemmät ja energiankäytön päästöt suuremmat kuin uudisrakennuksella (kuva 29). Tällaisessa tilanteessa TMA pitenee siitä syystä, että energiantuotannon vähähiilistyminen pienentää enemmän sen rakennuksen hiilijalanjälkeä, joka kuluttaa enemmän energiaa. Tutkimusaineistossa on 22 sellaista vertailuparia, joiden TMA todennäköisesti pidentyisi, mikäli niihin sovellettaisiin jonkinlaista energiantuotannon vähähiilistymisolettamaa. Energiantuotannon päästöjen kehitys on erilaista eri energiamuodoille, joten energianlähteellä on myös merkitystä siihen, millainen päästöprofiili vertailuparille muodostuu.



Kuva 29 Energiantuotannon vähähiilistymisen vaikutus purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaikaan. Molemmassa vaihtoehdoissa on kaukolämpö ja verkkosähkö. Perustapaus (yhtenäinen viiva) noudattaa suomalaisen energiantuotannon vähähiilistymisolettaman (Soimakallio, 2020) mukaista kehitystä.

6.1.6 Purkamisen hiilijalanjälki

Aikajanatarkastelun kannalta elinkaaren lopun (C-vaihe) päästöt eivät ole merkityksellisiä, koska ne ajoittuvat aivan tarkastelujakson loppuun. Kuitenkin purkavan uudisrakentamisvaihtoehdon elinkaaren alun päästöihin tulee lisätä tontilla olevan rakennuksen purkamisesta aiheutuvat päästöt, koska vaihtoehdossa olemassa oleva rakennus tulee purkaa, jotta sen tilalle voidaan rakentaa uusi. Siitä syystä C-vaiheen päästöt tulisi määrittää *olemassa olevalle* rakennukselle. Aineiston julkaisuista 11 oli toiminut näin. Myös YM-menetelmä ohjeistaa arvioimaan tarpeen mukaan tontilla olevien rakennusten purkamisen vaikutukset, jotta voidaan muodostaa realistisempi kuva tarkastellun vaihtoehdon hiilijalanjäljestä (YM, 2021). Kokonaisen rakennuksen

purkamiselle on saatavilla yleisiä päästökertoimia. Esimerkiksi suomalaisessa päästötietokannassa co2data.fi:ssa on annettu eri rakennustyypeille pinta-alaperusteiset C-vaiheen päästökertoimet.

Korjausvaihtoehdolle, jossa vain osa rakennuksesta puretaan, purkutyön, kuljetusten ja purettujen materiaalien käsittelyn päästöjen määrittäminen on puolestaan ongelmallisempaa. Päästöjen määrittäminen voisi lähestyä esimerkiksi niin, että yleisiä purkamisen päästökertoimia painotetaan suhteessa korjaamisen yhteydessä tehtävän purkamisen laajuuteen. Mikäli korjauksessa vaihdetaan vain yksittäisiä rakennusosia, voidaan C-vaiheen päästötiedot kerätä valmistajien ympäristöselosteista.

6.1.7 Tulosten esitystapa

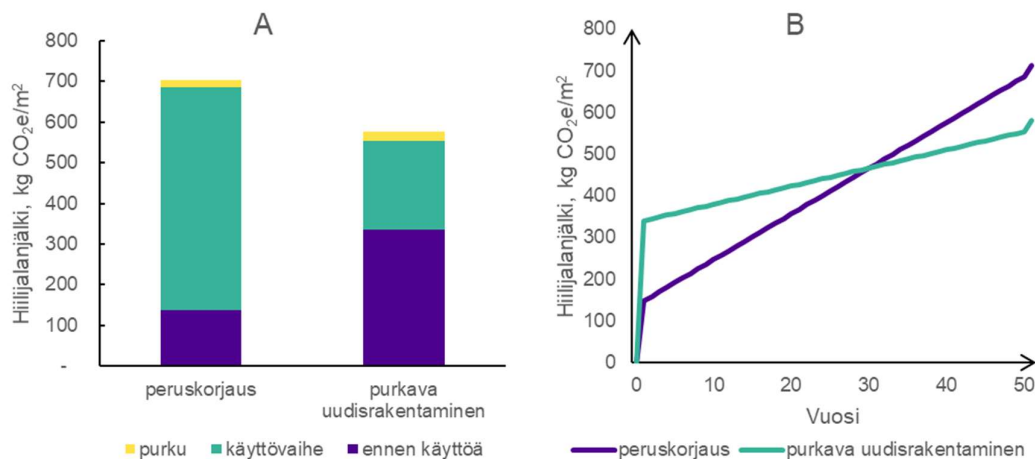
Tapa, jolla hiilijalanjälkiarvioinnin tulokset esitetään, vaikuttaa tulosten tulkintaan.

Hiilijalanjäljen esittäminen yhtenä lukuarvona koko tarkastelujakson ajalta ei ole suositeltavaa, koska silloin ei voida vertailla eri elinkaarivaiheiden päästöjä keskenään, eikä muodostaa käsitystä päästöjen ajoittumisesta. Läpinäkyvyyden kannalta on hyvä ilmoittaa numeeriset hiilijalanjäljen arvot erikseen kaikille elinkaarivaiheille, esimerkiksi taulukoimalla. Näin oli tehnyt 9 aineiston julkaisuista. Taulukoidut arvot eivät kuitenkaan usein anna välitöntä ymmärrystä tuloksista ja vaativat tulkitsijaltaan valveutuneisuutta. Esimerkiksi, jos tulokset on taulukoitu elinkaarivaiheittain yksikössä hiilidioksidiekvivalenttikiloa per vuosi ($\text{kg CO}_2\text{e/v}$), syntyy helposti tulkintavirhe A-vaiheen päästöjen suuruudesta. Koska kaikki A-vaiheen päästöt syntyvät aivan rakennuksen elinkaaren alussa, niiden jakaminen tarkastelujakson pituudella luo vaikutelman todellisuutta pienemmistä A-vaiheen päästöistä.

Aineiston julkaisuista 14 olikin käyttänyt tulosten esitykseen jonkinlaista visualisointia, joista yleisimmät olivat palkkikaavio (9 julkaisua) ja aikajana (9 julkaisua).

Visualisoinnin valinta vaikuttaa tulosten tulkintaan. Kuvassa 30 on saman vertailevan hiilijalanjälkiarvioinnin tulokset esitetty sekä palkkikaavio että aikajanalla.

Vaihtoehdossa A tulkinta on, että peruskorjaaminen on hiilijalanjäljeltään suurempi kuin purkava uudisrakentaminen. Vaihtoehdossa B puolestaan tulkinta on, että peruskorjaaminen on hiilijalanjäljeltään pienempi ensimmäiset 30 vuotta. Purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuajan selvittämiseksi aikajanatarkastelu on siis välttämätön.

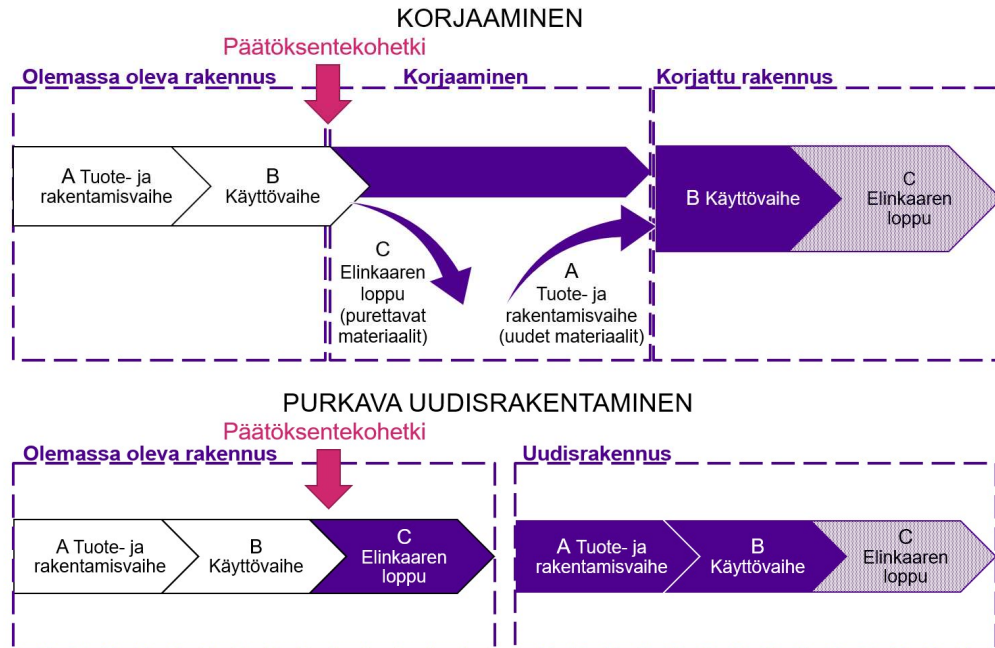


Kuva 30 Kaksi visualisointia peruskorjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertailevan hiilijalanjälkiarvioinnin tuloksista.

Aineiston julkaisuista 6 hyödynsi tulosten esityksessä ainoastaan aikajanaesitystä, joista kaksi lisäksi myös palkkikaaviota, ja kolme julkaisua pelkästään palkkikaaviota. Vaikka aikajanaesitys havainnollistaa hiilijalanjälkivertailun tuloksia parhaiten, voi numeeristen arvojen lukeminen kuvaajalta olla kuitenkin sen tarkkuudesta riippuen vaikeaa. Aikajanatarkastelun lisäksi onkin hyvä antaa lisäksi tarkat tulokset eri elinkaarivaiheiden hiilijalanjäljestä. Näin oli tehnyt kolme julkaisua.

6.2 Suositeltava systeemirajaus verrattaessa rakennuksen korjaamista ja uudisrakentamista

Korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen ympäristövaikutusten vertailu on luonteeltaan erilainen kuin esimerkiksi kahden uudisrakentamisvaihtoehdon vertailu. Systeemin rajaaminen hiilijalanjälkilaskentaa varten tulee tehdä ottaen huomioon vertailun erityistarpeet niin, että tuloksista saadaan mahdollisimman todenmukaisia ja vertailusta tasapuolinen. Lähtökohta vertailulle on se ajankohta, jolloin päätös purkavasta uudisrakentamisesta tai korjaamisesta tehdään. Lähtötilanne molemmissa vaihtoehtoissa on tontti, jolla on olemassa oleva rakennus. Kuvassa 31 on esitetty ne elinkaarivaiheet, jotka tulisi ottaa huomioon purkavan uudisrakentamisen ja korjaamisen hiilijalanjälkilaskennassa.



Kuva 31 Suositeltu systeimirajaus verrattaessa olemassa olevan rakennuksen korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen ympäristövaikutuksia toisiinsa. Tummalla värjätty alue kuvaa niitä elinkaaren vaiheita, joka tulisi ottaa huomioon laskennassa. Vastaavasti vaaleat alueet tulisi jättää vertailevan laskennan ulkopuolelle.

Korjattavan rakennuksen hiilijalanjälkeä määritettäessä on tärkeää jättää tarkastelun ulkopuolelle kaikki menneisyyden elinkaarivaiheet, koska tässä ajan hetkessä ei voida enää vaikuttaa niihin päästöihin, jotka ovat jo syntyneet. Laskentaan otetaan mukaan korjaamisen yhteydessä olemassa olevasta rakennuksesta purettavien materiaalien elinkaaren loppu (C-vaihe), korjaamiseen tarvittavien uusien materiaalien valmistuksen ja kuljetuksen päästöt sekä korjaustyömaan päästöt (A-vaihe). Korjatun rakennuksen käyttövaiheen (B-vaihe) hiilijalanjälkeä määritettäessä on tärkeää ottaa huomioon myös alkuperäisten materiaalien ja rakennusosien korjaus- ja vaihtamistarpeet. Elinkaaren lopun (C-vaihe) päästöjen määrittäminen ei ole pakollista, koska niillä ei ole merkitystä vertailevassa LCA:ssa.

Purkavan uudisrakentamisen tapauksessa laskenta lähtee liikkeelle olemassa olevan rakennuksen purkamisesta. Päästöt, jotka aiheutuvat olemassa olevan rakennuksen purkamisesta, purkumateriaalien käsittelystä ja loppusijoituksesta (olemassa olevan rakennuksen C-vaihe), lasketaan mukaan uudisrakennuksen hiilijalanjälkeen. Olemassa olevan rakennuksen elinkaaren lopun päästöt sijoitetaan tarkastelujakson alkuun yhdessä uudisrakennuksen tuote- ja rakentamisvaiheen päästöjen kanssa. Tästä eteenpäin purkavan uudisrakentamisen hiilijalanjälkilaskenta jatkuu samaan

tapaan kuin korjausvaihtoehdolla sisältäen tuote- ja rakentamisvaiheen ja käyttövaiheen sekä valinnaisena elinkaaren lopun päästöt.

Korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertailevassa hiilijalanjälkilaskennassa tulisi ottaa huomioon molempien rakennusten erityispiirteet ja niihin liittyvät huolto-, korjaus- ja osien vaihtotarpeet. Kattavassa vertailevassa hiilijalanjälkiarvioinnissa on otettu huomioon käytön aikana tapahtuvat toimenpiteet, ja niihin liittyvät materiaalisidonnaiset päästöt yksilöidysti molemmille vaihtoehdoille. Esimerkiksi korjaamisen tapauksessa on syytä miettiä, miten pitkä elinkaari nyt tehtävillä korjauksilla voidaan saavuttaa, ja millaisia uusia korjauksia tullaan myöhemmin tarvitsemaan, jotta rakennuksen käyttöä voidaan edelleen jatkaa. Tarkastelujakson pituus on suositeltavaa valita yhtä pitkäksi molemmille vaihtoehdoille.

Vertailevassa hiilijalanjälkiarvioinnissa on tärkeää, että molempien vaihtoehtojen hiilijalanjäljen määrittelyssä käytetään samoja periaatteita laskennassa huomioon otettavien rakennusosien, päästötietokannan ja laskentamenetelmän suhteen. Kun molemmille vaihtoehdoille käytetään samaa tarkkuustasoa, vertailusta tulee mahdollisimman tasapuolinen ja realistinen.

7. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kumpi on ympäristön näkökulmasta parempi ratkaisu: korjata olemassa oleva rakennus vai purkaa se ja rakentaa tilalle uusi rakennus. Tutkimuskysymykseen etsittiin vastuuta kirjallisuusaineiston perusteella. Tutkimuksen tavoitteena oli myös esittää hyvä tapa korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertailevan hiili-jalanjälkitarkastelun tekemiseen.

7.1 Korjatako vai purkaa ja rakentaa uutta?

Jotta voidaan saavuttaa kansainväliset ilmastotavoitteet ja hillitä ilmastonmuutosta on tärkeää vähentää ilmakehää lämmittäviä kasvihuonekaasupäästöjä mahdollisimman pian. Rakennetun ympäristön hiilidioksidipäästöt ovat merkittävässä roolissa vähentämässä ilmastonmuutosta. Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että tehokas keino vähentää päästöjä lähitulevaisuudessa on hyödyntää olemassa olevaa rakennuskantaa. Korjaamalla olemassa olevia rakennuksia saavutetaan ilmastohyötyä verrattuna purkavaan uudisrakentamiseen. Strategia, jossa paljon päästöjä synnytetään tässä hetkessä (ts. investoidaan runsaasti hiiltä energiatehokkaisiin uudisrakennuksiin), jotta voitaisiin saavuttaa pienempiä päästöjä useiden vuosikymmenten päästä, ei palvele tämänhetkisiä ilmastotavoitteita.

Tutkimusaineistossa oli 19 julkaisua ja yhteensä 65 korjaus-uudisrakentamisvertailuparia. Korjaaminen on 60 % aineiston vertailupareista ympäristön kannalta parempi vaihtoehto koko tarkastelujakson ajan. Tarkastelujakson pituudet vaihtelivat 25-75 vuoden välillä. Yhdessä vertailuparissa korjatulla rakennuksella oli ensimmäiset 7 vuotta uudisrakennusta suurempi hiilijalanjälki. Lopuissa 38 % vertailupareista uudisrakennus muuttuu korjaamista vähäpäästöisemmäksi tarkastelujakson aikana. Keskimäärin niin tapahtuu 17 vuoden jälkeen. Vaihteluväli oli yhdestä 55:een vuoteen.

Aineistossa oli kaksi julkaisua (yhteensä 16 vertailuparia), joille purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika eli aika, jolloin uudisrakennuksen päästöt muuttuvat pienemmäksi kuin korjatun rakennuksen, määritettiin tässä diplomityössä primäärienergiankulutuksen perusteella. Näin tehtiin, koska julkaisuissa hiilijalanjälkiarvioinnin tuloksia ei ollut esitetty sellaisella tarkkuudella, että niitä olisi voitu käyttää, mutta primäärienergiankulutus vaikutti kuitenkin olevan suhteessa hiilijalanjäljen kanssa. Kun koko aineiston kaikkien

vertailuparien purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaikoja tarkastellaan yhdessä, erottuvat näiden kahden julkaisun vertailuparien takaisinmaksuajat poikkeuksellisen pieniä. On siis syytä epäillä, että primäärienergiankulutus ei välttämättä olekaan suoraan verrattavissa hiilijalanjälkeen, eikä sen avulla voida tehdä luotettavaa päätelmää uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuajasta. Jos näiden kahden julkaisun vertailuparit jätetään pois aineistosta, on keskimääräinen purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika 34 vuotta. Vaihteluväli on 18-55 vuotta.

Tulosten perusteella purkavalla uudisrakentamisella voidaan siis saavuttaa ilmastohyötyä pitkällä aikavälillä, mutta ei lähitulevaisuudessa. Kysymykseen, miten pitkä on hyväksyttävä purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaika, jotta voitaisiin sanoa uudisrakentamisen olevan korjaamista parempi vaihtoehto, ei ole yksiselitteistä vastausta. Kansainvälisten ilmastotavoitteiden mukaan päästöjä tulisi vähentää lähivuosina merkittävästi, jotta ilmaston lämpeneminen voidaan pysäyttää. Ennusteiden mukaan maailman hiilibudjetti on ylittymässä jo 7-8 vuoden sisällä.

Olemassa olevien rakennusten hyödyntäminen ja uudelleenkäyttö ehkäisee materiaalisidonnaisia päästöjä, jotka muodostuvat jo ennen rakennuksen käyttöönottoa. Tutkimusaineistossa oli uudisrakentamisella yhtä poikkeusta lukuun ottamatta aina suurempi tuote- ja rakentamisvaiheen (A-vaihe) hiilijalanjälki. Korjaamisen A-vaiheen hiilijalanjälki on aineiston vertailupareilla keskimäärin 27 % uudisrakentamisen hiilijalanjäljestä, mediaani on 19 %.

Aineiston korjatuilla rakennuksilla käyttövaiheen (B-vaihe) hiilijalanjälki on puolestaan keskimäärin 49 % suurempi kuin uudisrakennuksella ja mediaani on 127 % uudisrakennukseen verrattuna. Tietyissä aineiston tapauksissa korjatun rakennuksen B-vaiheen päästöt olivat jopa uudisrakennusta alhaisemmat. Näissä tilanteissa vertailuparin valinta ei ollut kuitenkaan aina tasapuolinen tai metodologiassa oli puutteita, jotka jättivät osan korjatun rakennuksen käytön materiaalisidonnaisista päästöistä pois laskuista. Vastaavasti tietyissä tilanteissa korjatun rakennuksen käytön aikainen päästötaso oli moninkertainen verrattuna uudisrakennukseen. Näissä tapauksissa vertailuparin valinta oli epätasapainoinen: toisiinsa verrattiin esimerkiksi vain pieniä korjaustoimenpiteitä ja rakennusmääräyksiä parempaa uudisrakennusta, tai vain uudisrakennusvaihtoehdossa hyödynnettiin paikallista energiantuotantoa, kuten lämpöpumppuja. Osassa tapauksista korjattu rakennus oli rakennusmääräyksiä energiatehokkaampi, mutta sitä verrattiin kuitenkin tavanomaiseen uudisrakennukseen.

Tutkimusaineistossa on nähtävillä heikko trendi, että mitä enemmän korjaamiseen panostetaan eli mitä suurempi hiili-investointi A-vaiheessa tehdään, sitä alhaisemmat käyttövaiheen päästöt ovat suhteessa uudisrakennukseen. Toisaalta joissain tapauksissa hyvinkin pienellä hiili-investoinnilla on saavutettu uudisrakennusta vastaava käytön hiilijalanjälki. Vastaavasti osassa tapauksista suureholla korjaamisen hiili-investoinnilla käytön aikainen hiilijalanjälki oli kuitenkin moninkertainen uudisrakennukseen verrattuna. Osassa aineiston julkaisuissa vaihtoehdot on määritelty niin, että on selkeästi ollut tarkoitus puoltaa jompaakumpaa vaihtoehtoa.

Diplomityön aineiston perusteella korjaamalla olemassa oleva rakennus voidaan saavuttaa yhtä hyvä energiatehokkuus ja käytön aikainen hiilijalanjälki kuin uudisrakennuksella. Kuitenkin tarvittava hiili-investointi tuote- ja rakennusvaiheessa on huomattavasti pienempi. Huomionarvoista on myös, että tavanomaisella rakennusmääräykset täyttävällä uudisrakentamisella ei voida aineiston perusteella saavuttaa korjattua rakennusta alempia elinkaaripäästöjä.

7.2 Korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen hiilijalanjäljen vertaaminen

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin myös sitä, millä tavalla korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista tulisi vertailla toistensa vaihtoehtoina. Kun halutaan tutkia, onko korjaaminen vai purkava uudisrakentaminen ympäristön kannalta mielekkäämpi vaihtoehto, ei laskennassa voida täysin noudattaa samoja periaatteita kuin kahden uudisrakentamisvaihtoehdon vertailussa.

Olemassa olevan rakennuksen korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertailevan hiilijalanjälkilaskennan tekemisessä on tärkeää ottaa huomioon seuraavat seikat:

- 1) Molemmille vaihtoehdoille tulee tarkastella samat elinkaarivaiheet samalla tarkkuustasolla.
- 2) Olemassa olevan rakennuksen purkamisen päästöt tulee lukea mukaan purkavan uudisrakentamisen rakentamisvaiheen päästöihin.
- 3) Korjattavan rakennuksen menneitä elinkaarivaiheita ei tule ottaa mukaan elinkaariarviointiin. Kuitenkin olemassa olevien korjauksessa säilytettävien osien huollosta, korjaamisesta ja vaihdosta syntyvät päästöt korjaamisen jälkeisellä elinkaarella täytyy ottaa huomioon.
- 4) Hiilijalanjälkilaskennan tulosten esittäminen aikajanalla on tärkeää, jotta voidaan hahmottaa päästöjen syntymisajankohta ja määrittää purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika.

- 5) Vaihtoehtojen tulee olla vertailukelpoiset lämmitetyltä nettoalaltaan tai muulta ominaisuudeltaan, jota käytetään hiilijalanjäljen toiminnallisena yksikkönä.
- 6) Paikallisen energiatuotannon ratkaisut on syytä tarkastella molemmille vaihtoehdoille, ei vain toiselle.
- 7) Molempia vaihtoehtoja on järkevää tarkastella yhtä pitkällä tarkastelujaksolla.

7.3 Tulosten ja aineiston laadun arviointi

Julkaisuja, joissa oli annettu hiilijalanjäljen aikajanaesitys valmiina, oli 9 kappaletta (yhteensä 28 vertailuparia). Niille takaisinmaksuaika voitiin määrittää luotettavasti lukemalla kuvaajalta. Suurimmalle osalle aineiston vertailupareista purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaika määritettiin käyttäen yksinkertaistettua laskentamallia (kaava 1), jossa käytön päästökertymä oletetaan lineaariseksi. Mallissa käytön aikaiset materiaalisidonnaiset ja energiankulutuksen päästöt jakautuvat tasaisesti tarkastelujaksolle. Vertailupareja, joihin yksinkertaistetun mallin käyttäminen saattaa aiheuttaa virhettä johtuen siitä, että B-vaiheen materiaalisidonnaiset päästöt on jaettu tasaisesti tarkastelujaksolle, on 17 kappaletta.

Energiankulutuksen päästöihin virhettä syntyy puolestaan julkaisuissa, joissa on oletettu energiantuotannon päästöjen pienentyvän ajan saatossa. Näitä julkaisuja on kuusi kappaletta (yhteensä 13 vertailuparia), mutta niistä puolet esitti tulokset valmiiksi aikajanan avulla, eikä yksinkertaistettua mallia siis tarvinnut käyttää. Lopuissa julkaisuista yksinkertaistetun mallin käyttäminen aiheuttaa virheen ainoastaan yhden vertailuparin purkavan uudisrakentamisen takaisinmaksuaikaan. Yksinkertaistettua mallia käyttämällä päästökäyrät leikkaavat toisensa 34 vuoden jälkeen. Mikäli energiankulutuksen päästöt mallinnettisiin pienemmän energiantuotannon vähähiilistymisolettaman mukaisesti, niin leikkaus tapahtuisi todennäköisesti jo joitain vuosia aikaisemmin (ks. luku 4.2). Muissa vertailupareissa virhettä ei synny, koska käyttövaiheen päästöt ovat yhtä suuret, korjatun rakennuksen käyttövaiheen päästöt ovat uudisrakennusta pienemmät tai uudisrakennuksen A-vaiheen päästöt ovat niin paljon suuremmat, että päästökäyrien leikkauspistettä ei synny tarkastelujakson aikana.

Aineistossa on 13 vertailuparia (Dong ja Enlid & Selvig), joissa energiankäytön päästöjen oletettiin pysyvän samana läpi tarkastelujakson ja isäksi B-vaiheen materiaalisidonnaisia päästöjä ei ollut arvioitu. Näissä tapauksissa yksinkertaistetun takaisinmaksuajan mallin käyttäminen kuvaa hiilijalanjälkikertymää hyvin.

