

# Kustannusoptimalisuustarkastelut

12.9.2022

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>JOHDANTO</b> .....	2
<b>TOTEUTUS</b> .....	3
Tarkasteltavat rakennukset .....	3
Vähähiilisyden arviointimenetelmä .....	3
Lähtötiedot .....	4
Laskentaohjelmistot .....	6
<b>VERTAILURATKAISUT JA TULOKSET</b> .....	7
Uudisrakennus, uudisrakentaminen .....	7
Vähähiilinen betonirunko .....	7
Vähähiilinen tiiliverhous .....	9
Puurankarunko .....	11
Massiivipuurunko .....	13
Massiivipuurunko lisäeristyksellä .....	15
Lämmitystapana maalämpö .....	17
Jäteveden lämmöntalteenotto .....	20
Keskitetty ilmanvaihto (ei tarpeenmukaista käyttöä) .....	22
Olemassa oleva rakennus, korjausrakentaminen .....	25
Ikkunoiden vaihtaminen .....	25
Julkisivun lisäeristäminen levyverhouksella .....	27
Julkisivun lisäeristäminen eristerappauksella .....	29
Lämmöntalteenoton käyttöönotto .....	31
Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon lisääminen (tarpeenmukainen käyttö) .....	34
<b>YHTEENVETO</b> .....	37
Uudisrakennus, uudisrakentaminen .....	37
Olemassa oleva rakennus, korjausrakentaminen .....	39
<b>KUSTANNUSLÄHTEET</b> .....	42

## JOHDANTO

Rakennushankkeen hiilijalanjälkeä tarkastellessa ovat kustannukset usein osa keskustelua, niin mahdollisten kompensatiomaksujen, kuin vähähiilisempien ratkaisujen kustannusten kautta. Tämän raportin tarkoituksena on tutkia eri vertailuratkaisujen vaikutusta rakennuksen arvioituun hiilijalanjälkeen ja kustannuksiin. Raportissa selvitetään kunkin vertailuratkaisun aiheuttamat kustannukset hiilidioksidiekvivalenttitonnia kohti. Toimeksiannon tilaajana on Betoniteollisuus ry ja työn toteuttajana Vesitaito Konsultointi Oy.

Tarkastelut toteutettiin sekä rakenteilla olevalle uudisrakennukselle, että korjausrakentamisen hankkeena olemassa olevalle rakennukselle. Vertailuratkaisut ovat sekä rakenne-, että taloteknisiä ratkaisuja, joilla voidaan vaikuttaa rakennushankkeen aiheuttamiin päästöihin elinkaaren eri vaiheissa. Ratkaisut, jotka ovat päätyneet tähän tarkasteluun, ovat tyypillisesti toteutettavia ratkaisuja kussakin rakennushanketyypissä.

Arviointimenetelmänä on sovellettu *Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää 6/2021 (luonnos)*. Arviointimenetelmä on laadittu lakisääteiseen arviointiin sopivaksi ja päivitetään lopulliseksi Ympäristöministeriön vähähiilisyyden arvioinnin asetuksen tullessa voimaan.

Tässä raportissa tarkastellaan rakennuksen hiilijalanjäljen muodostumista nimenomaan rakennuksen osalta. Arviointimenetelmä määrittelee rakennuksen osaksi maanpäälliset rakenteet elinkaaren vaiheineen. Tarkastelun ulkopuolelle on siis rajattu hiilikädenjälki sekä hankkeen rakennuspaikan aiheuttamat ilmastovaikutukset.

Vähähiilisyyden arviointiin liittyvät tekijät tulevat jatkuvasti päivittymään ja tarkentumaan arvioinnin kehittyessä. Laskennassa on hyödynnetty tarkasteluhetkellä saatavilla ja hyödynnettävissä olevaa tietoa ja arvioinnin menetelmiä.

Raportissa esitetyt kustannusarviot on jaettu investointi- ja käytönaikaisiin kustannuksiin. Investointikustannukset kerättiin sekä kyseessä olevan materiaalin tai laitejärjestelmän asiantuntijoilta, että erillisenä kustannusvaikutusten laskentana alan ammattilaisen toimesta. Käytönaikaisten kustannusten arviointi on toteutettu elinkaarikustannusten laskentana energiankulutuksen osalta sekä arvioina arviointijaksolla toteutettavista laiteuudistuksista. Täten kustannusarviot pätevät näihin kyseisiin tarkasteltuihin rakennuksiin ja vertailuratkaisuihin yleisellä tasolla, eivätkä ole suoraan verrattavissa muihin rakennuksiin.

Samaa voidaan sanoa rakennuksen hiilijalanjäljen arvioinnin osalta. Tulokset kuitenkin edustavat toteutettavissa olevia ratkaisuja yleisellä tasolla tässä raportissa käytetyillä arviointimenetelmillä.

## TOTEUTUS

### Tarkasteltavat rakennukset

Tarkastelut suoritetaan kahdelle eri asuinkerrostalolle. Toinen asuinkerrostaloista on uudisrakennus ja toinen puolestaan jo olemassa oleva rakennus. Molemmat kohteet ovat todellisia rakennuksia Suomessa ja edustavat yleisellä tasolla kyseisen käyttötarkoituksen luokan rakennuskantaa.

Uudisrakennus on 8-kerroksinen betonirunkoinen asuinkerrostalo. Ulkoseinät muodostuvat betoni-sandwich-elementeistä. Muodoltaan rakennus on suorakulmainen särmiö ja sen lämmitetty nettoala on 3 150 m<sup>2</sup>. Rakennuksen tilat eivät sisällä käyttötarkoitukseltaan muita tiloja, kuten pysäköintihallia tai liiketiloja. Asuinkerrostalon ensimmäinen kerros koostuu sekä teknisistä, että varastotiloista.

Olemassa oleva rakennus puolestaan on rakennettu 1970-luvun alussa ja on runkorakenteeltaan betonia. Ulkoseinät muodostuvat betoni-sandwich-elementeistä. Rakennuksessa on neljä kerrosta, joista ensimmäinen muodostuu asukkaiden yhteisistä tiloista sekä autotalleista. Rakennus on muodoltaan suorakulmainen särmiö ja lämmitetyltä nettoalaltaan 1 930 m<sup>2</sup>.

Rakennusten yksityiskohtaisempia rakenne- ja taloteknisiä ratkaisuja tarkastellaan myöhemmin raportissa.

### Vähähiilisyyden arviointimenetelmä

Laskennassa on hyödynnetty Ympäristöministeriön *Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 6/2021, luonnos lausuntokierrokselle*, mukaista menetelmää. Menetelmää on sovellettu, mikäli päästötietojen tai arviointityökalun laajuus on ollut arviointimenetelmän ohjeita rajallisempaa. Arviointimenetelmän yhteyteen on luotu kansallinen päästötietokanta, jonka tietoja arvioinnissa hyödynnetään tietokannan laajuudessa.

Arviointimenetelmän mukaisesti elinkaaren ilmastovaikutusten arviointijakso on 50 vuotta.

Tulokset jaetaan arviointimenetelmän mukaisesti erikseen rakennukselle ja rakennuspaikalle. Tässä raportissa tarkastellaan rakennushankkeen rakennuksen osan tuottamia päästöjä hiilijalanjäljen muodossa. Rakennuksen tulokset käsittävät tässä tapauksessa rakennuksen maanpäälliset rakenteet ja elinkaaren moduulien aiheuttamat päästöt. Hiilikädenjälki on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Alla kuva arvioitavista rakennuksen elinkaaren moduuleista arviointimenetelmän mukaisesti.

A. Ennen käyttöä		B. Käytön aikana		C. Käytön jälkeen	
A1-A3	Tuotteiden valmistus	B4	Tuotteiden vaihto	C1	Purkutyömaan toiminnot
A4	Kuljetukset työmaalle	B6	Energian käyttö	C2	Kuljetukset jatkokäsittelyyn
A5	Tuotteiden työmaahävikki			C3	Jätteenkäsittely
A5(YM)	Rakennustyömaan toiminnot			C4	Loppusijoitus

## Lähtötiedot

### Määrä- ja rakennetiedot

Rakennusten materiaalien määrätietojen arvioinnissa on hyödynnetty kunkin rakennuksen saatavilla olevia suunnitelmia. Uudisrakennuksen osalta hyödynnettiin rakennuslupavaiheen suunnitelmia niiden laajuudessa. Tämä käsittää pääpiirustukset ja rakennetyypit.

Olemassa olevan rakennuksen osalta suunnitteluratkaisut olivat puolestaan puutteellisemmat johtuen rakennusvuoden vähäisemmästä suunnitelmien ja toteutettujen ratkaisujen taltioinnista. Täten olemassa olevan rakennuksen ratkaisuihin pyrittiin löytämään sellaiset, jotka edustavat rakennusvuotta.

Hankkeessa tarkasteltavissa eri vertailuratkaisuissa rakennusosien pinta-alat on vakioitu alkuperäisen rakennuksen mukaiseksi ja vertailuratkaisujen massat on luotu rakennetyypien materiaalien ja niiden paksuuksien mukaan. Vertailuratkaisujen rakennetyypit ovat toteutettavissa olevia ja rakennusmääräykset täyttäviä ratkaisuja, joita on käytetty todellisissa asuinkerrostaloprojekteissa.

### Päästötiedot

Pääasiallisina päästötietoina on käytetty kansallisen päästötietokannan päästötietoja siinä laajuudessa, jossa ne laskentahetkellä on esitetty.

Päästötietokannan materiaalitiedoista saadaan päästötietoja materiaalien valmistukseen (elinkaaren moduulit A1-A3) ja rakennustuotteiden vaihtoihin arviointijakson aikana (B4). Työmaalla syntyvälle materiaalihävikille (A5) on hyödynnetty laskentaohjelmiston tarjoamat tiedot. Materiaalihävikin tieto perustuu kunkin materiaalin tyyppillisiin hukkamääriin.

Materiaaleille on sovellettu valmistukseen (A1-A3) päästötietokannan tyyppillistä arvoa, joka ei sisällä konservatiivista kerrointa 1,2. Käytännössä tämä on toteutettu laskentaohjelmistossa materiaalin massaa muokkaamalla, jotta laskennassa on voitu hyödyntää materiaalin valmistuksen (A1-A3) tyyppillisen arvon päästöt. Massan muokkauksella on vaikutusta myös muihin laskennan tuloksiin, joita laskentaohjelma suorittaa, mm. materiaalin työmaahävikin (A5) ja kuljetuksen (A4, C2) tuottamien päästöjen suuruuteen.

Kansallinen päästötietokanta ei tarjoa päästötietoja kaikille tyypillisille rakennusprojektissa käytettäville materiaaleille, joten näiden osalta on käytetty laskentaohjelmiston tietokannan generisiä materiaalitietoja. Näitä ovat mm. jotkin talotekniikan osat ja muut pienimassaiset rakennusmateriaalit. Tarkasteluratkaisujen vertailtavuuden vuoksi talotekniikan osalta on käytetty Ympäristöministeriön arviointimenetelmän 2019:22 neliöperäisiä taulukkoarvoja.

Rakennusmateriaalien kuljetuksen (elinkaaren moduulit A4, C2) osalta on hyödynnetty soveltaen kansallisen päästötietokannan tarjoamia tietoja sekä laskentaohjelmiston oletustietoja. Materiaalien kuljetuksen aiheuttamien päästöjen laskennassa keskimääräisenä kuljetusetäisyytenä on 102 km (Tilastokeskus 2017, eräiden rakennusmateriaalien keskimääräinen kuljetusmatka) ja kuljetusmuotona kansallisen päästötietokannan päästötietoja puoliperävaunulle, kuorma 50%, maantieajossa. Kuljetuksen päästöjen laskennassa huomioidaan myös kuljetettavan materiaalin massa, joka määräytyy erikseen kullekin rakennusmateriaalille.

Rakennus- ja purkutyömaan toimintojen (A5, C1) kohdalla on hyödynnetty kansallisen päästötietokannan neliöperäisiä päästökertoimia asuinrakennukselle. Näitä on sovellettu tapauskohtaisesti korjausrakentamisen kohdalla.

Rakennusmateriaalien jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen (elinkaaren moduulit C3, C4) aiheuttamat päästöt on arvioitu kansallisen päästötietokannan tietojen laajuudessa kullekin käytetylle materiaalille. Näiden osalta kansallinen päästötietokanta on osin puutteellinen, joten tietoina on hyödynnetty myös laskentaohjelman standardeihin perustuvia skenaarioita.

Käytönaikaisen energiankulutuksen päästökertoimina ja laskentamenetelmänä on käytetty kansallisen päästötietokannan tietoja. Energiankulutuksen päästöt on laskettu alkavaksi vuodesta 2022.

## **Energialaskenta**

Ratkaisujen käytönaikaiset laskennalliset ostoenergiankulutukset ja -energiamuodot on määritetty energialaskennan avulla. Energialaskenta on suoritettu käyttäen voimassa olevaa energiatehokkuuden lainsäädäntöä ja laskentaperusteita. Mikäli laskentahetkellä käytössä olleet suunnitelmat rakenne- ja taloteknisten ominaisuuksien osalta ovat olleet puutteelliset, on energialaskennassa käytetty rakennusajankohdalle tyypillisiä arvoja. Tämä koskee erityisesti olemassa olevaa asuinkerrostaloa, joka on rakennettu 1970-luvulla.

## **Kustannusarviot**

Vertailuratkaisuille on suoritettu kustannustarkastelut sekä investoinnin, että käytönaikaisten kustannusten osalta.

Investointikustannukset kullekin ratkaisulle on koottu kyseisen ratkaisun asiantuntijoiden toimesta tai hyödyntämällä tarkempaa kustannuslaskentaa. Pohjalla käytetty

kustannuslaskennan ammattilaisen toteuttama investoinnin laskenta sisältää arvioidut keskimääräiset urakoitsijan käyttö- ja yhteiskustannukset sekä yleiskustannukset ja katetavoitteen (ALV 0% ja hintataso 6/2021). Investoinnin kustannusarviot ovat suuntaa antavia ja voivat vaihdella merkittävästikin rakennuksesta ja urakoitsijaosapuolista riippuen.

Käytönaikaiset kustannukset on tarkasteltu energiankulutuksen elinkaarikustannusten laskennan sekä mahdollisten laitteiden uusimisten näkökulmasta. Elinkaarikustannusten arviointi on tarkastelu 50 vuoden ajalta. Energiankulutuksen käytönaikaisten kustannusten laskennassa diskonttokorkona on 3,0% eikä inflaatiota ole huomioitu. Energiankulutuksena on huomioitu rakennuksen laskennallinen ostoenergiankulutus, joka sisältää myös kuluttajalaitteiden osuuden. Edellä mainitut laskentaperusteet on sovellettu Green Building Council Finlandin Rakennusten elinkaarimittareista.

Elinkaarikustannusten laskennassa sähkön hintana on 0,13 €/kWh (sis. sähköenergian, siirtomaksun ja verot). Sähkön hinta on määritelty Energiaviraston hintatilastojen mukaan vuosien 2017 – 2021 Suomen keskiarvona. Käyttäjätyyppinä hintatason määrittelyssä on käytetty ko. kerrostalokohteen energiankulutusta arvioidusti parhaiten vastaavaa tyyppiä (M2). Kaukolämmön hintana elinkaarikustannusten laskennassa on puolestaan 0,08 €/kWh (sis. energian, tehomaksun ja verot). Kaukolämmön hinta on määritelty Energiateollisuuden hintatilastojen mukaisesti kerrostalon kuluttajatyypin Suomen keskiarvona vuosilta 2017 – 2021.

Tässä tarkastelussa käytettävät ostoenergian hinnat eivät peilaa suoranaisesti arviointihetken markkinatilanteeseen. Tarkastelussa on kuitenkin nähty tarpeelliseksi käyttää nimenomaan Suomen keskiarvoisia ostoenergian hintoja viime vuosilta.

## Laskentaohjelmistot

Hiilijalanjäljen arviointi suoritettiin OneClick LCA-ohjelmistolla, jonka laskentatyökalu perustuu Ympäristöministeriön arviointimenetelmään. Energialaskenta hiilijalanjäljen arviointia varten suoritettiin Laskentapalvelut.fi-energialaskentaohjelmistolla.

Elinkaarikustannusten arviointi energiankulutuksen osalta suoritettiin OneClick LCA-ohjelmistolla.

