

26.8.2020

KEKRI – Kestävät kriteerit rakennusten  
vähähiilisyyden arviointiin

# Rakennusten hiilijalanjälkitarkastelut

## Sisälllys

<b>Tausta ja tarkoitus</b> .....	3
Tarkasteltavat kohteet .....	3
Runkomateriaalit .....	4
Talotekniikka.....	5
Kesäajan huonelämpötila .....	5
Suunnitteluohjelmistot ja laskentamenetelmä .....	5
Lähtö- ja määrätiedot .....	6
<b>Asuinkerrostalo</b> .....	7
Tulokset .....	7
Johtopäätökset.....	9
<b>Päiväkoti</b> .....	10
Tulokset .....	10
Johtopäätökset .....	11
<b>Koulu</b> .....	12
Tulokset .....	12
Johtopäätökset.....	13
<b>Hoivakoti</b> .....	14
Tulokset .....	14
Johtopäätökset.....	15
<b>Erillistarkastelut</b> .....	16
Astetuntitarkastelu tulevaisuuden säädatalla.....	16
Kerrostalo sähkölämmitteisenä.....	24
Päiväkoti Vesi-ilmalämpöpumpulla .....	26
Koulu aurinkopaneeleilla.....	27
Koulu kennoharkoilla.....	28
Betonin ääripäävertailu .....	29
Kerrostalo nykypäästöillä .....	31
Kerrostalo 100 vuoden tarkastelujaksolla .....	31
<b>Yhteenveto</b> .....	33

## Tausta ja tarkoitus

Rakennuksen elinkaaren hiilijalanjäljen arviointi on tulossa osaksi Suomen rakentamismääräyksiä lähivuosina. Ympäristöministeriö on julkaissut laskentaa varten laskentamenetelmän luonnosversion YM 2019:22 *Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä* 30.8.2019. Menetelmä on tämän raportin tekoaikaan koekäytössä. Tässä raportissa on tarkoitus selvittää ja tarkastella menetelmän mukaan tehdyn elinkaaren hiilijalanjäljen laskentamallin toimintaa erilaisista materiaaleista ja erilaisilla lämmitysratkaisuilla varustetuissa rakennuksissa.

Tarkastelulla pyritään varmistamaan laskentamallin toimivuus tarkastelemalla ristiin erilaisia rakennustyyppejä, rakennuksen runkomateriaaleja ja talotekniikkaa sekä yhdistämällä laskentaan nykyisten rakentamismääräysten vaatimat energialaskennat sisältäen kesäajan huonelämpötilatarkastelun.

Tavoitteena on selvittää, että mitkään rakennusmateriaalit eivät saa laskentamallissa erityisen hyvää tai huonoa asemaa. Yhdistelmäratkaisulla tulisi voida jatkossakin mahdollistaa monipuolinen rakentaminen ja varmistaa myös valinnanvapaus rakentamistavassa, vaikka hiilijalanjäljelle määritettäisiin lähitulevaisuudessa rakennustyyppikohtaiset raja-arvot.

Laskennassa on keskitytty hiilijalanjäljen tarkasteluun, koska raja-arvot ovat tulossa hiilijalanjäljelle. Laskennan yhteydessä on laskettu kohteille myös hiilikädenjälki ympäristöministeriön julkaisun YM 2019:22 Rakennusten vähähiilisyyden arviointi (luonnos pilotoitinkäyttöön) mukaisesti. Niiden tulokset on erillistarkasteluita lukuun ottamatta jätetty pois raportista kahdesta eri syystä. Hiilikädenjälkeä ei saa missään tapauksessa vähentää hiilijalanjäljestä, kuten arviointimenetelmän taustalla olevien EN-standardien (EN 15978:2011 ja EN 15804:2012+A2:2019) laskentasäännöissä on selvästi määritetty. Näin on kuitenkin eri hiilijalanjälkiselvityksissä ja niiden tuloksia hyödynnettäessä epähuomiossa tai tarkoitushakuisesti tehty. Toinen syy hiilikädenjäljen pois jättämiseen on se, että tässä selvityksessä on pilotoitintarkoituksessa käytetty julkaisun YM 2019:22 laskentasääntöjä, jotka kuitenkin ovat em. EN-standardien laskentasääntöjen vastaiset hiilikädenjäljen arvioinnin osalta.

## Tarkasteltavat kohteet

Tarkasteltaviksi kohteiksi valittiin rakennuksia kolmesta eri käyttötarkoituseriästä, jotka tulevat edustamaan suurta osaa rakennettavasta massasta lähitulevaisuudessa. Valitut käyttötarkoituseriät ovat asuinkerrostalo, majoitusliikerakennus ja opetusrakennus. Opetusrakennuksista tarkastellaan

erikseen lasten päiväkotia ja koulua. Majoitusliikerakennus on tässä raportissa vanhusten hoivakoti.

Kaikkien käyttötarkoituksiluokkien rakennuksia voidaan sujuvasti vertailla raportissa käytetyillä erilaisilla runkomateriaaleilla ja talotekniikalla. Todellisuudessa raportissa esitetyillä yhdistelmillä ja kokonaisuuksilla on rakennettu oikeita toimivia rakennuksia, eivätkä ne näin ollen ole hypoteettisia tai perustu oletuksiin.

Jokaisen rakennustyyppin vertailun pohjalla on yksi todellinen rakennus ja siihen tehdyt suunnitelmat ja energialaskelmat. Tähän todellisen rakennuksen laskentamalliin on vaihdettu rakennetyypit, joiden perusteella vertailulaskennat on tehty. Vertailulaskelmissa on käytetty samoja arkkitehtuurisia- ja taloteknisiä ratkaisuja kuin alkuperäisessä rakennuksessa. Kaikissa tapauksissa energialaskennan vaatimukset eivät kuitenkaan ole vertailurakenteessa täyttyneet. Näissä tapauksissa on tehty optimointia niin, että vaatimukset täyttyvät.

Ajallisesti laskennat sijoittuvat rakennusprosessin lupavaiheeseen ja lähtötietoina on käytetty sellaisia tietoja, jotka ovat tyyppillisesti siinä vaiheessa käytettävissä.

## Runkomateriaalit

Runkomateriaaleina raportissa tarkastellaan kolmea erilaista tavanomaista rakennusmateriaalia: betonia, rankarakennetta sekä massiivipuuta.

Betoni on asuinkerrostalojen yleisin rakenneratkaisu. Rankarakenne on maassamme yleinen päiväkotien ja hoivakotien runkorakenne, eli puurunko ja eristeenä käytettävä villa. Massiivipuuta käytetään päiväkoti- ja hoivakotirakentamisessa sekä enenevässä määrin myös kerrostalorakentamisessa.

Massiivipuurakenteina on käytetty rakennustyyppistä riippuen joko CLT:tä tai laminoitua hirsiseinärakennetta. Asuinkerrostalon vertailussa on näiden lisäksi tehty vertailu rakenteella, jossa on CLT:tä sekä eristettä.

Laskennassa käytettäviksi valitut rakennetyypit ovat sellaisia, joita voidaan oikeasti käyttää vertailtavan rakennuksen rakentamiseen. Esimerkiksi kerrostalossa, joka on alun perin betonirakenteinen, on käytetty rakennetyyppejä, joilla pystytään rakentamaan vastaavan kokoinen rakennus, joka täyttää mm. palomääräysten vaatimukset.

## Talotekniikka

Tarkastelussa on keskitytty vertailemaan maalämpöä ja kaukolämpöä rakennusten pääasiallisena lämmitysmuotona. Nämä kaksi ovat lämmitysmuodoista suosituimmat ja niiden valikointi edesauttaa tulosten vertailukelpoisuutta.

Erillisenä tarkasteluna on kuitenkin päätetty tehdä hypoteettinen vertaileva tarkastelu sähkölämmitteisen ja kaukolämmitteisen asuinkerrostalon välillä.

Tulosten vertailukelpoisuuden ja selkeyden vuoksi oletetaan, että talotekniikka ja energiatekniset ratkaisut vertailtavissa rakennuksissa ovat lämmitysmuotoa lukuun ottamatta jatkuvasti samat.

## Kesäajan huonelämpötila

Kesäajan huonelämpötilatarkastelu tehdään osana energiaselvitystä kaikkiin valittuihin käyttötarkoituksiluokkiin. Lainsäädäntö velvoittaa hallitsemaan kesäaikaista yllämpöä ja tämä osoitetaan rakennuslupavaiheessa dynaamisen simulaation avulla.

Tulevaisuudessa oletettu ilmaston lämpeneminen aiheuttanee kesäaikaiselle yllämmön hallinnalle omat haasteensa.

Erilaisille rakennusmateriaaleille tyypilliset fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat myös sisäilmaston lämpötilaan varsinkin kesäaikana.

Kesäaikaisen yllämpenemisen vaikutusta nyt ja tulevaisuudessa ei saa unohtaa tarkasteltaessa elinkaaren hiilijalanjäljen laskentamallia. Tästä syystä raportissa tarkastellaan myös jokaisen rakennusvariaation hiilijalanjäljen ja E-luvun rinnalla rakennuksen kesäajan huonelämpötilan astetunteja.

Astetuntitarkastelu tehtiin valikoiduille käyttötarkoituksiluokille ja runkomateriaaleille myös oletetuilla vuosien 2030 ja 2050 säätiedoilla.

## Suunnitteluohjelmistot ja laskentamenetelmä

Hankkeen hiilijalanjälkilaskenta tehtiin Bionova Oy:n toimittamalla OneClick LCA-ohjelmistolla. Tarvittava energialaskenta tehtiin Laskentapalvelut.fi -energielaskentaohjelmistolla ja kesäajan huonelämpötilasimulaatiot IDA Indoor Climate and Energy:lla.

Hiilijalanjalan laskennassa käytettiin YM 2019:22 *Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä* (luonnos pilotoitinkäyttöön) mukaista menetelmää, joka on julkaistu 30.8.2019.

## Lähtö- ja määrätiedot

Laskentojen määrätiedot on saatu kohteiden rakennuslupavaiheen pääpiirustuksista ja rakennetyypeistä. Saman rakennustyyppin vertailukohteissa on käytetty samoja määriä kuin alkuperäisessä rakennuksessa, rakennetyypit on vain vaihdettu. Laskennassa ei ole menty kovin pitkälle tarkkoihin yksityiskohtiin vaan lähtökohtana vertailulle on ollut vaikuttaa niihin asioihin joilla on merkittävää vaikutusta laskentaan.

Materiaalien päästötietoina on käytetty laskentaohjelmasta löytyviä päästötietoja. Vertailun luonteesta johtuen on pääsääntöisesti käytetty geneerisiä materiaalien päästötietoja, mutta osassa rakenteita myös tietyn materiaalin ympäristöselosteeseen pohjautuvia päästötietoja, milloin sopivia geneerisiä arvoja ei ollut käytettävissä.

Rakennustyömaan toimintojen, kuljetusten sekä purkuvaiheen osalta, eli moduulien A4, A5 ja C1–4 osalta on käytetty laskentamenetelmän taulukkoarvoja. Myös talotekniikan osalta (mm. vesiputket, viemärit, sähköistykset, IV-putkisto) on käytetty laskentamenetelmän taulukkoarvoja. Rakennusosien vaihdot ovat laskentaohjelman oletusarvojen mukaiset.