Aineiston julkaisujen määrä on pienehkö (19 kappaletta), mutta vertailuparien määrä on kuitenkin 65 kappaletta. Diplomityön tuloksia tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, että aineisto koostuu useiden eri julkaisuiden laskelmista. Jokaisessa aineiston julkaisussa on hiilijalanjäljen laskennassa käytetty erilaisia menetelmiä ja rajouksia. Julkaisujen tuloksissa on merkittävää hajontaa. Tutkitut rakennukset ovat erityyppisiä, niille on tehty erilaisia korjaustoimenpiteitä ja myös uudisrakentamismuutosten määrityksessä on eroja esimerkiksi energiatehokkuuden ja laajuuden osalta.

Julkaisuista 7 kappaletta on vertaisarvioituja tieteellisiä artikkeleita. Loput julkaisuista ovat konsulttien laatimia laskentaportteja. Mukana on myös yksi opinnäytetyö ja kaksi tutkimushankkeen loppuraporttia. Julkaisujen laatu ja tarkkuustaso vaihtelevat suuresti. Kaikissa julkaisuissa ei selkeästi kerrota, millaisia laskentamenetelmiä, tietokantoja ja rajoituksia oli käytetty. Myös korjaustoimenpiteiden ja uudisrakentamismuutosten kuvaukset ovat osassa julkaisuista epämääräisiä. Osassa julkaisuista hiilijalanjälkilaskennan tulokset on esitetty epätarkasti esimerkiksi kuvaajien avulla, osassa hyvinkin tarkasti numeerisesti. Osassa julkaisuista oli havaittavissa metodologisia puutteita, joilla saattaa olla vaikutusta lopputulokseen. Erityisesti useita vertailupareja sisältävät julkaisut, joissa oli metodologisia puutteita, saattavat vääristää lopputuloksia.

Aineiston julkaisut ovat vuosilta 2005-2021. Rakennusten ympäristövaikutusten arviointi, hiilijalanjälkilaskelmiin hyödynnettävät työkalut ja päästötietokannat ovat kehittyneet voimakkaasti lähivuosina. Vanhempien julkaisujen tuloksia ei siis voida välttämättä pitää yhtä luotettavina kuin tuoreempien julkaisuiden. Koska rakennusten energiatehokkuuteen on kiinnitetty erityistä huomiota lähiaikoina, on uudisrakennusten käyttövaiheen hiilijalanjälki pienentynyt suhteessa tuote- ja rakentamismuutosten päästöihin. Energiatehokkuusvaatimusten tiukentuminen on vaikuttanut esimerkiksi eristyspaksuuksiin, ja sitä kautta kasvattanut uudisrakennusten A-vaiheen hiilipäästöjä. Tämä koskee erityisesti kylmiä ilmastoalueita, joita myös tässä diplomityössä on tarkasteltu. Toisaalta myös peruskorjauksen yhteydessä vaaditaan rakennusten energiatehokkuuden parantamista.

Rakennustavat ja rakennusmääräykset vaihtelevat eri maissa. Aineiston julkaisuista 14 kappaletta (yhteensä 33 vertailuparia) tarkasteli pohjoismaisia rakennuksia ja niiden rakennustapaa voidaan pitää samankaltaisena kuin Suomessa. Muissa maissa, erityisesti Kiinassa, Kanadassa ja Yhdysvalloissa, sijainneet rakennukset saattavat puolestaan olla rakennustavaltaan suomalaisesta tavasta poikkeavia. Aineiston norjalaisissa tutkimuksissa puolestaan korostui, että korjauksissa käytettiin ehkäpä suomalaisessa kontekstissa vielä vieraita menetelmiä, kuten jäteveden

lämmöntalteenottoratkaisuja. Neljässä aineiston viidestä norjalaisista julkaisusta olivat korjatun rakennuksen käytön aikaiset päästöt pienemmät tai yhtä suuret kuin uudisrakennuksella. Käytön aikaiseen hiilijalanjälkeen merkittävin vaikuttava tekijä on käytettävät energialähteet. Niiden käyttöä ohjaavat poliittiset päätökset, kuten energiamuotojen päästökertoimet, jotka riippuvat maasta ja alueesta.

7.4 Jatkotutkimusehdotukset

Koska aineiston koko oli tässä diplomityössä pieni, olisi tarpeellista tehdä vastaavaa tutkimusta laajemmalla aineistolla. Silloin voitaisiin saada luotettavampia ja yleistettävämpiä tuloksia. Haasteena on se, että korjaamista ja purkavaa uudisrakentamista vertailevia hiilijalanjälkiarviointeja on tehty melko vähän. Toisaalta niiden määrä tulee todennäköisesti lisääntymään tulevaisuudessa, koska rakennusten hiilijalanjäljen arviointia veloitetaan yhä enemmän eri maiden lainsäädännössä.

Tässä työssä aineistoa oli rajattu myös ilmastoalueen mukaan. Tutkimus, jossa olisi myös muualla kuin kylmissä ilmastoissa sijaitsevia rakennuksia, tarjoaisi lisää tietoa siitä, millainen merkitys ilmastolla on rakennusten korjaamisen ja purkavan uudisrakentamisen hiilijalanjälkeen sekä purkavan uudisrakentamisen hiili-investoinnin takaisinmaksuaikaan.

LÄHTEET

- Adams, M., Burrows, V., Richardson, S., Drinkwater, J., Gamboa, C., Collin, C., Le Den, X., Ostefeld Riemann, L., Porteron, S., & Qvist Secher, A. (2019). *Bringing embodied carbon upfront. Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon.*
- Antikainen, R. (2010). *Elinkaarimetodiikkojen nykytila, hyvät käytännöt ja kehitystarpeet.*
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Data Descriptor: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5, 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Berg, F., & Fuglseth, M. (2018). Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway. *Journal of Architectural Conservation*, 24(2), 152–167. <https://doi.org/10.1080/13556207.2018.1493664>
- Detting, J., Pike, A., & Humbert, S. (2012). *Quantifying the Value of Building Reuse. A Life Cycle Assessment of Rehabilitation and New Construction.*
- Dong, B., Kennedy, C., & Pressnail, K. (2005). Comparing life cycle implications of building retrofit and replacement options. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32(6), 1051–1063. <https://doi.org/10.1139/105-061>
- Enlid, E. (2018). *Ulsholtveien 31: Klimagassberegning.*
- Enlid, E., & Selvig, E. (2018). *Klimagassnotat for FutureBuilt-prosjekter som benytter BREEAM-NOR Prosjektnavn: Grensesvingen 7 Hovedresultater og sammenligning av alternativer. 1–33.*
- Eskilsson, P. (2015). *Renovate or rebuild? - a comparison of the climate impact from renovation compared to demolition and new construction for a multi-dwelling building built in the era of the "Million Programme" using lifecycle assessment. June, 60.* http://bioenv.gu.se/digitalAssets/1534/1534981_peter-eskilsson.pdf
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., & Dorland, R. Van. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, & H. L. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 129–234). Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.20892/j.issn.2095-3941.2017.0150>
- Francart, N., Widström, T., & Malmqvist, T. (2021). Influence of methodological choices on maintenance and replacement in building LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01985-z>
- Frischknecht, R., Ramseier, L., Yang, W., Birgisdottir, H., Chae, C. U., Lützkendorf, T., Passer, A., Balouktsi, M., Berg, B., & Bragança, L. (2020). Comparison of the greenhouse gas emissions of a high-rise residential building assessed with different national LCA approaches – IEA EBC Annex 72. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588, 022029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/2/022029>
- Gaia. (2020). *Case-tarkastelut.* [RAKLI:n vähähiilisyden tiekartta]. [julkaisematon kalvosetti]. Helsinki: RAKLI.
- Gantner, J. (21.10.2012). B-01 Emissions of dangerous substances to indoor air during the use stage. EeBGuide. Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative. Verkkosivu. Viitattu 24.3.2022. https://www.eebguide.eu/?page_id=226
- Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. (2002). *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. Ila: Guide. Iib: Operational annex. III: Scientific background.* Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.
- Habert, G., Röck, M., Steininger, K., Lupisek, A., Birgisdottir, H., Desing, H., Chandrakumar, C., Pittau, F., Passer, A., Rovers, R., Slavkovic, K., Hollberg, A., Hoxha, E., Jusselme, T., Nault,

- E., Allacker, K., & Lützkendorf, T. (2020). Carbon budgets for buildings: harmonising temporal, spatial and sectoral dimensions. *Buildings and Cities*, 1(1), 429–452. <https://doi.org/10.5334/bc.47>
- Heinonen, J., Säynäjoki, A., & Junnila, S. (2011). A longitudinal study on the carbon emissions of a new residential development. *Sustainability*, 3(8), 1170–1189. <https://doi.org/10.3390/su3081170>
- Hollberg, A., Kiss, B., Röck, M., Soust-Verdaguer, B., Wiberg, A. H., Lasvaux, S., Galimshina, A., & Habert, G. (2021). Review of visualising LCA results in the design process of buildings. *Building and Environment*, 190(December 2020), 107530. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107530>
- Horváth, S. E., & Szalay, Z. (2012). Decision-making case study for retrofit of high-rise concrete buildings based on life cycle assessment scenarios. In A. Ventura (Ed.), *International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction – Civil engineering and buildings* (Issue 1, pp. 116–124). RILEM Publications. <http://www.rilem.net/images/publis/b251ad99788b55bb55936873e7211454.pdf>
- Hu, M. (2017). Balance between energy conservation and environmental impact: Life-cycle energy analysis and life-cycle environmental impact analysis. *Energy and Buildings*, 140, 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.076>
- Huovila, P., Ala-Juusela, M., Melchert, L., Pouffary, S., Cheng, C.-C., Urge-Vorsatz, D., Koepfel, S., Svenningsen, N., & Graham, P. (2009). *Buildings and Climate Change: Summary for Decision-Makers* (J. Yamamoto & P. Graham (eds.)).
- Huuhka, S., Vainio, T., Moisio, M., Lampinen, E., Knuutinen, M., Bashmakov, S., Köliö, A., Lahdensivu, J., Ala-Kotila, P., & Lahdenperä, P. (2021). *Purkaa vai korjata? Hiilijalanjälkivaikutukset, elinkaarikustannukset ja ohjauskeinot*. Ympäristöministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-221-1>
- IEA (International Energy Agency), & UNEP (the United Nations Environment Program). (2018). *2018 Global Status Report: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*.
- IPCC. (2018). *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, (T. W. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor (ed.)). <https://doi.org/10.1038/291285a0>
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In R. Y. and B. Z. (eds. . Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi (Ed.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jäättvuori, L., Tepponen, M., & Varteva, K. (2020). *Aluerakentamisen vaihtoehdot hiilijalanjäljen näkökulmasta. Hiilijalanjälkivertailu laajassa peruskorjaushankkeessa vs. purkavassa täydennysrakentamisessa kahdella 1960- ja 1970- luvuilla rakennetulla asuinalueella pääkaupunkiseudulla*.
- Koljonen, T., Soimakallio, S., Lehtilä, A., Honkatukia, J., Hildén, M., Rehunen, A., Saikku, L., Salo, M., Savolahti, M., Tuominen, P., & Vainio, T. (2019). *Pitkän aikavälin kokonaispäästökehitys*. http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161409/24-2019-Pitkan_aikavalin_kokonaispaastokehitys.pdf
- Kuittinen, M. (2019). *Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä*. Ympäristöministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-029-3>
- Kuittinen, M., & Häkkinen, T. (2020). Reduced carbon footprints of buildings: new Finnish standards and assessments. *Buildings and Cities*, 1(1), 182–197. <https://doi.org/10.5334/bc.30>
- Moncaster, A. M., Nygaard, F., Malmqvist, T., Houlihan, A., & Birgisdottir, H. (2019). Widening understanding of low embodied impact buildings: Results and recommendations from 80 multi-national quantitative and qualitative case studies. *Journal of Cleaner Production*, 235, 378–393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.233>

- Nöjd, K. (2019a). *Hiilijalanjäljen laskentaraaportti: Heka Malmi Karviaistie 12*. Sweco Rakennetekniikka.
- Nöjd, K. (2019b). *Hiilijalanjäljen laskentaraaportti: Heka Malmi Saniaistie 3*. Sweco Rakennetekniikka.
- Pasanen, P., Bruce, T., & Sipari, A. (2014). *Ympäristö- ja elinkaarimittareiden hyödyntäminen ARA-kohteissa*. https://www.oneclicklca.com/wp-content/uploads/2017/11/Bionova_ARA_ymparisto_ja_elinkaarimittarit_25helmi2014_final.pdf
- Puurunen, E. (2020). *Ultramariinikuja 4: Analyysi olemassa olevan toimistorakennuksen hiilirasitteesta ja tämän kompensoimisesta uudisrakentamisessa*.
- Rønning, A., & Vold, M. (2008). *Miljøvurdering av nytt hovedkontor for SpareBank 1 SMN. Sammenligning av to alternative løsninger*.
- Säynäjoki, A., Heinonen, J., & Junnila, S. (2012). A scenario analysis of the life cycle greenhouse gas emissions of a new residential area. *Environmental Research Letters*, 7(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034037>
- SFS (Suomen Standardoimisliitto). (2006). *SFS-EN ISO 14040. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet*. Suomen Standardoimisliitto.
- SFS (Suomen Standardoimisliitto). (2012). *SFS-EN 15978:2011 Sustainability of Construction Works. Assessment of Environmental Performance of Buildings. Calculation Method*. European Committee for Standardization.
- SFS-EN 15804:2012 + A2:2019. *Kestävä rakentaminen. Rakennustuotteiden ympäristöselosteet. Laadinnan yleissäännöt*, (2019).
- Soimakallio, S. (2020). *Specific emissions for district heat, district cooling and electricity used in buildings*. <https://co2data.fi/reports/REPORT-ENERGY-SERVICE-02022021.pdf>
- Ulvan, V. S. (2020). *Gjenbruk av enebolig som klimatiltak* (Issue 915).
- YM (Ympäristöministeriö). (2021a). *HE Kaavoitus- ja rakentamislaki. Lausuntopyyntöön liite*. <https://www.lausuntopalvelu.fi/FI/Proposal/Participation?proposallid=17b78d7d-ad1b-41fb-8b5b-a9e7e0c798fd&proposallanguage=da4408c3-39e4-4f5a-84db-84481bafc744>
- YM (Ympäristöministeriö). (2021b). *Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä 2021-luonnos lausuntokierrosta varten*.
- Zhang, X., & Wang, F. (2017). Analysis of embodied carbon in the building life cycle considering the temporal perspectives of emissions: A case study in China. *Energy and Buildings*, 155, 404–413. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.049>

LIITE A: AINEISTOKORTIT

Julkaisu 1

Kirjoittajat, vuosi Nimi	Berg & Fuglseth, 2018 Life cycle assessment and historic buildings: energy- efficiency refurbishment versus new construction in Norway
Julkaisutyyppi Avainsanat	Artikkeli/Journal of Architectural Conservation Building conservation; Climate change; Energy efficiency; Historic buildings; Life cycle assessment (LCA)
Sanat LCA:lle Sanat purulle + uudisrakennukselle Sanat korjaukselle	Life cycle assessment (LCA) demolition, new construction building conservation, refurbishment
Vertailutyyppi	Olemassa olevan omakotitalon energiatohokkuuskorjaus vs. määräysten mukainen uudistalo
Rakennustyyppi	omakotitalo
Rakennusvuosi	1936
Korjausvuosi	2014-2015
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Moss, Norja / Stord, Norja (uudisvaihtoeto)
Ilmasto	Dfb, uudis Cfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	60
Toiminnallinen yksikkö	m ² lämmitetty nettoala/v, rakennus/60 vuotta
Laskentatyökalut	SimaPro 8.3.1, ReCiPe Midpoint characterisation method, Simien 6.000 (energiamallinnus)
Päästötietolähteet	Ecoinvent 3.1
Tulosten esitystapa	taulukko, palkkikaavio, aikajana



Julkaisu 1

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

B5

B6

B7

C1-4

**Olemassa olevan
rakennuksen purku**

Energiantuotannon
vähähiilistyminen

	kgCO ₂ -e/m ² /vuosi (taulukosta, B6 palkkikaavioista)	A-vaihe	B4	B6	B-vaihe yht.	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	"Villa Dammen" 111 m ² , 1936, 2 kerrosta, eristämätön puurakenne, puuverhoilu, betonikellari, öljylämmitys + sähköpatterit ja ilma-ilmalämpöpumppu, 427 kWh/m ²	-	0,9	60	60,9	0,8	61,7	0 %
korjaus	Varaava takka, jolla esilämmitetään lämmin käyttövesi, lämpöpumppu, jäteveden LTO, ullakon ja alapohjan lisäeristys, ikkunoiden ja ovien tiivistys, putkien lisäeristys, 287 kWh/m ² , toteutettu 2014-2015	0,4	0,9	18	18,9	0,9	20,2	2 %
uudis	EPS-eristetty maanvarainen pohjalaatta, puurunko, mineraalivillaeriste, lämmitys sähköllä ja modernilla puutakalla, TEK10 rakennuskoodin mukainen. Lisälähteen mukainen rakennus, jonka koko on muokattu vastaamaan Villa Dammenia. (Lisälähde: Dahlstrøm (2011). Life Cycle Assessment of a Single Family Residence built to Passive House Standard, <i>energiankulutus 112,5 kWh/m². Rakennus sijaitsee Stordissa (Cfb)</i>)	4,6	1,7	11	12,7	1,1	18,4	25 %

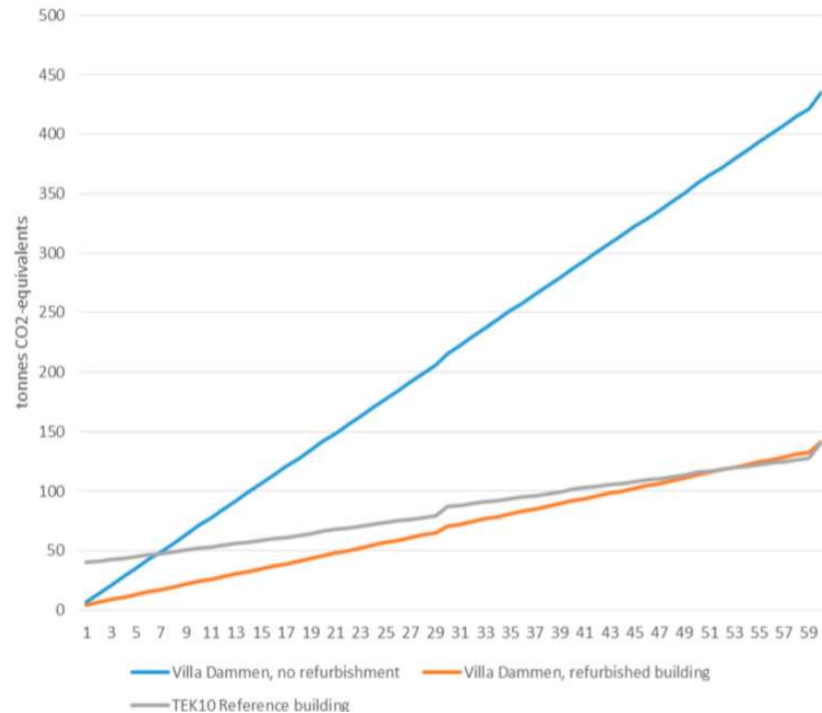
Julkaisu 1

kgCO ₂ -e/m ² /60 vuotta	A-vaihe	B4	B6	B-vaihe yht.	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	-	54	3 600	3 654	48	3 702	0 %
korjaus	24	54	1 080	1 134	54	1 212	1,98 %
uudis	276	102	660	762	66	1 104	25,0 %

kgCO ₂ -e/rakennus/60 vuotta (taulukosta)	A-vaihe	B4	B6	B-vaihe yht.	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	-	6 100	399 600	405 700	5 900	411 600	0 %
korjaus	2 600	6 300	119 880	126 180	6 100	134 880	1,93 %
uudis	32 400	12 100	73 260	85 360	7 400	125 160	25,9 %

kgCO ₂ -e/rakennus/60 vuotta (laskettu *111 m ²)	A-vaihe	B4	B6	B-vaihe yht.	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
uudis	9 %			149 %		110 %	52

Päästökertymä



Julkaisu 2

Kirjoittajat, vuosi	Dettling, Pike & Humbert, 2012
Nimi	Quantifying the Value of Building Reuse. A Life Cycle Assessment of Rehabilitation and New Construction raportti/ National Trust of Historic Preservation (USA), kaikki tiedostot saatavilla: https://forum.savingplaces.org/viewdocument/the-greenest-building-quantifying
Julkaisutyyppi	-
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	life cycle assessment
Sanat purulle + uudisrakennukselle	new construction
Sanat korjaukselle	rehabilitation
Vertailutyyppi	korjaaminen+laajennus vs. uudisrakennus eri tonteilla
Rakennustyyppi	koulu
Rakennusvuosi	1924
Korjausvuosi	2008
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	2008
Sijainti	Portland, Phoenix, Chicago, Atlanta, USA
Ilmasto	Portland Csb, Phoenix Bwh, Chigago Dfa, Atlanta Cfa
Ympäristövaikutus	climate change (GWP), aquatic acidification, aquatic eutrophication; human health: human toxicity, ionising radiation, ozone layer depletion, photochemical oxidation, respiratory effects; resources: mineral extraction, non-renewable energy; ecosystem quality: aquatic ecotoxicity, land occupation, terrestrial acidification & nitrification, terrestrial ecotoxicity
Laskentajakso	75
Toiminnallinen yksikkö	ft2 usable interior space per 75 years
Laskentatyökalut	taulukkolaskenta (Excel), SimaPro 7.2/ IMPACT 2002+ v2, IPCC 2007 (GWP)
Päästötietolähteet	Ecoinvent 2.2



REHABILITATION and RETROFIT



NEW CONSTRUCTION

Julkaisu 2

Tulosten esitystapa

Palkkikaavio

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

B5

B6

Energiankulutus perustuu kansalliseen kyselytutkimukseen täydennettynä muilla lähteillä: *Commercial Building Energy Consumption Survey* (U.S. Energy Information Administration, 2003), *Sensitivity Analysis: Comparing the Impact of Design, Operation, and Tenant Behavior on Building Energy Performance* (New Buildings Institute, 2011), *Northwest Commercial Building Stock Assessment* (Cadmus Group, Inc., 2009), *User Guide for PGE Energy Use Index* (Oregon Department of Energy, State Energy Efficiency Design (SEED) Program, 2006)

B7

C1-4

vain C1

Olemassa olevan rakennuksen purku

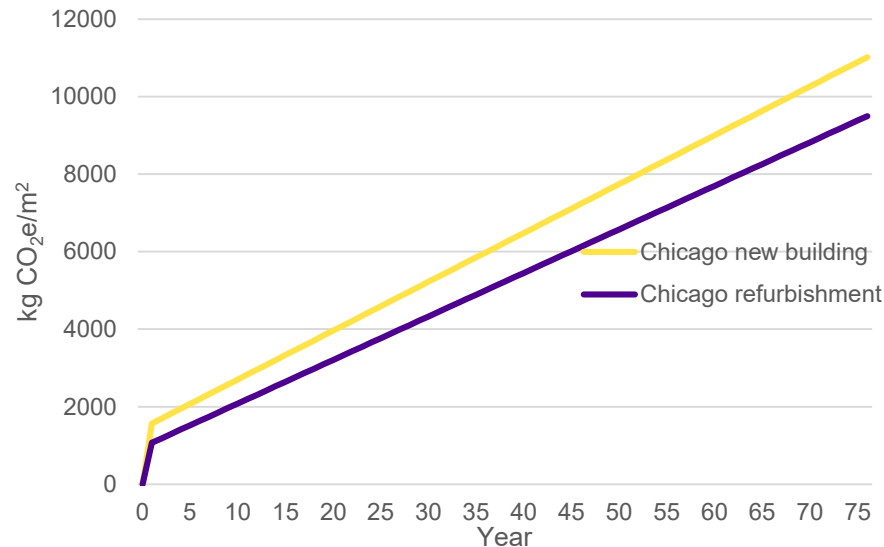
vain työmaatoiminnot

Energiantuotannon vähähiilistyminen

Julkaisu 2

		kg CO ₂ e/m ² (luettu palkkikaaviosta)						B-		A:n
		A1-A3	A4	A5	A-vaihe	B4	B6	vaihe	YHT.	osuus
Chicago koulu										
korjaus	rakennettu 1924, korjaus toteutettu 2008, 60121 ft ² (5585 m ²) + 37626 ft ² (3496 m ²) laajennus (yht. 9081 m ²), betoni- ja teräsrakenteinen keittiön uusiminen, vanhojen luokkahuoneiden kunnostus, uusien luokkahuoneiden rakennus, lämmitys/jäähdytys puhallinkonvektoreilla läsnäoloanturit, katto R13, ikkunat U0,32 matalaemissiivisellä pinnoituksella, kaasulämmityksen hyötysuhde 93%	535	-	535	1 070	595	7 831	8 426	9 496	11 %
uudis1	rakennettu 2008, betonirakenteinen (tilt-up-elementit), 80837 ft ² (7510 m ²) lämmitys/jäähdytys puhallinkonvektoreilla, joissa LTO energiatehokas valaistus, seinät R13, katto R20, ikkunat U0,32 matalaemissiivisellä pinnoituksella, kaasulämmityksen hyötysuhde 93%	1 081	108	378	1 567	1 621	7 831	9 452	11 019	14 %
korjaus vs.					A-vaihe		B-vaihe	YHT.	TMA	
uudis1					68 %	37 %	89 %	86 %	-	