## VERTAILURATKAISUT JA TULOKSET

### Uudisrakennus, uudisrakentaminen

Alkuperäinen rakennus on runkorakenteeltaan betonia. Alapohja on toteutettu maanvastaisella betonilaatalla, välipohjat ja yläpohja ontelolaattarakenteilla sekä ulkoseinät betoni-sandwich-elementteinä. Ulkoseinän U-arvo on 0,17 W/m<sup>2</sup>K.

Rakennuksen lämmitysmuotona on kaukolämpö vesikiertoisella lattialämmityksellä ja ilmavaihto on toteutettu huoneistokohtaisella tulo- ja poistoilmavaihtojärjestelmällä lämmöntalteenotolla. Rakennuksen laskennallinen vuosittainen energiankulutus on 274 944 kWh, josta ostoenergiana sähköä on 133 326 kWh/vuosi ja kaukolämpöä 141 168 kWh/vuosi.

Uudisrakentamisen vertailuratkaisuja tarkastellaan näkökulmasta, jossa vertaillaan uudisrakennuksen erilaisia mahdollisia rakenne- ja taloteknisiä ratkaisuja ja niiden vaikutusta rakennushankkeen hiilijalanjälkeen ja kustannuksiin.

### Vähähiilinen betonirunko

Alkuperäisen ratkaisun betonirunkoinen asuinkerrostalo muokattiin betonirakenteiltaan vähähiiliseksi betoniksi. Vähähiilisiä betoniosia ovat tässä ulkoseinien sisäkuoret, kantavat väliseinät, alapohjan betoni sekä väli- ja yläpohjan ontelolaatat. Käytännössä tämä tarkoittaa tässä sitä, että ontelolaatat muutettiin erään valmistajan vähähiiliseksi ontelolaatoiksi ja muut betoniosat muunnettiin vastaamaan 50% pienempiä valmistuksen (A1-A3) päästöjä verrattuna päästötietokannan tyypillisiin arvoihin. Vähähiilisten betoniosien aiheuttamien päästöjen suuruuden oletettiin pysyvän vakiona alkuperäiseen ratkaisuun verrattuna elinkaarien moduulien A4, A5, A5(YM), B4 ja C osalta.

Muiden rakenteiden, taloteknisten arvojen sekä laskennallisen energiankulutuksen oletettiin pysyvän muuttumattomana alkuperäisestä ratkaisusta.

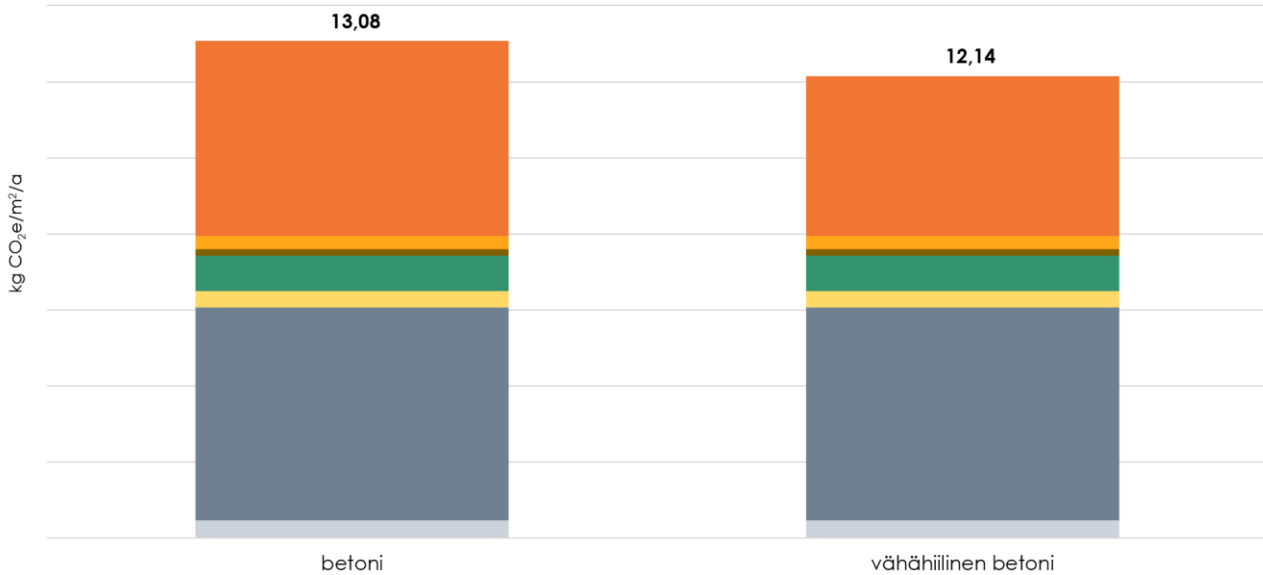
Investointiarvio tälle vähähiiliselle betonirungolle muodostettiin alkuperäisen rakennuksen karkean kustannusarvion pohjalta, joka puolestaan perustuu kustannuslaskennan ammattilaisen arvioon tyypilliselle betonirunkoiselle asuinkerrostalolle. Vähähiilisten rakenneratkaisujen kustannusarvio pohjautuu valmistavalta teollisuudelta koottuihin arvioihin. Käytönaikaisten kustannusten ei oletettu vähähiilisellä ratkaisulla eroavan alkuperäisestä, joten sitä ei tarkasteltu erikseen.

### Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen ja vähähiilisen vertailurakennuksen aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen vaikutukset investointikustannuksineen.



- A1-A3 Tuotteiden valmistus
- A4 Kuljetukset työmaalle
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
- A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
- B4 Rakennustuotteiden vaihto
- B6 Energiankulutus
- C1-C4 Käytön jälkeen



### Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
betoni	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>878 000</b>	
vähähiilinen betoni	<b>12,14</b>	<b>1 912</b>	<b>965 800</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 0,94</b>	<b>- 148</b>	<b>+ 87 800</b>	<b>= 593</b>

### Johtopäätökset

Verrattaessa alkuperäisen ja vähähiilisiä betoniosia sisältävän rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeä, voidaan huomata, että vähähiilisen ratkaisun hiilijalanjälki on pienempi. Muutoksen alkuperäiseen ratkaisuun aiheuttaa pienemmät valmistuksen aiheuttamat päästöt. Kuten aiemmin todettu, vähähiilisten tuotteiden muiden ominaisuuksien on oletettu pysyvän vakiona alkuperäiseen verrattuna. Hiilijalanjälkeen saatava vaikuttavuus on riippuvainen vähähiilisten ratkaisujen suhteesta muihin rakenteisiin.

Tarkasteltaessa rakennusosia kyseisellä vähähiilisellä rungolla, hiilijalanjälki pienenee ja kustannukset kasvavat alkuperäiseen verrattuna. Kustannusten ja hiilijalanjäljen erotuksien suhteella kyseinen vertailuratkaisu kustantaa investointina 593 € per arviointijaksolla säästetty hiilidioksidiekvivalenttonni (1 000 kg CO<sub>2</sub>e).

## Vähähiilinen tiiliverhous

Alkuperäisen rakennuksen julkisivun ulkokuoren tilalle muokattiin tiiliverhous, jonka materiaalitietoina käytettiin kansallisen päästötietokannan tietoja. Tiiliverhouksen julkisivupinta-ala on noin 1 550 m<sup>2</sup>. Tiiliverhouksesta luotiin vähähiilinen versio, jossa tiilenä käytettiin Wienerbergerin Suomessa valmistettavien biokaasulla poltettujen tiilien päästötietoja materiaalien valmistuksen osalta (A1-A3). Päästötiedot saatiin valmistajalta luonnosversioisesta ympäristöselosteesta. Rakennustuotteelle ei ole laadittu virallista ympäristöselostetta, eikä ole täten käytettävissä laskentaohjelmassa. Vähähiilisten tiilien aiheuttamat päästöt oletettiin pysyvän vakiona elinkaaren vaiheille A4, A5, A5(YM), B4 ja C osalta tiiliverhoukseen verrattuna. Kummankin tiiliratkaisun täydentävien rakennusmateriaalien eli muurauslaastin ja kiinnikkeiden materiaalitiedot ja massat vakioitiin.

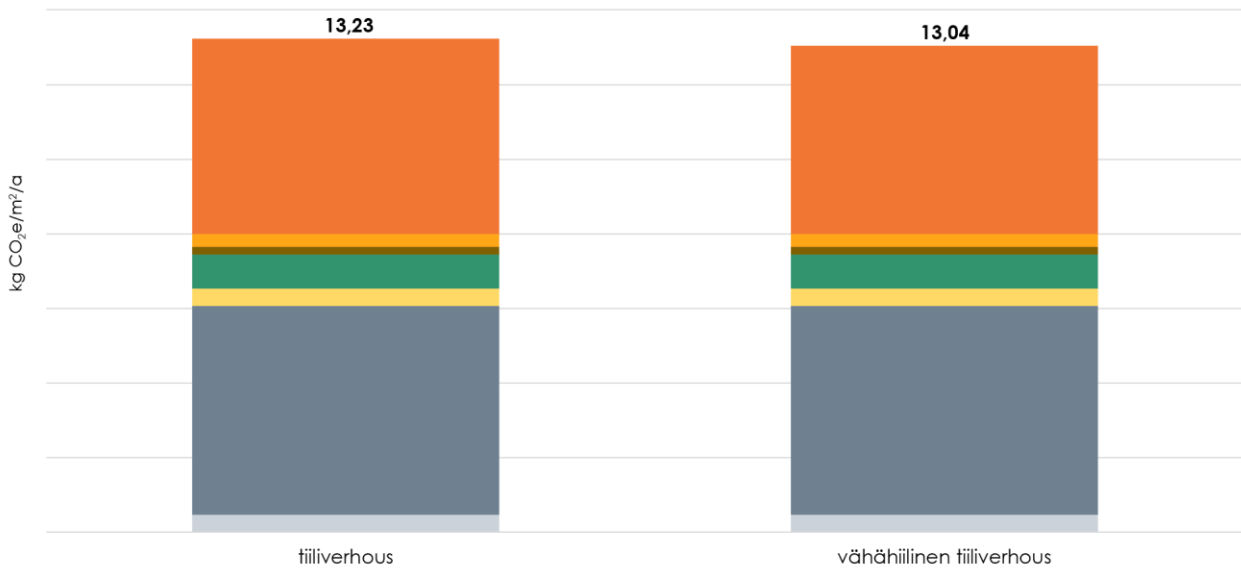
Rakenteiden U-arvojen, taloteknisten ratkaisujen sekä laskennallisen energiankulutuksen oletettiin pysyvän betonirunkoisen rakennuksen kaltaisena kummassakin tiiliratkaisussa.

Kustannustiedot tiiliverhouksen investointikustannuksille toteutettiin erillisenä kustannuslaskentana, jonka pohjalta suoritettiin puolestaan vähähiilisen tiiliverhouksen kustannuslaskenta. Tiiliverhoillun betonielementtijulkisivun kustannusarvio sisältää seinärakenteen hankintaan ja asennuksiin liittyvät työ- ja materiaalikustannukset, mukaan lukien nosturi- ja telinekustannukset. Investointikustannusvaikutukset vähähiiliselle tiiliverhoukselle toimitti Wienerberger Suomi. Käytönaikaisten kustannusten ei oletettu kyseisellä ratkaisulla eroavan alkuperäisestä tai tiiliverhouksellisesta.

### **Tulokset**

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen ja vähähiilisen vertailurakennuksen aiheuttamat hiilijalanjäljet. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen vaikutukset investointikustannuksineen.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
  - A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
  - C1-C4 Käytön jälkeen
- A4 Kuljetukset työmaalle
  - B4 Rakennustuotteiden vaihto
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
  - B6 Energiankulutus



### Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
tiiliverhous	<b>13,23</b>	<b>2 084</b>	<b>612 533</b>	
vähähiilinen tiiliverhous	<b>13,04</b>	<b>2 059</b>	<b>615 441</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 0,19</b>	<b>- 25</b>	<b>+ 2 908</b>	<b>= 116</b>

### Johtopäätökset

Vähähiilisellä tiiliverhouksella saavutetaan tyypillistä tiiliverhousta pienempi hiilijalanjälki. Tämä on tässä seurausta pienemmistä valmistuksen (A1-A3) aiheuttamista päästöistä. Huomionarvoista on, että toteutettavat rakenneratkaisut, esim. ulkokuoren paksuus vaikuttavat lopputulokseen.

Investointikustannukset vähähiiliselle tiilelle ovat hieman suuremmat verrattuna ns. normaaliin tiileen. Kustannusten ja hiilijalanjäljen erotuksien suhteella kyseinen vertailuratkaisu kustantaa investointina 116 € per arviointijaksolla säästetty hiilidioksidiekvivalenttonni.

## Puurankarunko

Alkuperäisen rakennuksen pinta-alojen perusteella muokattiin vastaava versio puurankarunkoisesta rakennuksesta. Puurankarunkoiseen ratkaisuun rakennuksen ulkoseinät, välipohjat, yläpohja, kantavat väliseinät ja parvekkeet muokattiin vastaamaan toteutettavissa olevia ja määräykset täyttäviä rakennetyyppejä rankaratkaisulla.

Energialaskennassa rankarakenneratkaisun U-arvot pysyvät alkuperäisestä vakioituna, lukuun ottamatta ulkoseinää, jonka U-arvona laskennassa käytettiin 0,16 W/m<sup>2</sup>K. Lisäksi vertailuratkaisun ominaislämpökapasiteetti muunnettiin vastaamaan kyseisiä rakenneratkaisuja.

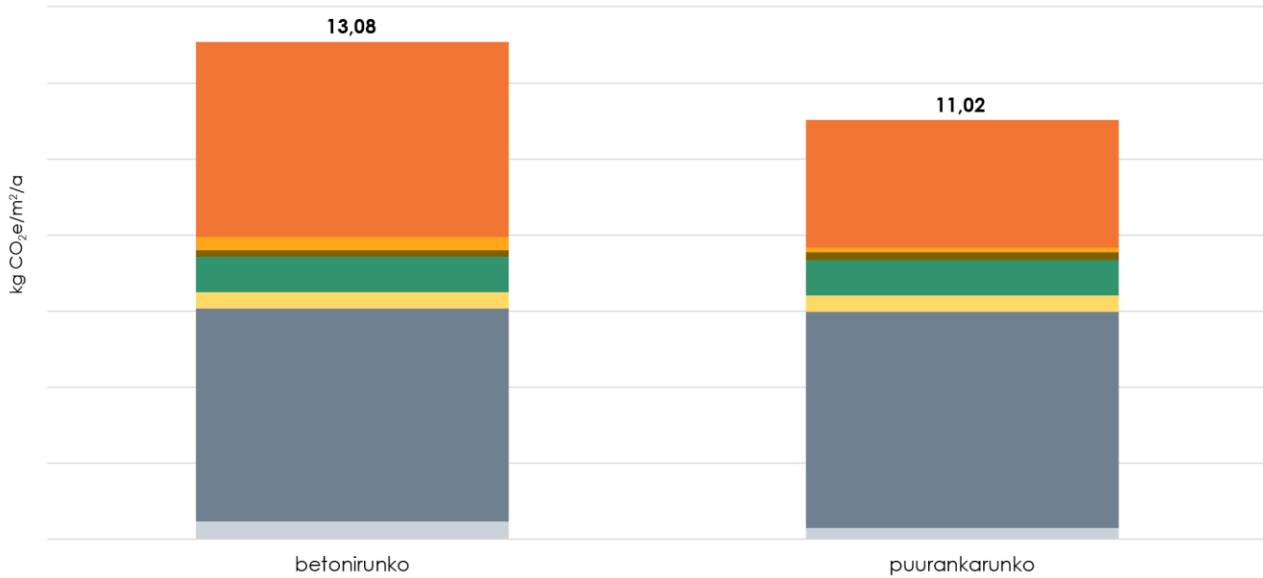
Laskennallinen energiankulutus puurankarunkoiselle rakennukselle on 278 917 kWh/vuosi, josta ostoenergiaa sähköinä on 134 452 kWh/vuosi ja kaukolämpönä 144 465 kWh/vuosi. Täten energiankulutus kasvoi alkuperäisestä yhteensä 3 973 kWh/vuosi, joka vastaa tässä noin 15 tn CO<sub>2</sub>e arviointijakson aikana.