Käytönaikaisen energiankulutuksen määrä saatiin energiatodistuksesta. Jokaisesta vertailuvaihtoehdosta tehtiin oma energialaskenta huonelämpötilatarkasteluineen. Energiatodistuksessa ostoenergia lasketaan standardikäytön arvojen mukaan, ja ne ovat erilaiset eri käyttötarkoituksiluokissa. Tämä selittää erot eri käyttötarkoituksiluokkien välillä, jotka saattavat olla huomattavankin suuria.

Kaikissa vertailuissa käytettiin laskentajakson pituutena 50 vuotta, lukuun ottamatta erillistarkastelua 100 vuoden laskentajaksolla.

## Asuinkerrostalo

Asuinkerrostalovertailun pohjana on käytetty betonirunkoista suorakulmion muotoista kerrostaloa, jossa on 4 maanpäällistä kerrosta. Rakennuksen lämmitetty nettoala on 2 974 m<sup>2</sup> ja lämmitysmuoto kaukolämpö.

Rakennuksesta tehtiin vertailulaskelma neljällä eri runkoratkaisulla: betonirungolla, CLT-rungolla, rankarungolla sekä eristetyllä CLT-rungolla. Vertailurakennuksissa vaihdettiin ulkoseinät, välipohjat, yläpohja, kantavat väliseinät sekä parvekkeet. Perustukset, alapohja, väestönsuojarakenteet, talotekniikka sekä ovet ja ikkunat pidettiin samana.

Energialaskennassa rakenteiden U-arvot pysyivät samana kuin alkuperäisessä rakennuksessa lukuun ottamatta ulkoseiniä. Ulkoseinien U-arvot olivat: betonirakenteella 0,17 W/(m<sup>2</sup>K), CLT-rakenteella 0,49 W/(m<sup>2</sup>K), rankarakenteella 0,16 W/(m<sup>2</sup>K) ja eristetyllä CLT-rungolla 0,16 W/(m<sup>2</sup>K). Myös kaikki lämmitykseen ja ilmanvaihtoon liittyvät muuttujat pysyivät samana. Rakennuksen ominaislämpökapasiteetti muutettiin vastaamaan vertailtavaa runkorakennetta.

Näiden vertailujen lisäksi tehtiin vastaava vertailu muuttamalla lämmitysmuodoksi maalämpö.

### Tulokset

Taulukossa 1 on esitetty laskentatulokset hiilijalanjäljen osalta. Hiilijalanjälki on jaettu laskentamenetelmän mukaisesti osiin: Ennen käyttöä A1–A5, käytön aikana B3, B4, B6 ja C1–C4 käytön jälkeen.



*Taulukko 1 Hiilijalanjäljen laskentatulokset, asuinkerrostalo.*

Energialaskennan yhteydessä huomattiin, että valituilla ratkaisuilla kaikki vaatimukset eivät täyty. CLT-runkoinen talo ei mene läpi tasauslaskennasta, ja kesäajan huonelämpötilatarkastelun vaatimukset täyttää vain betonirunkoinen talo.

Jotta rakennuksista saataisiin vertailukelpoisia, tehtiin seuraavat toimenpiteet vertailurakennuksille, jotka eivät täytä vaatimuksia.

Huonelämpötilan vuoksi CLT- runkosiin rakennuksiin lisättiin viilennys etelän huoneistolinjaan. Sähkönkulutus lisääntyi 744 kWh/a. Tasauslaskennan vuoksi pienennettiin ilmanvuotolukua 1,5 → 0,9. Energiankulutus pieneni kaukolämmöllä 3 896 kWh ja maalämmöllä 1 309 kWh. Tässä on kuitenkin huomioitava, että ilmanvuotolukuun 0,9 voi olla haastavaa päästä CLT-rakenteella.

Huonelämpötilan vuoksi CLT + eriste -runkosiin lisättiin viilennys etelän huoneistolinjaan. Sähkönkulutus lisääntyi 744 kWh/a.

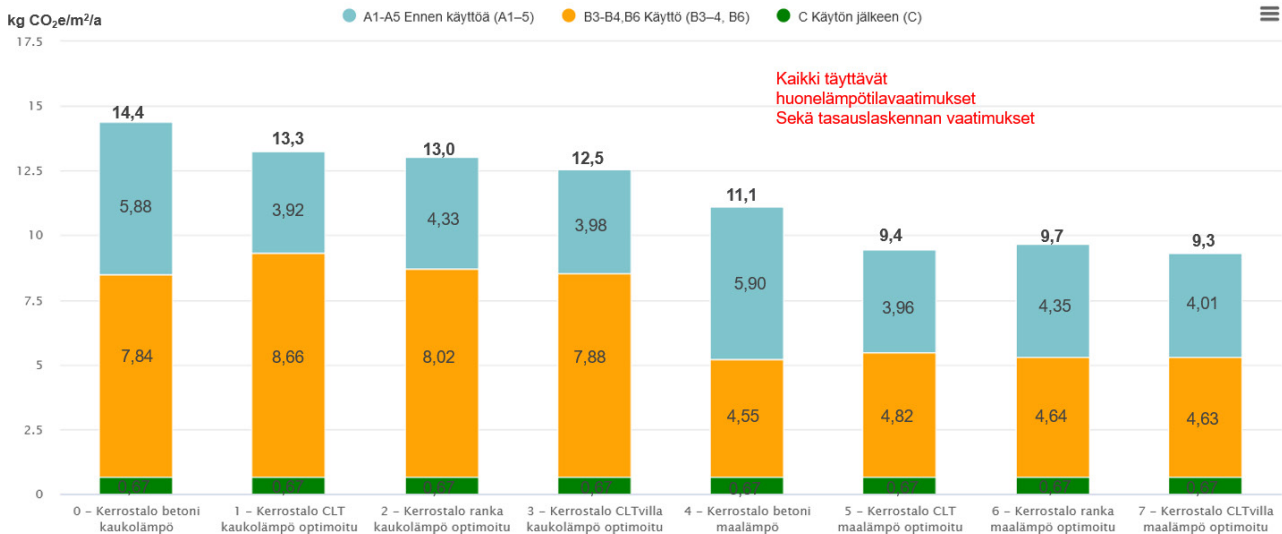
Huonelämpötilan vuoksi rankarunkosiin lisättiin viilennys kaikkiin huoneistoihin. Sähkönkulutus lisääntyi 5 948 kWh/a.

Betonirunkoiset eivät tarvitse optimointia.

Optimoinnin jälkeen hiilijalanjälkilaskennan tulokset muuttuivat hieman.

Tulokset on esitetty taulukossa 2.





**Taulukko 2** Hiilijalanjäljen laskentatulokset, asuinkerrostalon optimoinnin ratkaisut.

## Johtopäätökset

Tarkastellaan ensin kaukolämmöllä lämmitettäviä kohteita. Laskentatuloksista nähdään, että suurin hiilijalanjälki on betonirunkoisella rakennuksella. Pienin hiilijalanjälki on CLT + eriste -runkoratkaisulla. Muut sijoittuvat näiden väliin. Erot eivät ole kuitenkaan kovin suuria. Pienimmän ja suurimman välillä on eroa 13 %.

Betonirunkoisella on suurin ennen käyttöä -osuus, mutta pienin käytönaikainen osuus. CLT-runkoisella on pienin ennen käyttöä -osuus, mutta suurin käytönaikainen osuus. Tässä on kuitenkin huomioitava, että energialaskennan vaatimusten täyttymiseksi CLT-runkoista jouduttiin optimoimaan ilmanvuotolukua pienentämällä. Tässä tarkastelussa ei oteta huomioon, miten pienempään ilmanvuotolukuun päästään, vaan ainoastaan se mitä se vaikuttaa energiankulutukseen ja sitä kautta hiilijalanjälkeen.

Maalämpökohteissa järjestys hieman muuttuu. Suurin hiilijalanjälki on edelleen betonirunkoisella ja pienin CLT + eriste -runkoratkaisulla. CLT-runkoratkaisun hiilijalanjälki oli pienempi kuin rankarakenteisen. Järjestyksen muutos johtuu siitä, että maalämpö vaatii vähemmän ostoenergiaa, jolloin käyttövaiheen osuus pienenee ja ennen käyttöä -osuuden merkitys kasvaa. Rankarakenteisella ennen käyttöä -osuus on suurempi kuin CLT-rakenteisella, mutta käytönaikainen osuus pienempi. Kokonaisuus on CLT-rakenteisella hieman pienempi. Erot ovat erityisesti puurakenteisten osalta hyvin pieniä. Suurimman ja pienimmän välillä on eroa 16 %.

## Päiväkoti

Päiväkodin pohjana on käytetty hirsirunkoista yksikerroksista rakennusta. Rakennuksen lämmitetty nettoala on 646 m<sup>2</sup>, ja lämmitysmuoto maalämpö.

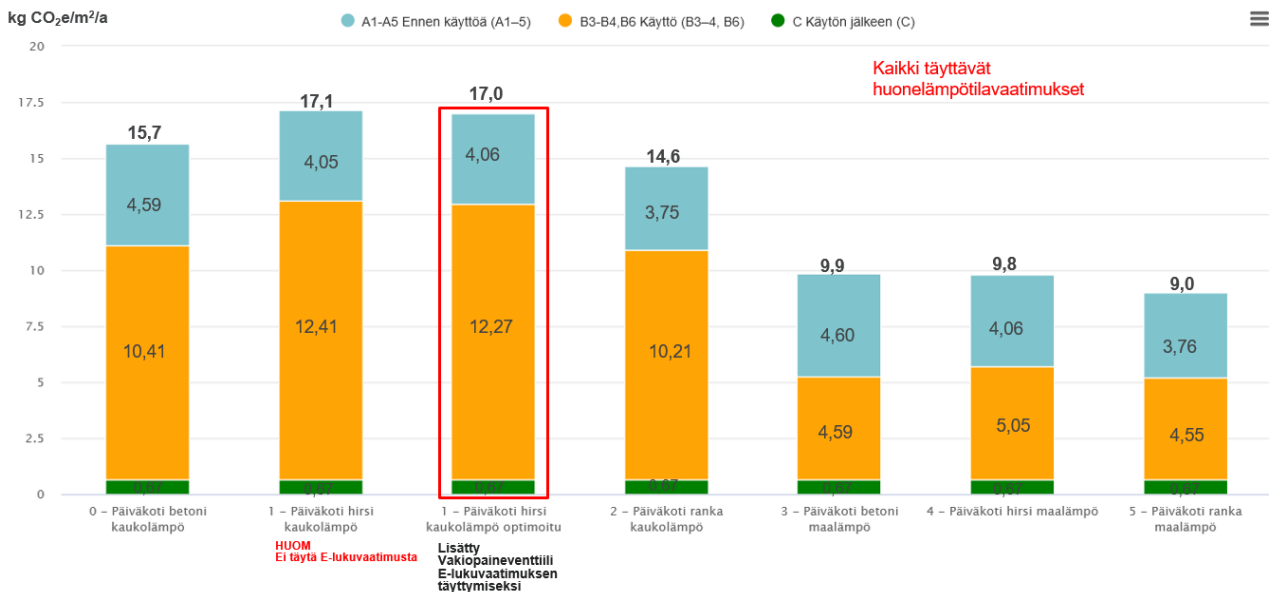
Rakennuksesta tehtiin vertailulaskelma kolmella eri runkoratkaisulla: betonirungolla, hirsirungolla ja rankarungolla. Vertailurakennuksissa vaihdettiin ulkoseinät. Perustukset, alapohja, talotekniikka sekä ovet ja ikkunat pidettiin samana.