Päästökertymä



Julkaisu 2

Kirjoittajat, vuosi	Dettling, Pike & Humbert, 2012
Nimi	Quantifying the Value of Building Reuse. A Life Cycle Assessment of Rehabilitation and New Construction
Julkaisutyyppi	raportti/ National Trust of Historic Preservation (USA), kaikki tiedostot saatavilla: https://forum.savingplaces.org/viewdocument/the-greenest-building-quantifying
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	life cycle assessment
Sanat purulle + uudisrakennukselle	new construction
Sanat korjaukselle	rehabilitation
Vertailutyyppi	korjaaminen/käyttötarkoituksen muutos vs. uudisrakennus eri tonteilla
Rakennustyyppi	kerrostalo
Rakennusvuosi	1906, laajennettu 1927
Korjausvuosi	2006
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	2012
Sijainti	Portland, Phoenix, Chicago, Atlanta, USA
Ilmasto	Portland Csb, Phoenix Bwh, Chigago Dfa, Atlanta Cfa
Ympäristövaikutus	climate change (GWP), aquatic acidification, aquatic eutrophication; human health: human toxicity, ionising radiation, ozone layer depletion, photochemical oxidation, respiratory effects; resources: mineral extraction, non-renewable energy; ecosystem quality: aquatic ecotoxicity, land occupation, terrestrial acidification & nitrification, terrestrial ecotoxicity
Laskentajakso	75
Toiminnallinen yksikkö	ft2 usable interior space per 75 years
Laskentatyökalut	taulukkolaskenta (Excel), SimaPro 7.2/ IMPACT 2002+ v2, IPCC 2007 (GWP)



REHABILITATION and RETROFIT



WAREHOUSE REHABILITATION and RETROFIT

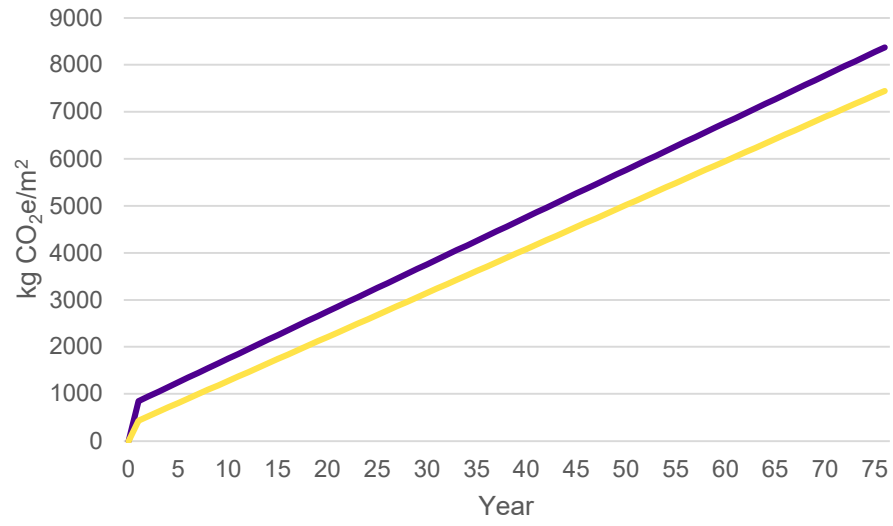
Julkaisu 2

uudis1	rak. 2012. 6 kerrosta, 167180 ft2 asuntoja ja 19640 ft2 myymälää, betoni, CMU ja puu, 30 % ikkunapinta-alaa, asunnoissa ilma-ilmalämpöpumput ikkuna-ala 30 %, liiketilaa, vinyyli-ikkunat, kermikate, julkisivu: tiili ja metallipaneeli, 209 huoneistoa, R13 seinäeristys, ilmanvuoto 0,35 1/h, käyttöveden lämmitys kaasulla hyötysuhteella 80 %	686	53	106	845	1 320	6 210	7 530	8 375	10 %
korjaus1 vs.					A-vaihe			B-vaihe	YHT.	TMA
uudis1					51 %	61 %		92 %	89 %	-
Chicago varaston muutos kerrostaloksi	kg CO2e/m2 (luettu palkkikaaviosta)	A1-A3	A4	A5	A- vaihe	B4	B6	B- vaihe	YHT.	A:n osuus
korjaus2	rak. 1923, korjattu 2004, varastorakennus muutettu asunnoiksi, 153 loft-asuntoa, kokonaisvaltainen tilamuutos, julkisivun uudistus, korkealaatuiset ikkunat, uudet hissit ja portaat, ikkuna-ala 28 %, sähkö- sekä ilmalämmitys, suoraohyryjäähdytys taajuusmuuntajat, R13 seinäeristys, R20 katon eristys	534	53	320	907	694	6 210	6 904	7 811	12 %
uudis1	rak. 2012. 6 kerrosta, 167180 ft2 asuntoja ja 19640 ft2 myymälää, betoni, CMU ja puu, 30 % ikkunapinta-alaa, asunnoissa ilma-ilmalämpöpumput ikkuna-ala 30 %, liiketilaa, vinyyli-ikkunat, kermikate, julkisivu: tiili ja metallipaneeli, 209 huoneistoa, R13 seinäeristys, ilmanvuoto 0,35 1/h, käyttöveden lämmitys kaasulla hyötysuhteella 80 %	686	53	106	845	1 320	6 210	7 530	8 375	10 %
korjaus2 vs.					A-vaihe			B-vaihe	YHT.	TMA
uudis1					107 %	53 %		92 %	93 %	7

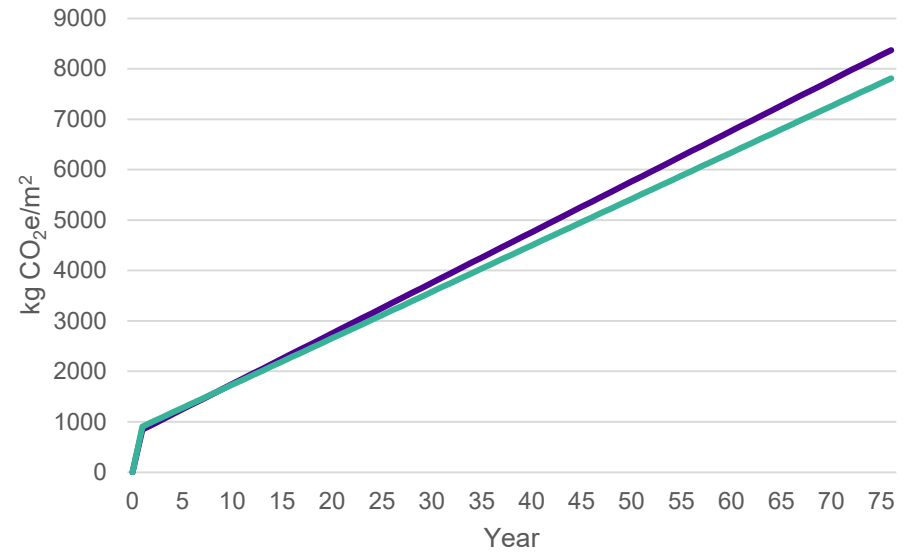
*Korjaus on 7 vuoden päästä vähäpäästöisempi

Julkaisu 2

Päästökertymä



Chicago new building Chicago refurbishment



Chicago new building Chicago warehouse to multifamily residential

Julkaisu 2

Kirjoittajat, vuosi	Dettling, Pike & Humbert, 2012
Nimi	Quantifying the Value of Building Reuse. A Life Cycle Assessment of Rehabilitation and New Construction raportti/ National Trust of Historic Preservation (USA), kaikki tiedostot saatavilla: https://forum.savingplaces.org/viewdocument/the-greenest-building-quantifying
Julkaisutyyppi	
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	life cycle assessment
Sanat purulle + uudisrakennukselle	new construction
Sanat korjaukselle	rehabilitation
Vertailutyyppi	korjaaminen vs. uudisrakennus eri tonteilla
Rakennustyyppi	omakotitalo
Rakennusvuosi	1896
Korjausvuosi	2009
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	2011
Sijainti	Portland, Phoenix, Chicago, Atlanta, USA
Ilmasto	Portland Csb, Phoenix Bwh, Chigago Dfa, Atlanta Cfa
Ympäristövaikutus	climate change (GWP), aquatic acidification, aquatic eutrophication; human health: human toxicity, ionising radiation, ozone layer depletion, photochemical oxidation, respiratory effects; resources: mineral extraction, non-renewable energy; ecosystem quality: aquatic ecotoxicity, land occupation, terrestrial acidification & nitrification, terrestrial ecotoxicity
Laskentajakso	75
Toiminnallinen yksikkö	ft ² usable interior space per 75 years
Laskentatyökalut	taulukkolaskenta (Excel), SimaPro 7.2/ IMPACT 2002+ v2, IPCC 2007 (GWP)
Päästötietolähteet	Ecoinvent 2.2
Tulosten esitystapa	Palkkikaavio



NEW CONSTRUCTION



REHABILITATION and RETROFIT

Julkaisu 2

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

Vain uusille materiaaleille

B5

B6

Energiankulutus perustuu kansalliseen kyselytutkimukseen
Residential Energy Consumption Survey (RECS) (U.S. Energy
Information Administration (EIA), 2003)

B7

C1-4

vain C1

**Olemassa olevan
rakennuksen purku**

vain työmaatoiminnot

Energiantuotannon
vähähiilistyminen

		kg CO2e/m2 (luettu palkkikaaviosta)	A1-A3	A4	A5	A-vaihe	B4	B6	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
korjaus	rakennettu 1896, korjattu 2009, 2360 ft2 (219 m2) puurakenne, keittiön laajennus, 2 lisäkylpyhuonetta, kaasulämmitys, rakenteiden tiivistys, ikkuna-ala 14% <i>kaasulämmityksen hyötysuhde 92%, yläpohja R30, seinät R13, vaipan ilmatiivisyys, eristetyt IV-kanavat, ikkunat U=0,32</i>		338	34	-	372	912	4 314	5 226	5 598	7 %
uudis	rak. 2011, 2479 ft2 (230 m2) puurakenne, kaasulämmitys, koneellinen ilmanvaihto, eteläikkunoissa aurinkofilmi, ikkuna-ala 18%, kaasukattila ja ilmastointilaite <i>energiatehokas valaistus, ohjelmoitavat termostaatit, kaasulämmityksen hyötysuhde 92%, eristetyt IV-kanavat, yläpohja R30, seinät R13, vaipan ilmatiivisyys, ikkunat U=0,32 + matalaemissiivinen pinnoite, LKV-putket eristetty</i>		672	67	34	773	1 177	4 314	5 491	6 264	12 %

Julkaisu 2

korjaus vs.
uudis

A-vaihe

48 %

78 %

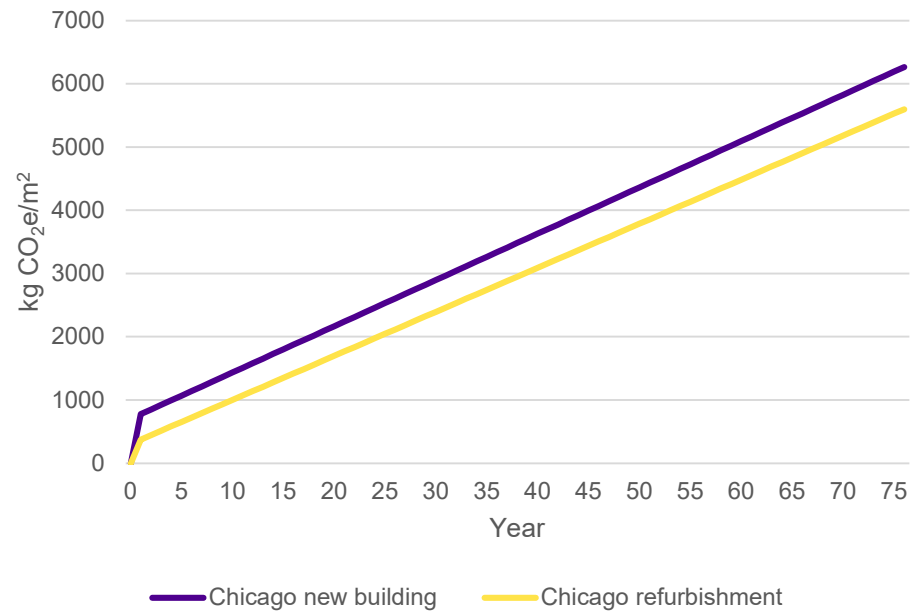
B-vaihe YHT.

95 %

TMA

89 % -

Päästökertymä



Julkaisu 2

Kirjoittajat, vuosi Nimi	Dettling, Pike & Humbert, 2012 Quantifying the Value of Building Reuse. A Life Cycle Assessment of Rehabilitation and New Construction raportti/ National Trust of Historic Preservation (USA), kaikki tiedostot saatavilla: https://forum.savingplaces.org/viewdocument/the-greenest-building-quantifying
Julkaisutyyppi	
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	life cycle assessment
Sanat purulle + uudisrakennukselle	new construction
Sanat korjaukselle	rehabilitation
Vertailutyyppi	korjaaminen+laajennus vs. uudisrakennus eri tonteilla
Rakennustyyppi	sekakäyttöinen rakennus "urban village mixed use"
Rakennusvuosi	1880
Korjausvuosi	2010
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	2009
Sijainti	Portland, Phoenix, Chicago, Atlanta, USA
Ilmasto	Portland Csb, Phoenix Bwh, Chigago Dfa, Atlanta Cfa
Ympäristövaikutus	climate change (GWP), aquatic acidification, aquatic eutrophication; human health: human toxicity, ionising radiation, ozone layer depletion, photochemical oxidation, respiratory effects; resources: mineral extraction, non-renewable energy; ecosystem quality: aquatic ecotoxicity, land occupation, terrestrial acidification & nitrification, terrestrial ecotoxicity
Laskentajakso	75
Toiminnallinen yksikkö	ft2 usable interior space per 75 years
Laskentatyökalut	taulukkolaskenta (Excel), SimaPro 7.2/ IMPACT 2002+ v2, IPCC 2007 (GWP)



REHABILITATION and RETROFIT



NEW CONSTRUCTION

Julkaisu 2

Päästötietolähteet Ecoinvent 2.2
Tulosten esitystapa Palkkikaavio

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

B5

B6

Energiankulutus perustuu kansalliseen kyselytutkimukseen täydennettynä muilla lähteillä: Commercial Building Energy Consumption Survey (U.S. Energy Information Administration, 2003), Sensitivity Analysis: Comparing the Impact of Design, Operation, and Tenant Behavior on Building Energy Performance (New Buildings Institute, 2011), Northwest Commercial Building Stock Assessment (Cadmus Group, Inc., 2009), User Guide for PGE Energy Use Index (Oregon Department of Energy, State Energy Efficiency Design (SEED) Program, 2006)

B7

C1-4

vain C1

Olemassa olevan rakennuksen purku

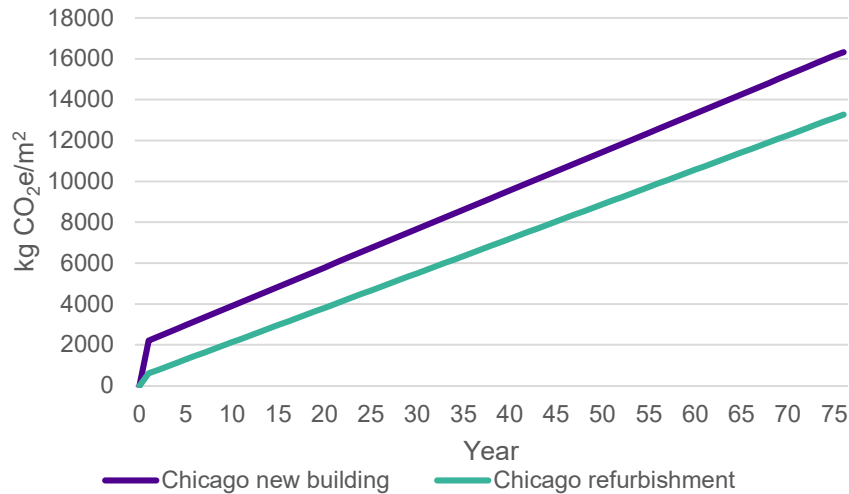
vain työmaatoiminnot

Energiantuotannon vähähiilistyminen

Julkaisu 2

Chicago sakakäyttöinen rakennus	kg CO ₂ e/m ² /75v, arvot luettu pylväskaaviosta	A1-A3	A4	A5	A-vaihe	B4	B6	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen	rak. 1880, 2 kerrosta, 21 785 ft ² (2024 m ²) toimisto, ravintola, asuntoja, maanvarainen laatta, kivirakenteinen, tiiliverhoilu, ikkuna-ala 34%									
korjaus	korjattu v. 2010, energiatehokkuuskorjauksia sis. maalämpö-/kylmäjärjestelmän lisäys, lisäeristys, uudet ikkunat, julkisivun entisöinti läsnäoloanturit, portaaton IV, 297 kWh/m ² (USA 2012)	228	76	304	608	532	12 129	12 661	13 269	5 %
uudis1	rak. 2009, 2 kerrosta, 22 975 ft ² (2134 m ²), toimisto ja liiketilaa, teräsrakenne, betoninen perustus, maanvarainen laatta ja "slab on metal deck" (metallikatteen päälle valettu betonilaatta), ikkuna-ala 34%, tiilijulkisivu energiatehokas valaistus ja valaistuksen ohjaus, portaaton IV, ilmanvuoto 0,7 l/h, seinät R13, katto R20, ikkunat U0,32, 297 kWh/m ² (USA 2012)	1 696	74	442	2 212	1 991	12 129	14 120	16 331	14 %
korjaus vs. uudis1		13 %	103 %	69 %	A-vaihe 27 %	27 %	100 %	B-vaihe 90 %	YHT. 81 %	TMA -

Päästökertymä



Julkaisu 2

Kirjoittajat, vuosi	Dettling, Pike & Humbert, 2012
Nimi	Quantifying the Value of Building Reuse. A Life Cycle Assessment of Rehabilitation and New Construction raportti/ National Trust of Historic Preservation (USA), kaikki tiedostot saatavilla: https://forum.savingplaces.org/viewdocument/the-greenest-building-quantifying
Julkaisutyyppi	
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	life cycle assessment
Sanat purulle + uudisrakennukselle	new construction
Sanat korjaukselle	rehabilitation
Vertailutyyppi	korjaaminen/käyttötarkoituksen muutos vs. uudisrakennus eri tonteilla
Rakennustyyppi	toimisto
Rakennusvuosi	1929
Korjausvuosi	2007
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	2008
Sijainti	Portland, Phoenix, Chicago, Atlanta, USA
Ilmasto	Portland Csb, Phoenix Bwh, Chigago Dfa, Atlanta Cfa
Ympäristövaikutus	climate change (GWP), aquatic acidification, aquatic eutrophication; human health: human toxicity, ionising radiation, ozone layer depletion, photochemical oxidation, respiratory effects; resources: mineral extraction, non-renewable energy; ecosystem quality: aquatic ecotoxicity, land occupation, terrestrial acidification & nitrification, terrestrial ecotoxicity
Laskentajakso	75
Toiminnallinen yksikkö	ft2 usable interior space per 75 years
Laskentatyökalut	taulukkolaskenta (Excel), SimaPro 7.2/ IMPACT 2002+ v2, IPCC 2007 (GWP)



REHABILITATION and RETROFIT



WAREHOUSE REHABILITATION and RETROFIT

Julkaisu 2

Päästötietolähteet Ecoinvent 2.2
Tulosten esitystapa Palkkikaavio

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

Vain uudet materiaalit

B5

B6

Energiankulutus perustuu kansalliseen kyselytutkimukseen täydennettynä muilla lähteillä: *Commercial Building Energy Consumption Survey* (U.S. Energy Information Administration, 2003), *Sensitivity Analysis: Comparing the Impact of Design, Operation, and Tenant Behavior on Building Energy Performance* (New Buildings Institute, 2011), *Northwest Commercial Building Stock Assessment* (Cadmus Group, Inc., 2009), *User Guide for PGE Energy Use Index* (Oregon Department of Energy, State Energy Efficiency Design (SEED) Program, 2006)

B7

C1-4

vain C1

Olemassa olevan rakennuksen purku
Energiantuotannon vähähiilistyminen

vain työmaatoiminnot



NEW CONSTRUCTION

Julkaisu 2

Chicago, toimisto		kg CO2e/m2 (luettu palkkikaaviosta)	A1-A3	A4	A5	A-vaihe	B4	B6	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
korjaus1	14-kerroksinen, rakennettu v. 1929, korjattu 2007, 128007 ft2 (11892 m2), teräsrakenteinen ikkuna-ala 25 %, maantasossa liiketiloja, sisäpinnat kunnostettu, teknisten järjestelmien korjauksia, ikkunoiden kunnostus, painovoimainen ilmanvaihto katto R20, seinät R13, rakenteiden tiivistys, ilmanvuoto 0,2 1/h, ikkunat U=0,32 matalaemissiivisellä pinnoituksella, kaasulämmityksen hyötysuhde 90 %, uudisrakennusta vastaava energiatehokkuus		539	-	124	663	1 078	12 449	13 527	14 190	5 %
uudis1	Rakennettu v. 2008, 265845 ft2 (24698 m2), betoni- ja teräsrakenteinen ikkuna-ala 38%, maantasossa liiketiloja, avotoimisto, split-lämmitys ja -jäähdytys energiatehokas valaistus, taajuusmuuntajat, kaasulämmityksen hyötysuhde 90 %, ilmanvuoto 0,2 1/h, ikkunat U=0,32 matalaemissiivisellä pinnoituksella, käyttövesiputkien eristys		1 138	81	650	1 869	1 626	12 449	14 075	15 944	12 %
korjaus vs. uudis1						A-vaihe 35 %	66 %		B-vaihe 96 %	YHT. 89 %	TMA -
Chicago, varaston muutos toimistoksi		kg CO2e/m2 (luettu palkkikaaviosta)	A1-A3	A4	A5	A-vaihe	B4	B6	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
korjaus2	Vuoden 1927 varastorakennuksen muutos toimistoksi, toteutettu 2011, 5-kerroksinen, 188097 ft2 (17475 m2), betoni- ja teräsrakenteinen kokonaisvaltainen tilamuutos, hissien lisäys, julkisivun uudistus, ikkuna-ala 27 %, avotoimisto, VRF-lämmitys/jäähdytys, ilmanjako lattiasta energiatehokas valaistus, taajuusmuuntajat. kaasulämmityksen tehokkuus 93 %, ikkunat U=0,32 matalaemissiivisellä pinnoituksella		1 105	-	158	1 262	1 578	12 449	14 027	15 289	8 %
uudis1			1 138	81	650	1 869	1 626	12 449	14 075	15 944	12 %

Julkaisu 2

korjaus vs.

uudis1

A-vaihe

68 %

97 %

B-vaihe

100 %

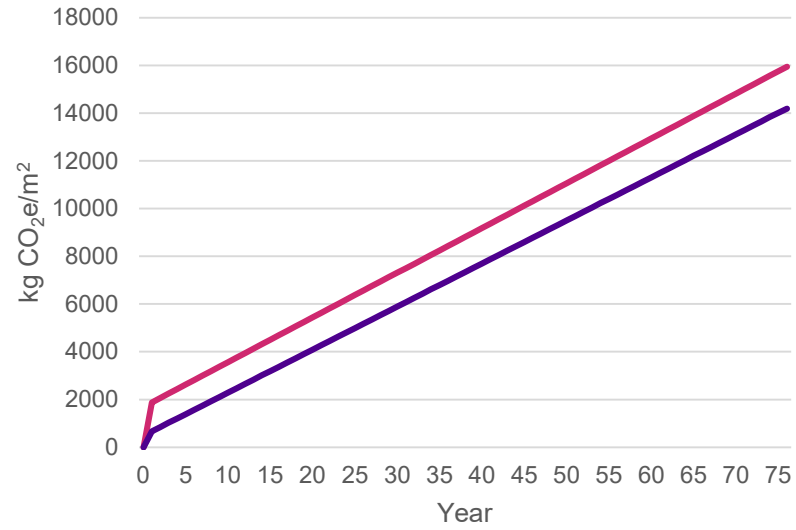
YHT.