Puurankarunkoisen asuinkerrostalon investointikustannusten arvio toteutettiin hyödyntämällä useiden puurakentamisen asiantuntijoiden kustannusarvioita. Puurankarunkoisen asuinkerrostalon investointikustannusten on arvioitu olevan 10% suuremmat vastaavaan betonirunkoiseen verrattuna. Puurankarakennuksen käytönaikaiset kustannukset huomioitiin energiankulutuksen osalta. Muita käytönaikaisia kustannuksia ei tässä arvioitu. Alkuperäisen rakennuksen käytönaikaisten kustannusten laskentaperusteet ovat tässä yhteneväiset.

## Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen ja puurankarunkoisen vertailurakennuksen aiheuttamat hiilijalanjäljet. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen vaikutukset kustannuksineen sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
  - A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
  - C1-C4 Käytön jälkeen
- A4 Kuljetukset työmaalle
  - B4 Rakennustuotteiden vaihto
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
  - B6 Energiankulutus



### Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
betonirunko	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>6 503 700</b>	
puurankarunko	<b>11,02</b>	<b>1 736</b>	<b>7 154 070</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 2,06</b>	<b>- 324</b>	<b>+ 650 370</b>	<b>= 2 007</b>

### Käytönaikaiset kustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
betonirunko	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>736 514</b>	
puurankarunko	<b>11,02</b>	<b>1 736</b>	<b>747 089</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 2,06</b>	<b>- 324</b>	<b>+ 10 575</b>	<b>= 33</b>

### Johtopäätökset

Suurin yksittäinen elinkaaren vaiheen ero alkuperäisen betonirakennuksen ja puurankarunkoisen rakennuksen välillä on tuotteiden valmistuksen aiheuttamissa päästöissä. Puurankarunkoratkaisu aiheuttaa pienemmät arvioidut päästöt valmistuksen, kuljetuksen ja käytön jälkeisen vaiheen osalta. Materiaalien valmistuksen päästöt ovat n.

35% pienemmät. Betonirakennusta suuremmat päästöt puolestaan aiheutuvat energiankulutuksen ja arvioidun hävikin osalta. Rakennuksen kokonaishiilijalanjälki on kuitenkin pienempi puurankarunkoisella ratkaisulla.

Huomionarvoista on, että puurunkoiselle rakennukselle ei ole tässä suoritettu huonelämpötilatarkastelua, joka saattaisi tuoda haasteita huonelämpötilan raja-arvon alittamiseen. Tarkastelu tulee tehdä aina rakennuskohtaisesti. Raja-arvon alittamiseksi esim. rakennuksen ikkunoiden ja ilmanvaihdolliset ominaisuudet saattaisivat tiukentua, jolla olisi vaikutusta kustannuksiin.

Tarkasteltaessa puurankarunkoisen rakennuksen investointikustannuksia, ovat ne alkuperäistä rakennusta suuremmat. Kustannusten ja hiilijalanjäljen erotuksien suhteella puurankarunkoisen rakennus kustantaa investointina 2 007 € per arviointijaksolla säästetty hiilidioksidiekvivalenttitonni (1 000 kg CO<sub>2</sub>e). Käytönaikaisten kustannusten osalta puolestaan energiankulutuksen kustannukset arviointijaksolta ovat vain jonkin verran alkuperäistä suuremmat, jolloin arviointijakson energiankulutuksen kustannukset per rakennushankkeen säästetty hiilidioksidiekvivalenttitonni ovat 33 €.

## Massiivipuurunko

Puurankarunkoisen vertailuratkaisun lisäksi rakennuksesta luotiin myös massiivipuurunkoinen ratkaisu, toteutettuna CLT-massiivipuulla. Puurankaratkaisun tapaan rakennuksessa muokattiin ulkoseinät, välipohjat, yläpohja, kantavat väliseinät ja parvekkeet. Rakennetyypeinä käytettiin toteutettavissa olevia ja määräykset täyttäviä massiivipuurratkaisuja (CLT). Ulkoseinän paksuus on 200mm.

Energialaskennassa ulkoseinän U-arvona käytettiin arvoa 0,49 W/m<sup>2</sup>K ja ominaislämpökapasiteetti muokattiin vastaamaan suunnitteluratkaisua. Muiden rakenteiden U-arvot vakioitiin alkuperäisen ratkaisun mukaisiksi.

Laskennallinen energiankulutus massiivipuurunkoiselle rakennukselle on 325 633 kWh/vuosi, josta ostoenergiaa sähköinä on 147 719 kWh/vuosi ja kaukolämpönä 177 917 kWh/vuosi. Alkuperäiseen ratkaisuun verrattuna energiankulutus kasvoi yhteensä 50 689 kWh/vuosi, joka vastaa tässä noin 169 tn CO<sub>2</sub>e arviointijakson aikana.

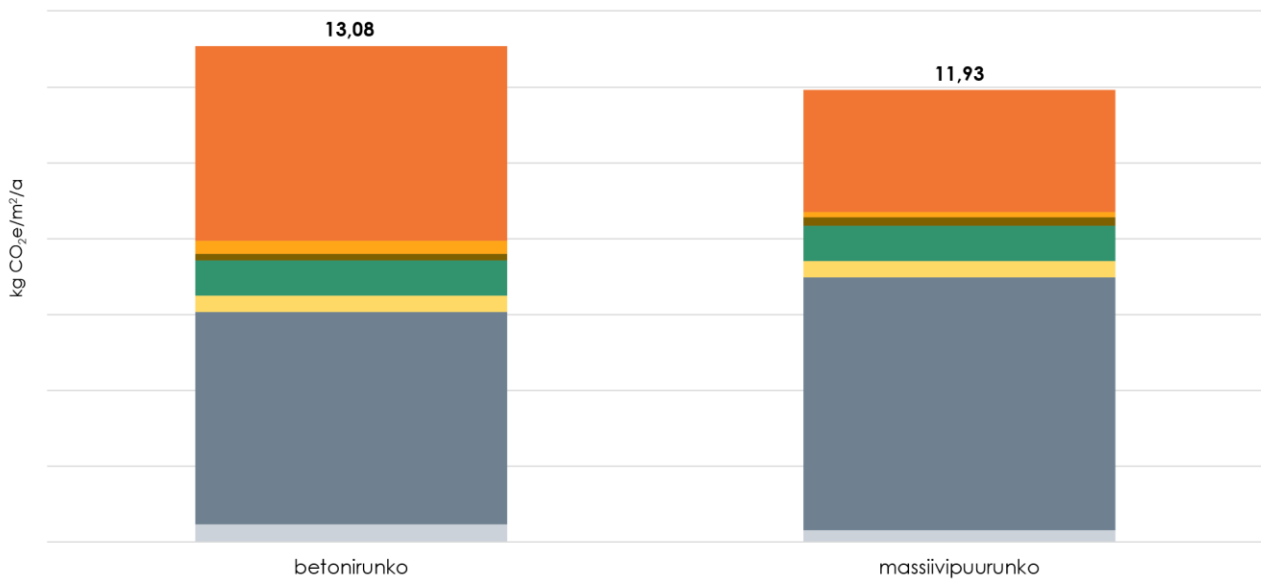
Massiivipuurunkoisen asuinkerrostalon investointikustannusten arvio toteutettiin hyödyntämällä useiden puurakentamisen asiantuntijoiden kustannusarvioita.

Massiivipuurunkoisen asuinkerrostalon investointikustannusten on arvioitu olevan 20% suuremmat vastaavaan betonirunkoiseen verrattuna. Massiivipuurunkoisen rakennuksen käytönaikaiset kustannukset huomioitiin energiankulutuksen osalta. Muita käytönaikaisia kustannuksia ei tässä arvioitu. Alkuperäisen rakennuksen käytönaikaisten kustannusten laskentaperusteet ovat tässä yhteneväiset.

## Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen ja CLT-runkoisen vertailurakennuksen aiheuttamat hiilijalanjäljet. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen vaikutukset kustannuksineen sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
- A4 Kuljetukset työmaalle
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
- A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
- B4 Rakennustuotteiden vaihto
- B6 Energiankulutus
- C1-C4 Käytön jälkeen



## Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
betonirunko	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>6 503 700</b>	
massiivipuurunko	<b>11,93</b>	<b>1 879</b>	<b>7 804 440</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 1,15</b>	<b>- 181</b>	<b>+ 1 300 740</b>	<b>= 7 186</b>

## Käytönaikaiset kustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
betonirunko	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>736 514</b>	
massiivipuurunko	<b>11,93</b>	<b>1 879</b>	<b>860 300</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 1,15</b>	<b>- 181</b>	<b>+ 123 786</b>	<b>= 684</b>

## Johtopäätökset

Tarkasteltaessa diagrammia alkuperäisen betonirunkoisen ja massiivipuurunkoisen rakennuksen välillä, suurimmat eroavaisuudet ovat materiaalien valmistuksen ja energiankulutuksen aiheuttamissa päästöissä. Betonirakennuksen materiaalit aiheuttavat suuremmat valmistuksen päästöt, kun taas suuremmat energiankulutuksen päästöt ovat massiivipuurunkoratkaisulla (CLT). CLT-rakennuksen suurempi energiankulutus aiheutuu pääosin betonia suuremmasta ulkoseinän U-arvosta. Materiaalien valmistuksen päästöt ovat tässä vertailuratkaisussa n. 37% betonirakennusta pienemmät. Muiden elinkaaren vaiheiden aiheuttamien päästöjen ero alkuperäiseen noudattaa samaa linjaa rankarunkoratkaisun kanssa.

Ja kuten ei puurankoratkaisussakaan, massiivipuurunkokunnalle ei tässä suoritettu huonelämpötilatarkastelua, joka saattaisi tuoda haasteita huonelämpötilan raja-arvon alittamiseen. Tarkastelu tulee aina tehdä rakennuskohtaisesti. Raja-arvon alittamiseksi esim. rakennuksen ikkunoiden ja ilmanvaihdolliset ominaisuudet saattaisivat tiukentua, jolla olisi vaikutusta kustannuksiin.

Tarkasteltaessa massiivipuurunkoisen rakennuksen investointikustannuksia, ovat ne alkuperäistä rakennusta suuremmat. Kustannusten ja hiilijalanjäljen erotuksien suhteella puurankorunkoisen rakennus kustantaa investointina 7 186 € per arviointijaksolla säästetty hiilidioksidiekvivalenttitonni (1 000 kg CO<sub>2e</sub>). Myös käytönaikaisten kustannusten osalta energiankulutuksen kustannukset arviointijaksolta ovat alkuperäistä suuremmat ja tässä tarkastelussa arviointijakson energiankulutuksen kustannukset per rakennushankkeen säästetty hiilidioksidiekvivalenttitonni ovat 684 €.

### Massiivipuurunko lisäeristyksellä

Massiivipuurunkoisesta rakennuksesta luotiin lisäksi tarkastelu lisäeristetyllä ratkaisulla. Tässä rakennuksen ulkoseinissä käytettiin todellista toteutettavissa olevaa rakennetta, jossa CLT-rakenteen lisäksi on tätä hieman paksumpi kivivillaeriste. Ulkoseinän U-arvo on 0,16 W/m<sup>2</sup>K. Muut rakenne- ja talotekniikan ratkaisut ovat edellä mainitun massiivipuurunkoratkaisun mukaiset.

Laskennallinen energiankulutus lisäeristetyllä massiivipuurunkoiselle rakennukselle on 275 663 kWh/vuosi, josta ostoenergiaa sähköinä on 133 545 kWh/vuosi ja kaukolämpönä 142 118 kWh/vuosi. Tällöin energiankulutus suurentui alkuperäiseen ratkaisuun verrattuna yhteensä 719 kWh/vuosi, joka vastaa tässä noin 4 tn CO<sub>2e</sub> arviointijakson aikana.

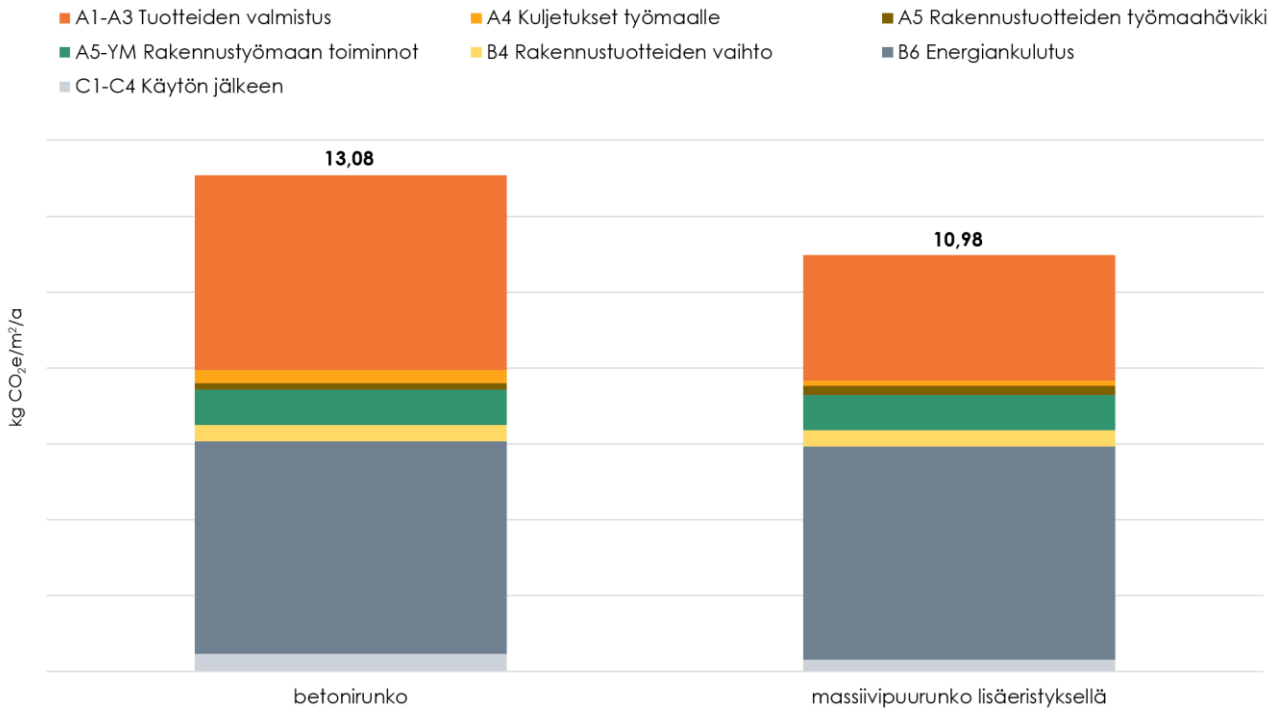
Lisäeristetyn massiivipuurunkoisen asuinkerrostalon investointikustannusten arvio toteutettiin hyödyntämällä useiden puurakentamisen asiantuntijoiden kustannusarvioita. Lisäeristetyn massiivipuurunkoisen asuinkerrostalon investointikustannusten on arvioitu olevan 15% suuremmat vastaavaan betonirunkoiseen verrattuna. Massiivipuurunkoisen rakennuksen käytönaikaiset kustannukset huomioitiin energiankulutuksen osalta. Muita käytönaikaisia kustannuksia ei tässä arvioitu. Alkuperäisen rakennuksen käytönaikaisten



kustannusten laskentaperusteet ovat tässä yhteneväiset.

### Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen ja lisäeristetyn CLT-runkoisen vertailurakennuksen aiheuttamat hiilijalanjäljet. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen kustannukset sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.



### Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
betonirunko	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>6 503 700</b>	
massiivipuurunko lisäeristyksellä	<b>10,98</b>	<b>1 729</b>	<b>7 479 255</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 2,10</b>	<b>- 331</b>	<b>+ 975 555</b>	<b>= 2 947</b>

### Käytönaikaiset kustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
betonirunko	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>736 514</b>	
massiivipuurunko lisäeristyksellä	<b>10,98</b>	<b>1 729</b>	<b>739 216</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 2,10</b>	<b>- 331</b>	<b>+ 2 702</b>	<b>= 8</b>

### Johtopäätökset

Tässä tarkastelussa, hyödynnettäessä massiivipuurunkoisen asuinkerrostalon ulkoseinissä lisäeristystä, energiankulutus ja sen aiheuttamat päästöt ovat lähes betonirakennuksen suuruiset. Energiankulutus on kuitenkin hieman suurempi, ollen pääasiassa seurausta puurakennuksen pienemmästä ominaislämpökapasiteetista eli yksinkertaistettuna kyvystä varastoida lämpöä. Massiivipuurunkoisen lisäeristetyn rakennuksen materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt ovat betonirakennusta n. 35% pienemmät.