Energialaskennassa rakenteiden U-arvot pysyivät samana kuin alkuperäisessä rakennuksessa, lukuun ottamatta betoni- ja rankarakenteisen ulkoseiniä, jonka U-arvot olivat betonirakenteisella 0,17 W/(m<sup>2</sup>K) ja rankarakenteisella 0,16 W/(m<sup>2</sup>K). Hirsirakenteisella ulkoseinien U-arvo oli 0,53 W/(m<sup>2</sup>K). Myös kaikki lämmitykseen ja ilmanvaihtoon liittyvät muuttujat pysyivät samana. Rakennuksen ominaislämpökapasiteetti muutettiin vastaamaan vertailtavaa runkorakennetta.

Vertailut tehtiin kaukolämmöllä ja maalämmöllä.

## Tulokset

Taulukossa 3 on esitetty laskentatulokset hiilijalanjäljen osalta. Hiilijalanjälki on jaettu laskentamenetelmän mukaisesti osiin: Ennen käyttöä A1–A5, käytön aikana B3, B4, B6 ja käytön jälkeen C1–C4.



Taulukko 3 Hiilijalanjäljen laskentatulokset, päiväkotii.

Energialaskennan yhteydessä huomattiin, että valituilla ratkaisuilla kaikki vaatimukset eivät täyty. Hirsirunkoinen rakennus ei täytä E-lukuvaatimusta, kun lämmitysmuotona on kaukolämpö. Optimointina tähän vertailuun lisättiin vakio paineventtiili, jolloin E-lukulaskennan vaatimus täyttyi.

Molemmat tulokset on esitetty taulukossa 3.

## Johtopäätökset

Tarkastellaan ensin kaukolämmöllä lämmitettäviä kohteita. Laskentatuloksista nähdään, että suurin hiilijalanjälki on hirsirunkoisella rakennuksella. Pienin hiilijalanjälki on rankarakenteisella rakennuksella. Betonirakenteinen rakennus sijoittuu näiden väliin. Pienimmän ja suurimman välillä on eroa 14 %.

Betonirunkoisella on suurin ennen käyttöä -osuus ja rankarakenteisella pienin. Erot ovat kuitenkin melko pieniä. Tämä johtuu siitä, että vertailua varten vaihdettuja rakenteita on vähän. Kun rakennusmateriaalien kokonaismäärä on pieni, eivät eri materiaalien erot nouse kovin suureksi. Käytönaikainen osuus on suurin hirsirunkoisella rakennuksella ja pienin rankarunkoisella.

Hirsirunkoisella jouduttiin optimoimaan hieman, että saatiin E-luku täyttämään vaatimukset. E-luvun raja-arvo on lainsäädännöstä johtuvan lievennyksen vuoksi massiivipuurakenteelle suurempi kuin muille rakenteille. Todellisuudessa hirsirunkoisen E-luku on suurempi kuin muilla vertailuratkaisuilla, mutta silti se täyttää lain vaatimuksen.

Maalämpökohteissa järjestys hieman muuttuu. Suurin hiilijalanjälki on betonirunkoisella ja pienin rankarakenteisella. Hirsirunkoisen rakennuksen hiilijalanjälki on lähes sama kuin betonirunkoisella. Maalämpö vaatii vähemmän ostoenergiaa, jolloin käyttövaiheen osuus pienenee ja ennen käyttöä -osuuden merkitys kasvaa. Suurimman ja pienimmän välillä on eroa 9 %.

## Koulu

Koulurakennuksen pohjana on käytetty rankarunkoista kaksikerroksista rakennusta. Rakennuksen lämmitetty nettoala on 1 862 m<sup>2</sup>, ja lämmitysmuoto kaukolämpö.

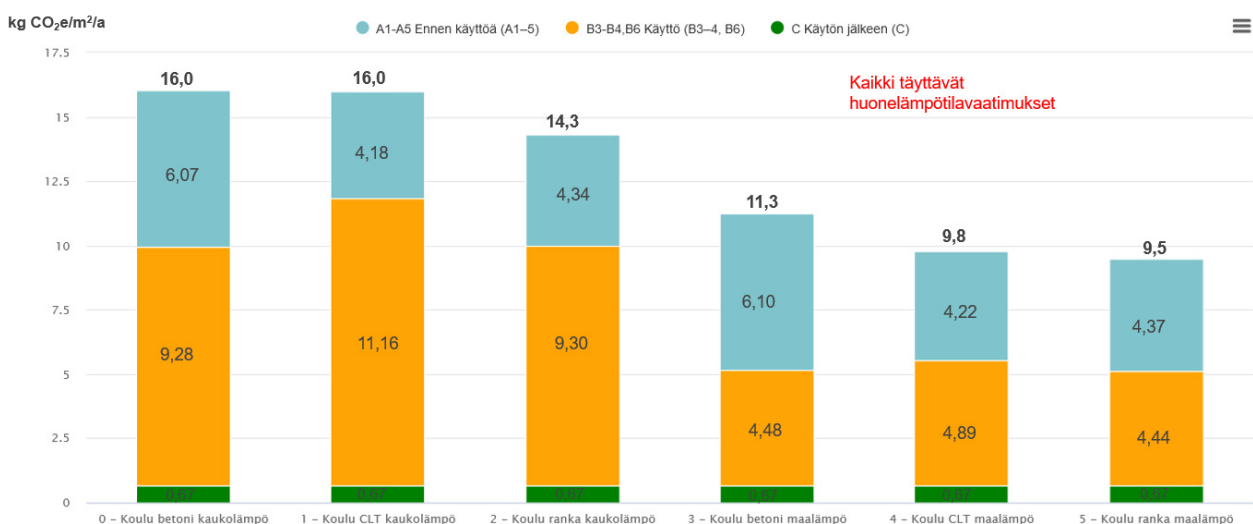
Rakennuksesta tehtiin vertailulaskelma kolmella eri runkoratkaisulla: betonirungolla, CLT-rungolla ja rankarungolla. Vertailurakennuksissa vaihdettiin ulkoseinät, välipohjat, yläpohja ja kantavat väliseinät. Perustukset, alapohja, väestönsuoja, talotekniikka sekä ovet ja ikkunat pidettiin samana.

Energialaskennassa rakenteiden U-arvot pysyivät samana kuin alkuperäisessä rakennuksessa lukuun ottamatta ulkoseiniä. Ulkoseinien U-arvot olivat: betonirakenteella 0,17 W/(m<sup>2</sup>K), CLT-rakenteella 0,49 W/(m<sup>2</sup>K), rankarakenteella 0,16 W/(m<sup>2</sup>K). Myös kaikki lämmitykseen ja ilmanvaihtoon liittyvät muuttujat pysyivät samana. Rakennuksen ominaislämpökapasiteetti muutettiin vastaamaan vertailtavaa runkorakennetta.

Vertailut tehtiin kaukolämmöllä ja maalämmöllä.

## Tulokset

Taulukossa 4 on esitetty laskentatulokset hiilijalanjäljen osalta. Hiilijalanjälki on jaettu laskentamenetelmän mukaisesti osiin: Ennen käyttöä A1–A5, käytön aikana B3, B4, B6 ja käytön jälkeen C1–C4.



Taulukko 4 Hiilijalanjäljen laskentatulokset, koulu.

Kaikki vertailulaskelmat täyttivät energialaskennan vaatimukset eikä optimointia tarvinnut tehdä mihinkään.

## Johtopäätökset

Tarkastellaan ensin kaukolämmöllä lämmitettäviä kohteita. Laskentatuloksista nähdään, että hirsirunkoisella rakennuksella ja betonirunkoisella rakennuksella on sama hiilijalanjälki. Betonirakenteisella on suurempi ennen käyttöä -osuus mutta pienempi käytönaikainen osuus. Pienin hiilijalanjälki on rankarakenteisella rakennuksella. Pienimmän ja suurimman välillä on eroa 11 %.

Maalämpökohteissa järjestys hieman muuttuu. Suurin hiilijalanjälki on betonirunkoisella ja pienin rankarakenteisella. Hirsirunkoisen rakennuksen hiilijalanjälki on hyvin lähellä rankarunkoisen rakennuksen hiilijalanjälkeä. Maalämpö vaatii vähemmän ostoenergiaa, jolloin käyttövaiheen osuus pienenee ja ennen käyttöä -osuuden merkitys kasvaa. Suurimman ja pienimmän välillä on eroa 16 %.

## Hoivakoti

Hoivakotirakennuksen pohjana on käytetty rankarunkoista kaksikerroksista rakennusta. Ulkoseinät ovat tiiliverhoiltuja. Välipohjat on tehty ontelolaatoista ja kantavat väliseinät betonista. Rakennuksen lämmitetty nettoala on 2 791 m<sup>2</sup>, ja lämmitysmuoto kaukolämpö.

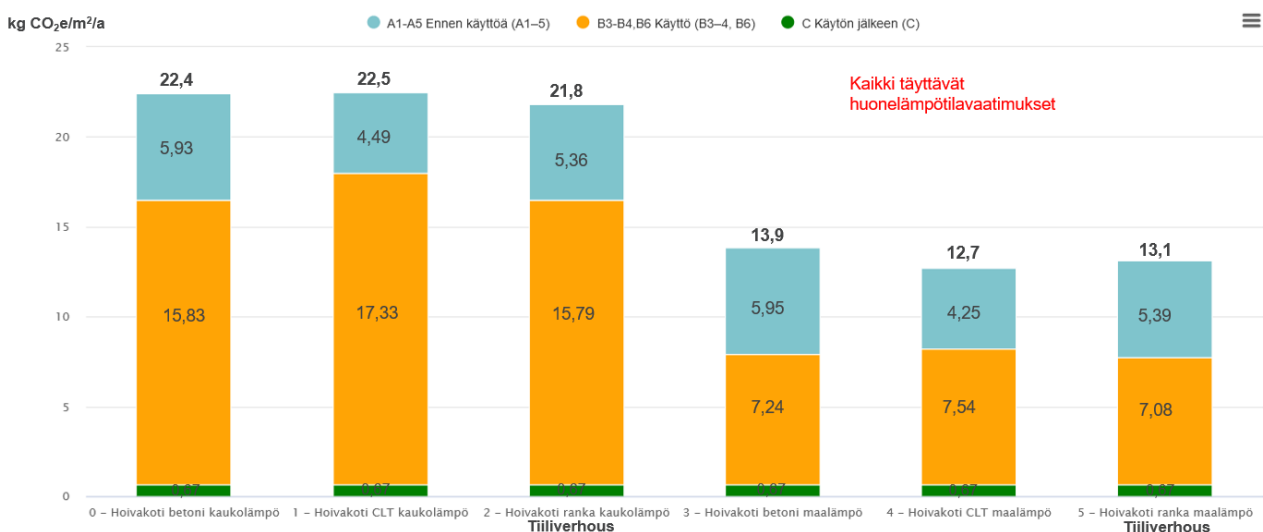
Rakennuksesta tehtiin vertailulaskelma kolmella eri runkoratkaisulla: betonirungolla, CLT-rungolla ja rankarungolla. Vertailurakennuksissa betonirunkoisessa vaihdettiin ulkoseinät, yläpohja ja parvekkeet. CLT-runkoisessa vaihdettiin ulkoseinät, kantavat väliseinät, välipohja ja yläpohja. Perustukset, alapohja, väestönsuoja, talotekniikka sekä ovet ja ikkunat pidettiin samana.