96 %

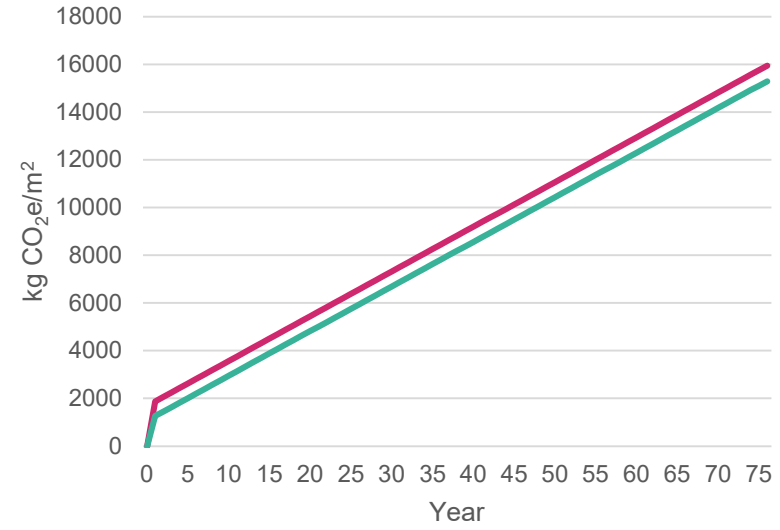
TMA

-

Päästökertymä



Chicago new building Chicago refurbishment



Chicago new building Chicago warehouse to office

Julkaisu 3

Kirjoittajat, vuosi
Nimi

Dong, Kennedy & Pressnail, 2005
Comparing life cycle implications of building retrofit and replacement options

Julkaisutyyppi
Avainsanat

Artikkeli/ Canadian Journal of Civil Engineering
life cycle assessment, life cycle costing, building retrofits, sustainable development

Sanat LCA:lle
Sanat purulle +
uudisrakennukselle
Sanat korjaukselle

life cycle assessment
demolition, rebuilding
retrofit

Vertailutyyppi

lisäeristys (4 eri tasoa) vs. uudisrakennus, teoreettiset rakennukset

Rakennustyyppi

omakotitalo

Rakennusvuosi

1930-, 1960- ja 1980-luku

Korjausvuosi

-

Uudisrakennuksen
rakennusvuosi

-

Sijainti
Ilmasto

Toronto, Ontario, Kanada
Dfa (Dfb)

Ympäristövaikutus

PED

Laskentajakso

40

Toiminnallinen yksikkö

koko rakennus

Laskentatyökalut

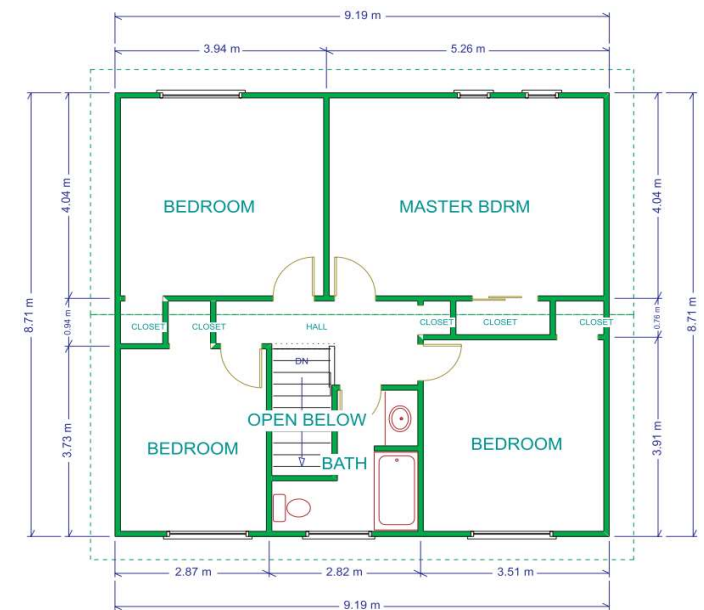
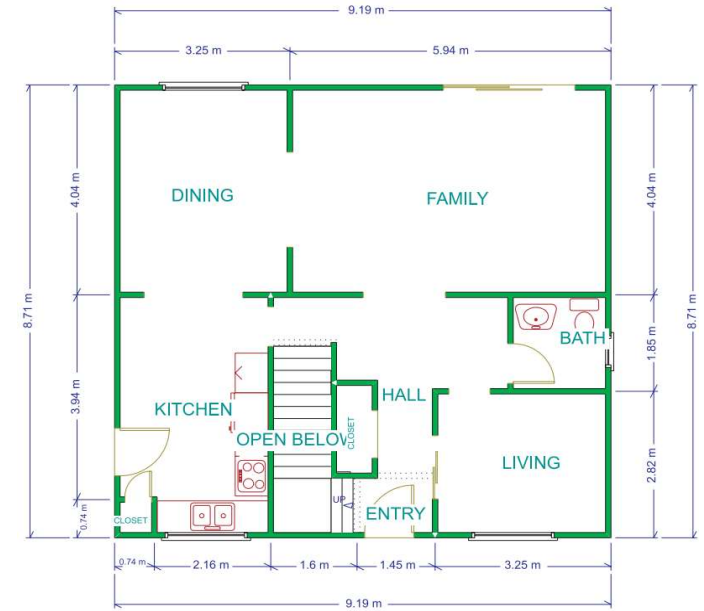
ATHENA Environmental Impact Estimator, 3D Home Architect,
energialaskenta: HOT2000

Päästötietolähteet

-

Tulosten esitystapa

taulukko



Julkaisu 3

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

B5

B6

B7

C1-4

D

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

1930-luvun talo

	MJ/rakennus/40 v	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	153 m2 + kellari 80 m2, kaksi kerrosta + kellari, kivirakenteinen, ei eristystä, ullakon eristystaso R=1,76, ilmatiiveys n50=15				
korjaus 1	ullakon lisäeristys R2000-tasolle (R=5,6) (10 % parannus ilmanvuotoon)	727	17 300 000	17 300 727	0,0 %
korjaus 2	ullakon lisäeristys R2000-tasolle (R=5,6) ja tiivistys (40 % parannus ilmanvuotoon)	727	15 956 000	15 956 727	0,0 %
korjaus 3	kellarin lisäeristys R2000-tasolle (R=2,1) (10 % parannus ilmanvuotoon)	13 940	15 644 000	15 657 940	0,1 %
korjaus 4	kellarin lisäeristys R2000-tasolle (R=2,1) ja tiivistys (40 % parannus ilmanvuotoon)	13 940	14 312 000	14 325 940	0,1 %
uudis	R2000 energialuokituksen (Natural Resources Canada) mukainen (n. 50 % rakennusmääräyksiä pienempi energiankulutus*), vastaa pohjaltaan korjattavaa rakennusta	329 400	6 776 000	7 105 400	5 %

uudis vs.	A-vaihe	B-vaihe	yht.	TMA
korjaus 1	0,2 %	255 %	243 %	1
korjaus 2	0,2 %	235 %	225 %	1
korjaus 3	4,2 %	231 %	220 %	1

Julkaisu 3

korjaus 4		4,2 %	211 %	202 %	2
	MJ/m2/40 v	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus					
korjaus 1		5	113 072	113 077	0,0 %
korjaus 2		5	104 288	104 292	0,0 %
korjaus 3		91	102 248	102 339	0,1 %
korjaus 4		91	93 542	93 634	0,1 %
uudis		2 153	44 288	46 441	5 %

1960-luvun talo		MJ/rakennus/40 v	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	153 m2 + kellari 80 m2, kaksi kerrosta + kellari, puurakenne, ulkoseinien eristys R=1,76 RSI, ullakon eristys R=2,47, ilmatiiveys n50=8					
korjaus 1	ullakon lisäeristys R2000-tasolle (R=5,6) (10 % parannus ilmanvuotoon)		615	13 396 000	13 396 615	0,0 %
korjaus 2	ullakon lisäeristys R2000-tasolle (R=5,6) ja tiivistys (40 % parannus ilmanvuotoon)		615	12 676 000	12 676 615	0,0 %
korjaus 3	kellarin lisäeristys R2000-tasolle (R=2,1) (10 % parannus ilmanvuotoon)		14 475	11 448 000	11 462 475	0,1 %
korjaus 4	kellarin lisäeristys R2000-tasolle (R=2,1) ja tiivistys (40 % parannus ilmanvuotoon)		14 475	10 732 000	10 746 475	0,1 %
uudis	R2000 energialuokituksen (Natural Resources Canada) mukainen (n. 50 % rakennusmääräyksiä pienempi energiankulutus*), vastaa pohjaltaan korjattavaa rakennusta		329 416	6 776 000	7 105 416	5 %

uudis vs.	A-vaihe	B-vaihe	yht.	TMA
korjaus 1	0,2 %	198 %	189 %	2
korjaus 2	0,2 %	187 %	178 %	2
korjaus 3	4,4 %	169 %	161 %	3
korjaus 4	4,4 %	158 %	151 %	3

	MJ/m2/40 v	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus					
korjaus 1		4	87 556	87 560	0,0 %
korjaus 2		4	82 850	82 854	0,0 %
korjaus 3		95	74 824	74 918	0,1 %
korjaus 4		95	70 144	70 238	0,1 %

Julkaisu 3

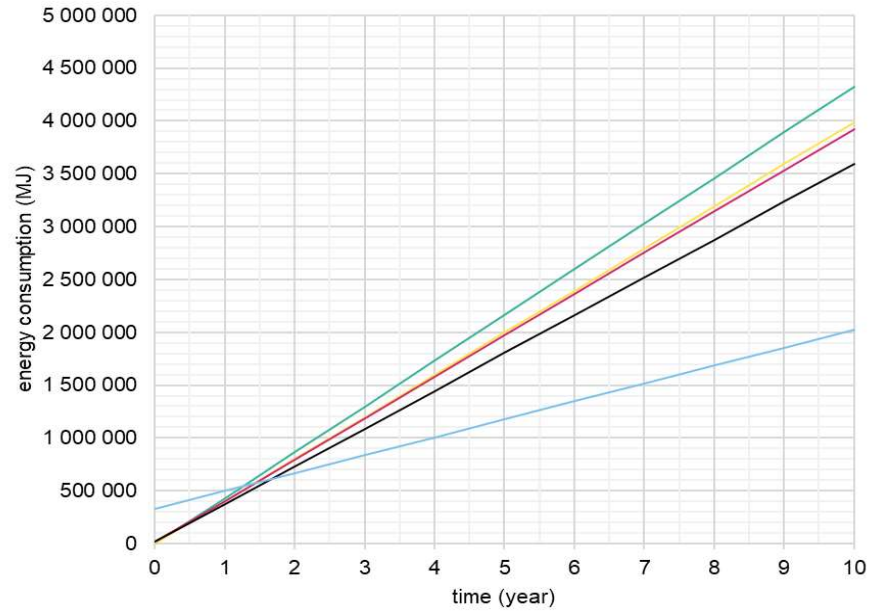
uudis		2 153	44 288	46 441	5 %	
1980-luvun talo		MJ/rakennus/40 v	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	153 m2 + kellari 80 m2, kaksi kerrosta + kellari, puurakenne, ulkoseiniä eristys R=3,5, ullakon eristys R=3,87, kellari osittain eristetty R=2,1, ilmatiiveys n50=3					
korjaus 1	ullakon lisäeristys R2000-tasolle (R=5,6) (10 % parannus ilmanvuotoon)		336	8 616 000	8 616 336	0,0 %
korjaus 2	ullakon lisäeristys R2000-tasolle (R=5,6) ja tiivistys (40 % parannus ilmanvuotoon)		336	8 336 000	8 336 336	0,0 %
korjaus 3	kellarin lisäeristys R2000-tasolle (R=2,1) (10 % parannus ilmanvuotoon)		13 943	8 224 000	8 237 943	0,2 %
korjaus 4	kellarin lisäeristys R2000-tasolle (R=2,1) ja tiivistys (40 % parannus ilmanvuotoon)		13 943	7 932 000	7 945 943	0,2 %
uudis	R2000 energialuokituksen (Natural Resources Canada) mukainen (n. 50 % rakennusmääräyksiä pienempi energiankulutus*), vastaa pohjaltaan korjattavaa rakennusta		329 416	6 776 000	7 105 416	5 %
uudis vs.			A-vaihe	B-vaihe	yht.	TMA
korjaus 1			0,1 %	127 %	121 %	7
korjaus 2			0,1 %	123 %	117 %	8
korjaus 3			4,2 %	121 %	116 %	9
korjaus 4			4,2 %	117 %	112 %	11
		MJ/m2/40 v	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus						
korjaus 1			2	56 314	56 316	0,0 %
korjaus 2			2	54 484	54 486	0,0 %
korjaus 3			91	53 752	53 843	0,2 %
korjaus 4			91	51 843	51 934	0,2 %
uudis			2 153	44 288	46 441	5 %

* lähde: Bach, B., & Lamb, M. (2011). *Development of Energy Efficiency Requirements for the Toronto Green Standard: Final Report*. Sustainable Buildings Canada.

Julkaisu 3

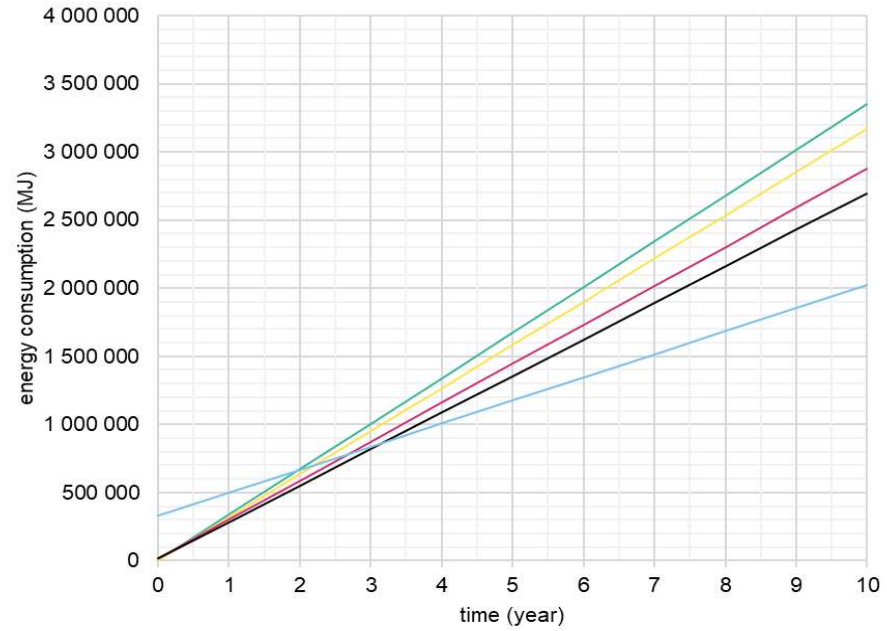
Päästökertymä

1930's



- Attic insulation
- Basement insulation
- Demolition + new building
- Attic insulation + air sealing
- Basement insulation + air sealing

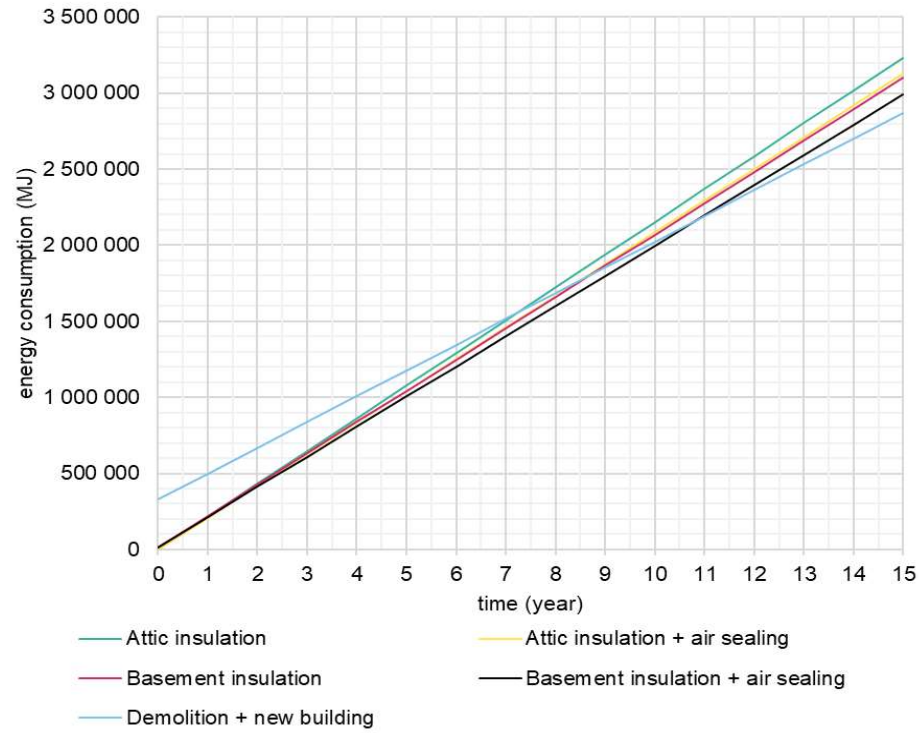
1960's



- Attic insulation
- Basement insulation
- Demolition + new building
- Attic insulation + air sealing
- Basement insulation + air sealing

Julkaisu 3

1980's



Julkaisu 4

Kirjoittajat, vuosi	Enlid, 2018
Nimi	Ulsholtveien 31: Klimagassberegning
Julkaisutyyppi	raportti/Civitas
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	klimagassberegning
Sanat purulle + uudisrakennukselle	nybygg
Sanat korjaukselle	rehabiliterte (Furuhuset)
Vertailutyyppi	käyttötarkoituksen muutos + energiatehokkuuskorjaus vs. uudisrakennus eri tonteilla
Rakennustyyppi	kerrostalo
Rakennusvuosi	1953
Korjausvuosi	2017
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Oslo, Norja
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	60
Toiminnallinen yksikkö	nettoala
Laskentatyökalut	lämmitystarve: Simien, materiaalit: klimagassregnskap.no ve 5
Päästötietolähteet	-
Tulosten esitystapa	taulukko

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

B5



Kuva lähteestä: Langvad, S. N. (13.11.2018). Retirement homes for young people - U31. Future at Furuset. *Architecture N*. Verkkosivu. Viitattu 26.3.2022. <https://arkitektur-n.no/prosjekter/ulsholtveien-31>

Julkaisu 4

B6

B7

C1-C4

D

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

ei huomioitu

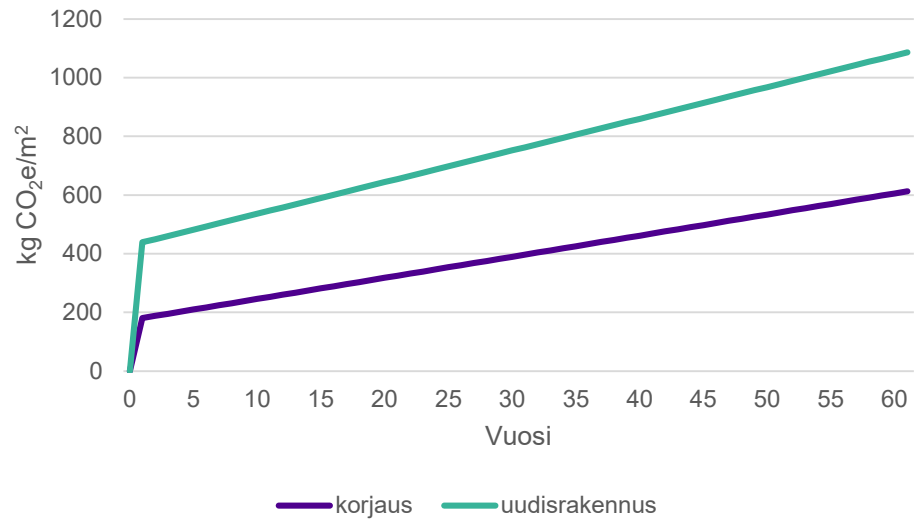
ei huomioitu

Raportissa huomioitu myös asukkaiden liikkuminen, mutta se ei mukana tulokortin tiedoissa.

	GWP kg CO2e/m2/vuosi arvot taulukosta	A1-3	B6	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen	rak. 1953, TEK49, 3-4 kerrosta				
korjaus (toteutettu 2017)	bruttoala 859 m2, lämmitetty ala 760 m2, 9 kpl asuntoja + yhteistiloja sisääntulokerrokseen hissin rakennus, kantavien teräspilarien lisäys, seinien eristyksen uusiminen, uudet ikkunat + kattoikkunat, väliseinät: puurunko, mineraalivilla + 2 x kipsilevy; julkisivu: mineraalivilla, rappaus, paneelikatto, linoleumi- ja vinyylikate; yläpohjan eristeen uusiminen, uudet portaat toisen ja kolmannen kerroksen välille lämmitys: lämpöpumppu (90 %), sähkötoiminen lattialämmitys (10 %), LKV: lämpöpumppu (60 %), jäteveden lämmöntalteenotto (15 %), aurinkokeräimet (13 %), sähkökattila (10 %). 114,5 kWh/m2	3,01	7,20	10,21	29 %
uudis 1 (referenssirakennus)	Olemassa olevaa rakennusta vastaava muoto, Norjan rakennusmääräysten 2010 mukainen (TEK 10), betonielementtirakenteinen lämmitys 60 % lämpöpumppu, 40 % sähkö, 115 kWh/m2	7,31	10,80	18,11	40 %
korjaus vs. uudis 1		A-vaihe 41 %	B-vaihe 67 %	koko elinkaari TMA 56 % -	

Julkaisu 4

Päästökertymä



Julkaisu 5

Kirjoittajat, vuosi Nimi	Enlid & Selvig, 2018 Klimagassnotat for FutureBuilt-prosjekter som benytter BREEAM-NOR Prosjektnavn: Grensesvingen 7. Hovedresultater og sammenligning av alternativer
Julkaisutyyppi	raportti/Civitas
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	Klimagassnotat
Sanat purulle + uudisrakennukselle	nytt referansebygg
Sanat korjaukselle	rehabilitering
Vertailutyyppi	rungon uudelleenkäyttö vs. uudisrakennus
Rakennustyyppi	toimisto
Rakennusvuosi	1986
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Oslo, Norja
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	60
Toiminnallinen yksikkö	lämmitetty nettoala
Laskentatyökalut	klimagassregnskap.no, SIMIEN energiasimulointi
Päästötietolähteet	tuotekohtaiset EPD:t
Tulosten esitystapa	taulukko

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

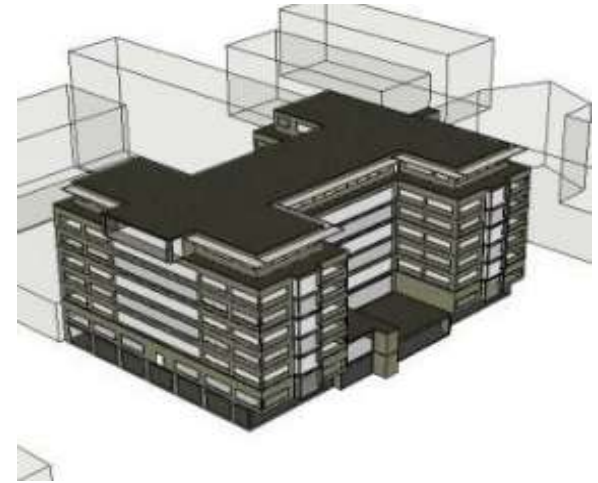
A5

B1

B2

B3

B4



Julkaisu 5

B5

B6

Sähkön päästökerroin 60 vuoden jaksolla keskimäärin 0,112 kg CO₂-ekv./kWh
(alkaen vuodesta 2014)

B7

C1-4

Olemassa olevan rakennuksen purku

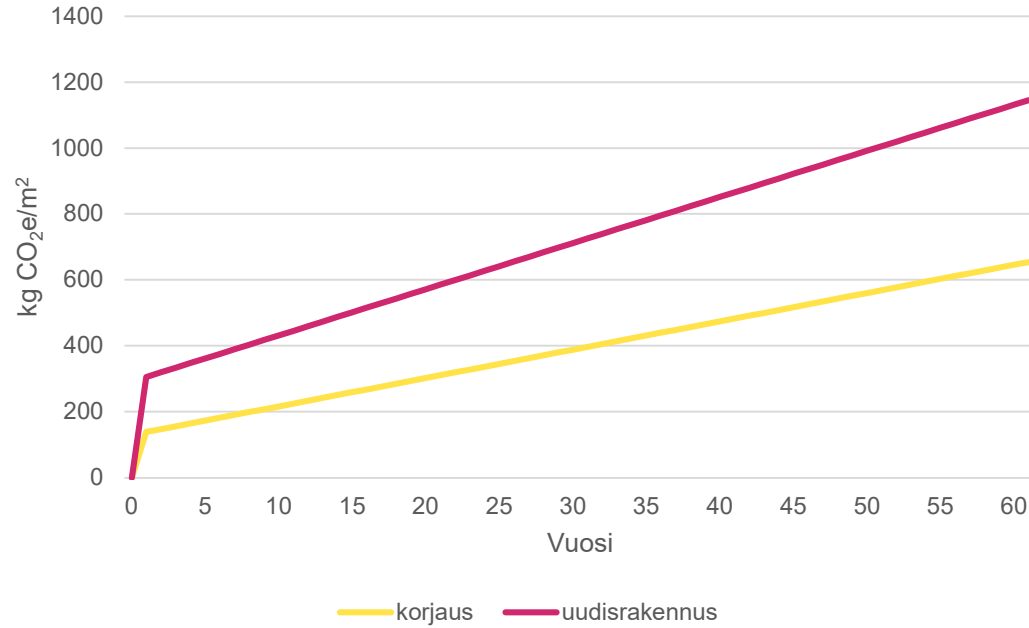
Energiantuotannon vähähiilistyminen

	kgCO ₂ -e/m ² /60 vuotta, luettu taulukosta	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	16422 m ² , 1986, 8 kerrosta + kellari			-	
korjaus	BREEAM Excellent, matalaenergiarakennus Lavenergibygg (NS3701), pyritty materiaalivalinnoilla ym. vähähiiliseen ratkaisuun kantavat rakenteet terästä ja betonia, kantava runko säilytetään (rungon uudelleenkäyttö), lisätty teräspilareita ja -palkkeja, ulkoseinät puurakenteisia, kivivilla + tuulen- ja höyrynsulku, 3-lasiset alumiini-ikkunat, lasi-teräsovet, siäseinät metalliprofiileilla, jotka eristetty kivivillalla ja lasi-puuseiniä, pinnassa rappaus, kuiturappaus ja keraaminen laatta, ovet terästä, lasia, laminaattia ja puuta. Välipohjat: paikallavaluvälipohjat, parketti, linoleum ja laatta, alaslaskettu ja mineraalivillaeristetty katto. Vesikatto eristetty kivivillalla ja XPS, kattorakenteet vaneria, 95,4 kWh/m ² (Varme: 28 kWh/m ² *år, Kjøling: 10 kWh/m ² *år, El-spesifikt: 57,4 kWh/m ² *år), ilma-vesilämpöpumppu 70 % lämmityksestä ja 50 % LKV:sta, toimii myös jäähdyttävänä, muutoin kaukolämpö, datahuoneen jäähdytyksessä lämmöntalteenotto. Korjattu 2014	139	516	655	21 %
uudis	Maanvarainen laatta, kalkkisementti- ja teräspaalut, Pilarit: 90% betoniset, 10 % teräspilarit, Palkit: 80 % betonisia, 20 % teräspalkit kellarirakenteet betonia, julkisivu: keraaminen laatta (5 %), maali (95%), puurakenteiset ulkoseinät + lasivillaeriste 250 mm, sisäpuolella kipsilevy, 2-lasiset puuikkunat, lasi-alumiiniovet, sisäseinät metallirunkoisia, kivivillaeriste 70 mm, kipsilevy ja paneeli, pinnat laattaa (10 %) ja maalia, betonisia sieniä ja lasiseiniä (10 %), ontelolaatavälipohjat, kivivillaeriste, parketti, linoleum ja keraaminen laatta, kellarissa vinyylilattia, alakatot maalattua kipsilevyä; vesikatto terästä, kivivillaeriste ja EPS, bitumi, portaat terästä ja parvekkeet terästä (10 %) ja puuta, 149 kWh/m ² (Varme: 48 kWh/m ² /år, Kjøling: 19 kWh/m ² /år, El.Spesifikt: 82 kWh/m ² /år) 60 % lämpöpumppu, 40 % sähkökattila, verkkosähkö	305	840	1 145	27 %
kojaus vs.		A-vaihe	B-vaihe	yht.	TMA
uudis		45 %	61 %	57 %	-