Kuten aiemmissa puurakenneratkaisuissa, lisäeristetyille massiivipuुरakennukselle ei tässä suoritettu huonelämpötilatarkastelua, joka saattaisi tuoda haasteita huonelämpötilan raja-arvon alittamiseen. Tarkastelu tulee aina tehdä rakennuskohtaisesti. Raja-arvon alittamiseksi esim. rakennuksen ikkunoiden ja ilmanvaihdolliset ominaisuudet saattaisivat tiukentua, jolla olisi vaikutusta kustannuksiin.

Tarkasteltaessa massiivipuurunkoisen lisäeristetyn rakennuksen investointikustannuksia, ovat ne alkuperäistä rakennusta suuremmat. Kustannusten ja hiilijalanjäljen erotuksien suhteella puurankarunkoisen rakennus kustantaa investointina 2 947 € per arviointijaksolla säästetty hiilidioksidiekvivalenttitonni (1 000 kg CO<sub>2</sub>e). Käytönaikaisten kustannusten osalta energiankulutuksen kustannukset arviointijaksolta ovat alkuperäistä hieman suuremmat, jolloin tässä tarkastelussa arviointijakson energiankulutuksen kustannusten ja rakennuksen hiilijalanjäljen erotuksien suhteella kyseisen vertailuratkaisun käytönaikaiset kustannukset ovat 8 € per arviointijaksolla säästetty hiilidioksidiekvivalenttitonni.

### Lämmitystapana maalämpö

Alkuperäisen rakennuksen lämmitys toteutettiin kaukolämmöllä. Vertailuratkaisuksi muokattiin rakennus maalämpölämmitteiseksi. Laskennassa lämpöpumpun tuotto-osuus lämpöenergian tarpeesta on 0,98 sekä pumpun SPF-luvut 4,2 (tilojen lämmitys) ja 2,6 (käyttöveden lämmitys). Muut energialaskentaan vaikuttavat ratkaisut, kuten lämmönjakotapa, ilmanvuotoluku ja ilmanvaihto vakioitiin alkuperäisen mukaiseksi.

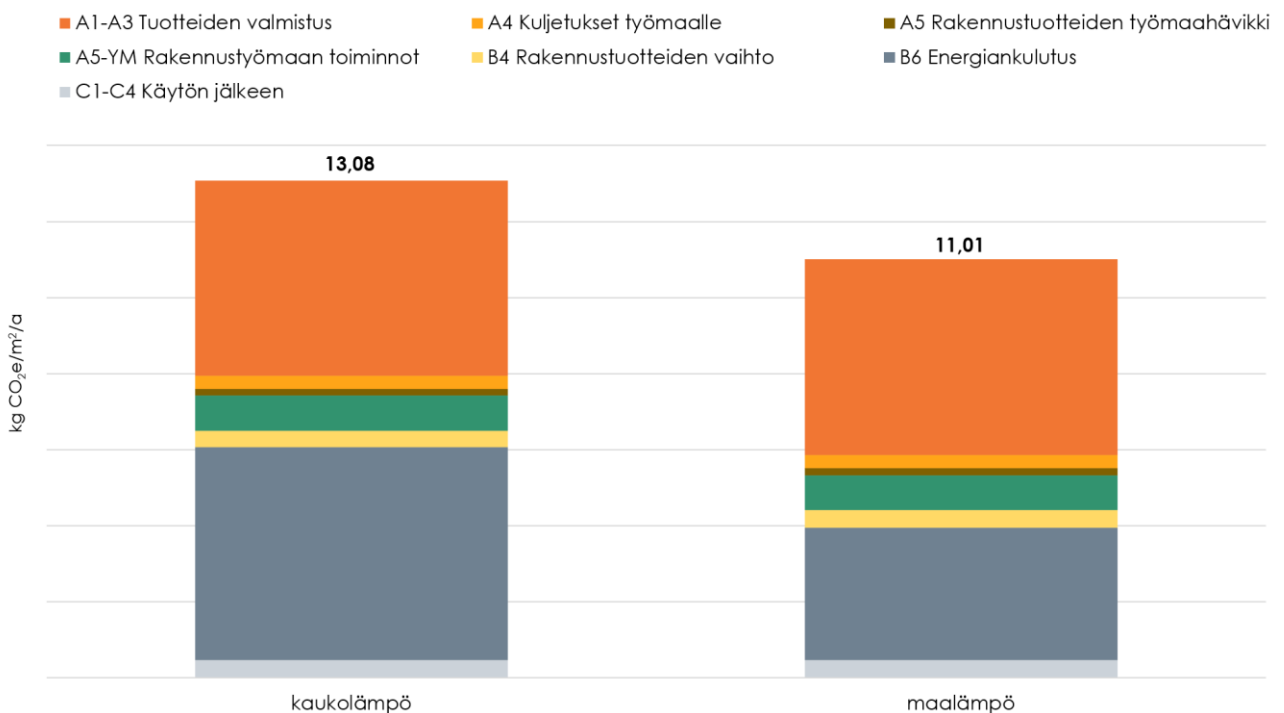
Hiilijalanjäljen laskennassa muutos huomioitiin lämmitysmuotojen lämmöntuotannon materiaalien sekä käytönaikaisen energiankulutuksen päästöissä. Muut ratkaisut ovat alkuperäinen rakennuksen mukaiset.

Rakennuksen energiankulutus maalämpöpumppuratkaisulla on 186 299 kWh/vuosi, joka on kokonaisuudessaan ostoenergiana sähköä. Laskennallinen energiankulutus vähentyi tällä toimenpiteellä yhteensä 88 645 kWh/vuosi. Tämä vastaa päästöissä noin 330 tn CO<sub>2</sub>e arviointijakson aikana.

Kustannusarvio kaukolämpö- ja maalämpöpumppuratkaisun investointikustannuksille toteutettiin erillisenä kustannuslaskentana. Kaukolämmön kustannusarvio sisältää lämmönjakokeskuksen ja siihen liittyvät asennukset sekä liittymismaksun. Maalämpökustannus sisältää maalämpöpumpun, -putkiston ja -porakaivot asennuksineen. Maalämpöpumpun käytönaikaiset kustannukset huomioitiin arviointijaksolta sekä energiankulutuksen, että oletettujen laitteiden (maalämpöpumppu) uusimisista aiheutuvien kustannusten kokonaisuutena. Samat arviointiperusteet koskevat myös alkuperäisen kaukolämpöratkaisun käytönaikaisia kustannuksia. Kaukolämpöjärjestelmän lämmönvaihdin oletetaan uusittavan arviointijakson aikana.

### Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen ja maalämpöpumppuratkaisun vertailurakennuksen aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen kustannukset sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.



**Investointikustannukset**

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
kaukolämpö	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>75 306</b>	
maalämpö	<b>11,01</b>	<b>1 734</b>	<b>198 534</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 2,07</b>	<b>- 326</b>	<b>+ 123 228</b>	<b>= 378</b>

**Käytönaikaiset kustannukset**

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
kaukolämpö	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>751 514</b>	
maalämpö	<b>11,01</b>	<b>1 734</b>	<b>643 149</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 2,07</b>	<b>- 326</b>	<b>- 108 365</b>	<b>= - 332</b>

**Johtopäätökset**

Diagrammista voidaan huomata, että lämmitysmuodon ollessa maalämpöpumppu, rakennuksen hiilijalanjälki on n. 15% alkuperäistä kaukolämmitteistä rakennusta pienempi. Merkittävimmät muutokset syntyvät käytönaikaisen energiankulutuksen päästöjen osalta. Tämä johtuu siitä, että maalämpöpumppu hyödyntää lämmitykseen maan lämpöenergiaa sekä ostoenergiana sähköä. Kaukolämpö perustuu puolestaan pelkästään ostoenergiaan, josta se käyttää sekä sähköä, että kaukolämpöä. Laskennassa kaukolämmön aiheuttamien päästöjen oletetaan pienenevän hitaampaa kuin sähkön, jolloin se aiheuttaa sähköä suuremmat päästöt tältä arviointijaksolta.

Kustannusten osalta, maalämpöratkaisu tuottaa suuremmat investointi kustannukset verrattuna kaukolämpöratkaisuun. Investointikustannuksissa yhtä säästettyä hiilidioksidiekvivalenttitonnia kohti maalämpöratkaisu maksaa 378 €. Käytönaikaisten kustannusten, sisältäen energiankulutuksen ja laiteusimiset, osalta maalämpöpumppu säästää 332 € per arviointijaksolla pienentynyt hiilidioksidiekvivalenttitonni kaukolämpöön verrattuna. Maalämpöpumppujärjestelmä sekä rakennuksen tekniset laitteet käyttävät ostoenergianaan vain sähköä. Lisäksi ostoenergiankulutus on kaukolämpöratkaisua pienempi. Käytönaikaisen energiankulutuksen kustannuksiin vaikuttaa myös sähkön ja kaukolämmön ostoenergian hintojen suhde.

## Jäteveden lämmöntalteenotto

Yhdeksi vertailuratkaisuksi muodostettiin kokonaisuus, jossa jäteveden mukana kulkevaa hukkalämpöä kerätään talteen ja hyödynnetään rakennuksen lämmityksessä. Laskennassa huomioitiin tämän vaikutus energiankulutuksessa sekä arvioituissa taloteknisissä materiaaleissa. Talotekniset materiaalit arvioitiin materiaaleiltaan ja massoiltaan laitejärjestelmän asiantuntijan konsultoimana. Nämä lisättiin vertailuratkaisuun alkuperäisen rakennuksen taloteknisten päästötietojen ohella.

Energialaskennassa hyödynnettiin yleisesti asuinkeuhkaloissa toteutettavia arvoja ja 40% lämpimän käyttöveden nettotarpeesta otettiin lämpöenergiana talteen.

Jäteveden lämmöntalteenotolla rakennuksen energiankulutus vuosittain on 242 778 kWh, josta 142 525 kWh/vuosi on ostoenergiana sähköä ja 100 253 kWh/vuosi kaukolämpöä. Tällä toimenpiteellä rakennuksen käytönaikainen energiankulutus pieneni alkuperäiseen ratkaisuun verrattuna yhteensä 32 166 kWh/vuosi, joka vastaa arviointijaksolla kasvihuonekaasupäästöjä noin 114 tn CO<sub>2</sub>e.

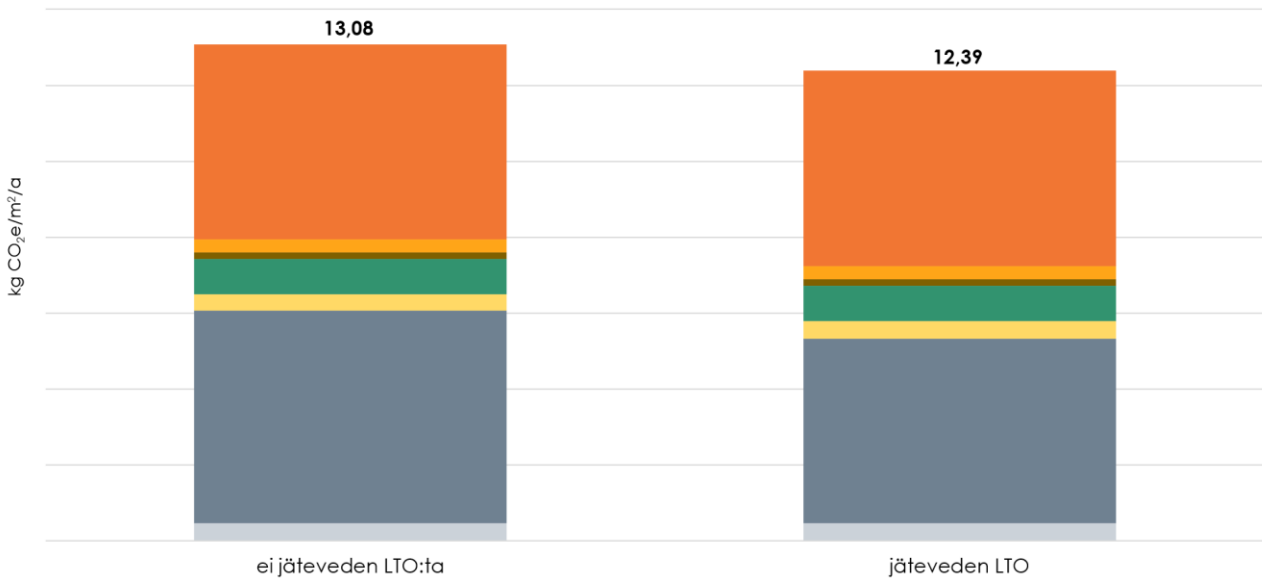
Investoinnin kustannusvaikutukset jäteveden lämmöntalteenotolle toimitettiin järjestelmän asiantuntijan toimesta. Kustannukset arvioitiin asuntojen lukumäärän perusteella, sisältäen lämmönvaihtimen, lämpöpumpun, puskurivaraajan ja putkiston. Investointikustannusarvio käsittää skenaarion, jossa asennustila on helposti käytettävissä.

Käytönaikaiset kustannukset vertailuratkaisuille arvioitiin arviointijakson energiankulutuksen ja jäteveden lämmöntalteenoton laitteiden uusimisen osalta. Jäteveden LTO-järjestelmän lämpöpumppu ja varaajat oletetaan uusittavan.

### **Tulokset**

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen ja jäteveden lämmöntalteenotolla varustetun vertailurakennuksen aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla esitettynä vertailuratkaisujen kustannukset sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
  - A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
  - C1-C4 Käytön jälkeen
- A4 Kuljetukset työmaalle
  - B4 Rakennustuotteiden vaihto
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
  - B6 Energiankulutus



**Investointikustannukset**

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
ei jäteveden LTO:ta	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>		
jäteveden LTO	<b>12,39</b>	<b>1 951</b>	<b>61 000</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 0,69</b>	<b>- 109</b>	<b>+ 61 000</b>	<b>= 560</b>

**Käytönaikaiset kustannukset**

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
ei jäteveden LTO:ta	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>736 514</b>	
jäteveden LTO	<b>12,39</b>	<b>1 951</b>	<b>693 074</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 0,69</b>	<b>- 109</b>	<b>- 43 440</b>	<b>= - 399</b>

**Johtopäätökset**

Rakennuksessa hyödynnettäessä jäteveden lämmöntalteenottoa, voidaan diagrammista huomata, että tässä tarkastelussa energiankulutuksen päästöt ovat alkuperäistä ratkaisua pienemmät ja materiaalien valmistuksen sekä käytönaikaisen vaihdon aiheuttamat päästöt puolestaan hieman suuremmat. Muiden elinkaaren vaiheiden päästöt ovat alkuperäisen ratkaisun suuruiset. Materiaalien aiheuttamien päästöjen suurentuminen aiheutuu

talotekniikan lisäkomponenteista. Energiankulutuksen päästöt pienentyvät puolestaan ratkaisun pienemmästä ostoenergian tarpeesta johtuen.

Jäteveden LTO-järjestelmän lisääminen rakennukseen aiheuttaa luonnollisesti suuremmat investointikustannukset, kuin ilman järjestelmää. Investoinnin näkökulmasta vertailuratkaisujen kustannusten ja hiilijalanjäljen erotuksen suhteena jäteveden LTO-järjestelmä kustantaa 560 € per säästetty hiilidioksidiekvivalenttitonni.

Arviointijaksolla rakennuksen, jossa on jäteveden LTO-järjestelmä, käytönaikaiset kustannukset ovat alkuperäistä vertailuratkaisua pienemmät. Tämä on suoraa seurausta pienemmästä energiankulutuksesta. Käytön aikana aiheutuvien kustannusten ja rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen erotuksen suhteena jäteveden LTO-järjestelmän hyödyntäminen säästää 399 € per pienentynyt hiilidioksidiekvivalenttitonni.