Energialaskennassa rakenteiden U-arvot pysyivät samana kuin alkuperäisessä rakennuksessa lukuun ottamatta ulkoseiniä. Ulkoseinien U-arvot olivat: betonirakenteella 0,17 W/(m<sup>2</sup>K), CLT-rakenteella 0,49 W/(m<sup>2</sup>K), rankarakenteella 0,16 W/(m<sup>2</sup>K). Myös kaikki lämmitykseen ja ilmanvaihtoon liittyvät muuttujat pysyivät samana. Rakennuksen ominaislämpökapasiteetti muutettiin vastaamaan vertailtavaa runkorakennetta.

Vertailut tehtiin kaukolämmöllä ja maalämmöllä.

## Tulokset

Taulukossa 5 on esitetty laskentatulokset hiilijalanjäljen osalta. Hiilijalanjälki on jaettu laskentamenetelmän mukaisesti osiin: Ennen käyttöä A1–A5, käytön aikana B3, B4, B6 ja käytön jälkeen C1–C4.



Taulukko 5 Hiilijalanjäljen laskentatulokset, hoivakoti.

Kaikki vertailulaskelmat täyttivät energialaskennan vaatimukset eikä optimointia tarvinnut tehdä mihinkään.

## Johtopäätökset

Tarkastellaan ensin kaukolämmöllä lämmitettäviä kohteita. Laskentatuloksista nähdään, että CLT-runkoisella rakennuksella on suurin hiilijalanjälki ja rankarunkoisella rakennuksella on pienin hiilijalanjälki. Betonirunkoinen on hyvin lähellä CLT-runkoista rakennusta. Betonirakenteisella on suurempi ennen käyttöä -osuus mutta pienempi käytönaikainen osuus. Pienimmän ja suurimman välillä on eroa 3 %.

Maalämpökohteissa järjestys muuttuu. Suurin hiilijalanjälki on betonirunkoisella ja pienin CLT-runkoisella rakennuksella. Maalämpö vaatii vähemmän ostoenergiaa, jolloin käyttövaiheen osuus pienenee ja ennen käyttöä -osuuden merkitys kasvaa. Aiemmista esimerkeistä poiketen rankarakenteisella rakennuksella on suurempi hiilijalanjälki kuin CLT-runkoisella. Tämä johtuu siitä, että rankarakenteisessa on tiiliverhoilu ja välipohjat sekä kantavat väliseinät betonia. Suurimman ja pienimmän välillä on eroa 6 %.

## Erillistarkastelut

Varsinaisten vertailuratkaisujen lisäksi tehtiin erillistarkasteluja, joissa käytettiin vertailurakennuksia pohjana. Erillistarkastelut ovat:

- Asetuntitarkastelu vuosien 2030 ja 2050 säädatalla
- Kerrostalo sähkölämmitteisenä
- Päiväkoti VILPillä
- Koulu, jossa paljon aurinkopaneeleita
- Koulu Porotherm-ulkoseinillä
- Kerrostalo nykypäästöillä
- Betonin ääripäävertailu
- Kerrostalo 100 vuoden laskentajaksolla

### Asetuntitarkastelu tulevaisuuden säädatalla

Kesäajan huonelämpötilatarkastelu tehtiin vuosien 2030 ja 2050 ennustetulla säädatalla kerrostaloon ja hoivakotiin. Molempiin tehtiin tarkastelu sekä betoni-että CLT-runkoisena. Säädata on saatu Ilmatieteen laitokselta.

Tarkastelussa tutkittiin ensin, kuinka paljon asetunnit ylittyvät nykyisillä rakenneratkaisuilla. Sen jälkeen tehtiin optimointi niille laskennoille, jotka eivät täyttäneet asetuntivaatimuksia.

Kesäajan huonelämpötilatarkastelun raja, jota ei saa ylittää, on 150 asetuntia. Asetuntia tarkoittaa sitä, montako tuntia lämpötila ylittää jäähdytysrajan yhdellä asteella. Jäähdytysraja on kerrostaloissa 27 °C ja hoivakodeissa 25 °C.

Taulukossa 6 on esitetty tilanne nykyisillä rakenneratkaisuilla nykyisin laskennassa käytettävällä vuoden 2012 säädatalla sekä ennustetuilla vuosien 2030 ja 2050 säädatalla.



	2012	2030	2050
<b>Asuinkerrostalo</b>	<b>Astetunnit</b>	<b>Astetunnit</b>	<b>Astetunnit</b>
Betonirunko	136	343	654
CLT-runko	433	671	893
<b>Hoivakoti</b>			
Betonirunko	0	0	11
CLT	129	228	345

### Vaatimusraja enintään 150 astetuntia

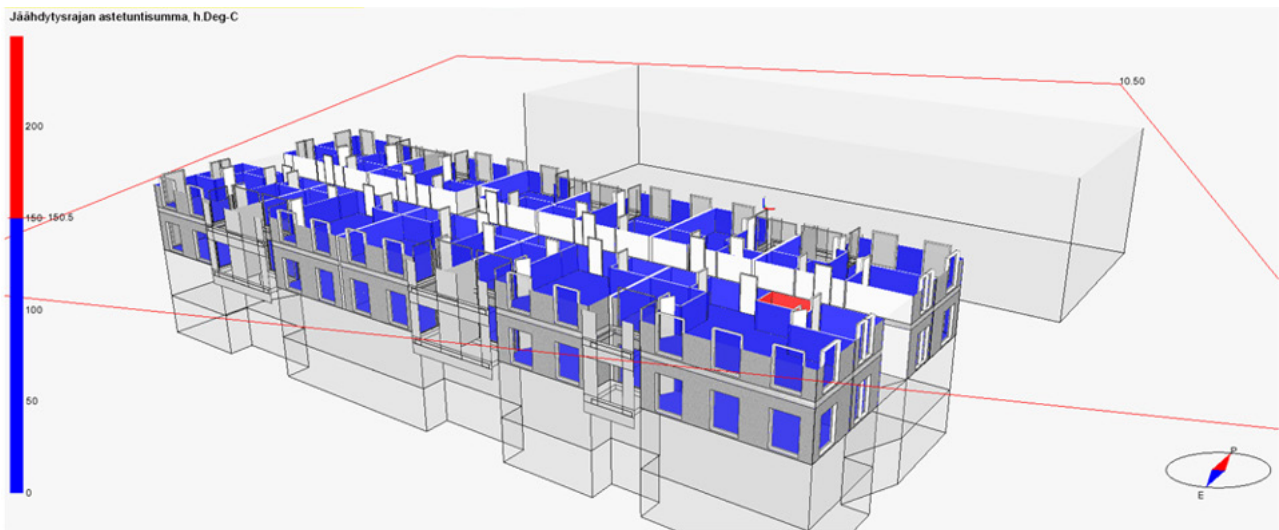
*Taulukko 6 Astetuntitarkastelu laskennan eri vuosien säädätällä.*

Kerrostalossa vaatimus täyttyy vain betonirakenteella nykyisellä säädätällä. Hoivakodissa vaatimus täyttyy betonirakenteella myös vuosien 2030 ja 2050 säädätällä ilman toimenpiteitä. CLT-runko vaatii toimenpiteitä vuosien 2030 ja 2050 säädätällä.

Lähtökohtana on käytetty todellista rakennusta ja niitä huonelämpötilatarkasteluun vaikuttavia asioita (mm. arkkitehtuuri, varjostukset, ilmanvaihdon asetukset), jotka ovat todellisessa rakennuksessa. Näitä on lähdetty parantamaan.

#### Kerrostalo betoni 2030

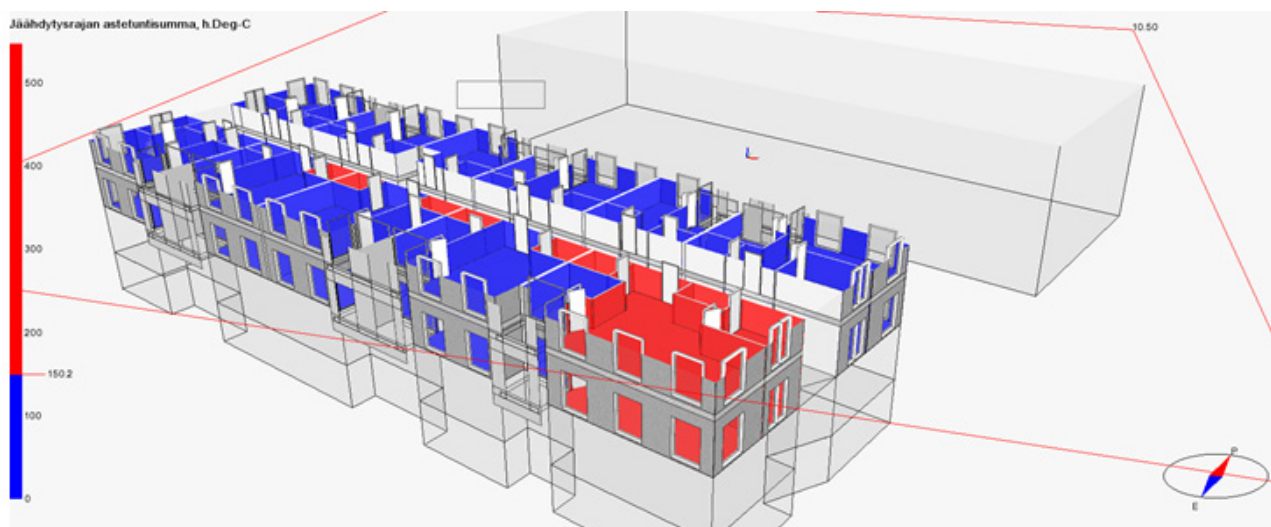
Betonirunkoisen kerrostalon vuoden 2030 säädätällä saa alittamaan astetuntivaatimuksen esimerkiksi muuttamalla ikkunoiden gg-arvoksi 0,30. Gg-arvo tarkoittaa ikkunan lasiosan auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerrointa. Kuvassa 1 on esitetty astetuntitarkastelu.