Julkaisu 5

	kgCO ₂ -e/m ² /v.	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
korjaus		2,3	8,6	10,9	21 %
uudis		5,1	14,0	19,1	27 %

Päästökertymä



Julkaisu 6

Kirjoittajat, vuosi Nimi	Eskilsson, 2015 Renovate or rebuild? - a comparison of the climate impact from renovation compared to demolition and new construction for a multi-dwelling building built in the era of the "Million Programme" using lifecycle assessment opinnäytetyö/ Göteborg Universitet
Julkaisutyyppi Avainsanat	
Sanat LCA:lle	life-cycle assessment
Sanat purulle + uudisrakennukselle	demolish, rebuild
Sanat korjaukselle	renovation
Vertailutyyppi	peruskorjaus vs. määräyksiä energiatehokkaampi uudisrakennus
Rakennustyyppi	asuinkerrostalo
Rakennusvuosi	1964
Korjausvuosi	2010-2012
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	
Sijainti	Tukholma, Ruotsi
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	50
Toiminnallinen yksikkö	m ² , lämmitetty nettoala
Laskentatyökalut	Excel, IPCC 2013
Päästötietolähteet	Ecoinvent 3.1
Tulosten esitystapa	taulukko, palkkikaavio, aikajana



ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

Julkaisu 6

B5

B6

lämmitys, LKV ja sähkö, uudisrakennukselle energialaskenta, korjatulle kahden vuoden kulutusseurannan mukaan

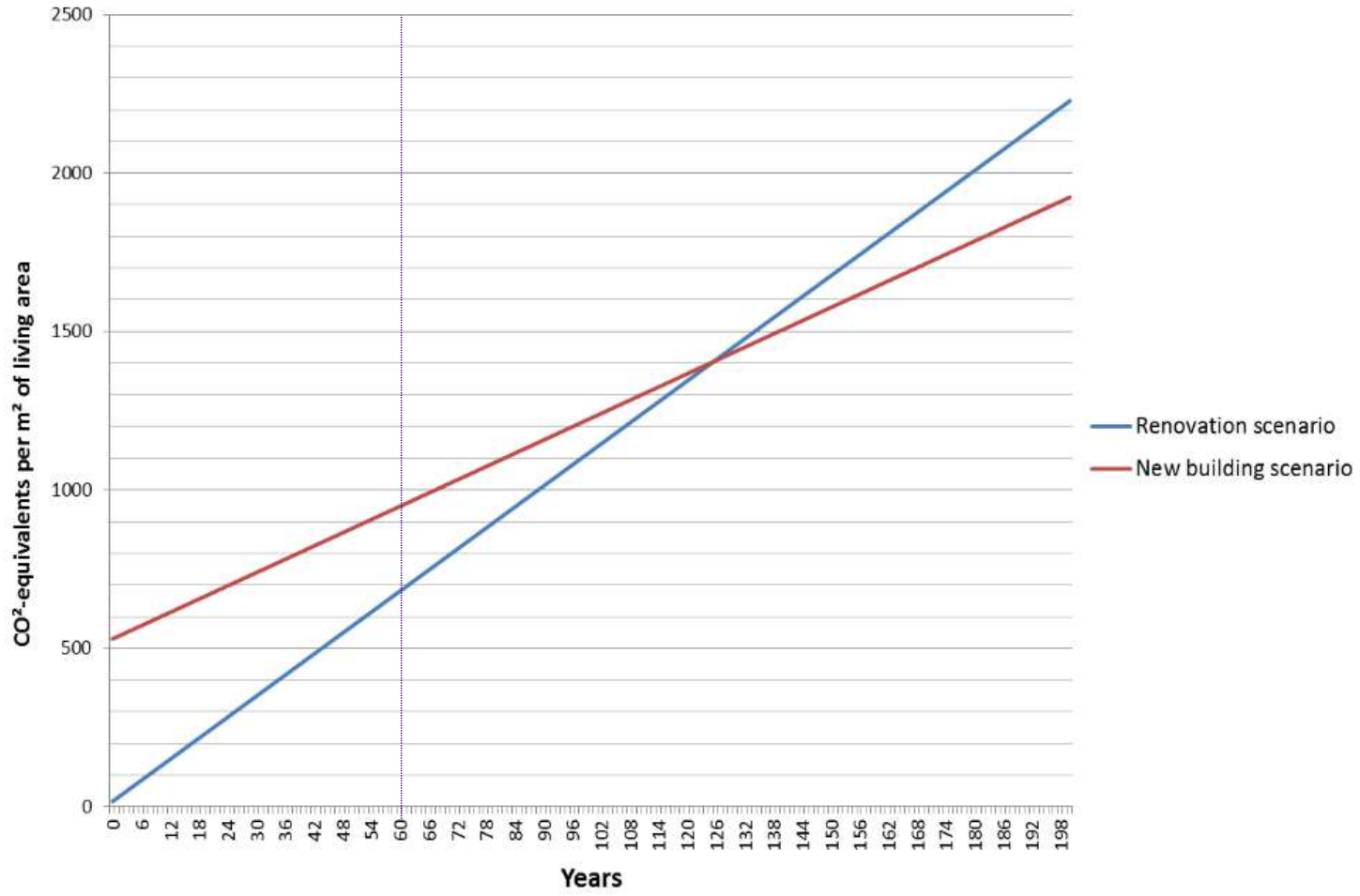
B7

C1-4

Olemassa olevan rakennuksen purku
Energiantuotannon vähähiilistyminen

		kgCO ₂ -e/m ² /50 vuotta, taulukosta	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	kirjahyllyrunkoinen 9-kerroksinen betonikerrostalo, v. 1964, 123 kWh/m ² , 70 asuntoa, 7295 m ²					-
korjaus	Ruotsin 2014 määräysten mukainen energiatehokkuus (90 kWh/m ² , oletettu LKV samaksi kuin uudisvaihtoehdossa, joten kulutus laskennassa 106,8 kWh/m ²), korjattu 2010-2012, yläpohjan eristys 300 mm lasivilla, ulkoseinän lisäeristys 50 mm kivivilla itäjulkisivulla ja 100 mm länsijulkisivulla vanhan rappausken päälle, sokkelin eristys vastaavasti EPS, uudet ikkunat U-arvo=1 W/m ² K, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto + LTO, lämmitysjärjestelmän ja IV:n säätö, metallikatteen uusinta <i>Eristerappauksen raudoitusta ei huomioitu laskennassa. Talotekniikan materiaaleja ei huomioitu laskennassa.</i>		17	553	570	3 %
uudis	Miljöbyggnad hopeatason rakennus (75 % määräysten mukaisesta energiankuluutuksesta), 65,7 kWh/m ² , rakennettu 2013-14, betonielementti, 1118 m ² , 11 asuntoa		530	349	878	60 %
kojaus vs.			A-vaihe	B-vaihe	yht.	TMA
uudis			3 %	158 %	65 %	-

Päästökertymä



Julkaisu 7

Kirjoittajat, vuosi	Gaia, 2020
Nimi	Case-tarkastelut
Julkaisutyyppi	esitysmateriaali
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	
Sanat purulle + uudisrakennukselle	Greenfield-kerrostalorakentaminen
Sanat korjaukselle	Verrataan korjausta greenfieldrakentamiseen toimisto --> asuinkerrostalo
Vertailutyyppi	käyttötarkoituksen muutos vs. greenfield-rakentaminen
Rakennustyyppi	asuinkerrostalo
Rakennusvuosi	2002
Korjausvuosi	2020
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Helsinki, Suomi
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	50
Toiminnallinen yksikkö	lämmitetty nettoala (n-m ²)
Laskentatyökalut	One Click LCA
Päästötietolähteet	Perustuen eri laskentaraaportteihin ja kirjallisuuslähteisiin
Tulosten esitystapa	taulukko

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A0

A1-A3

A4

A5

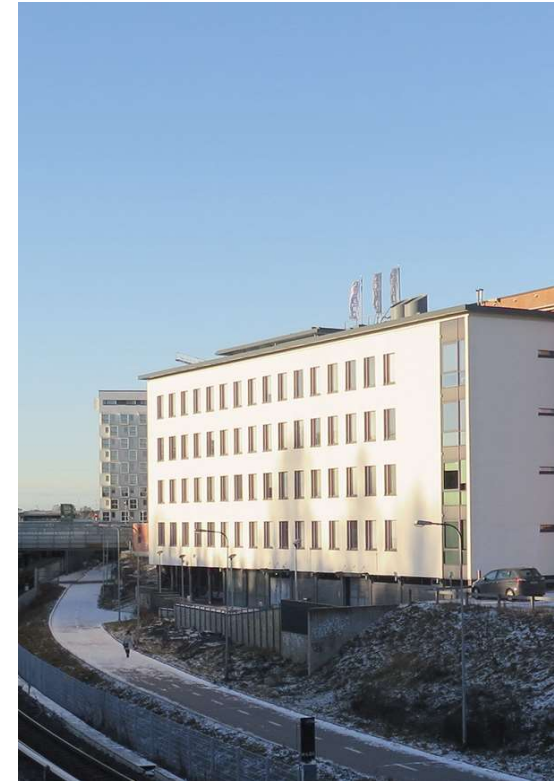
B1

B2

B3

B4

B5



Kuva lähteestä: Konkret (n.d.). HOAS HIMA.
Verkkosivu. Viitattu 29.3.2022.
<https://konkret.fi/projects/hoas-hima/>

Julkaisu 7

B6

B7

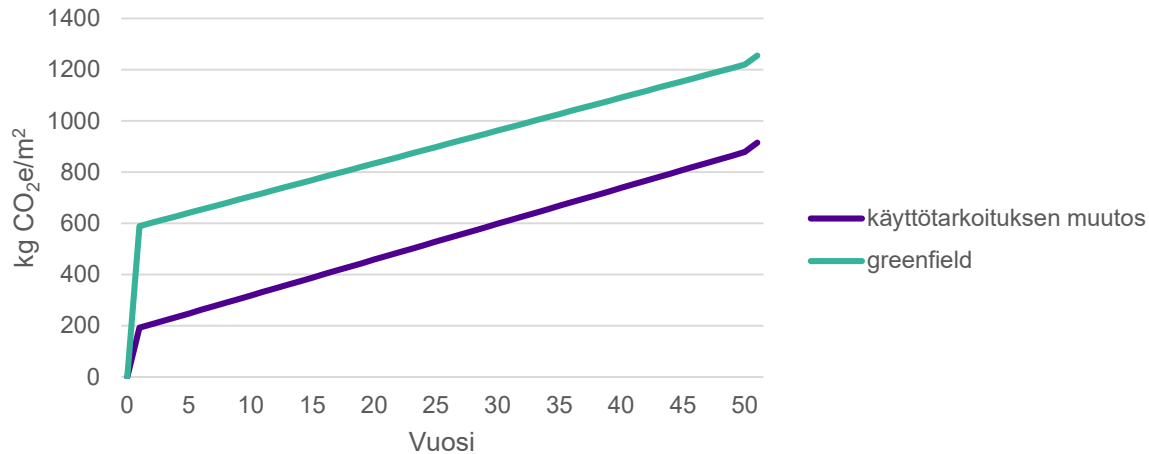
C1-4

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

		kg CO ₂ e/m ² /50 v.		A0	A0	A1-A3	A4-A5	A yht.	B2	B4-5	B6	B yht.	C1-C4	YHT.
		(alue)	(tontti)											
alkuperäinen rakennus	toimisto, rak. 2002													
korjaus	Toimiston muutos opiskelijoiden miniasunnoiksi; 1980 m ² asuntoja, 690 m ² yhteistiloja (yht. 2670 m ²); Säilytettiin: runko, ikkunat, vesikatto, julkisivut, puolet talotekniikasta, perustukset, pohjat, paalutus ja ulkoseinät; Rakennettiin uutta: pintarakenteet, väliseinät, parvet, sisäseinät, alakatot, puolet talotekniikasta.	0	0	149	43	192	118	64	518	700	23	915		
uudis (greenfield)	Kerrostalo uudelle alueelle, sama lajuus kuin korjatussa talossa	212,5	16,5	317	43	589	118	64	461	643	23	1255		
korjaus vs.								-						
uudis						A-vaihe		B-vaihe		TMA				
						0 %		0 %		-				

Päästökertymä



Julkaisu 8

Kirjoittajat, vuosi	Heinonen, Säynäjoki & Junnila, 2011
Nimi	A Longitudinal Study on the Carbon Emissions of a New Residential Development
Julkaisutyyppi	artikkeli/Sustainability
Avainsanat	life cycle assessment; carbon; climate change; buildings; construction
Sanat LCA:lle	life-cycle assessment
Sanat purulle + uudisrakennukselle	new construction
Sanat korjaukselle	-
Vertailutyyppi	Asuinalueen käytön jatkaminen vs. uudisalue
Rakennustyyppi	kerrostalo 30 %, omakotitalo 70 % ja infrarakenteet
Rakennusvuosi	kerrostunut alue
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Espoo, Suomi
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	25
Toiminnallinen yksikkö	koko alue, building permit (floor space)
Laskentatyökalut	ei kerrottu
Päästötietolähteet	Carnegie-Mellon EIO-LCA, täydennetty suomalaisella prosessidatalla
Tulosten esitystapa	aikajana

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

B5

Julkaisu 8

B6 luotu kaksi käyttäjätyyppiä (kerrostalo ja okt): kerrostaloasukkaan asumisen vuosipäästöt 3,6 t CO₂e, omakotitaloasukkaan 4,9 t CO₂e huomioitu myös vedenkäyttö, jäte ja kodin laitteet

B7

C1-4

Olemassa olevan rakennuksen purku
Energiantuotannon vähähiilistyminen

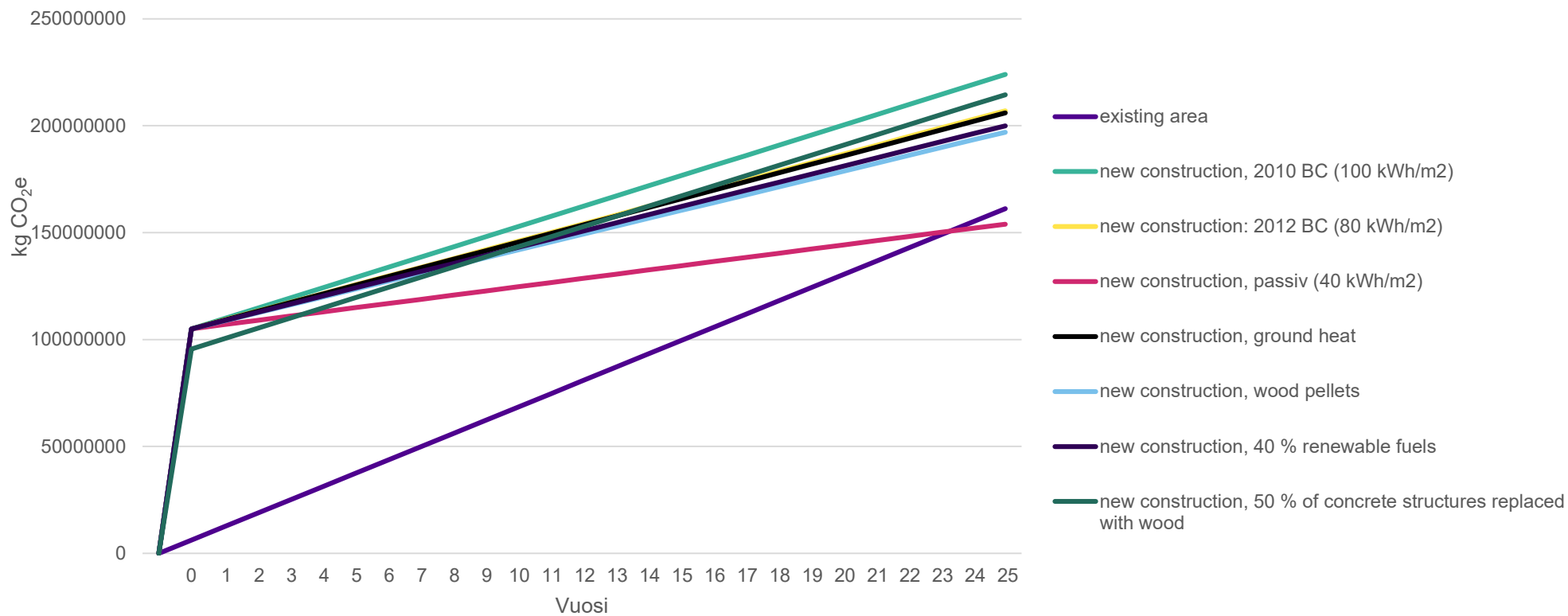
	kgCO ₂ -e/asuinalue/25 vuotta	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	70 000 m ² , 1130 asukasta, 70 % omakotitaloja ja 30 % kerrostaloja, perustuu keskimääriseen espoolaiseen asuinalueeseen	-	155 000 000	155 000 000	
uudis1	Vastaavan kokoinen alue, betonirakenteinen, kaukolämpö ja verkkosähkö, energia ei-uusiutuvista lähteistä (lämpö 339 g/kWh, sähkö 305 g/kWh), asuinrakennusten energiankulutus 100 kWh/m ² (2010 määräysten mukainen)	105 000 000	119 000 000	224 000 000	47 %
uudis2	Kuin uudis1, asuinrakennusten energiankulutus 80 kWh/m ² (2012 RMK mukainen)	105 000 000	102 000 000	207 000 000	51 %
uudis3	Kuin uudis1, asuinrakennusten energiankulutus 40 kWh/m ² (passiivi)	105 000 000	49 000 000	154 000 000	68 %
uudis4	Kuin uudis1, maalämpö (3 kertaa tehokkaampi kuin kaukolämpö)	105 000 000	101 000 000	206 000 000	51 %
uudis5	Kuin uudis1, puupelletit (päästökerroin 0)	105 000 000	92 000 000	197 000 000	53 %
uudis6	Kuin uudis1, energiasta 40 % uusiutuvista lähteistä	105 000 000	95 000 000	200 000 000	53 %
uudis7	Kuin uudis1, 50 % betonirakenteista puuta	95 550 000	119 000 000	214 550 000	45 %
kojaus vs.		A-vaihe	B-vaihe	yht.	TMA
uudis1			130 %	69 %	-
uudis2			152 %	75 %	-
uudis3			316 %	101 %	24
uudis4			153 %	75 %	-
uudis5			168 %	79 %	-
uudis6			163 %	78 %	-
uudis7			130 %	72 %	-

	kgCO ₂ -e/m ² /25 vuotta	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus		-	2 214	2 214	
uudis1		1 500	1 700	3 200	47 %
uudis2		1 500	1 457	2 957	51 %

Julkaisu 8

uudis3	1 500	700	2 200	68 %
uudis4	1 500	1 443	2 943	51 %
uudis5	1 500	1 314	2 814	53 %
uudis6	1 500	1 357	2 857	53 %
uudis7	1 365	1 700	3 065	45 %

Päästökertymä



Julkaisu 9

Kirjoittajat, vuosi	Horváth & Szalay, 2012
Nimi	Decision-making case study for retrofit of high-rise concrete buildings based on life cycle assessment scenarios
Julkaisutyyppi	konferenssijulkaisu/ International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction – Civil engineering and buildings
Avainsanat	Life Cycle Assessment (LCA), scenarios for refurbishment, life time, prefabricated concrete apartment building
Sanat LCA:lle	Life Cycle Assessment
Sanat purulle + uudisrakennukselle	demolition, new building
Sanat korjaukselle	refurbishment, retrofit
Vertailutyyppi	korjaus vs. vastaava uudisrakennus
Rakennustyyppi	asuinkerrostalo
Rakennusvuosi	1968
Korjausvuosi	2007 (korjaus 1)
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Budapest, Unkari
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP, AP, OPD, EP
Laskentajakso	60 (Tarkasteltu 120 vuoden jaksoa, mutta 60 vuoden kohdalla rakennus puretaan ja rakennetaan uusi tilalle)
Toiminnallinen yksikkö	lämmitetty nettoala
Laskentatyökalut	Excel, CML
Päästötietolähteet	Ecoinvent 2.0
Tulosten esitystapa	aikajana

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

Julkaisu 9

B3

B4

B5

B6

Unkarin rakennusten energialaskentametodin mukaan (perustuu Eu-direktiiviin rakennusten energiatehokkuudesta)

B7

C1-4

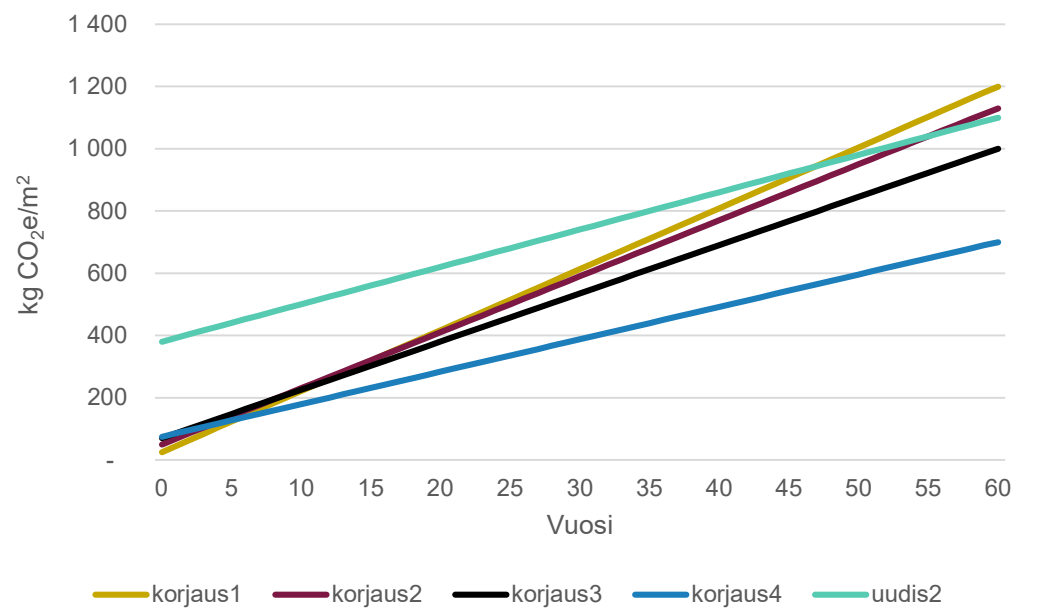
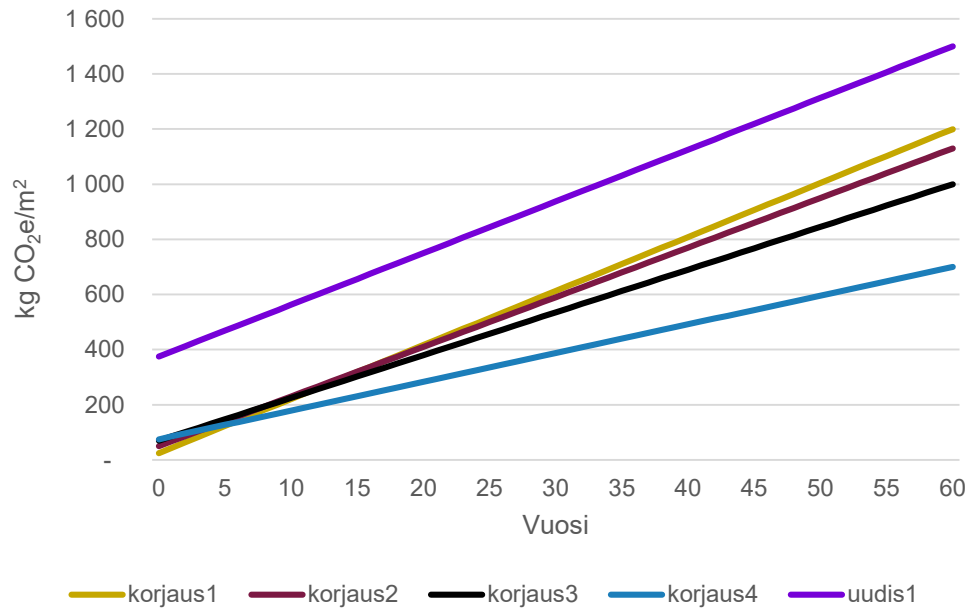
Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

	kgCO ₂ e/m ² /60 vuotta, luettu kuvaajalta	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	asuinkerrostalo, betonielementti, v. 1968, 10 kerrosta, 22185 m ² , puuikkunat, puutteellinen eristys elementtiliitoksissa, kaukolämpö (maakaasu), 140,26 kWh/m ² (mitattu 2006)				
korjaus1	ulkoseinien, katon ja alapohjan lisäeristys, ikkunoiden ja ovien uusiminen, 2-lasiset PVC-ikkunat, 91,86 kWh/m ² (mitattu 2008), korjaus toteutettu vuonna 2007	25	1 175	1 200	2 %
korjaus2	lisäksi ulkoseinissä paksumpi eristys	50	1 080	1 130	4 %
korjaus3	lisäksi lämmitysjärjenselmän uusiminen ja koneellinen tulo-poistoilmanvaihto LTO:lla	70	930	1 000	7 %
korjaus4	lisäksi aurinkokeräimet katolle	75	625	700	
uudis1	saman mallinen kuin olemassa oleva, korkeatasoinen lämmöneristys, kaasueristeiset ikkunat, koneellinen tulo-poistoilmanvaihto LTO:lla, A-luokka	375	1 125	1 500	25 %
uudis2	lisäksi aurinkokeräimet, A++-luokka	380	720	1 100	35 %
uudis1 vs.		A-vaihe	B-vaihe	yht.	TMA
korjaus1 (a)		7 %	104 %	80 %	
korjaus2 (b)		13 %	96 %	75 %	
korjaus3 (c)		19 %	83 %	67 %	
korjaus4 (d)		20 %	56 %	47 %	
uudis2 vs.		A-vaihe	B-vaihe	yht.	TMA (v)
korjaus1 (e)		7 %	163 %	109 %	45
korjaus2 (f)		13 %	150 %	103 %	55
korjaus3 (g)		18 %	129 %	91 %	
korjaus4 (h)		20 %	87 %	64 %	