Keskitetty ilmanvaihto (ei tarpeenmukaista käyttöä)

Rakennuksen ilmanvaihdollisista ominaisuuksista toteutettiin vertailuratkaisu, jossa alkuperäinen huoneistokohtainen tarpeenmukaisella käytöllä varustettu ilmanvaihtojärjestelmä toteutettiin keskitetyllä ilmanvaihdolla, jossa ei mahdollisuutta tarpeenmukaiselle käytölle. Energialaskennassa tämä toteutettiin tyypillisillä ratkaisun mukaisilla arvoilla.

Ilmastovaikutusten laskennassa muutos alkuperäiseen huomioitiin energiankulutuksessa sekä talotekniikan arvioiduissa materiaaleissa ja rakenneratkaisuina. Rakennuksen ylimmäksi kerrokseksi lisättiin IV-konehuone tyypillisine rakenteineen. Talotekniikan osalta puolestaan neliöperusteiset päästöt muokattiin vastaamaan karkealla tasolla arvoa, jossa ei ole mukana huoneistokohtaisia ilmanvaihtokoneita sekä lisättiin laskentaan erillinen yksittäinen ilmanvaihtokone. Arviot perustuvat Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyiden arviointimenetelmän 2019:22 ja kansallisen päästötietokannan taustaraportteihin.

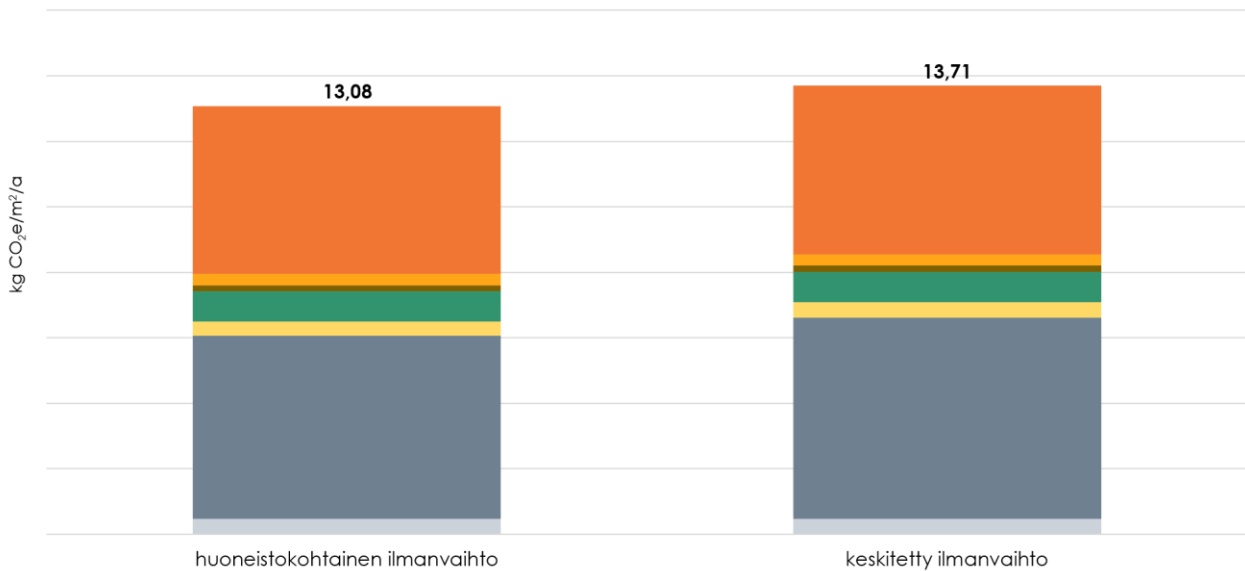
Tämän toimenpiteen jälkeen laskennallinen energiankulutus on 299 850 kWh/vuosi, josta ostoenergiانا sähköä on 125 254 kWh/vuosi ja kaukolämpöä puolestaan 173 596 kWh/vuosi. Täten energiankulutus kasvoi alkuperäiseen ratkaisuun verrattuna yhteensä 24 906 kWh/vuosi, joka vastaa arviointijakson ajalta noin 88 tn CO<sub>2</sub>e.

Investointikustannukset keskitetylle ilmanvaihdolle toteutettiin erillisenä kustannuslaskentana. Kustannusarvio sisältää IV-kanavien, päätelaitteiden, eristyksien sekä asuinkerrostalon IV-koneen työ- ja materiaalikustannukset. Käytönaikaiset kustannukset vertailuratkaisuille arvioitiin arviointijakson energiankulutuksen ja IV-koneiden uusimisen osalta.

## Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä huoneistokohtaisella (tarpeenmukainen käyttö) ja keskitetyllä ilmanvaihdolla (ei tarpeenmukaista käyttöä) toteutettujen vertailurakennuksien aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen kustannukset sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
- A4 Kuljetukset työmaalle
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
- A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
- B4 Rakennustuotteiden vaihto
- B6 Energiankulutus
- C1-C4 Käytön jälkeen



## Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
huoneistokohtainen ilmanvaihto	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>294 378</b>	
keskitetty ilmanvaihto	<b>13,71</b>	<b>2 159</b>	<b>225 918</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>+ 0,63</b>	<b>+ 99</b>	<b>- 68 460</b>	<b>= 692</b>

## Käytönaikaiset kustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
huoneistokohtainen ilmanvaihto	<b>13,08</b>	<b>2 060</b>	<b>862 758</b>	
keskitetty ilmanvaihto	<b>13,71</b>	<b>2 159</b>	<b>831 390</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>+ 0,63</b>	<b>+ 99</b>	<b>- 31 368</b>	<b>= 317</b>



## Johtopäätökset

Diagrammista voidaan huomata, että keskitetyllä ilmanvaihdolla ilman tarpeenmukaista käyttöä, rakennuksen hiilijalanjälki on alkuperäistä suurempi. Elinkaaren vaiheista suurin ero ratkaisujen välille syntyy käytönaikaisen energiankulutuksen aiheuttamista päästöistä. Keskitetyllä ilmanvaihdolla energiankulutuksen päästöt ovat n. 10% suuremmat.

Keskitetty ilmanvaihto on investointikustannusten näkökulmasta huoneistokohtaista ilmanvaihtoa edullisempi. Huoneistokohtaisen ja keskitetyn ilmanvaihdon hiilijalanjäljen ja investointikustannusten erotusten suhteena kustannukset ovat 692 € per hiilidioksidiekvivalenttitonni (tn CO<sub>2</sub>e).

Käytönaikaiset kustannukset energiankulutuksen ja laitteiden uusimisten osalta noudattavat samaa linjaa investointien kanssa, eli keskitetyllä ilmanvaihdolla on pienemmät kustannukset arviointijakson ajalta. Tämä on seurausta näiden tarkasteltavien IV-järjestelmien jälkilämmityspatterin käyttämästä energiasta ja sen kustannuksista energian käyttönä. Huoneistokohtaiset koneet käyttävät tässä tarkastelussa jälkilämmityspattereille sähköenergiaa ja keskitetty IV-järjestelmä puolestaan tilojen lämmitysjärjestelmän ostoenergiaa, eli kaukolämpöä. Kaukolämpöenergian kustannusten ollessa pienemmät kuin sähkön, energiankulutuksen kustannukset jäävät huoneistokohtaista ilmanvaihtojärjestelmää pienemmäksi. Tämän lisäksi myös keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän koneiden uusimisen on arvioitu olevan edullisempaa kuin huoneistokohtaisten. Huoneistokohtaisen ja keskitetyn ilmanvaihdon hiilijalanjäljen ja käytönaikaisten kustannusten erotusten suhteena kustannukset ovat 317 € per hiilidioksidiekvivalenttitonni (tn CO<sub>2</sub>e).

## Olemassa oleva rakennus, korjausrakentaminen

Korjausrakentamisen vertailuratkaisuja tarkastellaan näkökulmasta, jossa olemassa olevalle rakennukselle suoritetaan korjaustoimenpiteitä ja selvitetään niiden kustannusvaikutukset ja korjaushankkeen aiheuttamat päästöt seuraavalle 50 vuodelle.

Olemassa olevan rakennuksen kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa sovellettiin arviointimenetelmän korjausrakentamisen laskentaperusteita. Vähähiilisyys arviotiin siis korjausta seuraavien 50 vuoden ajalta, eikä korjausta edeltäneiden vuosien vaikutuksia arvioitu takautuvasti.

Materiaalien osalta arviointi on määritetty vain vertailuratkaisujen korjauksessa tarvittaviin uusiin rakennusosiin ja - tuotteisiin. Arvioinnin ulkopuolelle on rajattu tässä mahdolliset muut käyttöäiltään arviointijakson aikana vaihdettavat rakennuksessa jo olevat rakennustuotteet ja vaihtojen aiheuttamat päästöt. Lisäksi rakennuksen alkuperäisten rakenteiden purku- ja jätteenkäsittelyn vaiheet (moduuli C) on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Työmaatoimintojen energiankulutuksen aiheuttamat päästöt niin rakennus- kuin purkutyömaan (elinkaaren moduulit A5, C1) osalta on arvioitu kansallisen päästötietokannan neliöperusteisten taulukkoarvojen perusteella. Vertailuratkaisujen päästöarvoksi kyseisille vaiheille on arvioitu 5% asuinkerrostalon taulukkoarvosta. Tästä poikkeuksena vertailuratkaisu, jossa rakennukseen lisätään huoneistokohtainen ilmanvaihto, missä päästöarvona on käytetty 15% taulukkoarvosta. Arviot perustuvat korjaustoimenpiteen vaikuttavuuteen uudisrakennuksen toimintoihin verrattuna. Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 6/2021 on osin puutteellinen tämän vaiheen arviointiperusteista korjausrakentamisen tapauksessa.

Energiankulutuksen päästöjen vertailu toteutettiin näkökulmasta, jossa vertailtiin ilman korjausta toteutuvat laskennallisen energiankulutuksen päästöt seuraavan 50 vuoden aikana ja korjauksen jälkeisen pienentyneen energiankulutuksen aiheuttamat päästöt saman arviointijakson aikana. Molemmissa tapauksissa energiankulutus laskettiin alkavaksi vuodesta 2022.

Alkuperäisen, olemassa olevan asuinkerrostalon laskennallinen energiankulutus on 623 997 kWh/vuosi, josta sähkön ostoenergiaa on 73 416 kWh/vuosi ja kaukolämpöä 550 581 kWh/vuosi.

## Ikkunoiden vaihtaminen

Alkuperäisessä rakennuksessa on noin 250 m<sup>2</sup> ikkunapinta-alaa (U = 2,0 W/m<sup>2</sup>K). Tässä vertailuratkaisussa nämä ikkunat vaihdettiin uusiin, U-arvolla 0,8 W/m<sup>2</sup>K. Muita korjaustoimenpiteitä ei toteutettu.

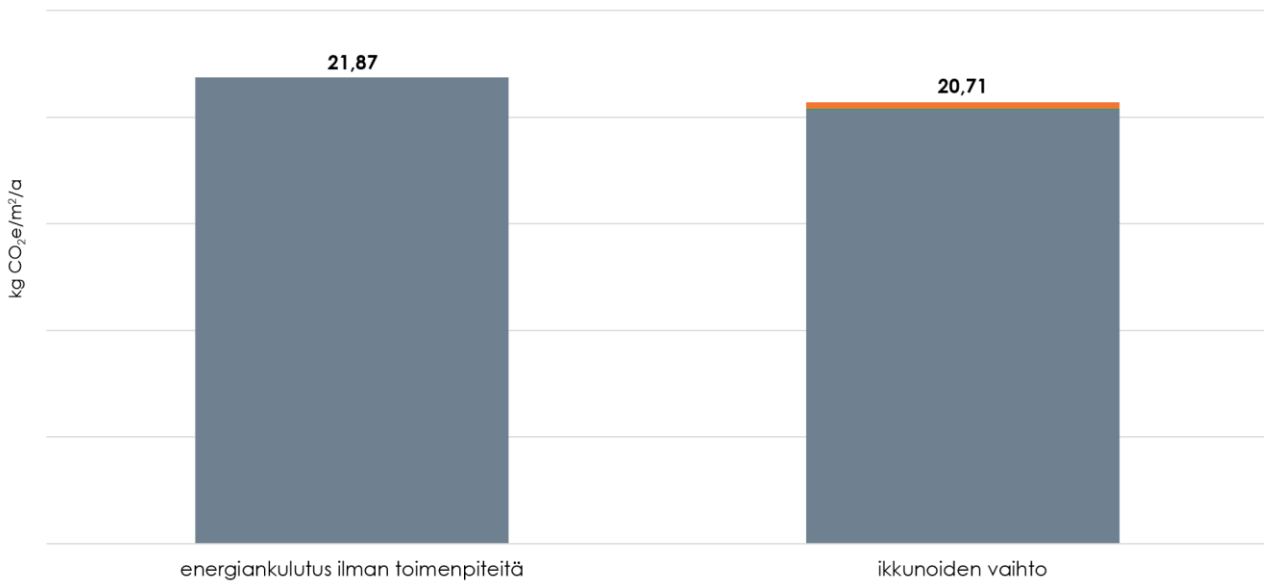
Laskennallinen energiankulutus on tällöin 580 141 kWh/vuosi, josta sähkön ostoenergiaa on 73 416 kWh/vuosi ja kaukolämmön 506 725 kWh/vuosi. Tämä toimenpide vähentää vuositasolla laskennallista energiankulutusta yhteensä 43 856 kWh, joka vastaa arviointijakson ajalta kasvihuonekaasupäästöjä noin 151 tn CO<sub>2</sub>e.

Kustannusarvio uusien ikkunoiden investointikustannuksille toteutettiin erillisenä kustannuslaskentana. Kustannusarvio sisältää ikkunoiden purkamisen ja jätekustannukset, uusien ikkunoiden materiaali- ja työkustannukset sekä nostinkustannukset. Käytönaikaiset kustannukset arvioitiin elinkaarilaskennalla energiankulutuksen osalta arviointijakson ajalta.

### Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen rakennuksen arviointijaksolle arvioidun energiankulutuksen ja ikkunoiden vaihtamisen arviointijaksolle aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen kustannukset sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
- A4 Kuljetukset työmaalle
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
- A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
- B4 Rakennustuotteiden vaihto
- B6 Energiankulutus
- C1-C4 Käytön jälkeen



### Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
energiaankulutus ilman toimenpiteitä	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>		
ikkunoiden vaihto	<b>20,71</b>	<b>2 001</b>	<b>112 422</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 1,16</b>	<b>- 112</b>	<b>+ 112 422</b>	<b>= 1 004</b>

### Käytönaikaiset kustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
energiankulutus ilman toimenpiteitä	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>	<b>1 378 858</b>	
ikkunoiden vaihto	<b>20,71</b>	<b>2 001</b>	<b>1 288 598</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 1,16</b>	<b>- 112</b>	<b>- 90 260</b>	<b>= - 806</b>

### Johtopäätökset

Diagrammia tarkastellessa voidaan huomata, että ikkunoiden vaihdolla voidaan pienentää rakennuksen energiankulutuksen aiheuttamia päästöjä jonkin verran. Mikäli ikkunoita olisi suurempi määrä, myös vaikutus energiankulutukseen olisi todennäköisesti suurempi. Uusien ikkunoiden valmistuksesta aiheutuu materiaalisidonnaisista elinkaaren vaiheista suurimmat päästöt. Tässä tarkastelussa ikkunoiden vaihtamisella rakennuksen hiilijalanjälki on pienempi arviointijakson ajalta, kuin ilman vaihtotoimenpidettä. Rakennuksen arviointijakson hiilijalanjälki pienentyi n. 5%.

Ikkunoiden vaihtaminen aiheuttaa luonnollisesti investointikustannuksia.

Investointikustannusten suhteena toimenpiteellä säästettyihin päästöihin, ikkunoiden vaihto kustantaa 1 004 € per säästetty hiilidioksidiekvivalenttonni (1 000 kg CO<sub>2</sub>e)

rakennushankkeen arviointijaksolta. Ikkunoiden vaihdon myötä rakennuksen käytönaikaiset kustannukset kuitenkin pienenevät pienemmän energiankulutuksen kautta.

Nettonykyarvossa säästetyt energiankulutuksen kustannukset suhteessa säästettyihin arviointijakson energiankulutuksen päästöihin, toimenpide säästää kustannuksissa 806 € per hiilidioksidiekvivalenttonni.