*Kuva 1 Betonirunkoinen kerrostalo 2030, astetuntitarkastelu.*

### Kerrostalo betoni 2050

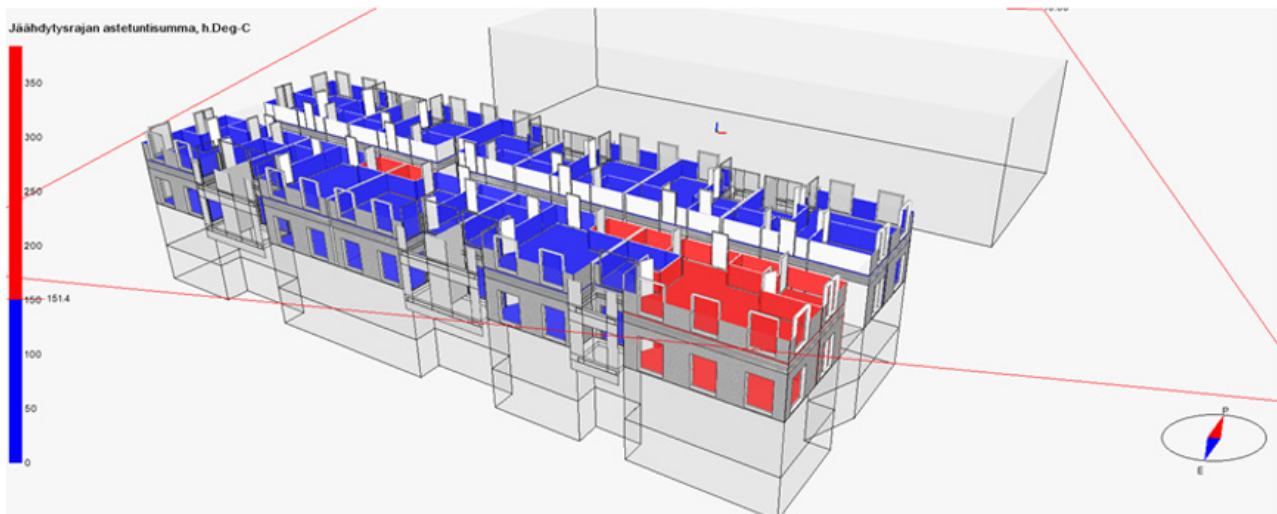
Betonirunkoisen kerrostalon vuoden 2050 säädätällä saa alittamaan astetuntivaatimuksen esimerkiksi laittamalla paikalliset viilennyslaitteet vaikeimpaan etelän huoneistolinjaan. Ilman jäähdytystä astetuntirajan alittaminen olisi mahdollista mm. ulkopulisilla kaihtimilla, varjostavilla elementeillä ym. aurinkosuojauskeinoilla. Kuvassa 2 on esitetty astetuntitarkastelu.



*Kuva 2 Betonirunkoinen kerrostalo 2050, astetuntitarkastelu.*

## Kerrostalo CLT

CLT-runkoisen kerrostalon nykydatalla saa alittamaan astetuntivaatimuksen esimerkiksi laittamalla paikalliset viilennyslaitteet vaikeimpaan etelän huoneistolinjaan. Ilman jäähdytystä astetuntirajan alittaminen olisi mahdollista mm. ulkopulisilla kaihtimilla, varjostavilla elementeillä ym. aurinkosuojauskeinoilla. Kuvassa 3 on esitetty astetuntitarkastelu.

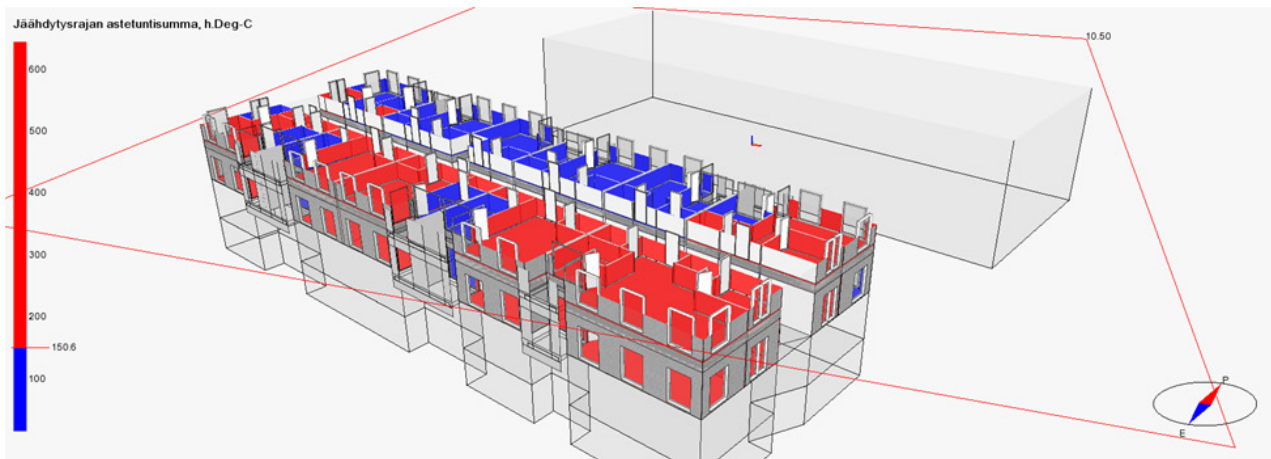


*Kuva 3 CLT-runkoinen kerrostalo, astetuntitarkastelu.*

## Kerrostalo CLT 2030

Vuoden 2030 säädatalla CLT-kerrostalossa astetuntiyliytykset ovat tasaisemmin ympäri rakennusta. Ylilämmön hallitsemiseksi laitetaan tuloilman viilennys keskitettyyn ilmanvaihtoon. Ilman jäähdytystä astetuntirajan alittaminen voisi olla mahdollista mm. ulkopulisilla kaihtimilla, varjostavilla elementeillä ym. aurinkosuojauskeinoilla. Tämä kuitenkin vaikuttaisi merkittävästi rakennuksen julkisivuun, koska muutoksia tulee tehdä jokaiseen ilmansuuntaan pohjoista lukuun ottamatta.

Kuvassa 4 on esitetty astetuntitarkastelu.

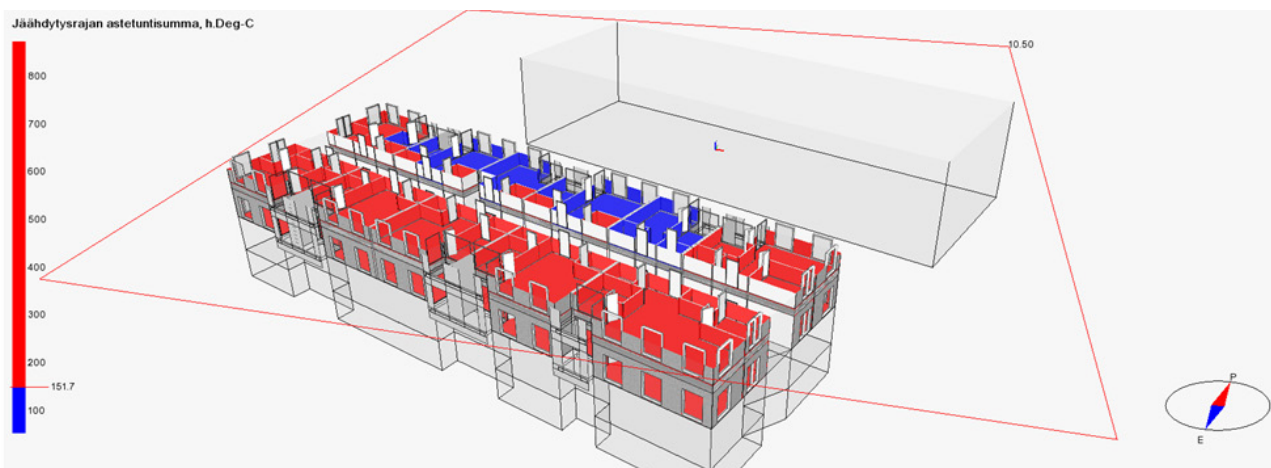


*Kuva 4 CLT-runkoinen kerrostalo 2030, astetuntitarkastelu.*

### Kerrostalo CLT 2050

Vuoden 2050 säädatalla CLT-kerrostalossa astetuntiyliytykset ovat tasaisemmin ympäri rakennusta. Ylilämmön hallitsemiseksi laitetaan tuloilman viilennys keskitettyyn ilmanvaihtoon.

Kuvassa 5 on esitetty astetuntitarkastelu.

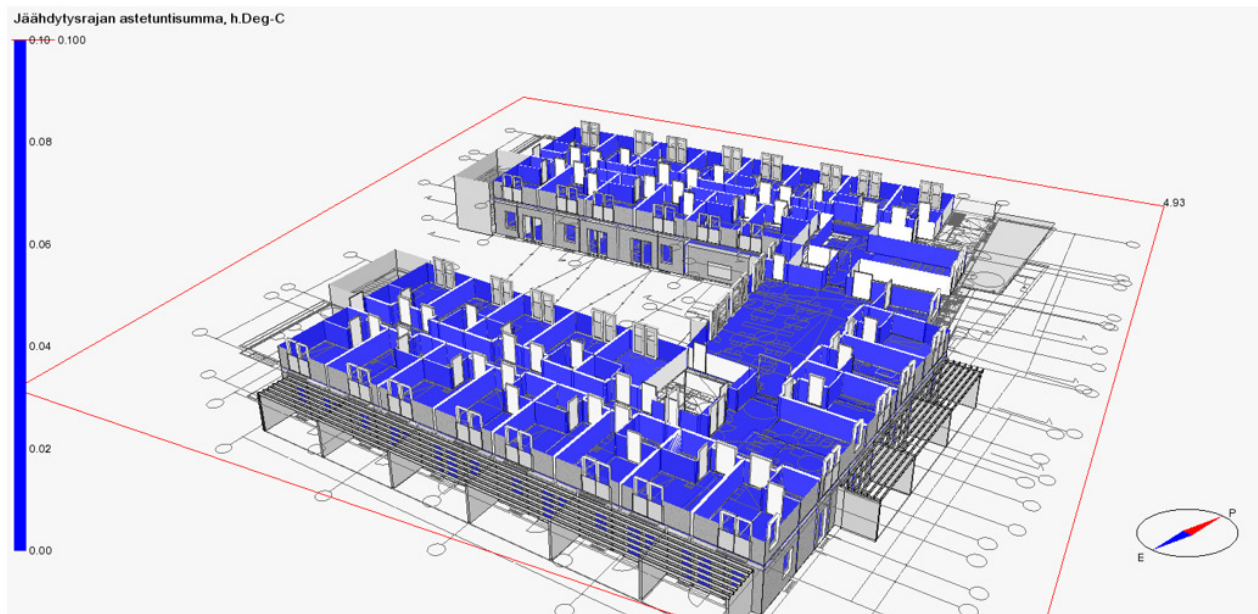


*Kuva 5 CLT-runkoinen kerrostalo 2050, astetuntitarkastelu.*

## Hoivakoti betoni 2030

Vuoden 2030 säädatalla ja alkuperäisen rakennuksen ratkaisuilla betonirunkoisessa hoivakodissa astetunnit ovat 0.

Kuvassa 6 on esitetty astetuntitarkastelu.