Julkaisu 9

Päästökertymä



Julkaisu 10

Kirjoittajat, vuosi	Hu, 2017
Nimi	Balance between energy conservation and environmental impact: Life-cycle energy analysis and life-cycle environmental impact analysis
Julkaisutyyppi	Artikkeli/ Energy and Buildings
Avainsanat	
Sanat LCA:lle	Embodied energy, Operational energy, Adaptive reuse, Environmental impact
Sanat purulle + uudisrakennukselle	life-cycle analysis, LCA
Sanat korjaukselle	new construction conservation, preservation, renovation, adaptive reuse
Vertailutyyppi	
Rakennustyyppi	oopperatalo, Bent's Opera House
Rakennusvuosi	1865
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Medina, USA
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	PED, GWP (embodied impacts)
Laskentajakso	75 vuotta
Toiminnallinen yksikkö	rakennus
Laskentatyökalut	Revit-malli materiaalitietojen keräämiseen, Athena Impact Estimator, energiankulutukseen arviointiin Department of Energy CBES 2012 database (commercial buildings 2012), Traci
Päästötietolähteet	ei kerrottu
Tulosten esitystapa	palkkikaavio

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3 arvioitu ulkoseinät, ikkunat, ovet, lattiat, palkit, pilarit, katto, perustus

A4

A5

B1

B2

B3

Julkaisu 10

B4 Osien vaihto on oletettu samaksi kaikille vaihtoehdoille

B5

B6

B7

C1

C2

C3

C4

D

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

**Tutkimus ottaa huomioon olemassa olevaan rakennukseen jo sitoutuneen energian. Alkuperäisen rakennuksen A-vaiheen lukuarvot on alla vähennetty korjaustapausten A-vaiheen arvoista. Korjaus 1 saa tällöin A-vaiheessa arvon 0, koska rakennus on täysin samanlainen kuin alkuperäinen rakennus (entisöinti). Siksi korjaus 1 jätetään pois aineistosta. A-vaiheen arvoja ei voida pitää korjaustapauksille täysin luotettavina.*

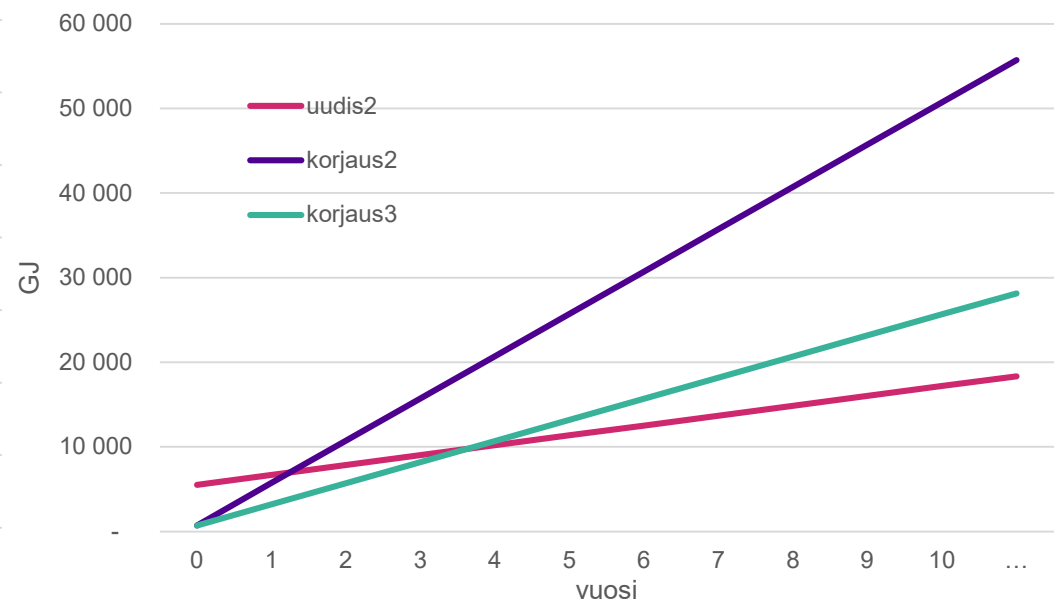
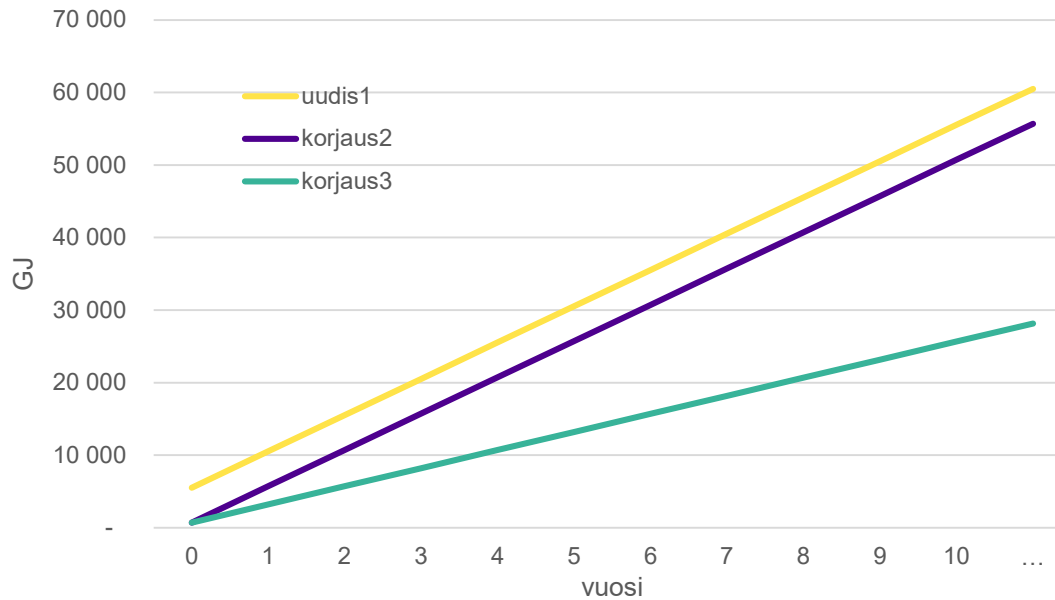
		GJ/75 v	A-vaihe*	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	rak. 1865, 4 kerrosta, hiekkakiveä, 23000 ft ² (2138 m ²), 150 kBtu/sq ft/year (473 kWh/m²) puurakenteiset välipohjat, puurakenteinen katto + bitumikate, betoniperustus, ulkoseinät hiekkakiveä, 2-lasiset puuikkunat, maanvarainen betonilaatta, puuovet		3 389	700 000	703 389	0,5 %
<i>korjaus1</i>	<i>erityisen tehokas talotekniikka, määräyksiä vastaava taso, 78 kBtu/sq ft/year (246 kWh/m²)</i>		-	375 000	375 000	0,0 %
korjaus2	vaipan kunnostus ja standardi talotekniikka, määräyksiä vastaava taso (Building Energy Code 2012 ICC), 78 kBtu/sq ft/year (246 kWh/m²) , ulkoseinien lisäeristys (R30), 2-lasiset PVC-ikkunat, katon lisäeristys (R40)		722	375 000	375 722	0,2 %
korjaus3	lisäksi erittäin tehokas talotekniikka, "Energy Star" taso, 39 kBtu/sq ft/year (123 kWh/m²)		722	187 000	187 722	0,4 %
uudis1	nykyaikaiset materiaalit, energiatehokas tate, 39 kBtu/sq ft/year (123 kWh/m²) lasivillaeristetty betoni-tiiliulkoseinä, 2-lasiset argon-ikkunat, lasivilla ovet 50 % lasituksella, ontelolaattavälipohjat, betonielementtipalkit ja -pilarit, betonielementtikate (R40), EPDM selluloosa, maanvarainen betonilaatta		5 528	375 000	380 528	1,5 %
uudis2	lisäksi erittäin energiatehokas tate, 18 kBtu/sq ft/year (57 kWh/m²)		5 528	87 500	93 028	5,9 %

Julkaisu 10

uudis1 vs.	A-vaihe	B-vaihe	koko elinkaari TMA
<i>korjaus 1</i>	0 %	100 %	99 % -
korjaus 2	13 %	100 %	99 % -
korjaus 3	13 %	50 %	49 % -
uudis2 vs.	A-vaihe	B-vaihe	koko elinkaari TMA
<i>korjaus 1</i>	0 %	429 %	403 % 1
korjaus 2	13 %	429 %	404 % 1
korjaus 3	13 %	214 %	202 % 4

	MJ/m2/v.	A-vaihe*	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	160,35	21	4 365	4 387	0,5 %
<i>korjaus1</i>	160,35	0	2 339	2 339	0,0 %
korjaus2	160,35	5	2 339	2 343	0,2 %
korjaus3	160,35	5	1 166	1 171	0,4 %
uudis1	160,35	34	2 339	2 373	1,5 %
uudis2	160,35	34	546	580	5,9 %

Päästökertymä



Julkaisu 11

Kirjoittajat, vuosi	Huuhka, Vainio, Moisio, Lampinen, Knuutinen, Bashmakov, Köliö, Lahdensivu, Ala-Kotila ja Lahdenperä, 2021
Nimi	Purkaa vai korjata? Hiilijalanjälkivaikutukset, elinkaarikustannukset ja ohjauskeinot
Julkaisutyyppi	Raportti/Ympäristöministeriö
Avainsanat	purkaminen (rakennusala), korjausrakentaminen, ilmastovaikutukset, kustannukset, elinkaarianalyysi, ohjaus (suuntaaminen), rakennettu ympäristö, rakennukset
Sanat LCA:lle	ilmastovaikutukset, elinkaarianalyysi
Sanat purulle + uudisrakennukselle	purkava uudisrakentaminen
Sanat korjaukselle	korjausrakentaminen, peruskorjaaminen
Vertailutyyppi	peruskorjattu pieni koulu vs. uudiskoulu (betoni/puu), peruskorjaus+laajennus (puu/betoni) vs. suuri koulu (puu/betoni)
Rakennustyyppi	koulu
Rakennusvuosi	1950
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	2019
Sijainti	Helsinki, Suomi
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	50
Toiminnallinen yksikkö	lämmitetty nettoala
Laskentatyökalut	One Click LCA/YM vähähiilisuuden arviointimenetelmä, energia: IDA-ICE
Päästötietolähteet	EPD, laskentaohjelman tietokannat
Tulosten esitystapa	taulukko, aikajana

Kuva 10. Heteiniityn koulu Helsingissä. Kuva Helsingin kaupungin aineistopankki, kuvaaja Mikael Lindén.



Kuva 11. Tesoman koulu Tampereella. Kuva Antti Lakka. Kuva lähteestä Lehtinen ja muut (2018), s. 39



Julkaisu 11

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

B5

B6

B7

C1-4

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

Pieni koulu	kgCO2e/rakennus	A-vaihe	B3-B4	B6	B yht.	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	rak. 1950, 2412 m2 (lämmitetty nettoala), 4 kerrosta, massiivitiilirakenteinen, rapatut julkisivut, vesikaton kantavat rakenteet puuta + peltikate, YP ja VP kaksoislaatta, AP: maanvarainen eristämätön betonilaatta, maanvastaiset seinät betonia + sisäpuolinen eriste, painovoimainen IV, ostoenergia 211 kWh/m2, E-luku 124 kWh/m2							
korjaus1	Julkisivurappaus, ovet ja ikkunat uusitaan, peltikate uusitaan, VP ja YP alalaatan purku+eristeiden vaihto+uusi alakatto, maanvastaisten seinien lämmöneristeiden purku ja uusi ulkopuolinen lämmön- ja vedeneristys, AP laatan purku luokkahuoneissa + uusi eristetty laatta, LVIS-saneeraus, koneellinen tulo-poisto IV + LTO, ostoenergia 204 kWh/m2, E-luku 131 kWh/m2	282 204	46 280	1 626 789	1 673 069	81 043	2 036 316	14 %
uudis1	2010-luvun koulu, 2412 m2 (lämmitetty nettoala), 2 kerrosta, betonielementtirakenne, julkisivu tiililaatoitettua betonielementtiä, lasia ja teräsrutilää, puurakenteinen vesikatto + kumibitumikermi, YP ja VP ontelolaattaa, maanvastaiset seinät betonia + ulkopuolinen eristys, AP: maanvarainen eristetty betonilaatta, koneellinen tulo-poisto IV + LTO, 137 kWh/m2, E-luku 98 kWh/m2	850 230	57 802	1 056 113	1 113 915	81 043	2 045 188	42 %

Julkaisu 11

uudis2	CLT-rakenne, 2412 m2 (lämmitetty nettoala), 2 kerrosta, rungossa liimapuupilareita ja -palkkeja, julkisivut CLT-elementtejä, lasia ja teräsritilöitä, vesikatto puurakenteinen kumibitumikermikatteella, YP: liimapuupalkisto + puukuiteriste, VP: CLT-välipohjalaatta, maanvastaiset seinät betonia + ulkopuolinen eristys, AP: alapuolelta lämmeineirstetty maanvarainen betonilaatta, koneellinen tulo-poisto IV + LTO, sprinklerjärjestelmä, 149 kWh/m2, E-luku 103 kWh/m2	554 760	68 500	1 152 927	1 221 427	81 043	1 857 230	30 %
--------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------	--------	-----------	-----------	--------	-----------	------

kojaus1 vs.		A-vaihe	B3-B4	B6	B yht.	C-vaihe	YHT.	TMA
uudis1 (a)		33 %	80 %	154 %	150 %	100 %	100 %	-
uudis2 (b)		51 %	68 %	141 %	137 %	100 %	110 %	30

Iso koulu		kgCO2e/rakennus	A-vaihe	B3-B4	B6	B yht.	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
korjaus2	peruskorjauksen toimenpiteet kuten korjaus 1, laajennusosa 7236 m2 (yht. 9 648 m2), laajennusosan rakenteet kuten uudis1, 138 kWh/m2, E-luku 99 kWh/m2		2 344 464	169 625	4 237 867	4 407 492	324 173	7 076 129	33 %
korjaus3	peruskorjauksen toimenpiteet kuten korjaus 1, laajennusosa 7236 m2 (yht. 9 648 m2), laajennusosan rakenteet kuten uudis2, 145 kWh/m2, E-luku 102 kWh/m2		1 543 680	210 899	4 475 278	4 686 177	324 173	6 554 030	24 %
uudis3	9648 m2, 3 kerrosta, rakenteet kuten uudis1, 129 kWh/2, E-luku 95 kWh/m2		3 111 480	215 715	3 938 536	4 154 250	324 173	7 589 903	41 %
uudis4	9648 m2, 3 kerrosta, rakenteet kuten uudis2, 138 kWh/m2, E-luku 99 kWh/m2		1 953 720	256 074	4 260 620	4 516 694	324 173	6 794 586	29 %

kojaus2 vs.		A-vaihe	B3-B4	B6	B-vaihe yht.	C-vaihe	YHT.	TMA
uudis3 (c)		75 %	79 %	108 %	106 %	100 %	93 %	-
kojaus3 vs.		A-vaihe	B3-B4	B6	B yht.	C-vaihe	YHT:	TMA
uudis4 (d)		79 %	82 %	105 %	104 %	100 %	96 %	-

		kgCO2e/m2	A-vaihe	B3-B4	B6	B yht.	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
korjaus1	2412		117	19	674	694	34	844	14 %
korjaus2	9648		243	18	439	457	34	733	33 %
korjaus3	9648		160	22	464	486	34	679	24 %
uudis1	2412		353	24	438	462	34	848	42 %
uudis2	2412		230	28	478	506	34	770	30 %
uudis3	9648		323	22	408	431	34	787	41 %
uudis4	9648		203	27	442	468	34	704	29 %

Julkaisu 11

Puu vs. betoni

uudis1 vs. uudis2

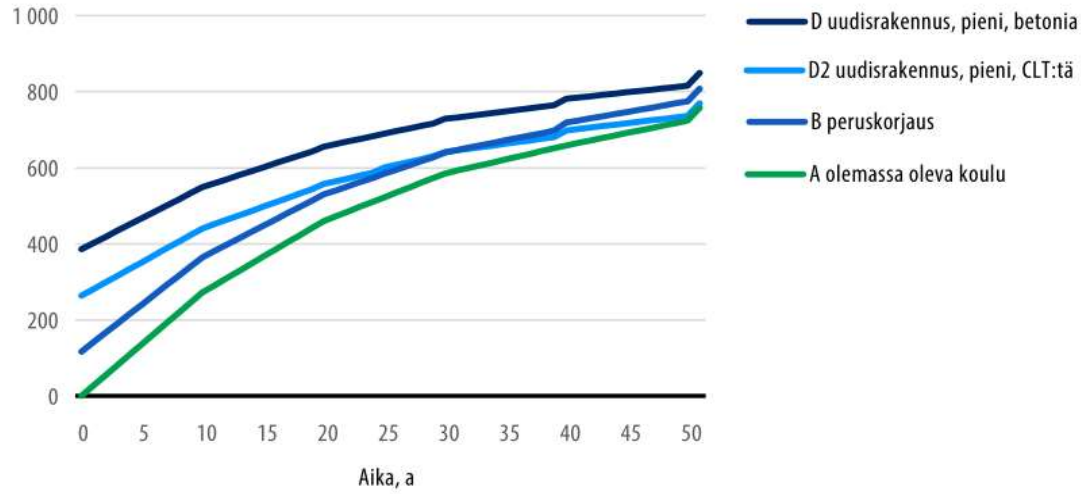
uudis3 vs. uudis4

65 % 119 % 109 % 110 % 100 % 91 % 72 %

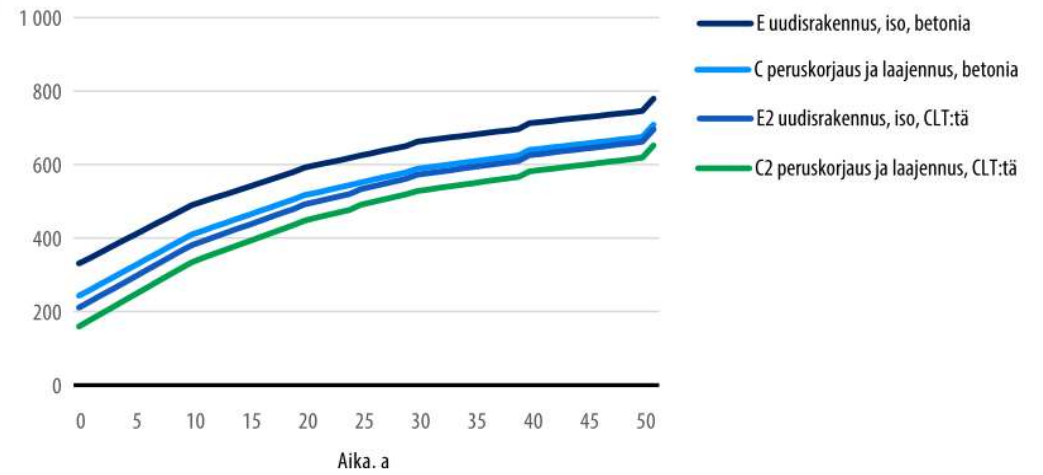
63 % 119 % 108 % 109 % 100 % 90 % 70 %

Päästökertymä

Päästöt, kg CO₂e/m²



Päästöt, kg CO₂e/m²



Julkaisu 12

Kirjoittajat, vuosi	Jäätvuori, Tepponen, Varteva, 2020
Nimi	Aluerakentamisen vaihtoehdot hiilijalanjäljen näkökulmasta. Hiilijalanjätkivertailu laajassa peruskorjaushankkeessa vs. purkavassa täydennysrakentamisessa kahdella 1960- ja 1970-luvuilla rakennetulla asuinalueella pääkaupunkiseudulla
Julkaisutyyppi	Raportti/A-Insinöörit
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	hiilijalanjätkilaskelma, hiilijalanjätkivertailu
Sanat purulle + uudisrakennukselle	purkava täydennysrakentaminen
Sanat korjaukselle	peruskorjaus
Vertailutyyppi	korttelin peruskorjaus vs. laajempi uudisrakennus
Rakennustyyppi	asuinkerrostalokortteli
Rakennusvuosi	1974, 1968
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Helsinki, Suomi
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	50
Toiminnallinen yksikkö	brm2 (Mellunmäki), htm2 (Martinlaakso), asukas
Laskentatyökalut	One Click LCA/YM vähähiilisyiden arviointimenetelmä
Päästötietolähteet	ei kerrottu
Tulosten esitystapa	

Julkaisu 12

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

B2

B3

B4

B5

B6

Sähkön- ja lämmitysenergian tarve on arvioitu asukasmäärän perusteella käyttäen tilastokeskuksen keskimääräisiä energiankulutustietoja

B7

C1-4

D

Olemassa olevan rakennuksen purku Lopputulokseen lisätään vielä vanhan rakennuksen purusta aiheutuvat päästöt, Mellunpuistossa on purun vaikutus arvioitu yhtenä rakennusmassana ja lisätty alueen kokonaishiilijalanjälkeen, koska nykyinen rakennuskanta niin eri mittakaavassa kuin alueelle suunniteltu uusi rakennusmassa. Purettavan massan huomioiva hiilijalanjälki on karkeasti 14,76 kg CO₂e/m²/a.

Energiantuotannon vähähiilistyminen

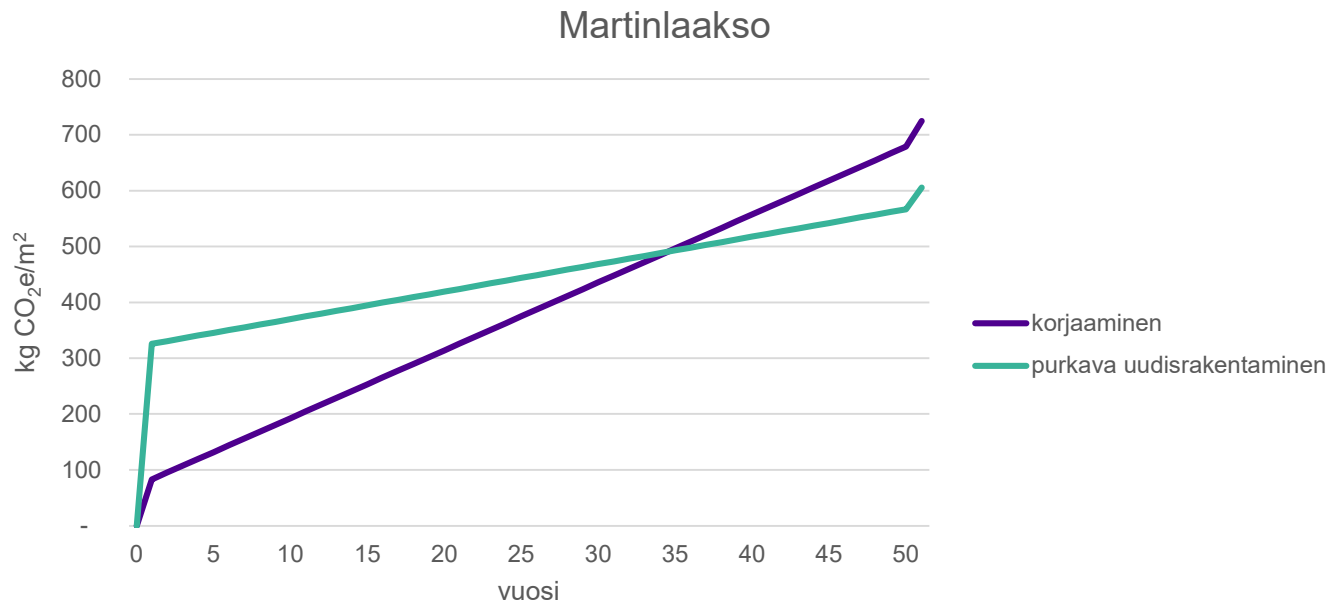
Martinlaakso	kgCO ₂ e/m ² /50 vuotta	purku	A1-A3	A4	A5	A yht.	B3-4	B6	B yht.	C yht.	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	3 taloa, 3 kerrosta, 126 asukasta (31 m ² /as.), 3920 htm ² , betonielementti, 1974, kaukolämpö, ei hissejä. Rakennuksilla on purkulupa.											
korjaus1	LVIS-saneeraus, automaation uusinta, hissien lisäys, -30% lämmönkulutukseen, -10 % sähkönkulutukseen		82	-	2	83	39	570	608	34	725	11 %

Julkaisu 12

uudis1	3 betonielementtikerrostaloa, 310 asukasta, 8-14 kerrosta, 9616 hmt2, maanvarainen perustus, parvekkeet joka asunnossa	14	267	10	36	326	31	216	246	34	606	54 %
korjaus2 vs.						A-vaihe			B-vaihe		YHT.	TMA
uudis2			31 %	0 %	4 %	25 %	126 %	264 %	247 %	100 %	120 %	34

Martinlaakso	kgCO2e/asukas/50 vuotta	purku	A1-A3	A4	A5	A yht.	B3-4	B6	B yht.	C yht.	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus												
korjaus1	31	-	2 536	-	47	2 582	1 198	17 718	18 916	1 058	22 556	5 %
uudis1	31	425	8 267	310	1 101	10 103	946	6 685	7 631	1 055	18 788	54 %
korjaus2 vs.						A-vaihe			B-vaihe		YHT.	TMA
uudis2						26 %			248 %		120 %	33