### Julkisivun lisäeristäminen levyverhouksella

Vertailuratkaisussa alkuperäisen rakennuksen julkisivu, ts. ulkoseinä-pinta-ala, lisäeristetään levyverhouksella. Rakennuksessa on noin 935 m<sup>2</sup> ulkoseinäpinta-ala, jolle on laskennassa käytetty U-arvoa 0,81 W/m<sup>2</sup>K perustuen rakennusvuoden ohjeelliseen arvioon.

Ympäristöministeriön asetuksen *4/13 Rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä* mukaisesti rakennusosakohtaisessa muutostyössä ulkoseinän U-arvo tulee puolittaa. Vertailuratkaisussa ulkoseinälle käytettiin U-arvona 0,405 W/m<sup>2</sup>K.

Materiaaleissa tämä toteutettiin lisäämällä betoni-sandwich-julkisivun ulkopintaan 50mm kivivillaeristettä, kuitusementtilevy kiinnikkeineen sekä ohutrappaus.

Taloteknisten arvojen oletettiin pysyvän alkuperäisen mukaisina. Levyverhouksella lisäeristetyn rakennuksen laskennallinen energiankulutus on 569 727 kWh/vuosi, josta 73 416 kWh/vuosi on sähkön ostoenergiaa ja 496 311 kWh/vuosi kaukolämmön.

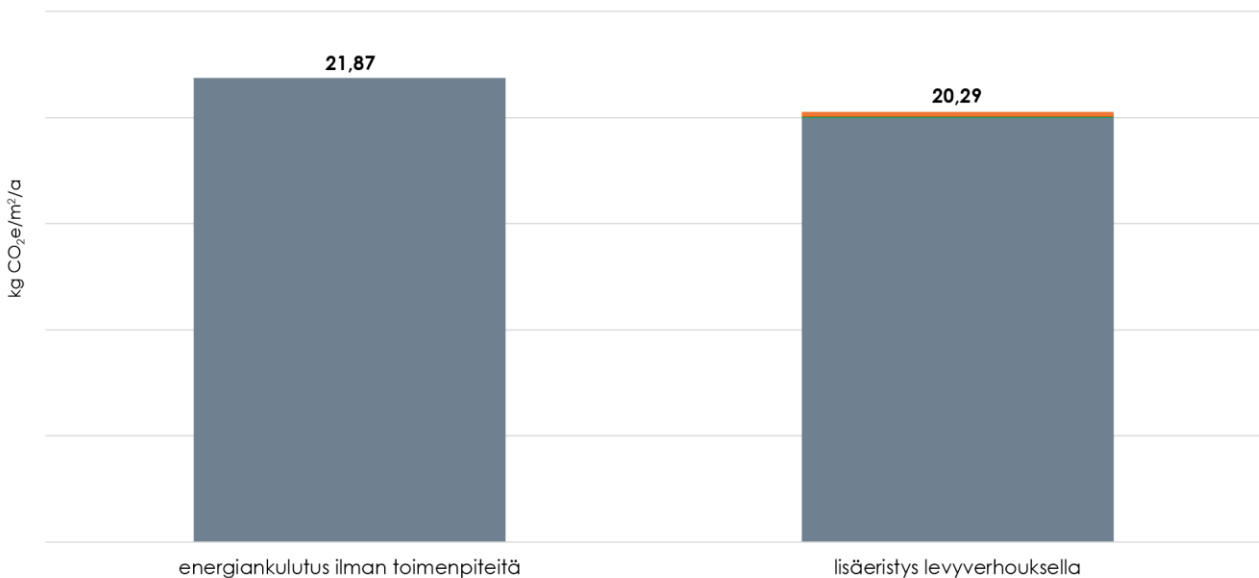
Energiankulutus siis pienehi alkuperäisestä yhteensä 54 270 kWh/vuosi, joka vastaa arviointijaksolla noin 187 tn CO<sub>2</sub>e edestä päästöjä.

Investointikustannukset lisäeristykselle toteutettiin erillisenä kustannuslaskentana. Kustannusarvio sisältää materiaali- ja työkustannukset sekä teline- ja nostinkustannukset. Käytönaikaiset kustannukset arvioitiin elinkaarilaskennalla energiankulutuksen osalta.

### Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen rakennuksen arviointijaksolle arvioidun energiankulutuksen ja levyverhouksella lisäeristetyn rakennuksen arviointijaksolle aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen kustannukset sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
- A4 Kuljetukset työmaalle
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
- A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
- B4 Rakennustuotteiden vaihto
- B6 Energiankulutus
- C1-C4 Käytön jälkeen



### Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
energiankulutus ilman toimenpiteitä	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>		
lisäeristäminen levyverhouksella	<b>20,29</b>	<b>1 960</b>	<b>149 840</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 1,58</b>	<b>- 153</b>	<b>+ 149 840</b>	<b>= 979</b>

### Käytönaikaiset kustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
energiansäilytys ilman toimenpiteitä lisäeristämisen levyverhouksella	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>	<b>1 378 858</b>	
	<b>20,29</b>	<b>1 960</b>	<b>1 267 165</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 1,58</b>	<b>- 153</b>	<b>- 111 693</b>	<b>= - 730</b>

### Johtopäätökset

Julkisivun lisäeristämällä saavutetaan tässä tarkastelussa pienemmät arviointijakson päästöt, kuin ilman lisäeristykseen toimenpidettä. Suurin vaikutus tällä on käytönaikaisen energiansäilytyksen päästöihin. Levyverhouksellisen materiaalien valmistus aiheuttaa suurimmat korjaustoimenpiteiden päästöt, muiden elinkaaren vaiheiden synnyttäessä päästöjä vain joidenkin desimaalien sadasosien verran yksikössä kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Rakennuksen arviointijakson hiilijalanjälki pienentyi n. 7%.

Julkisivun lisäeristäminen levyverhouksella aiheuttaa investointikustannuksia. Suhteutettuna nämä investointikustannukset rakennuksen hiilijalanjäljessä pienentyviin hiilidioksidiekvivalenttitonneihin (tn CO<sub>2</sub>e), kustannukset ovat 979 € per hiilidioksidiekvivalenttitonni. Käytönaikaiset kustannukset kuitenkin ovat energiansäilytyksen osalta pienemmät korjaustoimenpiteiden jälkeen verrattaessa tilanteeseen, jossa julkisivun lisäeristystä ei suoritettaisi. Toimenpide siis sekä pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä, että energiansäilytyksen kustannuksia arviointijaksolta, eli säästettyjen päästöjen ja energiansäilytyksen kustannusten suhteena toimenpide säästää 730 € per hiilidioksidiekvivalenttitonni.

### Julkisivun lisäeristäminen eristerappauksella

Vertailuratkaisussa alkuperäisen rakennuksen julkisivu, ts. ulkoseinäpinta-ala, lisäeristetään eristerappauksella. Energialaskennassa tämä toteutettiin kuten levyverhouksen lisäeristämisen vertailuratkaisu. Rakennuksen ulkoseinäpinta-ala, noin 935 m<sup>2</sup>, lisäeristäminen toteutettiin tässä lisäämällä betoni-sandwich-julkisivun ulkopintaan 50mm kivivillaeristettä sekä kolmikerrosrappaus. Muita korjaustoimenpiteitä ei toteutettu.

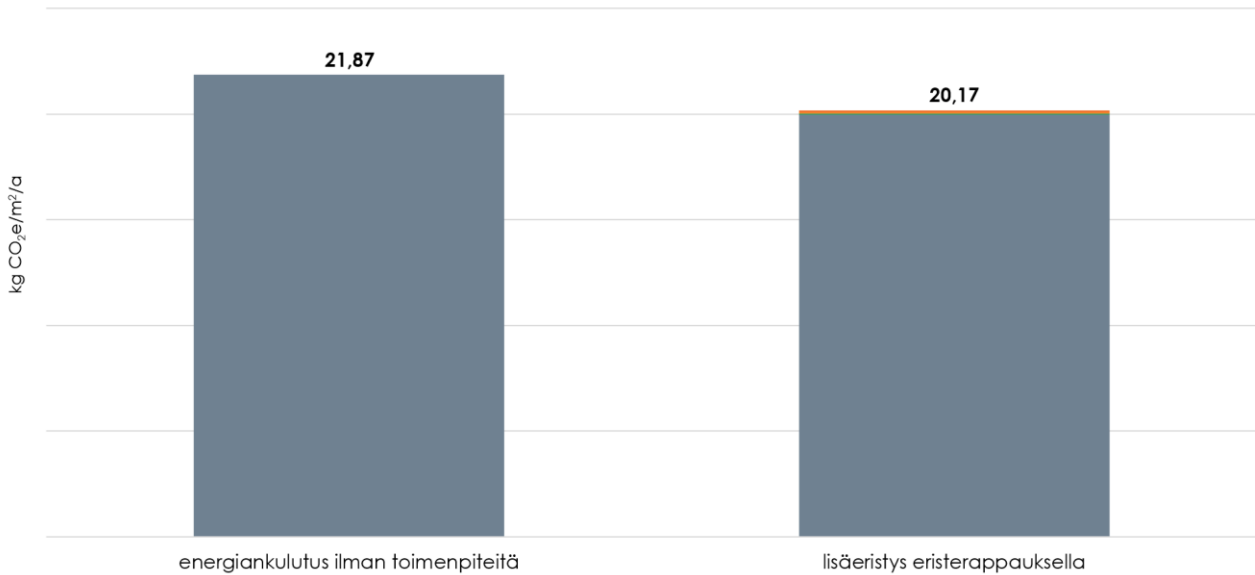
Taloteknisten arvojen oletettiin pysyvän alkuperäisen mukaisina. Energiansäilytyksen oletettiin olevan levyverhouksellisen vertailuratkaisun mukainen. Eli eristerappauksella lisäeristetyn rakennuksen laskennallinen energiansäilytys on 569 727 kWh/vuosi, josta 73 416 kWh/vuosi on sähkön ostoenergiaa ja 496 311 kWh/vuosi kaukolämmön. Energiansäilytys siis pieneni alkuperäisestä yhteensä 54 270 kWh/vuosi, joka vastaa arviointijaksolla noin 187 tn CO<sub>2</sub>e edestä päästöjä.

Kustannukset lisäeristykselle toteutettiin erillisenä kustannuslaskentana. Kustannusarvio sisältää materiaali- ja työkustannukset sekä teline- ja nostinkustannukset. Käytönaikaiset kustannukset arvioitiin elinkaarilaskennalla energiankulutuksen osalta.

### Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen rakennuksen arviointijaksolle arvioidun energiankulutuksen ja eristerappauksella lisäeristetyn rakennuksen arviointijaksolle aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla taulukoituna kustannukset sekä investointina, että käytönaikaisina kustannuksina.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
- A4 Kuljetukset työmaalle
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
- A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
- B4 Rakennustuotteiden vaihto
- B6 Energiankulutus
- C1-C4 Käytön jälkeen



### Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
energiankulutus ilman toimenpiteitä	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>		
lisäeristäminen eristerappauksella	<b>20,17</b>	<b>1 948</b>	<b>103 952</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 1,70</b>	<b>- 165</b>	<b>+ 103 952</b>	<b>= 630</b>

### Käytönaikaiset kustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
energiansiivitys ilman toimenpiteitä lisäeristäminen eristerappauksella	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>	<b>1 378 858</b>	
	<b>20,17</b>	<b>1 948</b>	<b>1 267 165</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 1,70</b>	<b>- 165</b>	<b>- 111 693</b>	<b>= - 677</b>

### Johtopäätökset

Julkisivun lisäeristämällä saavutetaan tässä tarkastelussa pienemmät arviointijakson päästöt, kuin ilman lisäeristykseen toimenpidettä. Suurin vaikutus tällä on käytönaikaisen energiansiivityksen päästöihin. Eristerappauksen materiaalien valmistus aiheuttaa suurimmat korjaustoimenpiteiden päästöt, muiden elinkaaren vaiheiden synnyttäessä päästöjä vain joidenkin desimaalien sadasosien verran yksikössä kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a. Rakennuksen arviointijakson hiilijalanjälki pienentyi n. 8%.

Julkisivun lisäeristäminen eristerappauksella aiheuttaa investointikustannuksia. Suhteutettuna nämä investointikustannukset rakennuksen hiilijalanjäljessä pienentyviin hiilidioksidiekvivalenttitonniin (tn CO<sub>2</sub>e), kustannukset ovat 630 € per hiilidioksidiekvivalenttitonni. Käytönaikaiset kustannukset kuitenkin ovat energiansiivityksen osalta pienemmät korjaustoimenpiteiden jälkeen verrattaessa tilanteeseen, jossa julkisivun lisäeristystä ei suoritettaisi. Toimenpide siis sekä pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä, että energiansiivityksen kustannuksia arviointijaksolta, eli säästettyjen päästöjen ja energiansiivityksen kustannusten suhteena toimenpide säästää 677 € per hiilidioksidiekvivalenttitonni.

### Lämmöntalteenoton käyttöönotto

Vertailuratkaisussa korjaustoimenpiteenä ilmanvaihdosta hyödynnetään poistoilman lämpöenergia. Alun perin rakennuksen ilmanvaihto toteutettiin koneellisena poistoilmanvaihtojärjestelmänä. Energialaskennassa lämmöntalteenotto poistoilmasta toteutettiin poistoilmalämpöpumppujärjestelmällä, jossa järjestelmän tuotto-osuus lämmitysenergian tarpeesta on 50%. Laskennan perustana käytettiin vastaavia saneerauskohteissa toteutuneita arvoja.

Ilmastovaikutusten arvioinnissa muutos huomioitiin käytönaikaisessa energiansiivityksessä ja materiaaleissa karkeana arviona talotekniikan komponentteina. Muita korjaustoimenpiteitä ei toteutettu.



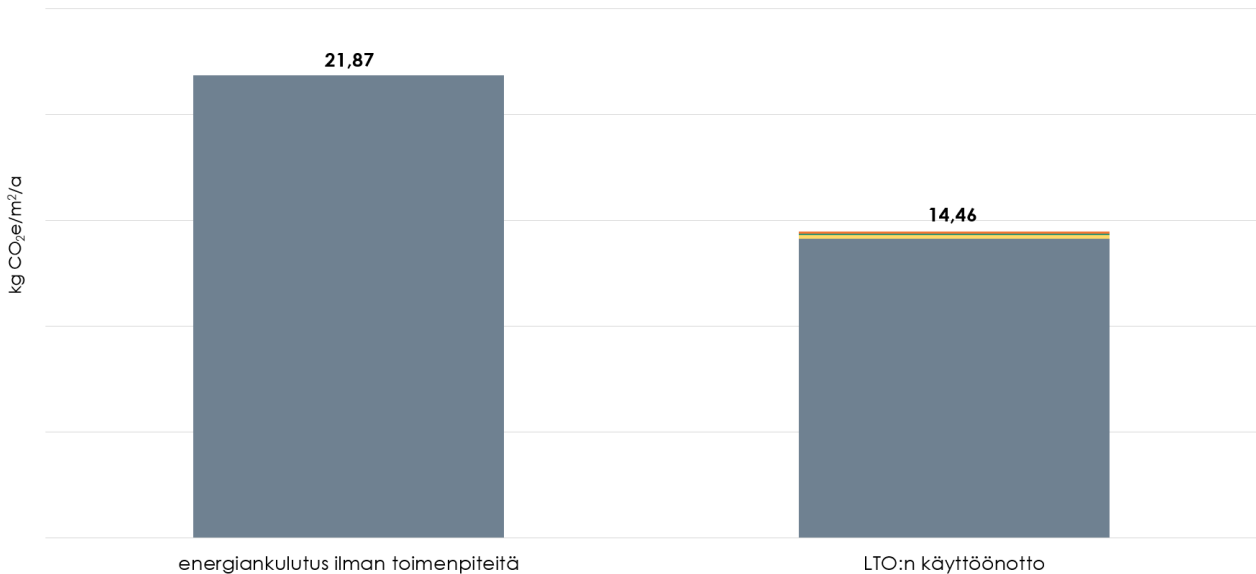
Toimenpiteen jälkeen rakennuksen laskennallinen energiankulutus on 416 037 kWh/vuosi, josta 139 587 kWh/vuosi on sähkön ostoenergiaa ja 276 450 kWh/vuosi kaukolämmön. Ostoenergiankulutus vähenee tällöin yhteensä 207 960 kWh/vuosi. Tämä vastaa arviointijakson ajalta noin 748 tn CO<sub>2</sub>e pienempiä käytönaikaisen energiankulutuksen päästöjä.