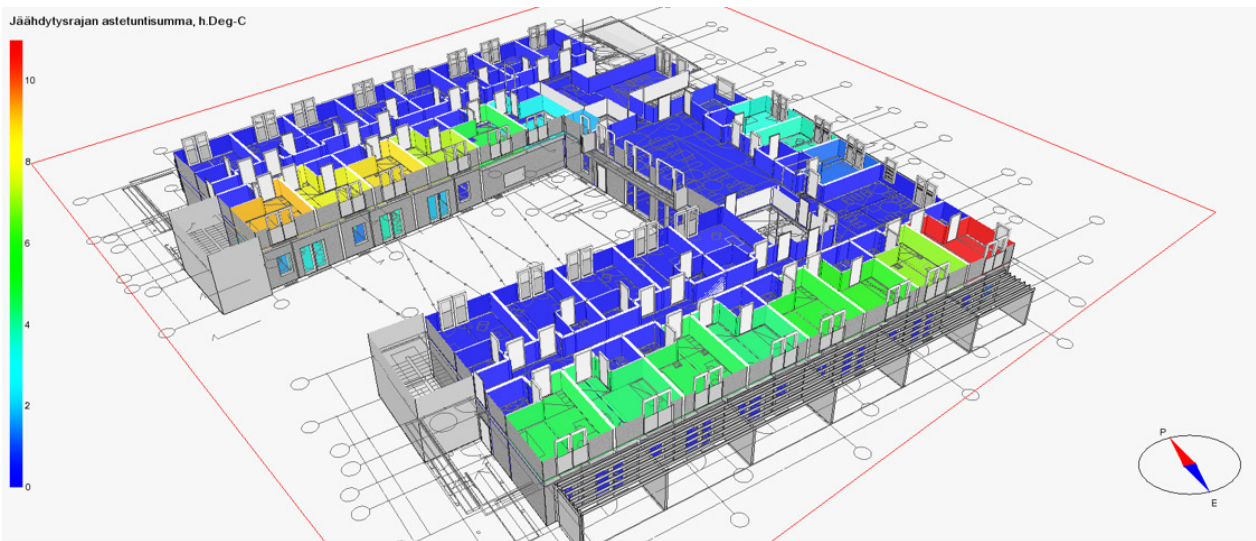


*Kuva 6 Betonirunkoinen hoivakoti 2030, astetuntitarkastelu.*

## Hoivakoti betoni 2050

Vuoden 2050 säädatalla ja alkuperäisen rakennuksen ratkaisuilla betonirunkoisessa hoivakodissa astetunnit ovat 11.

Kuvassa 7 on esitetty astetuntitarkastelu.

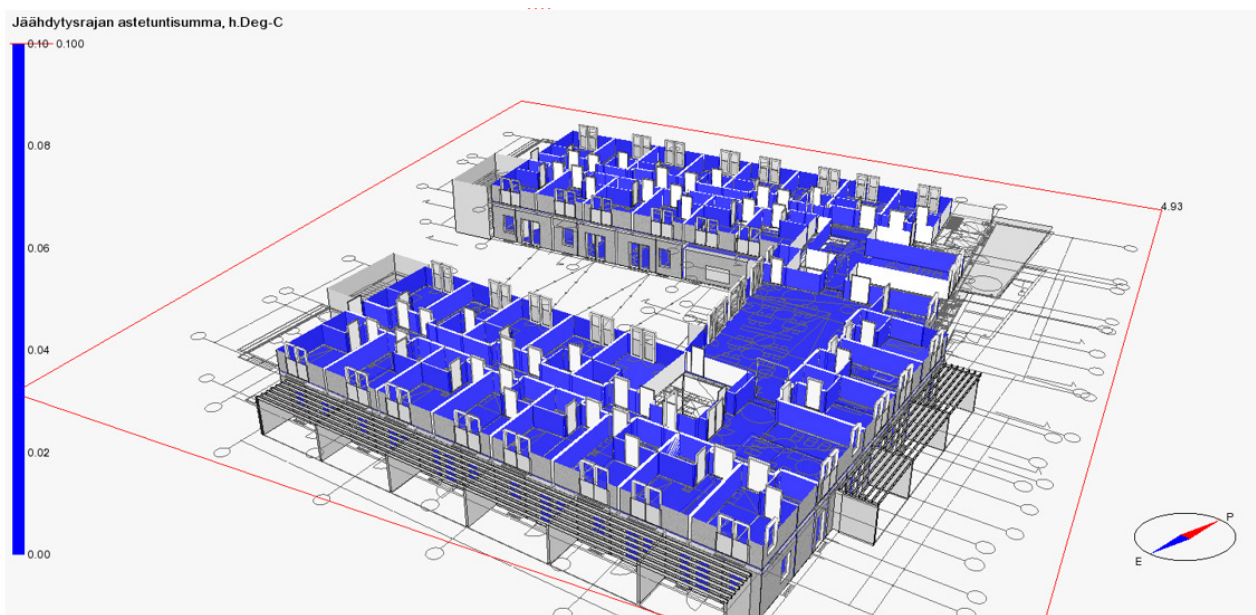


*Kuva 7 Betonirunkoinen hoivakoti 2050, astetuntitarkastelu.*

### Hoivakoti CLT 2030

Vuoden 2030 säädatalla ja alkuperäisen rakennuksen ratkaisuille CLT-runkoisessa hoivakodissa tarvitaan tuloilman viilennys, koska muut keinot, mm. varjostukset ja gg-arvon 0,30 ikkunat ovat käytössä jo nykyisen säädatan laskennassa. Viilennyksen avulla astetunnit ovat 0.

Kuvassa 8 on esitetty astetuntitarkastelu.

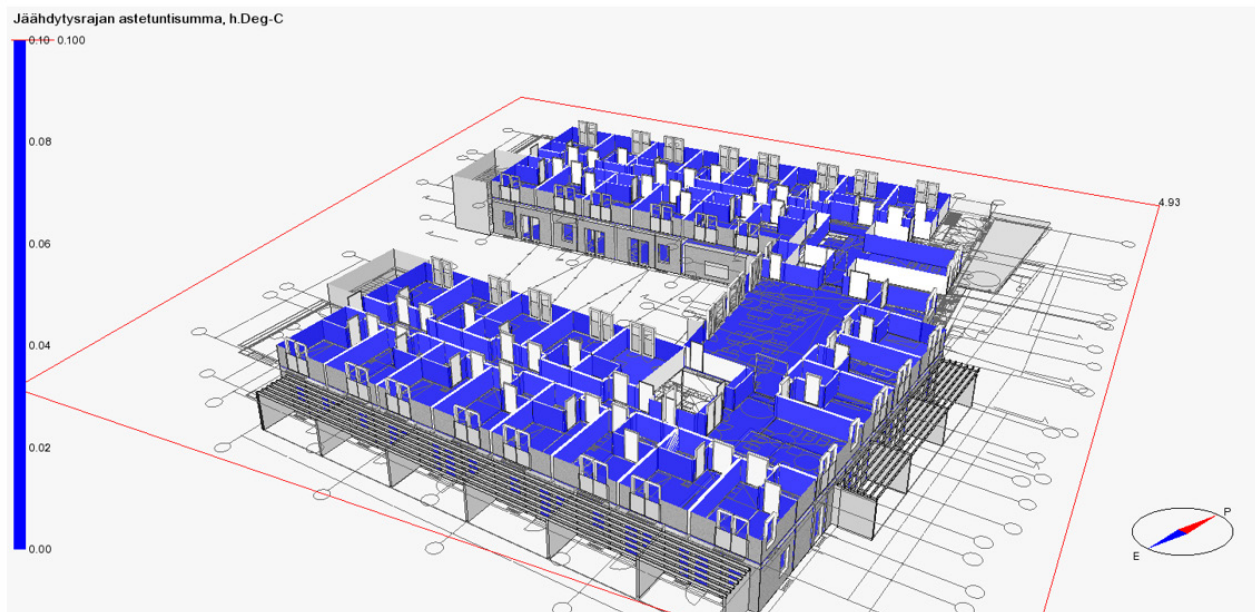


*Kuva 8 CLT-runkoinen hoivakoti 2030, astetuntitarkastelu.*

## Hoivakoti CLT 2050

Vuoden 2050 säädatalla ja alkuperäisen rakennuksen ratkaisuilla CLT-runkoisessa hoivakodissa tarvitaan tuloilman viilennys, koska muut keinot, mm varjostukset ja gg-arvon 0,30 ikkunat ovat käytössä jo nykyisen säädatan laskennassa. Viilennyksen avulla astetunnit ovat 0.

Kuvassa 9 on esitetty astetuntitarkastelu.



*Kuva 9 CLT-runkoinen hoivakoti 2050, astetuntitarkastelu.*

## Yhteenveto

Laskentatuloksista selviää, että betonirakenteisilla rakennuksilla saadaan kesäajan huonelämpötilatarkastelun vaatimukset täyttymään kustannustehokkaimmin.

Taulukossa 7 on esitetty tulokset optimoinnin jälkeen.

	2012	2030	2050	
<b>Asuinkerrostalo</b>	<b>Astetunnit</b>	<b>Astetunnit</b>	<b>Astetunnit</b>	
Betonirunko	136	118	127	2050 Paikallinen viilennys vaikeimpaan huoneistolinjaan
CLT-runko	117	0	0	2012 Paikallinen viilennys vaikeimpaan huoneistolinjaan Muissa viilennys tuloilmaan koko rakennukseen
<b>Hoivakoti</b>				
Betonirunko	0	0	11	
CLT	129	0	0	Viilennys 2030 ja 2050

### Vaatimusraja enintään 150 astetuntia

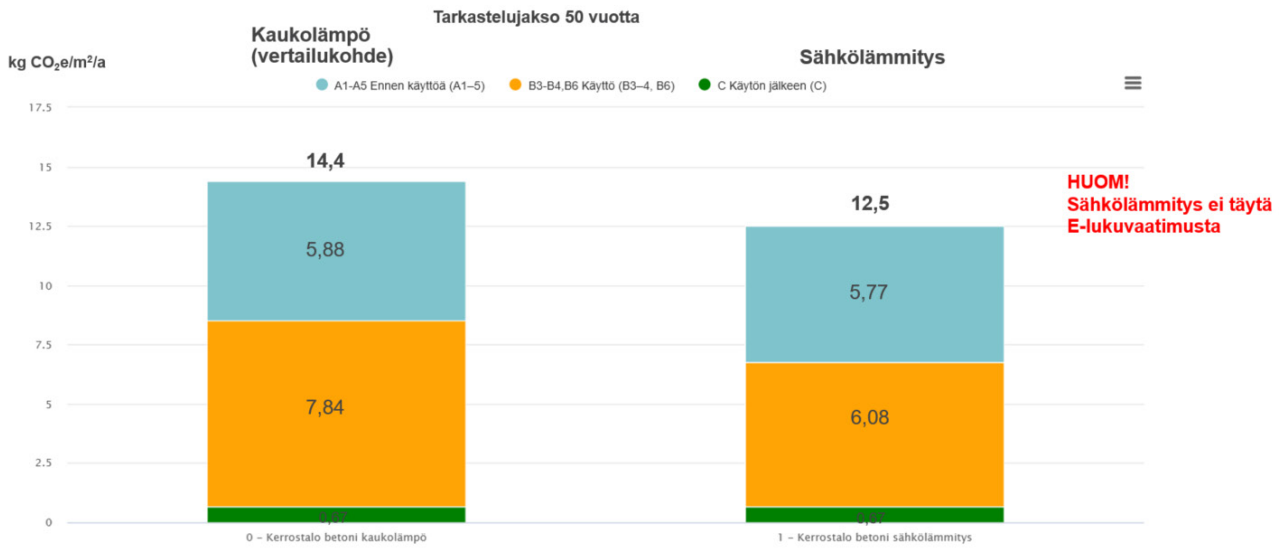
*Taulukko 7 Astetuntitarkastelu laskennan eri vuosien säädatalla optimoinnin jälkeen.*

## Kerrostalo sähkölämmitteisenä

Yhdeksi erillistarkasteluksi valittiin hypoteettinen tilanne, jossa kerrostalo olisi sähkölämmitteinen ja laskettiin tälle hiilijalanjälki. Tarkoitus on osoittaa ristiriita energialaskennan ja hiilijalanjälkilaskennan välillä.