Päästökertymä



Julkaisu 12

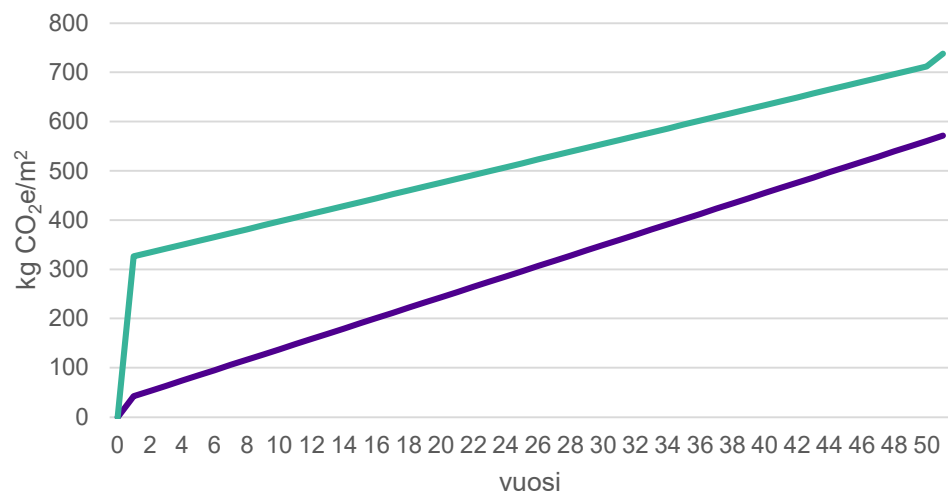
Mellunpuisto	kgCO2e/50 vuotta	ala	A1-A5	A-vaihe	B3-4	B6	B-vaihe	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	7 taloa, 3 kerrosta, 1968, 14833 bm2, betonielementti, ei hissejä, kaukolämpö, julkisivu, katto ja ikkunat hiljattain uusittu, 250 asukasta (perustuu todelliseen asukasmäärään)									
korjaus2	LVIS-remontti, hissien lisäys, IV-LTO, lämmönjakopaketin ja -venttiilien uusinta, -30 % lämmönkulutukseen, -10 % sähkönkulutukseen	14 833	627436	627436	694184	7149506	7843690	13350	8485000	7 %
uudis2	20 kerrostaloa, 6-16 kerrosta, 2000 asukasta (perustuu Tilastokeskuksen tilastoon asukastiheydestä, 31 m2/as.), 70000 brm2 -> 62300 htm2, betonielementti, 10 m betonipaalutus ja maanvarainen laatta, parveke joka asunnossa, hissit, yleisesti käytössä olevat materiaalit, 75 % lämmöntarpeesta maalämmöllä, 25 % kaukolämmöllä, 25 % aurinkosähkö	70 000	22831200	22831200	7610400	19950000	27560400	1268400	51657000	44 %
kojaus2 vs. uudis2				A-vaihe			B-vaihe		YHT.	TMA
			3 %	3 %	9 %	36 %	28 %	1 %	16 %	-

Mellunpuisto	kgCO2e/m2/50 vuotta	A1-A3	A-vaihe	B3-4	B6	B-vaihe	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus									
korjaus2		42	42	47	482	529	0,9	572	6 %
uudis2		326	326	109	285	394	18	738	39 %
kojaus2 vs. uudis2			A-vaihe			B-vaihe		YHT.	TMA
		13 %	13 %	43 %	169 %	134 %	5 %	78 %	-

Julkaisu 12

Mellunpuisto	kgCO2e/asukas/50 vuotta	asukk aita	A1-A3	A-vaihe	B3-4	B6	B-vaihe	C-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus										
korjaus2		250	2 510	2 510	2 777	28 598	31 375	53	33 940	6 %
uudis2		2000	11 416	11 416	3 805	9 975	13 780	634	25 829	39 %
kojaus2 vs. uudis2				A-vaihe			B-vaihe		YHT.	TMA
			22 %	22 %	73 %	287 %	228 %	8 %	131 %	28

Päästökertymä



— peruskorjaus — purkava uudisrakentaminen

Julkaisu 13

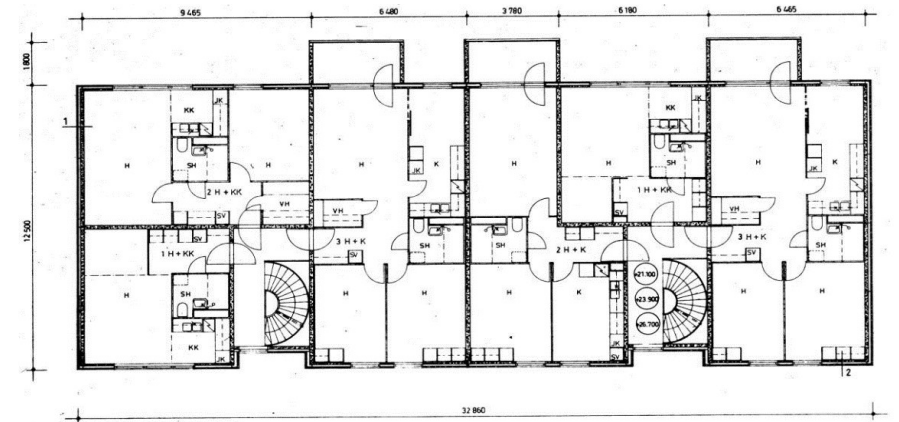
Kirjoittajat, vuosi	Nöjd, 2019a
Nimi	Hiilijalanjäljen laskentareportti, Heka Malmi Karviaistie 12
Julkaisutyyppi	Raportti, Sweco
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	hiilijalanjälkilaskelma
Sanat purulle + uudisrakennukselle	purku, uudisrakennus
Sanat korjaukselle	peruskorjaus
Vertailutyyppi	peruskorjaus+korotus (puu) vs. uudisrakennus
Rakennustyyppi	asuinkerrostalo
Rakennusvuosi	1977
Korjausvuosi	
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Helsinki, Suomi
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	50
Toiminnallinen yksikkö	lämmitetty nettoala, koko rakennus
Laskentatyökalut	One Click LCA, Ympäristöministeriön rakennusten vähähiilisyyden arviointimenetelmä Energiasimulointi IDA-ICE
Päästötietolähteet	EPD, laskentaohjelman tietokannat
Tulosten esitystapa	taulukko

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5



Pohjakuva rakennuksen asuinkerroksesta.

Julkaisu 13

B1
B2
B3
B4
B5
B6

Sähkön päästökertoimena käytettiin Suomen verkkosähkön arvioitua päästökerrointa vuosille 2020-2085 (Ympäristöministeriö), 0,064 kg CO₂e / kWh
Kaukolämmön päästökertoimena käytettiin Suomen kaukolämmön arvioitua päästökerrointa vuosille 2020-2085 (Ympäristöministeriö), 0,11 kg CO₂e/kWh

B7
C1-4
D

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

		kgCO ₂ e/50 vuotta										A:n osuus	
		A0	A1-A3	A4	A5	A total	B4-B5	B6	B total	C1-C4 Total	D		
alkuperäinen rakennus	rak. 1977, neljä maanpäällistä kerrosta, yhteistilat pohjakerroksessa, betonielementti, lämmitetty nettoala 1510 m ² , kaukolämpö												
korjaus1	Kaksi lisäkerrosta puurakenteisena puujulkisivulla, julkisivun ja eristeiden purku ja uusien eristeiden asennus sekä puuverhoiltu julkisivu, uudet ikkunat, talotekniikka uusitaan kokonaisuudessaan, keskitetyn IV:n konehuone 40 m ² katolle, Anturoiden vahvistus, laajennus ~755 m ² (lämmitetty nettoala yht. 2266 m ²)	14 140	263 158	4 684	27 827	309 809	60 873	1 182 366	1 243 239	38 591	1 591 639	- 84 120	19 %

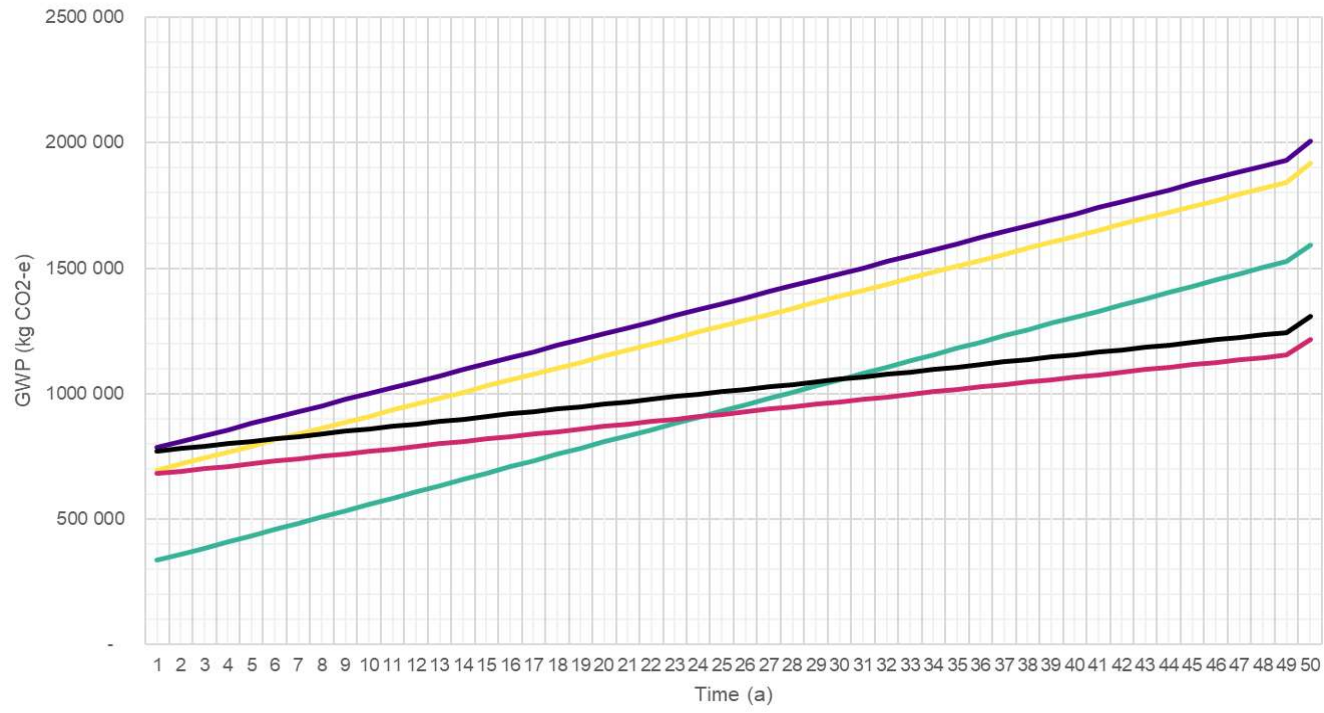
Julkaisu 13

uudis1	sama tilajakauma ja pohjapiirustus kuin peruskorjattavassa kerrostalossa, 6 kerrosta, yhteistilat pohjakerroksessa vastaavasti kuten korjattavassakin vaihtoehdossa; betonielementti, Julkisivut betoni + villa + puu; keskitetty IV, konehuone 40 m2 katolle; Anturaperustus	39 723	650 139	24 385	46 712	760 959	132 013	1 063 007	1 195 020	52 290	2 008 269	- 161 095	38 %
uudis 2	Betonirakenteet kierrätysbetonia: <i>"Kierrätysbetonilla tarkoitetaan tässä yhteydessä betonituotteita, joissa sidosaineesta 40 % tulee kierrätettävästä lähteestä. Normaali taso sidosaineen kierrätysasteesta laskelmissa on 10 %"</i>	39 723	560 605	24 385	46 712	671 425	132 013	1 063 007	1 195 020	52 290	1 918 735	- 158 220	38 %
uudis3	Maalämpö (lämmityksen SFP=2,9, käyttöveden SFP=2,2) "Tyypillisesti maalämpöpumppujen kausisuorituskerroimet ovat paremmat. Laskelmissa ei kuitenkaan erikseen tarkasteltu huipun mahdollista tukilämmitystä, joten kertoimet kompensoivat lisälämmitystarvetta."	39 723	650 139	24 385	46 712	760 959	132 013	361 085	493 098	52 290	1 306 347	- 84 120	38 %
uudis 4	Kierrätysbetoni + maalämpö	39 723	560 605	24 385	46 712	671 425	132 013	361 085	493 098	52 290	1 216 813	- 84 120	38 %
kojaus1 vs.						A-vaihe		B-vaihe		YHT.		TMA	
uudis1						41 %		104 %		79 %		-	
uudis2						46 %		104 %		83 %		-	
uudis3						41 %		252 %		122 %		30	
uudis4						46 %		252 %		131 %		24	

kgCO2e/m2/50 vuotta

	A0	A1-A3	A4	A5	A total	B4-B5	B6	B total	C1-C4 Total	D	A:n osuus	
alkuperäinen rakennus												
korjaus1	6	116	2	12	137	27	522	549	17	702	- 37	19 %
uudis 1	18	287	11	21	336	58	469	527	23	886	- 71	38 %
uudis 2	18	247	11	21	296	58	469	527	23	847	- 70	138 %
uudis 3	18	287	11	21	336	58	159	218	23	576	- 37	238 %
uudis 4	18	247	11	21	296	58	159	218	23	537	- 37	338 %

Päästökertymä



- vanhan purku + uudisrakennus
- vanhan purku + uudisrakennus kierrätysbetonilla
- vanhan purku + uudisrakennus maalämmöllä
- peruskorjaus + korotus
- vanhan purku + uudisrakennus kierrätysbetonilla ja maalämmöllä

Julkaisu 14

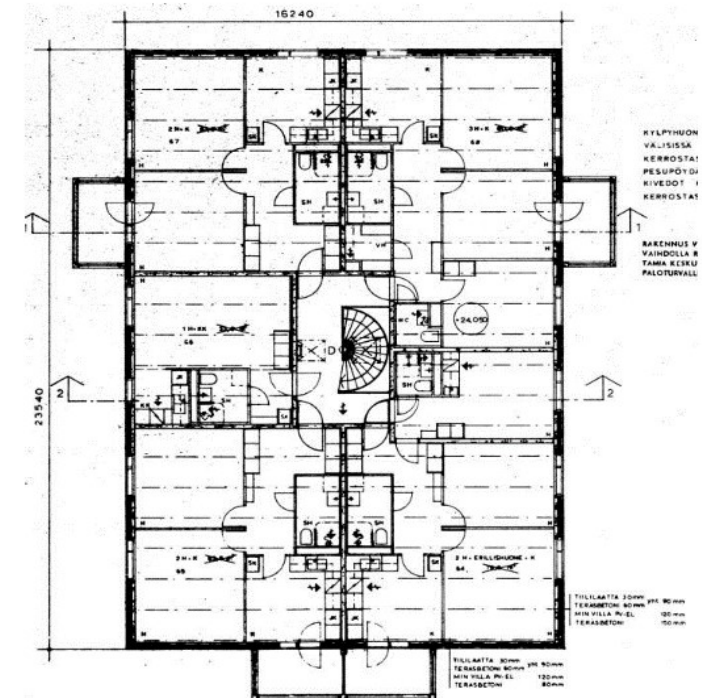
Kirjoittajat, vuosi	Nöjd, 2019b
Nimi	Hiilijalanjäljen laskentaraaportti, Heka Malmi Saniaistie 12
Julkaisutyyppi	Raportti, Sweco
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	hiilijalanjälkilaskelma
Sanat purulle + uudisrakennukselle	purku, uudisrakennus
Sanat korjaukselle	peruskorjaus
Vertailutyyppi	peruskorjaus+korotus (puu) vs. uudisrakennus
Rakennustyyppi	asuinkerrostalo
Rakennusvuosi	1979
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Helsinki, Suomi
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	50
Toiminnallinen yksikkö	lämmitetty nettoala, koko rakennus
Laskentatyökalut	One Click LCA, Ympäristöministeriön rakennusten vähähiilisyden arviointimenetelmä Energiasimulointi IDA-ICE
Päästötietolähteet	EPD, laskentaohjelman tietokannat
Tulosten esitystapa	taulukko

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5



Pohjakuva rakennuksen asuinkerroksesta.

Julkaisu 14

B1
 B2
 B3
B4
B5
B6

Sähkön päästökertoimena käytettiin Suomen verkkosähkön arvioitua päästökerrointa vuosille 2020-2085 (Ympäristöministeriö), 0,064 kg CO₂e / kWh
 Kaukolämmön päästökertoimena käytettiin Suomen kaukolämmön arvioitua päästökerrointa vuosille 2020-2085 (Ympäristöministeriö), 0,11 kg CO₂e/kWh

B7

C1-4

D

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

		kgCO ₂ e/50 vuotta										A:n osuus	
		A0	A1-A3	A4	A5	A total	B4-B5	B6	B total	C1-C4 Total	D		
alkuperäinen rakennus	rak. 1979, neljä maanpäällistä kerrosta, yhteistilat pohjakerroksessa, betonielementti, ~1556 brm ² (lämmitetty nettoala n. 1400 m ²), kaukolämpö												
korjaus1	Kaksi lisäkerrosta puurakenteisena puujulkisivulla, julkisivun ja eristeiden purku ja uusien eristeiden asennus sekä puuverhoiltu julkisivu, uudet ikkunat, talotekniikka uusitaan kokonaisuudessaan, keskitetyn IV:n konehuone 40 m ² katolle, Anturoiden vahvistus, porapaalujen lisäys, laajennus ~778 brm ² (lämmitetty nettoala yht. 2100 m ²)	16 499	284 262	3 403	28 346	332 510	99 589	1 080 295	1 179 884	33 897	1 546 291	- 81 046	22 %

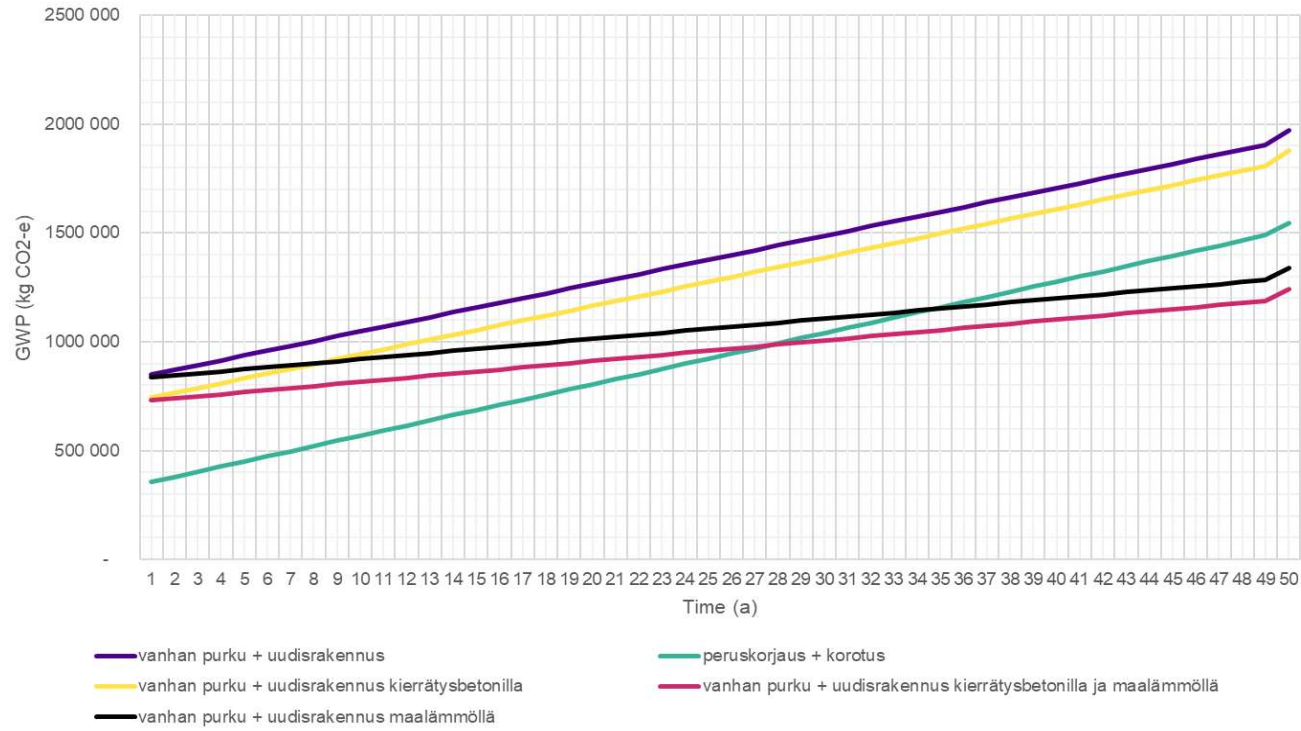
Julkaisu 14

uudis1	sama tilajakauma ja pohjapiirustus kuin peruskorjattavassa kerrostalossa, 2334 brm2 (nettoala 2100 m2), 6 kerrosta, betonielementti, yhteistilat pohjakerroksessa vastaavasti kuten korjattavassakin vaihtoehdossa; Julkisivut betoni + villa + puu; keskitetty IV, konehuone 40 m2 katolle; paaluperustus	32 376	727 949	23 380	43 299	827 004	147 819	951 715	1 099 534	46 206	1 972 744	-250 556	38 %
uudis 2	Betonirakenteet kierrätysbetonia: "Kierrätysbetonilla tarkoitetaan tässä yhteydessä betonituotteita, joissa sidosaineesta 40 % tulee kierrätettävästä lähteestä. Normaali taso sidosaineen kierrätysasteesta laskelmissa on 10 %"	32 376	621 387	23 410	43 299	720 472	158 768	951 715	1 110 483	46 242	1 877 197	-161 040	38 %
uudis3	Maalämpö (lämmityksen SFP=2,9, käyttöveden SFP=2,2) "Tyypillisesti maalämpöpumppujen kausisuorituskerroimet ovat paremmat. Laskelmissa ei kuitenkaan erikseen tarkasteltu huipun mahdollista tukilämmitystä, joten kertoimet kompensoivat lisälämmitystarvetta."	32 376	727 949	23 380	43 299	827 004	147 819	317 839	465 658	46 206	1 338 868	- 81 046	38 %
uudis 4	Kierrätysbetoni + maalämpö	32 376	621 387	23 410	43 299	720 472	158 768	317 839	476 607	46 242	1 243 321	- 81 046	38 %
kojaus1 vs.						A-vaihe		B-vaihe		YHT.		TMA	
uudis1						40 %		107 %		78 %		-	
uudis2						46 %		106 %		82 %		-	
uudis3						40 %		253 %		115 %		35	
uudis4						46 %		248 %		124 %		28	

kgCO2e/m2/50 vuotta

	A0	A1-A3	A4	A5	A total	B4-B5	B6	B total	C1-C4 Total	D	A:n osuus
alkuperäinen rakennus											
korjaus1	8	135	2	13	158	47	514	562	16	736	- 39 22 %
uudis1	15	347	11	21	394	70	453	524	22	939	- 119 38 %
uudis 2	15	296	11	21	343	76	453	529	22	894	- 77 138 %
uudis3	15	347	11	21	394	70	151	222	22	638	- 39 238 %
uudis 4	15	296	11	21	343	76	151	227	22	592	- 39 338 %

Päästökertymä



Julkaisu 15

Kirjoittajat, vuosi	Puurunen, 2020
Nimi	Ultramariinikuja 4: Analyysi olemassa olevan toimistorakennuksen hiilirasisiteesta ja tämän kompensoimisesta uudisrakentamisessa
Julkaisutyyppi	raportti/Sitowise
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	-
Sanat purulle + uudisrakennukselle	hiilijalanjälkilaskelma
Sanat korjaukselle	purkaminen, uudisrakennus
Vertailutyyppi	rungon uudelleenkäyttö vs. uudisrakennus
Rakennustyyppi	toimisto
Rakennusvuosi	1989
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Helsinki, Finland
Ilmasto	Dfb
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	50
Toiminnallinen yksikkö	m2
Laskentatyökalut	One Click LCA Carbon Designer, YM vähähiilisyyden arviointimenetelmä (viitesuunnitelmavaihe)
Päästötietolähteet	EPD, laskentaohjelman tietokannat
Tulosten esitystapa	taulukko, palkkikaavio, aikajana

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3 Määrätiedot arvioitu One Click LCA Carbon Designerilla

A4

A5

B1

B2

B3



Vaalean sinisenä esitetty osa on säilytettävä toimistorakennus (kuva: Google Maps)

B4

B5

B6

Rakennus edustaa energiatehokkuudeltaan tehokasta nykyrakentamista (energialuokka B). Lähde: vastaavan tyyppisen energiatehokkaan toimistorakennuksen tavoite-energiälaskelma, peruskorjattu rakennus energiatehokkuudeltaan uudisrakennusta vastaava.