Investointikustannukset poistoilmalämpöpumppujärjestelmälle arvioitiin karkeasti hyödyntämällä yleisesti saatavilla olevia selvityksiä kyseisen järjestelmän lisäämisestä olemassa oleviin asuinkerrostaloihin. Arvio sisältää laitteiston eli mm. LTO-patterit, lämpöpumpun ja varaajat sekä asennustyön. Käytönaikaiset kustannukset arvioitiin energiankulutuksena arviointijaksolla sekä laitekustannuksina. Laitteista LTO-patterit, lämpöpumppu sekä varaajat oletettiin uusittavan arviointijakson aikana.

### Tulokset

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen rakennuksen arviointijaksolle arvioidun energiankulutuksen ja vertailuratkaisun rakennuksen arviointijaksolle aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla taulukoituna vertailuratkaisujen kustannukset sekä investoinnin, että käytönaikaisten kustannusten osalta.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
- A4 Kuljetukset työmaalle
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
- A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
- B4 Rakennustuotteiden vaihto
- B6 Energiankulutus
- C1-C4 Käytön jälkeen



**Investointikustannukset**

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
energiankulutus ilman toimenpiteitä	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>		
LTO poistoilmasta	<b>14,46</b>	<b>1 410</b>	<b>85 000</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 7,41</b>	<b>- 703</b>	<b>+ 85 000</b>	<b>= 121</b>

**Käytönaikaiset kustannukset**

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€ / tn CO <sub>2</sub> e
energiankulutus ilman toimenpiteitä	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>	<b>1 378 858</b>	
LTO poistoilmasta	<b>14,46</b>	<b>1 410</b>	<b>1 081 432</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 7,41</b>	<b>- 703</b>	<b>- 297 426</b>	<b>= - 423</b>

**Johtopäätökset**

Korjaustoimenpiteessä, jossa rakennuksen ilmanvaihto varustetaan lämmöntalteenottojärjestelmällä, rakennuksen arviointijakson hiilijalanjälki pienenee. Tämä on seurausta pienentyneestä energiankulutuksesta ja sen päästöistä. Korjaustoimenpide aiheuttaa päästöjä kuitenkin materiaalien osalta, esimerkiksi valmistuksen ja käytönaikaisen vaihdon osalta. Rakennuksen kokonaishiilijalanjälki pienentyi n. 34%.

Lämmöntalteenoton hyödyntäminen korjausrakentamisen hankkeessa aiheuttaa investointikustannuksia. Suhteutettuna nämä investointikustannukset rakennuksen hiilijalanjäljessä pienentyviin hiilidioksidiekvivalenttitonneihin (tn CO<sub>2</sub>e), kustannukset ovat 121 € per hiilidioksidiekvivalenttonni. Käytönaikaiset kustannukset ovat kuitenkin pienemmät korjaustoimenpiteen jälkeen verrattuna tilanteeseen, jossa toimenpidettä ei toteutettaisi. Lämmöntalteenoton lisääminen siis pienentää sekä rakennuksen hiilijalanjälkeä, että käytönaikaisia kustannuksia arviointijaksolta, eli säästettyjen päästöjen ja käytönaikaisten kustannusten suhteena toimenpide säästää 423 € per hiilidioksidiekvivalenttonni.

## Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon lisääminen (tarpeenmukainen käyttö)

Tässä vertailuratkaisussa alkuperäisen rakennuksen ilmanvaihto saneerattiin koneellisesta poistosta huoneistokohtaisiin ilmanvaihtokoneisiin lämmöntalteenotolla, jota on tarpeen mukaan mahdollista tehostaa. Energialaskennassa tämä huomioitiin tyypillisillä laskennassa käytettävillä arvoilla ja materiaalien osalta puolestaan talotekniikan komponentein karkealla arviolla. Ilmastovaikutusten laskennassa huomioitiin näiden vaikutus kuhunkin elinkaaren vaiheeseen. Purettavan materiaalin aiheuttamia päästöjä ei tässä arvioitu. Muita korjaustoimenpiteitä ei toteutettu.

Rakennus- ja purkutyömaan toimintojen (A5, C1) päästöjen arvioitiin olevan 15% uudisrakennuksen päästöarvoista. Tämä poikkeaa muista korjausrakentamisen vertailuratkaisuista, kuten aiemmin mainittu.

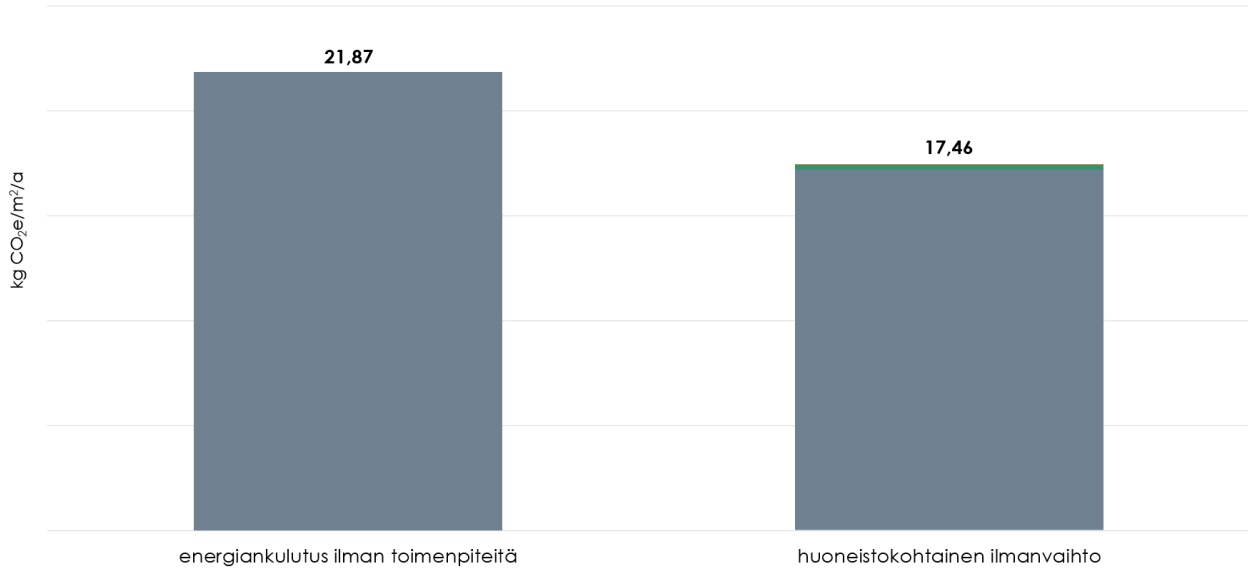
Toimenpiteen jälkeen rakennuksen laskennallinen energiankulutus on 491 443 kWh/vuosi, josta sähkön ostoenergiaa on 70 885 kWh/vuosi ja kaukolämmön 420 558 kWh/vuosi. Täten energiankulutus vähenee 132 554 kWh/vuosi, joka vastaa käytönaikaisen energiankulutuksen päästöjä noin 455 tn CO<sub>2</sub>e arviointijakson ajalta.

Kustannustiedot huoneistokohtaisen ilmanvaihdon lisäämiselle toteutettiin erillisenä kustannuslaskentana. Kustannusarvio sisältää suojaus- ja purkutyöt, läpivientireikien toteutuksen, uudet järjestelmän komponentit mahdollisine koteloiteineen ja pintojen tasoite- ja maalaustyöt. Purettavien rakenteiden määrän osalta kustannusarvio perustuu karkeisiin arvioihin, jotka vaihtelevat merkittävästi kohdekohtaisesti. Käytönaikaisten kustannusten arvioinnissa huomioitiin rakennuksen energiankulutus sekä huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden uusiminen arviointijakson aikana.

### **Tulokset**

Alla diagrammissa esitettynä alkuperäisen rakennuksen arviointijaksolle arvioidun energiankulutuksen ja vertailuratkaisun rakennuksen arviointijaksolle aiheuttamat päästöt. Lisäksi alla taulukoituna korjaustoimenpiteen vaikutukset kustannuksineen sekä investoinnin, että käytönaikaisten kustannusten osalta.

- A1-A3 Tuotteiden valmistus
- A4 Kuljetukset työmaalle
- A5 Rakennustuotteiden työmaahävikki
- A5-YM Rakennustyömaan toiminnot
- B4 Rakennustuotteiden vaihto
- B6 Energiankulutus
- C1-C4 Käytön jälkeen



### Investointikustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
energiankulutus ilman toimenpiteitä	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>		
huoneistokohtainen ilmanvaihto	<b>17,46</b>	<b>1 687</b>	<b>+ 694 547</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 4,41</b>	<b>- 426</b>	<b>+ 694 547</b>	<b>= 1 630</b>

### Käytönaikaiset kustannukset

	hiilijalanjälki, kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /a	hiilijalanjälki, tn CO <sub>2</sub> e	nettonykyarvo kustannukset, €	€/ tn CO <sub>2</sub> e
energiankulutus ilman toimenpiteitä	<b>21,87</b>	<b>2 113</b>	<b>1 378 858</b>	
huoneistokohtainen ilmanvaihto	<b>17,46</b>	<b>1 687</b>	<b>1 195 412</b>	
vaikutus alkuperäiseen	<b>- 4,41</b>	<b>- 426</b>	<b>- 183 446</b>	<b>= - 430</b>

### Johtopäätökset

Diagrammia tarkastellessa voidaan todeta, että korjaustoimenpiteellä käytönaikaisen energiankulutuksen aiheuttamia päästöjä pystyttiin arviointijaksolta pienentämään.

Materiaalisidonnaisista elinkaaren vaiheista aiheutuu vain hieman päästöjä. Arvioinnin perusteella työmaatoimintojen aiheuttamat päästöt ovat tässä materiaaleja vaikuttavammat. Rakennuksen arviointijakson hiilijalanjälki pienentyi n. 20%.

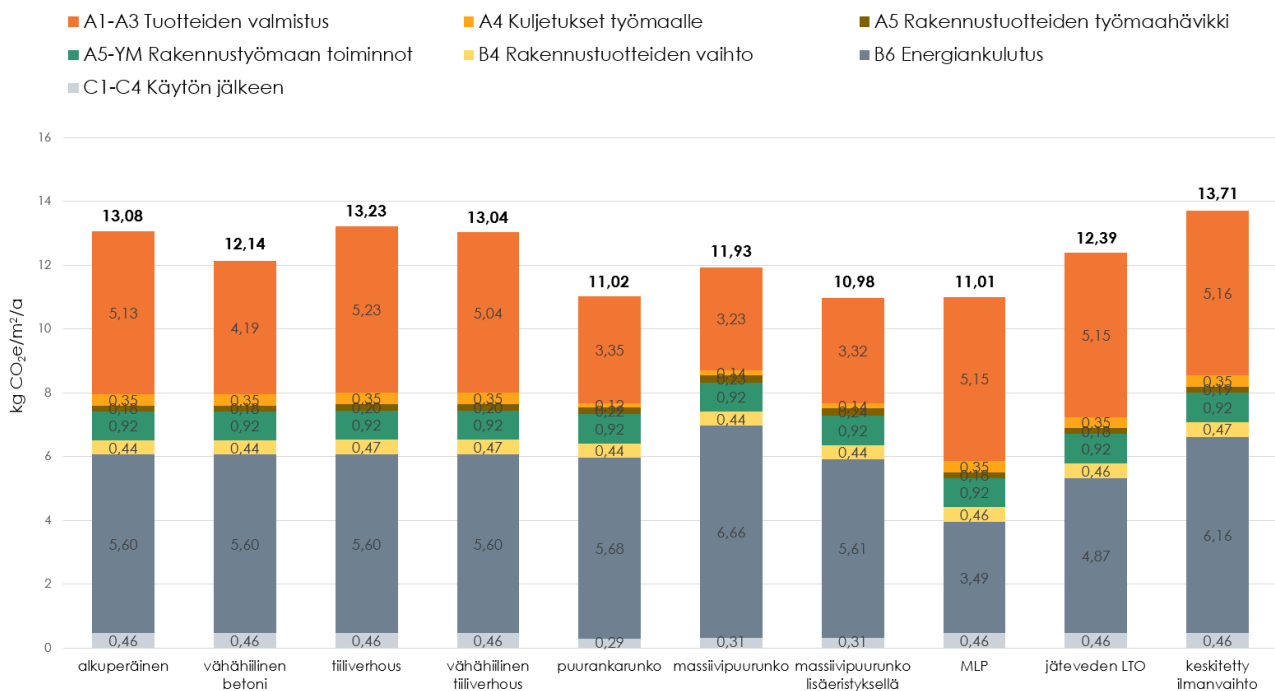
Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon lisääminen jo olemassa olevaan asuinkerrostaloon aiheuttaa investointikustannuksia. Investointikustannukset suhteutettuna säästettäviin päästöihin kustantavat 1 630 € per säästetty hiilidioksidiekvivalenttonni (tn CO<sub>2</sub>e). Arviointijaksolla energiankulutuksen pienentyessä käytönaikaiset kustannukset ovat kuitenkin pienemmät kuin tilanteessa, jossa korjaustoimenpidettä ei suoritettaisi. Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon lisääminen siis pienentää sekä rakennuksen hiilijalanjälkeä, että käytönaikaisia kustannuksia arviointijaksolta eli säästettyjen päästöjen ja käytönaikaisten kustannusten suhteena toimenpide säästää 430 € per hiilidioksidiekvivalenttonni.

## YHTEENVETO

### Uudisrakennus, uudisrakentaminen

Uudisrakennushankkeen suurimmat päästöt aiheutuvat ennen käyttöä materiaalien valmistuksesta sekä käytönaikaisesta energiankulutuksesta. Luonnollisesti näissä elinkaaren vaiheissa on myös suurin vaikutusmahdollisuus rakennuksen hiilijalanjäljen muodostumiseen.

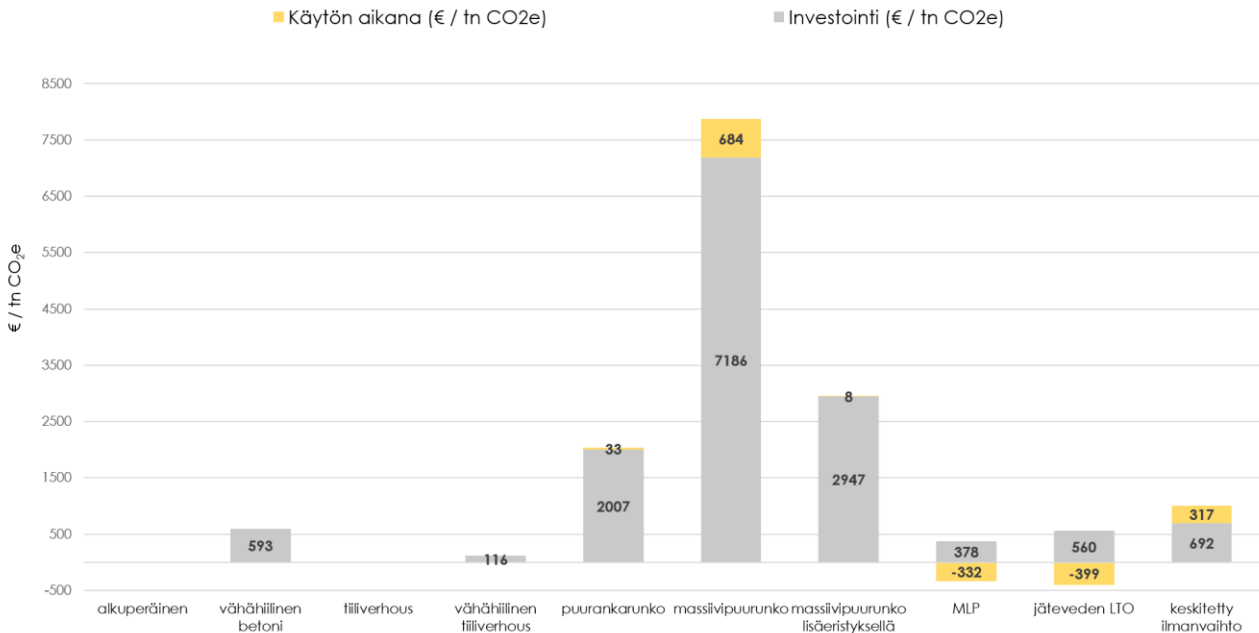
Alla diagrammissa esitettynä rakennuksen hiilijalanjäljen muodostuminen esimerkkirakennukselle tarkastelluilla vertailuratkaisuilla.