Tarkasteltava kohde on betonirunkoinen kerrostalo, johon on muutettu lämmitysmuodoksi sähkölämmitys. Lattialämmitysputkisto on vaihdettu sähkökaapeleiksi ja energialaskenta on tehty sähkölämmityksen mukaisesti. Laskennan tulokset sekä vertailun vuoksi alkuperäisen kaukolämmitteisen talon tulokset on esitetty taulukossa 8.





Taulukko 8 Sähkölämmitteinen kerrostalo.

Tuloksista nähdään, että hiilijalanjälki on sähkölämmitteisellä rakennuksella selkeästi pienempi kuin vastaavalla kaukolämmitteisellä talolla. Hiilijalanjälki on itse asiassa yhtä suuri kuin aiemmassa kerrostalovertailussa kaukolämmitteisistä taloista pienimmän hiilijalanjäljen saaneella eristetyllä CLT-rungolla tehdyllä rakennuksella.

Sähkölämmitteistä taloa ei kuitenkaan saisi rakentaa, koska se ei täytä E-lukuvaatimusta. Sähkölämmitteisen talon E-luku on 129 kun raja-arvo on 90. Kaukolämmitteisen talon E-luku on 88. Syynä näinkin suuriin eroihin on energialaskennassa käytetyt energiamuodon kertoimet, jotka ovat sähkölämmitykselle 1.2 ja kaukolämmölle 0.5.

Hiilijalanjäljen laskennassa käytetään kuitenkin laskennallista ostoenergian määrää, jossa ei edellä mainittuja kertoimia huomioida. Hiilijalanjälkilaskennassa energiankulutuksen päästöjen oletetaan tulevaisuudessa pienenevän taulukon 9 mukaisesti:

## Liite 4. Energiamuotojen päästökertoimet (g CO<sub>2</sub>/kWh)

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2110	2120
Sähkö	121	57	30	18	14	7	4	2	1	1	0
Kaukolämpö	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Kaukojäähdytys	130	93	63	37	33	22	15	10	7	4	3
Fossiiliset polttoaineet	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260	260
Uusiutuvat polttoaineet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Taulukko 9 Energiamuotojen päästökertoimet (YM 2019:22 Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä, Ympäristöministeriö, Liite 4. s. 46)*

Taulukossa sähköntuotannon päästöt ovat pienempiä ja niiden oletetaan pienenevän nopeammin kuin kaukolämmön päästöjen. Lisäksi energialaskennassa sähkölämmitteisen rakennuksen ostoenergia on hieman pienempi kuin kaukolämmitteisen talon. Näistä syistä sähkölämmitteisellä talolla on pienempi hiilijalanjälki.

### Päiväkoti vesi-ilmalämpöpumpulla

Päiväkotirakennusta tutkittiin kauko- ja maalämmön lisäksi vesi-ilmalämpöpumpulla lämmitettynä. Vertailun pohjaksi otettiin maalämmöllä lämmitettävä rankarunkoinen rakennus. Päiväkotirakennuksissa ja myös muissa vastaavan kokoluokan rakennuksissa käytetään lämmitysratkaisuna vesi-ilmalämpöpumppuja. Tarkoitus oli tutkia, minkälainen hiilijalanjälki tällä ratkaisulla saadaan.

Energialaskennan yhteydessä huomattiin, että samoilla lähtöarvoilla, joita maalämmön kanssa oli käytetty, E-lukuvaatimus ei täyttynyt. Rakennukselle tehtiin optimointina seuraavat toimenpiteet: nostettiin lämmön talteenoton vuosihyötysuhdetta 65 % → 70 % ja pienennettiin ilmanvuotolukua 2,0 → 1,0. Näin rakennus saatiin täyttämään E-lukuvaatimus myös vesi-ilmalämpöpumpulla. Tulokset on esitetty taulukossa 10.

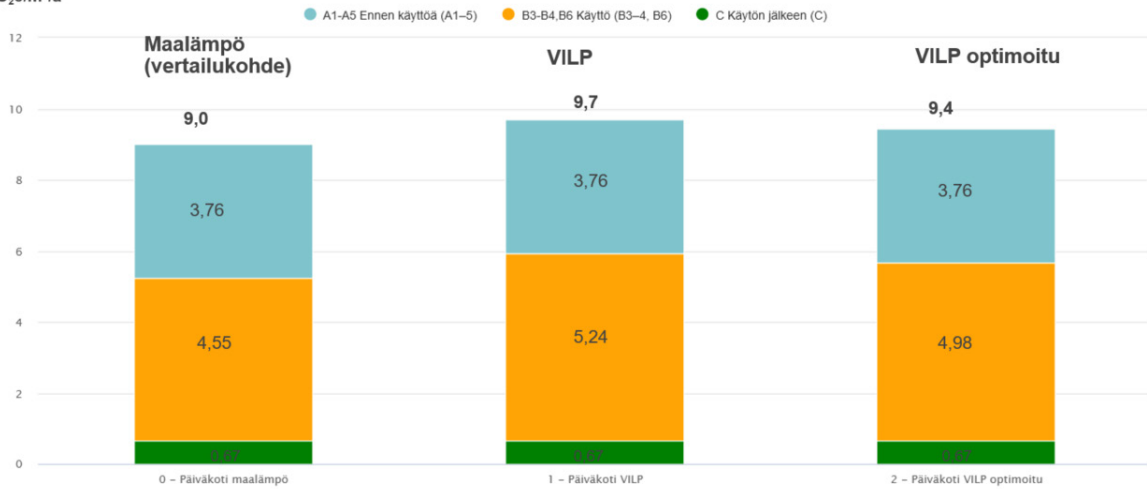
**Rankarunko**

Tarkastelujakso 50 vuotta

**Ei täytä E-Juku-vaatimusta** →

Nostettu LTO vuosihyötysuhdetta 65 -> 70%  
Pienennetty ilmanvuotolukua 2,0 -> 1,0

kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a



*Taulukko 10 Päiväkoti vesi-ilmalämpöpumpulla.*

Optimoidulla ratkaisulla hiilijalanjälki oli 9,4 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a, kun maalämmöllä se oli 9,0 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a.

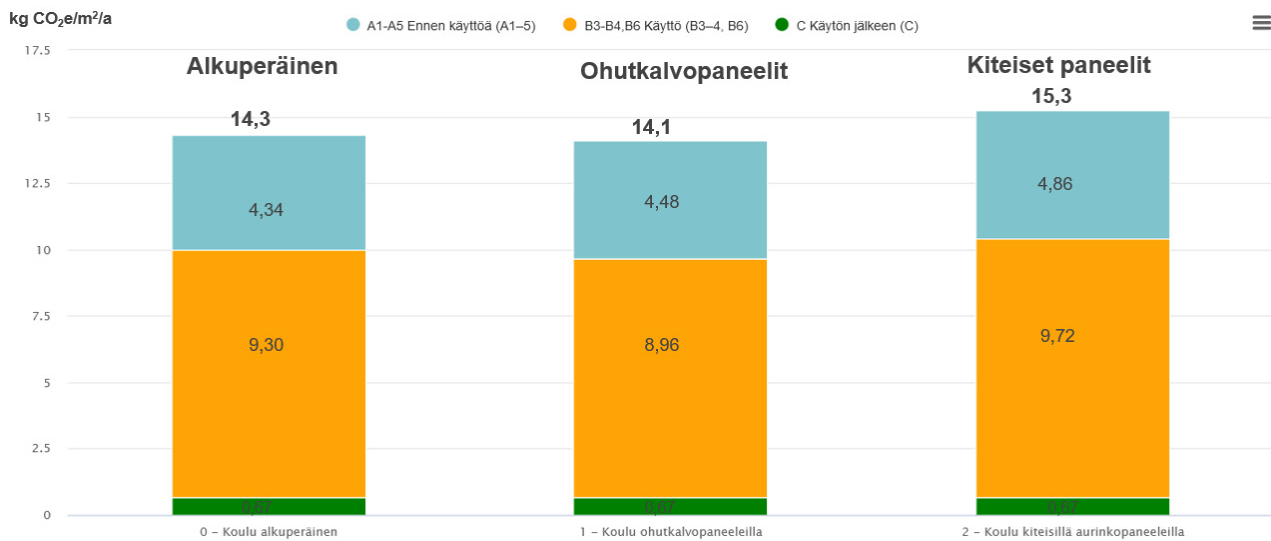
Hiilijalanjälkilaskennan kannalta vesi-ilmalämpöpumppu on lämmitysmuotona käyttökelpoinen ratkaisu.

**Koulu aurinkopaneeleilla**

Erillistarkastelussa tutkittiin aurinkopaneelien vaikutusta hiilijalanjälkeen. Tarkasteltavaksi rakennukseksi valittiin kaukolämmöllä lämmitettävä rankarakenteinen koulurakennus. Aurinkopaneelien määräksi valittiin 200 m<sup>2</sup>. Näiden tuottamana hyödyksi laskettavana energiana käytettiin 24 052 kWh/a.

Laskenta tehtiin ohutkalvopaneeleilla ja kiteisillä paneeleilla. Paneelien ja verkkoinvertterin päästöt otettiin arviointimenetelmän taulukosta *Liite 2. taloteknisten järjestelmien päästötietoja, s. 44*. Paneelit oletettiin vaihdettavan yhden kerran laskentajakson aikana.

Laskentatulokset on esitetty taulukossa 11.

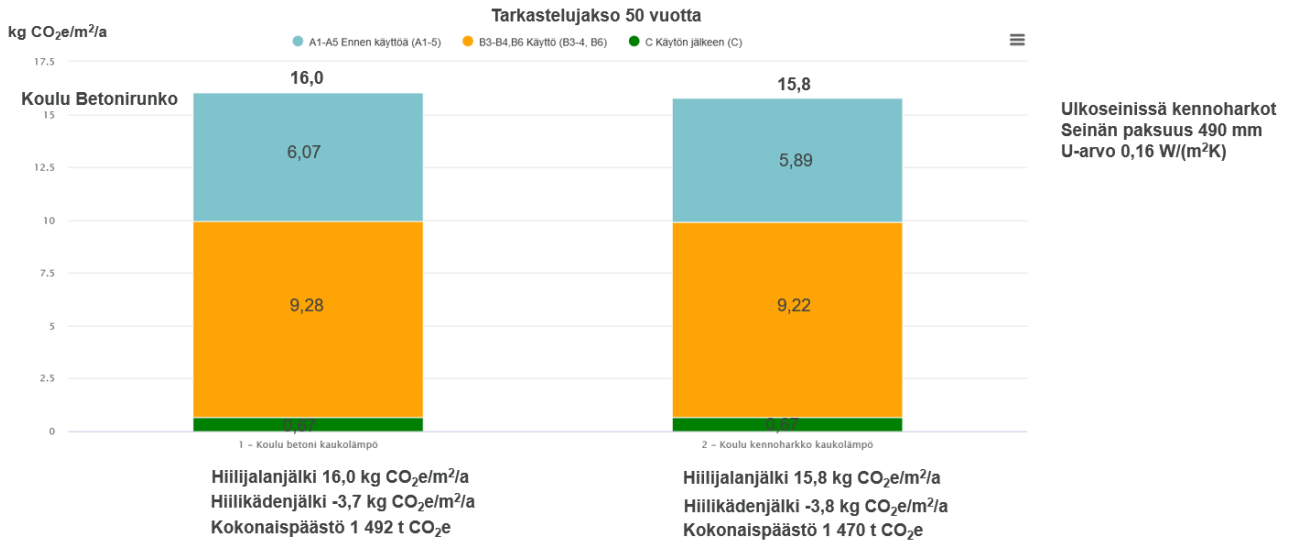


*Taulukko 11 Koulu aurinkopaneeleilla.*

Tuloksista nähdään, että ohutkalvopaneeleilla hiilijalanjälki pieni ja kiteisillä paneeleilla kasvoi. Paneelit pienentävät käytönaikaista energiankulutusta, mutta aiheuttavat päästöjä valmistusvaiheessa ja vaihdon yhteydessä. Kiteisillä paneeleilla päästöt muodostuivat säästöjä suuremmiksi. Jos olisi käytetty valmistajan ilmoittamia paneelien päästötietoja, tulos olisi voinut olla erilainen. Raportin tekovaiheessa tällaista tietoa ei kuitenkaan ollut käytettävissä.