Sähkönkulutus: 9,6 kWh/m³, yht. 99360 kWh/v

Kaukolämmönkulutus 15,6 kWh/m³, yht. 161460 kWh/v

Kaukokylmäkulutus: 4,8 kWh/m³, 49680 kWh/v

B7

C1-4

D

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

		kgCO ₂ -e/m ² /v luettu palkkikaaviosta	A-vaihe	B-vaihe	C-vaihe	YHT.	D	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	3-kerroksinen betonielementtitoimisto v. 1989, 3450 m ² (3264 m ² lämmitetty nettoala), kaukolämpö, 20x57,5 m, huonekorkeus 3 m, tilavuus 10350 m ³						-	
korjaus	Rakennuksesta uusitaan kaikki rakenteet lukuunottamatta kantavia rakenteita, 15,6 kWh/m ³ /a		3,1	6,6	0,8	10,6	-	0,8 29 %
uudis1	betonirakenne, olemassa olevaa vastaava, 15,6 kWh/m ³ /a		5,7	6,6	1,3	13,7	-	1,5 42 %
uudis2	puurakenne, olemassa olevaa vastaava, 15,6 kWh/m ³ /a		4,3	6,6	1,3	12,3	-	10,0 35 %
kojaus vs.			A-vaihe	B-vaihe	C-vaihe	YHT.	D	TMA
uudis1			54 %	100 %	62 %	77 %		54 % -
uudis2			72 %	100 %	62 %	86 %		8 % -
uudis1 vs. uudis 2			75 %	100 %	100 %	90 %		690 %

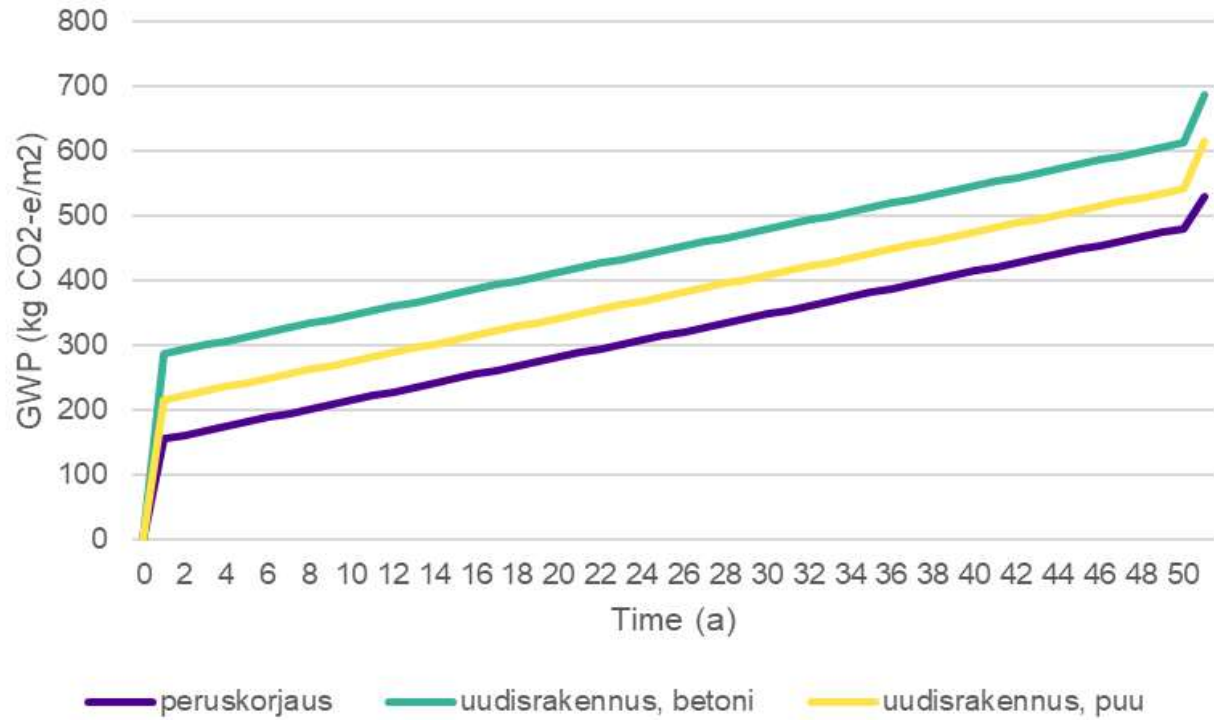
		kgCO ₂ -e/m ² /50v	A-vaihe	B-vaihe	C-vaihe	YHT.	D	A:n osuus
korjaus			156	332	42	529	-	39 29 %
uudis1			287	332	67	686	-	73 42 %
uudis2			216	332	67	615	-	501 35 %

		kgCO ₂ -e/rakennus/50v	A-vaihe	B-vaihe	C-vaihe	YHT.	D	A:n osuus
korjaus			3264 507 552	1 083 648	135 456	1 726 656	-	127 296 29 %

Julkaisu 15

uudis1	3264	936 768	1 083 648	218 688	2 239 104	-	236 640	42 %
uudis2	3264	705 024	1 083 648	218 688	2 007 360	-	1 633 632	35 %

Päästökertymä



Julkaisu 16

Kirjoittajat, vuosi Nimi	Rønning & Vold, 2008 Miljøvurdering av nytt hovedkontor for SpareBank 1 SMN Sammenligning av to alternative løsninger
Julkaisutyyppi Avainsanat Sanat LCA:lle Sanat purulle + uudisrakennukselle Sanat korjaukselle	raportti/ Østfoldforskning LCA, Bygninger, Klimagasser LCA ny bygningsmasse videre drift av eksisterende bygningsmasse, omfattende rehabilitering
Vertailutyyppi	rungon uudelleenkäyttö vs. poikkeuksellisen energiatehokas uudisrakennus
Rakennustyyppi	toimisto
Rakennusvuosi	1970-luku
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti Ilmasto	Trondheim, Norja Dfc
Ympäristövaikutus Laskentajakso	GWP 60
Toiminnallinen yksikkö Laskentatyökalut	koko rakennus, pinta-ala, työpiste hybridi-LCA, hiilijalanjälki laskettiin arvioitujen materiaalimäärien perusteella
Päästötietolähteet	NAMEA statistics (National Account Matrix including Environmental Accounts), "general LCA software", Norjan LCC-standardi, ontelolaatan ja teräspalkin EPD (epd-norje.no)
Tulosten esitystapa	palkkikaavio, aikajana

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

Julkaisu 16

A5	
B1	
B2	Huollon päästöarvot perustuvat huollon kustannuksiin (uusi rakennus 60 kr/m ² /v, korjattu rakennus 90 kr/m ² /v).
B3	
B4	
B5	joka 7. vuosi tilamuutos (perustuu tutkimukseen Norjassa) Uudisrakenus 1500 kr/m ² , korjattu rakennus 4500 kr/m ²
B6	energiankulutus arvioitu "hihavakiolla"
B7	
C1-4	

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

	kgCO ₂ e/rakennus/60 vuotta (luettu palkkikaaviosta)	purku	A-vaihe	A YHT.	B6	B5	B YHT.	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus	1970-luvun alun toimistotalo, 12 069 brm ² , 455 työpistettä, 524 kWh/m ²								
korjaus1	Ainoastaan perustus ja päärakennusosat säilytetään, sisärakenteiden purku ja uudelleenrakentaminen, taloteknisten järjestelmien uusiminen. 300 kWh/m ² (sähkö 174 kWh/m ² , kaukolämpö 126 kWh/m ²), 500 työpistettä, keskitason muuntojoustavuus	940 000	5 170 000	6 110 000	33 605 000	13 630 000	47 235 000	53 345 000	11 %
uudis	12 740 brm ² , 5 kerrosta, matalaenergiarakennus (TEK07), 100 kWh/m ² (sähkö 85 kWh/m ² , lämpöpumput/aurinkoenergia tmv. 15 kWh/m ²), 600 työpistettä, korkea muuntojoustavuus	1 293 000	15 510 000	16 803 000	11 163 000	4 465 000	15 628 000	32 431 000	52 %
uudis vs. korjaus				A-vaihe 36 %			B-vaihe 302 %	YHT. 164 %	TMA 20

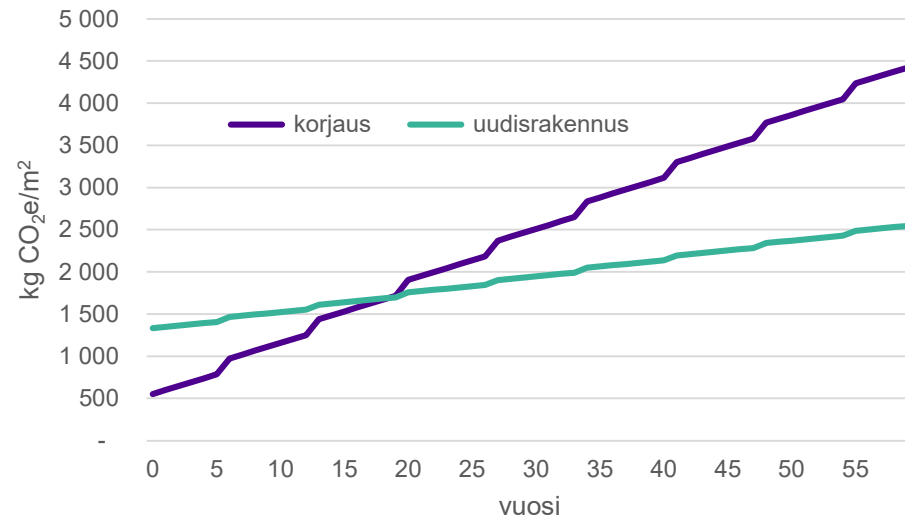
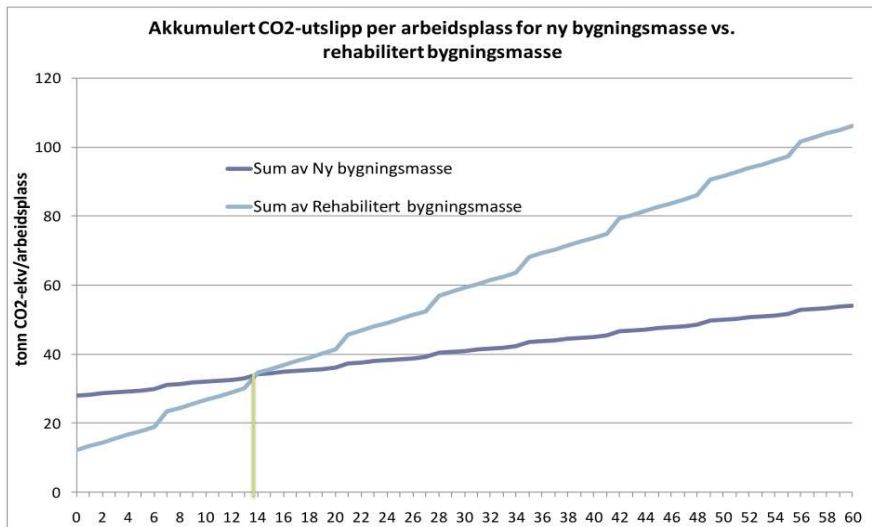
Julkaisu 16

	kgCO ₂ e/m ² /v. pinta-ala (m ²)	purku	A-vaihe	A YHT.	B6	B5	B YHT.	YHT.	A:n osuus
korjaus1	12 069	1,3	7,1	8,4	46,4	18,8	65,2	73,7	11 %
uudis	12 740	1,7	20,3	22,0	14,6	5,8	20,4	42,4	52 %

	kgCO ₂ e/m ² /60 v. pinta-ala (m ²)	purku	A-vaihe	A YHT.	B6	B5	B YHT.	YHT.	A:n osuus
korjaus1	12 069	78	428	506	2 784	1 129	3 914	4 420	11 %
uudis	12 740	101	1 217	1 319	876	350	1 227	2 546	52 %
uudis vs. korjaus				A-vaihe 38 %			B-vaihe 319 %	YHT. 174 %	TMA 19

	kgCO ₂ e/työpiste/60v. työpisteitä (kpl)	purku	A-vaihe	A YHT.	B6	B5	B YHT.	YHT.	A:n osuus
korjaus1	500	31	172	204	1 120	454	1 575	1 778	11 %
uudis	600	36	431	467	310	124	434	901	52 %
uudis vs. korjaus				A-vaihe 44 %			B-vaihe 363 %	YHT. 197 %	TMA 14

Päästökertymä



Julkaisu 17

Kirjoittajat, vuosi Nimi	Säynäjoki, Heinonen & Junnila, 2012 A scenario analysis of the life cycle greenhouse gas emissions of a new residential area
Julkaisutyyppi Avainsanat	artikkeli, Environmental Research Letters carbon spike, greenhouse gas, GHG, residential development, construction, life cycle assessment
Sanat LCA:lle Sanat purulle + uudisrakennukselle Sanat korjaukselle	life cycle assessment new construction residential development
Vertailutyyppi Rakennustyyppi Rakennusvuosi Korjausvuosi Uudisrakennuksen rakennusvuosi Sijainti Ilmasto	Okt-alueen energiakorjaus vs. uudisalue, sis. infra Omakotitaloalue 1960-luku - - Etelä-Suomi Dfb
Ympäristövaikutus Laskentajakso Toiminnallinen yksikkö Laskentatyökalut Päästötietolähteet Tulosten esitystapa	GWP, kustannukset 50 koko asuinalue (total permitted building volume), kerrosala? hybridi-LCA Carnegie Mellon EIO-LCA, suomalainen prosessidata tärkeimpiin materiaaleihin aikajana, palkkikaavio

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3 The additional costs of the energy efficient building types compared to the base case are due to more sophisticated HVAC and heat recovery systems, improved walls, windows, roofs and base floors and more airtight envelope.

A4

A5

Julkaisu 17

B1

B2-B3

B4

B5

B6

kaukolämpö, energiankulutus RIL:n ohjeiden mukaan, sähkönkulutus Tilastokeskuksen mukaan

B7

C1-4

Olemassa olevan rakennuksen purku

verrataan olemassa olevaa ja uutta aluetta toisaalla

Energiantuotannon vähähiilistyminen

lineaarinen vähähiilistyminen, päästö vuonna 2060 on 45 g/kWh

		kg CO2e/koko alue	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
<i>alkuperäinen (R-80s)</i>	<i>1980-luvulla rakennettu alue, ei korjaustarpeita, lämmitys 195 kWh/m2, sähkö 9,5 kWh/m2</i>		-	83 000 000	83 000 000	0 %
korjaus (R-60s)	1960-luvun asuinalue, 220 omakotitaloa, 550 asukasta, 35270 m2 rakennusoikeutta, uudisalue sis. infrarakenteet, (yhden rakennuksen ala noin 160 m2) energiakorjauksia, matalaenergia, lämmitys 50 kWh/m2, sähkö 9,5 kWh/m2		40 200 000	27 500 000	67 700 000	59 %
uudis1 (base case)	2008 rakennusmääräysten mukainen energiatehokkuus, lämmitys 100		60 500 000	44 200 000	104 700 000	58 %
uudis2 (LE-50)	matalaenergia, lämmitys 50 kWh/m2, sähkö 9,5 kWh/m2		61 500 000	27 600 000	89 100 000	69 %
uudis3 (PH-15)	passiivi, lämmitys 15 kWh/m2, sähkö 9,5 kWh/m2		63 700 000	15 900 000	79 600 000	80 %

korjaus vs.

	A-vaihe	B-vaihe	koko elinkaari	TMA
uudis1	66 %	62 %	65 %	-
uudis2	65 %	100 %	76 %	-
uudis3	63 %	173 %	85 %	-

	kg CO2e/m2	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
<i>alkuperäinen (R-80s)</i>		-	2 353	2 353	0 %
korjaus (R-60s)		1 140	780	1 919	59 %
uudis1 (base case)		1 715	1 253	2 969	58 %
uudis2 (LE-50)		1 744	783	2 526	69 %
uudis3 (PH-15)		1 806	451	2 257	80 %

	kg CO2e/omakotitalo á 160 m2 A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
<i>alkuperäinen (R-80s)</i>	-	377 273	377 273	0 %
korjaus (R-60s)	182 727	125 000	307 727	59 %
uudis1 (base case)	275 000	200 909	475 909	58 %
uudis2 (LE-50)	279 545	125 455	405 000	69 %
uudis3 (PH-15)	289 545	72 273	361 818	80 %

Päästökertymä

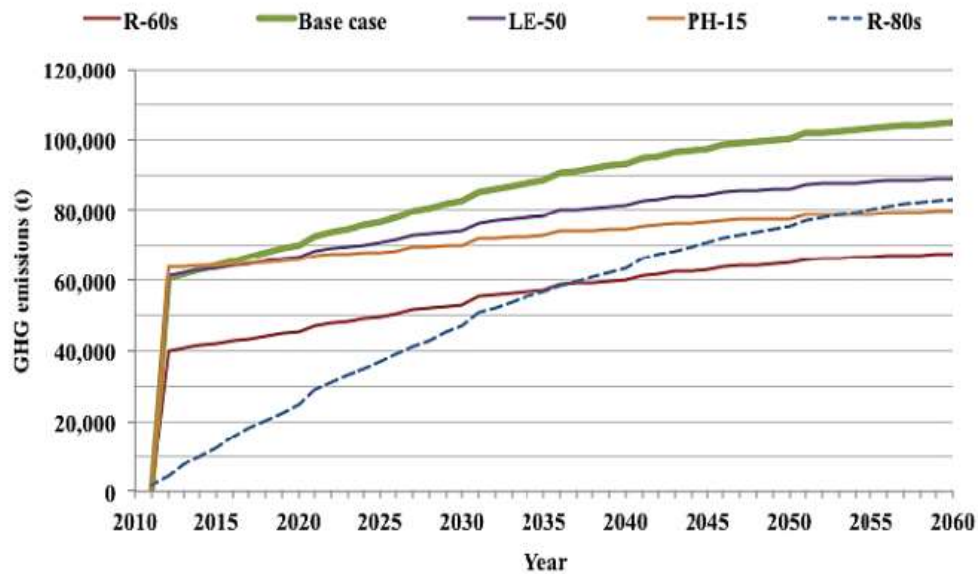


Figure 1. The cumulative GHG emissions over a 50 yr time horizon for the different housing scenarios.

Julkaisu 18

Kirjoittajat, vuosi	Ulvan, 2020
Nimi	Gjenbruk av enebolig som klimatiltak
Julkaisutyyppi	Raportti/Rambol
Avainsanat	-
Sanat LCA:lle	LCA
Sanat purulle + uudisrakennukselle	riving, nybygging
Sanat korjaukselle	gjenbruk, oppgradering
Vertailutyyppi	rungon uudelleenkäyttö vs. uudisrakennus
Rakennustyyppi	omakotitalo
Rakennusvuosi	1970-luku
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Norja
Ilmasto	Dfb/Dfc
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	60
Toiminnallinen yksikkö	rakennus, kerrosala
Laskentatyökalut	One Click LCA Carbon Designer
Päästötietolähteet	ei kerrottu
Tulosten esitystapa	palkkikaavio, taulukko

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4 korjaamisen päästöt puolet uudisrakentamisen päästöistä

A5

B1

B2-B3

B4 sama molemmille vaihtoehdoille

B5 sama molemmille vaihtoehdoille

Julkaisu 18

B6 energiankulutus sama molemmille rakennuksille

B7

C1-4

Olemassa olevan rakennuksen purku

Energiantuotannon vähähiilistyminen

		kg CO ₂ e/60 v. purku*	A1-3	A4	A5	A tot.	B4-5	B6	C1-4	tot.
alkuperäinen	2 kerrosta, ei kellaria, 150 m ² , perustus + maanvarainen laatta, puurunko									
korjaus1	Perustus, maanvarainen laatta, runkorakenteet ja 50 % eristyksistä säilytetään, sisärakenteet uusitaan, TEK17 energiatehokkuus/uudisrakennusta vastaava	2 185	11 502	77	2 662	16 426	6 567	=	2 185	25 177
uudis1	Vastaava laajuus kuin korjatulla rakennuksella, maanvarainen laatta, harkkoperustus seinille, puurakenne, TEK17 energiatehokkuus	3 032	41 486	765	6 513	51 796	6 567	=	3 032	61 395

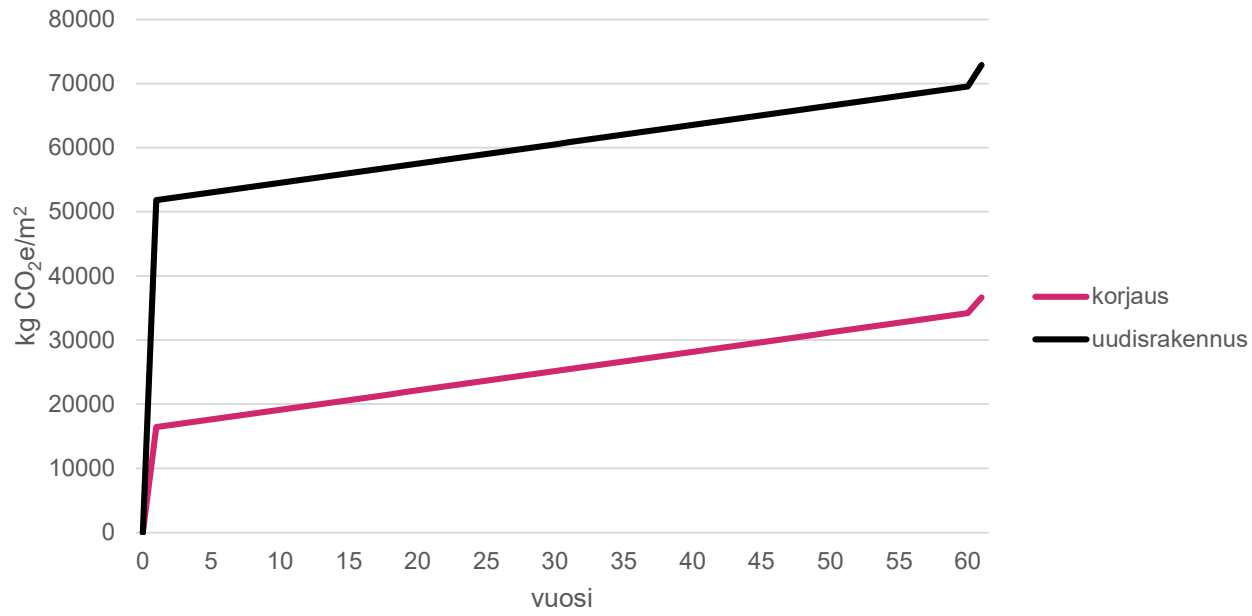
*) Korjaamiselle purun päästöt laskettu jakamalla julkaisun uusien materiaalien ja vanhojen materiaalien C1-4 päästöt puoliksi elinkaaren alun ja lopun puruvaiheelle

korjaus1 vs.			A-vaihe						TMA	
uudis1			28 %						-	

		kg CO ₂ e/m ² /60 v. purku	A1-3	A4	A5	A tot.	B4-5	B6	C1-4	tot.
alkuperäinen										
korjaus1		15	77	1	18	110	44	=	15	168
uudis1		20	277	5	43	345	44	=	20	409

Julkaisu 18

Päästökertymä



Periaatteellinen kuva. B6 päästöt yhtä suuret molemmille tapauksille, mutta niitä ei ole annettu julkaisussa.

Julkaisu 19

Kirjoittajat, vuosi Nimi	Zhang & Wang, 2017 Analysis of embodied carbon in the building life cycle considering the temporal perspectives of emissions: A case study in China
Julkaisutyyppi Avainsanat	Artikkeli/Energy and Buildings Embodied emission, Life-cycle assessment, Temporal perspective, Scenario analysis, Carbon reduction
Sanat LCA:lle Sanat purulle + uudisrakennukselle Sanat korjaukselle	Life-cycle assessment constructing a new building renovating old buildings
Vertailutyyppi	teoreettinen 1980-luvun kerrostalon korjaus vs. teoreettinen uudisrakennus
Rakennustyyppi	asuinkerrostalo
Rakennusvuosi	1980-luku
Korjausvuosi	-
Uudisrakennuksen rakennusvuosi	-
Sijainti	Harbin, Kiina
Ilmasto	Dwa
Ympäristövaikutus	GWP
Laskentajakso	50
Toiminnallinen yksikkö	rakennus
Laskentatyökalut	prosessiperusteinen hybridi-LCA, laskettu "käsin", ei nimettyä laskentaohjelmaa
Päästötietolähteet	ei kerrottu
Tulosten esitystapa	aikajana

ELINKAARIVAIHEET (lihavoidut otettu huomioon LCA:ssa)

A1-A3

A4

A5

B1

Julkaisu 19

B2

B3

B4

B5

B6

sisältää myös kotitaloussähkön sekä kaasun, tilastoihin perustuva arvo

B7

C1-4

purku (vanha rakennus)

verrataan uutta ja olemassa olevaa

vähähiilistyminen

	kgCO ₂ -e/koko rakennus	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus (S3)	tyypillinen kiinalainen 1980-luvun asuinkerrostalo, 17558,72 m ² , 17 kerrosta (49,2 m korkea)	-	130 900 000	38 600 000	
korjaus (S4)	katon korjaus, ulkopuolinen lisäeristys, seinien maalaus, uudet ikkunat, putket ja radiaattorit	922 000	37 678 000	38 600 000	2 %
uudis (S1)	rakennettu 2017, energiankulutus 0,2537 GJ/m ² (=70,47 kWh/m ²) (Kiinan 2012 rakennuskoodin mukainen), 17558,72 m ² , 17 kerrosta (49,2 m korkea)	8 630 000	32 670 000	41 300 000	21 %
kojaus vs. uudis		A-vaihe 11 %	B-vaihe 115 %	YHT. 93 %	TMA -

	kgCO ₂ -e/m ²	A-vaihe	B-vaihe	YHT.	A:n osuus
alkuperäinen rakennus					
korjaus		53	2 146	2 198	2,39 %
uudis		491	1 861	2 352	20,9 %

	kgCO ₂ -e/m ² /v	A-vaihe	B-vaihe	YHT.
alkuperäinen rakennus				
korjaus		53	43	44
uudis		491	37	47

Päästökertymä

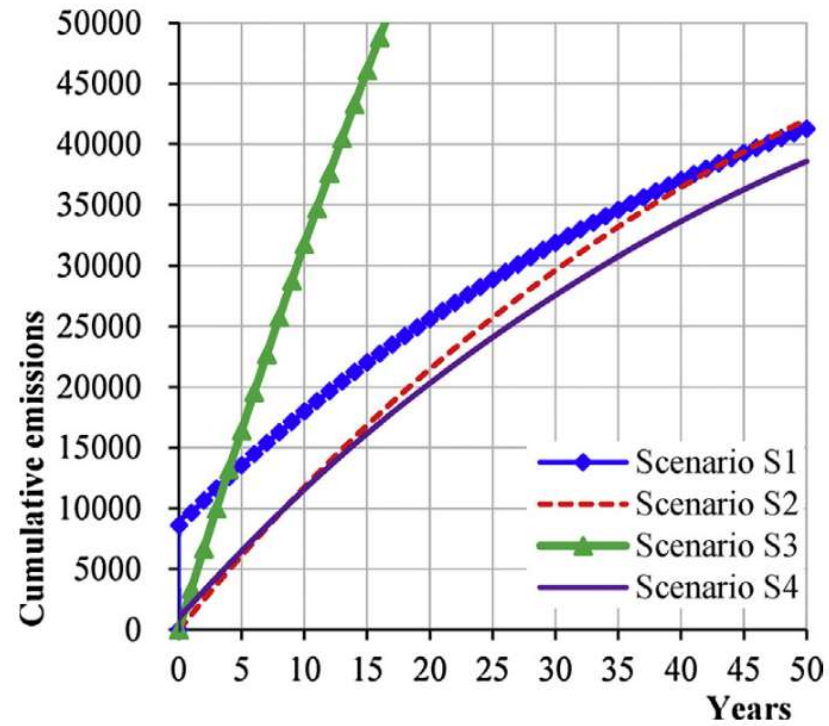


Fig. 5. Cumulative building emissions (tCO_{2e}) over 50 years for different scenarios. (The emissions for maintenance and demolition are not considered in the figure.).