Esimerkkirakennukselle toteutettujen vertailuratkaisujen pohjalta voidaan todeta, että suurimmat yksittäiset vaikutukset rakennuksen hiilijalanjälkeen ovat maalämpölämmityksen hyödyntäminen sekä puumateriaalit runkoratkaisuna. Hyödynnettäessä energiankulutusta ja sen päästöjä pienentäviä taloteknisiä ratkaisuja sekä vähäpäästöisiä rakenneratkaisuja, saadaan hankkeessa rakennuksen hiilijalanjälkeä pienennettyä entisestään.

Mikäli tarkasteluun otetaan mukaan kunkin vertailuratkaisun vaikuttavuus kustannusten ja hiilijalanjäljen muutoksen suhteena, ratkaisujen vaikuttavuusjärjestys ei enää pysy samana.

Alla esitettynä diagrammissa vertailuratkaisujen kustannukset suhteessa rakennuksen hiilijalanjäljen muutokseen. Huomioitavaa on se, että tulokset on tarkasteltu muutoksien suhteena, eli verrattuna alkuperäiseen ratkaisuun.



Tarkastelussa investointeina pienimmät kustannukset per päästöjen muutos, saavuttaa vähähiilinen tiiliverhous. Vähähiilisen tiilen ratkaisulle vertailutasona oli tyypillinen tiili. Suurimpana investointina per säästetty tn CO<sub>2</sub>e on puolestaan massiivipuurunkoratkaisu.

Käytönaikaisissa kustannuksissa osalle vertailuratkaisuista ei oletettu käytön aikana syntyvän alkuperäistä ratkaisua enempää kustannuksia. Näitä vertailuratkaisuja ovat vähähiilinen betoni sekä vähähiilinen tiiliverhous. Lisäksi puurakenneratkaisuissa ei ole huomioitu käytönaikaisia eroavaisuuksia betoniasuinkestoaloon nähden, esim. huollon osalta.

Ratkaisuista maalämpöpumppu kustantaa vähiten käytön aikana verrattuna alkuperäiseen ratkaisuun. Maalämpöpumppujärjestelmä pienentää energiankulutusta käytön aikana sekä rakennuksen kokonaishiilijalanjälkeä, jolloin verrattaessa alkuperäiseen ratkaisuun, kustannusten ja hiilijalanjäljen muutoksen suhteena tuloksen ajatellaan olevan negatiivinen. Käytönaikaisesta kustannustarkastelusta myös jäteveden talteenottojärjestelmä sekä pienentää käytönaikaisia kustannuksia, että rakennuksen hiilijalanjälkeä alkuperäiseen verrattuna, jossa järjestelmää ei hyödynnetä.

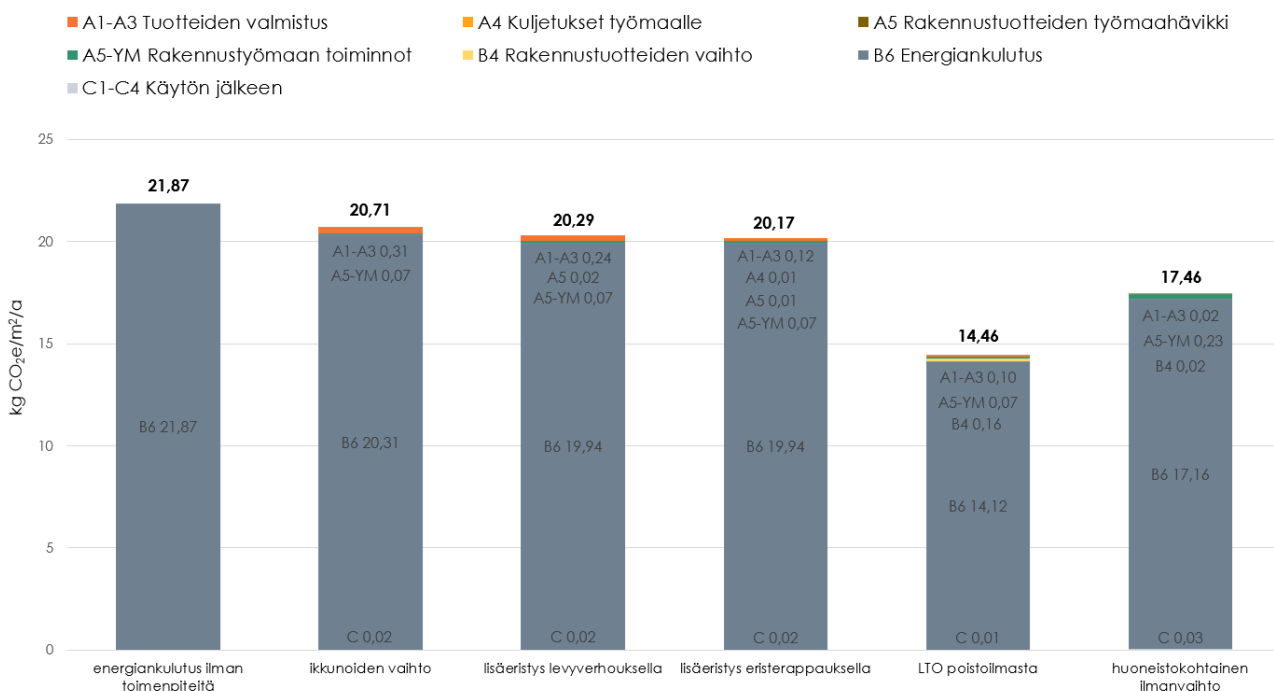
Epävarmuustekijöitä tähän rakennustyyppin tutkimukseen aiheuttavat erityisesti talotekniikan komponenttien määrärajoitukset ko. vertailuratkaisuihin määrätietojen puuttuessa. Taloteknisten komponenttien päästötietoja on niukasti saatavilla sekä määrätietojen muuttuessa rakennuskohtaisesti, vaikuttavat nämä myös tuloksiin. Lisäksi on syytä

huomioida kustannustietojen epävarmuus, niin investointina kuin elinkaaren ajalta. Kustannukset saattavat vaihdella kohtalaisen paljonkin rakennushankkeesta riippuen. Elinkaarikustannusten laskennassa käytetyillä lähtötiedoilla ja skenaarioilla on puolestaan vaikutusta käytönaikaisiin kustannuksiin. On lisäksi syytä huomioida yleisluontoisesti käytettyjen lähtötietojen, päästöarvojen ja rajausten vaikutus hankkeen tuloksiin. Vertailuratkaisut tuloksineen edustavat kuitenkin yleisellä tasolla näiden ratkaisujen vaikuttavuutta hiilijalanjäljen ja kustannusten osalta.

## Olemassa oleva rakennus, korjausrakentaminen

Korjausrakentamisen vähähiilisyys arvioinnissa elinkaaren vaiheet ja niiden aiheuttamat päästöt huomioidaan rakennuksen seuraavalta 50 vuoden ajalta. Tarkastelussa tarkasteltiin siis skenaarioita, jossa rakennukselle ei toteutettaisi korjaustoimenpidettä arviointijaksolla sekä eri vertailuratkaisuilla toteutettavat saneeraustoimenpiteet.

Alla diagrammissa esitettynä hiilijalanjäljen muodostuminen esimerkkirakennukselle tarkastelluilla vertailuratkaisuilla ja tarkastelurajauksilla.



Kunkin vertailuratkaisun huomioitavista rakennusmateriaaleista johtuen, käytönaikainen energiankulutus aiheuttaa selkeästi näiden vertailuratkaisujen suurimmat päästöt. Korjauksen yhteydessä käytettävät uudet materiaalit aiheuttavat vain jonkin verran päästöjä, niin valmistuksen, kuljetuksen, vaihdon kuin käytön jälkeisen ajan osalta. Tämä on seurausta yksinkertaisesti materiaalien massan pienyydestä. Saneeraustyömaan aiheuttamat päästöt

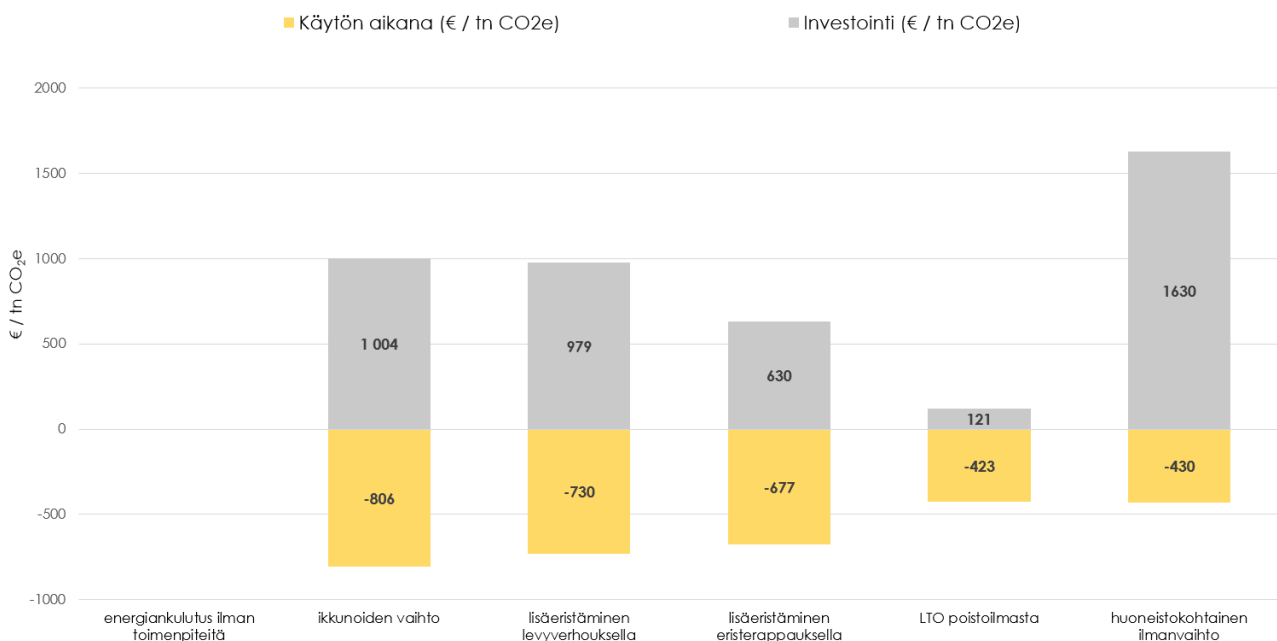


aiheuttavat kokonaishiilijalanjäljestä hyvin pienen osan. Näiden vaikuttavuus päästöjen suuruuteen on riippuvainen korjaustoimenpiteen suuruudesta suhteessa tarkasteltavaan rakennukseen.

Energiankulutuksen päästöjen vähentämisellä on suurin mahdollisuus pienentää olemassa olevan rakennuksen hiilijalanjälkeä seuraavan 50 vuoden ajalta. Mikäli rakennukseen asennettaisiin poistoilmalämpöpumppujärjestelmä, joka hyödyntäisi poistoilman lämpöenergiaa, saataisiin rakennuksen hiilijalanjälkeä pienennettyä vertailuratkaisuista eniten. Puolestaan, vertailuratkaisuista pienin vaikuttavuus hiilijalanjälkeen on ikkunoiden vaihdolla. Tässä tarkastelussa kyseisellä toimenpiteellä ei ole suhteellisesti kovinkaan suurta vaikutusta energiankulutukseen ja sen aiheuttamiin päästöihin sekä lisäksi ikkunoiden valmistus aiheuttaa kohtalaisen paljon päästöjä.

Tarkasteltaessa hiilijalanjäljen lisäksi myös kunkin ratkaisun kustannusvaikutuksia investointeina sekä elinkaaren ajalta, tulokset ovat lähes samassa linjassa hiilijalanjäljen kanssa. Kukin vertailuratkaisu luonnollisesti tuottaa kustannuksia investointeina, mutta myös energiankulutuksen merkittävästi pienentyessä vähentää käytönaikaisia kustannuksia. Huomionarvoista on, että taloteknisissä korjaustoimenpiteissä on huomioitu myös käytönaikaiset kustannukset laitteiden uusimisen kautta.

Alla diagrammissa esitettynä vertailuratkaisujen kustannukset suhteessa rakennuksen hiilijalanjäljen muutokseen.



Investointeina pienimmät kustannukset per säästetty hiilidioksidiekvivalenttitonni (tn CO<sub>2</sub>e) on ratkaisulla, jossa rakennukseen asennetaan lämmöntalteenottojärjestelmä. Lisäksi käytön aikana tämä ratkaisu säästää eniten rahaa suhteessa päästöjen pienemiseen. LTO-

järjestelmä pienentää siis eniten käytönaikaisia kustannuksia sekä rakennuksen hiilijalanjälkeä.

Investointeina huoneistokohtaisen ilmanvaihdon lisääminen rakennukseen aiheuttaa suurimmat kustannukset säästettyä hiilidioksidiekvivalenttonnia (tn CO<sub>2</sub>e) kohti. Käytönaikaisissa kustannuksissa puolestaan ikkunoiden vaihdolla saadaan pienimmät vaikutukset käytönaikaisiin kustannuksiin energiankulutuksen kautta ja hiilijalanjäljen pienenemiseen.

Korjausrakentamisen tarkasteluun epävarmuustekijöitä aiheuttavat, kuten uudisrakennuksen tarkasteluissa, taloteknisten järjestelmien komponenttien päästö- ja massatietojen puutteellisuus sekä investointi- ja käytönaikaiset kustannusarviot skenaarioineen. Lisäksi tässä tarkastelussa tehdyt rajaukset rakennuksen huomioitaville rakennusosille sekä arviot elinkaaren vaiheiden päästöarvoista vaikuttavat tuloksien muodostumiseen. On myös syytä arvioida Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmän 6/2021 sovellettavuutta kaikille vertailuratkaisuille, jotka eivät välttämättä täytä laajamittaisen korjauksen kriteerejä. Yleisesti on syytä huomioida käytettyjen lähtötietojen, päästöarvojen ja rajausten vaikutus hankkeen tuloksiin. Vertailuratkaisut tuloksineen kuitenkin edustavat yleisellä tasolla näiden ratkaisujen vaikuttavuutta hiilijalanjäljen ja kustannusten osalta.

## KUSTANNUSLÄHTEET

### Uudisrakennus

- Betonirunkoinen asuinkerrostalo: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 5.5.2022.
- Vähähiilinen betonirunko: kustannusarvio, Betoniteollisuus ry, Mattila Jussi, 8.3.2022.
- Tiiliverhous: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.
- Vähähiilinen tiiliverhous: kustannusarvio, Wienerberger Suomi, 23.5.2022.
- Puurankarunko: kustannusarvio, puurakentamisen asiantuntijat, 6.-8.2022.
- Massiivipuurunko: kustannusarvio, puurakentamisen asiantuntijat, 6.-8.2022
- Massiivipuurunko lisäeristyksellä: kustannusarvio, puurakentamisen asiantuntijat, 6.-8.2022
- Lämmitystapana kaukolämpö: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.
- Lämmitystapana maalämpö: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.
- Jäteveden LTO: kustannusarvio, Ecowec Oy, 18.2.2022.
- Huoneistokohtainen ilmanvaihto: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.
- Keskitetty ilmanvaihto: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.

### Olemassa oleva rakennus, korjausrakentaminen

- Ikkunoiden vaihtaminen: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.
- Julkisivun lisäeristäminen levyverhouksella: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.
- Julkisivun lisäeristäminen eristerappauksella: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.
- Lämmöntalteenoton käyttöönotto: kustannusarvio, ONT Lipaev Konstantin (Asuinkerrostalojen hybridikytkentöjen energia- ja elinkaaritutkimus, 2021) & ONT Ikonen Joonas (Laskentasovellus poistoilmalämpöpumpun kannattavuuden arviointiin, 2019).
- Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon lisääminen: kustannusarvio, Mittaviiva Oy, 22.4.2022.