### Koulu kennoharkoilla

Koulurakennuksesta tehtiin tarkastelu niin, että ulkoseinät vaihdettiin keraamisiksi kennoharkoiksi ja laskettiin hiilijalanjälki. Pohjana käytettiin betonirakenteista koulurakennusta. Ulkoseinärakenteena käytettiin kennoharkkoa, jonka paksuus oli 490 mm ja U-arvo 0,16 W/(m<sup>2</sup>K). Laskentatulokset on esitetty taulukossa 12. Samassa taulukossa on vertailun vuoksi myös alkuperäinen betonirakennus.



Taulukko 12 Koulu kennoharkolla.

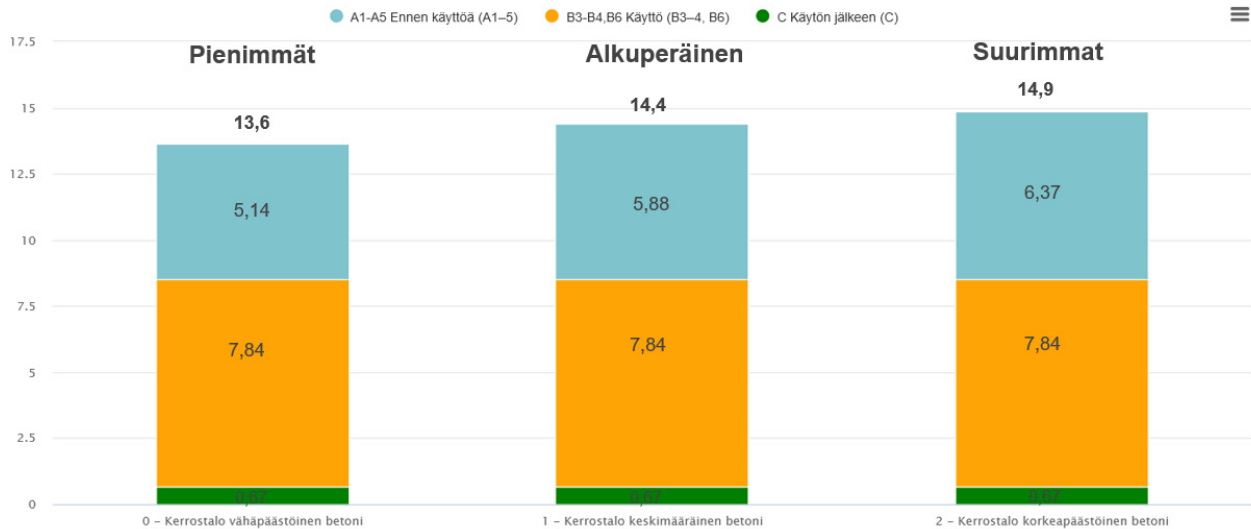
Tulokset ovat hyvin lähellä alkuperäistä betonirakennusta.

## Betonin ääripäävertailu

Tässä tarkastelussa oli tarkoituksena tutkia materiaalivalintojen vaikutusta lopputulokseen. Vertailtavaksi rakennukseksi valittiin betonirakenteinen kerrostalo kaukolämmitteisenä. Vertailu tehtiin niin, että talon kaikki betonirakenteet laskettiin vähäpäästöisimmillä sekä korkeapäästöisimmillä tuotteilla, jotka löytyivät laskentaohjelman tietokannasta. Lujuusluokkia ei muutettu. Vertailurakennuksessa suurin massa muodostuu betonirakenteista, joten vertailu tehtiin vain niille, muut materiaalit pysyivät samana kaikissa vertailuissa. Taulukossa 13 on esitetty laskentatulokset vähäpäästöisimmän, alkuperäisen sekä korkeapäästöisimmän rakennuksen osalta.

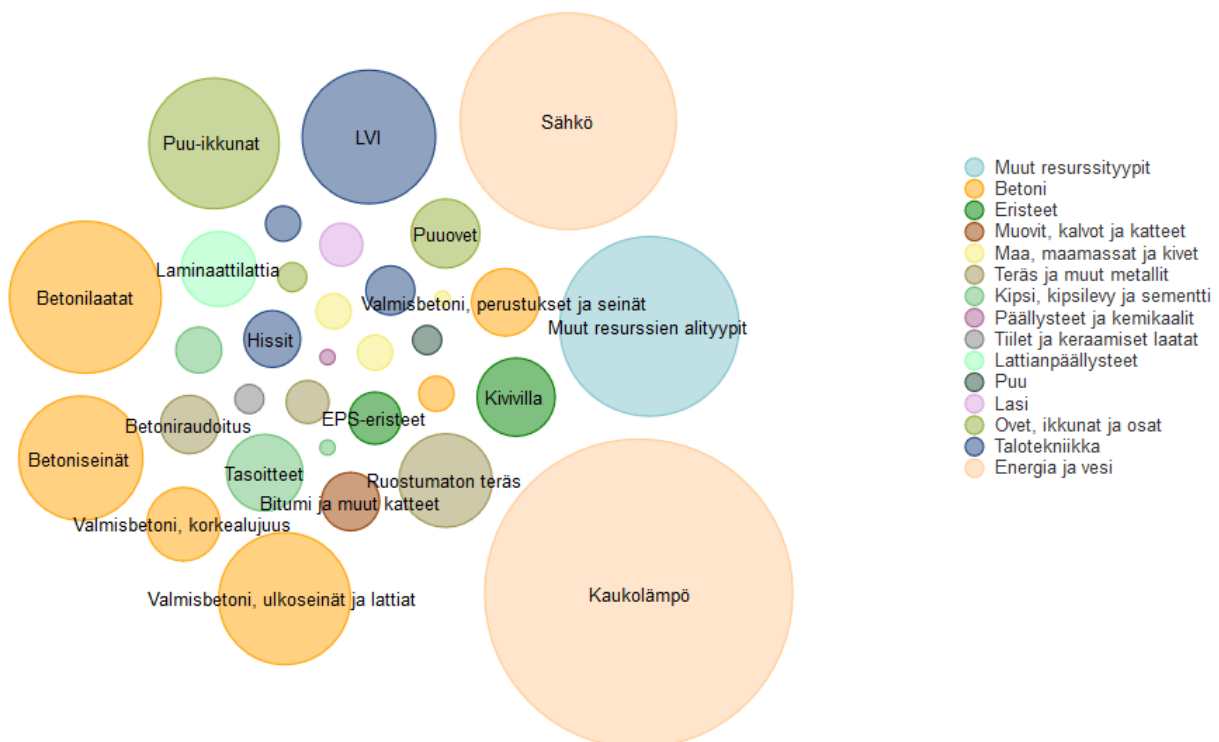
Tarkastelujakso 50 vuotta

kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>/a



Taulukko 13 Betonin ääripäävertailu.

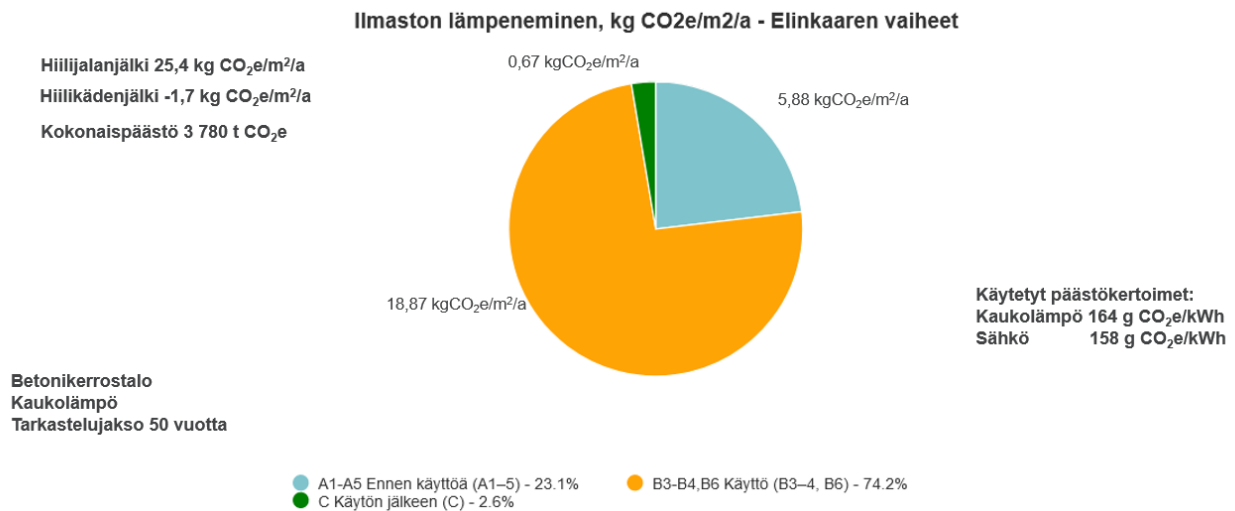
Tuloksista nähdään, että vaihteluväli on pienimmän ja suurimman välillä 9 %. Ero ei ole kovin suuri siihen nähden, että rakennuksen massasta noin 80 % on betonia. Betonirakenteiden päästöjen osuus alkuperäisellä rakennuksella on koko hiilijalanjäljestä 19 %. Päästöjen jakautuminen on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10 Päästöjen jakautuminen betonirakenteisessa kerrostalossa.

## Kerrostalo nykypäästöillä

Laskentamenetelmässä oletetaan päästöjen pienenevän joka vuosikymmenellä. Tässä tarkastelussa laskenta tehtiin niin, että päästöt pysyivät samana koko laskentajakson ajan. Vertailutaloksi valittiin betonikerrostalo kaukolämmöllä. Päästökertoimina käytettiin sähköllä 158 g CO<sub>2</sub>e/kWh ja kaukolämmöllä 164 g CO<sub>2</sub>e/kWh. (Lähde: Motiva/Tilastokeskus, viiden vuoden liukuva keskiarvo). Tulokset on esitetty kuvassa 11. Vertailu alkuperäiseen rakennukseen on esitetty taulukossa 14.



*Kuva 11 Betonikerrostalo nykypäästöillä.*

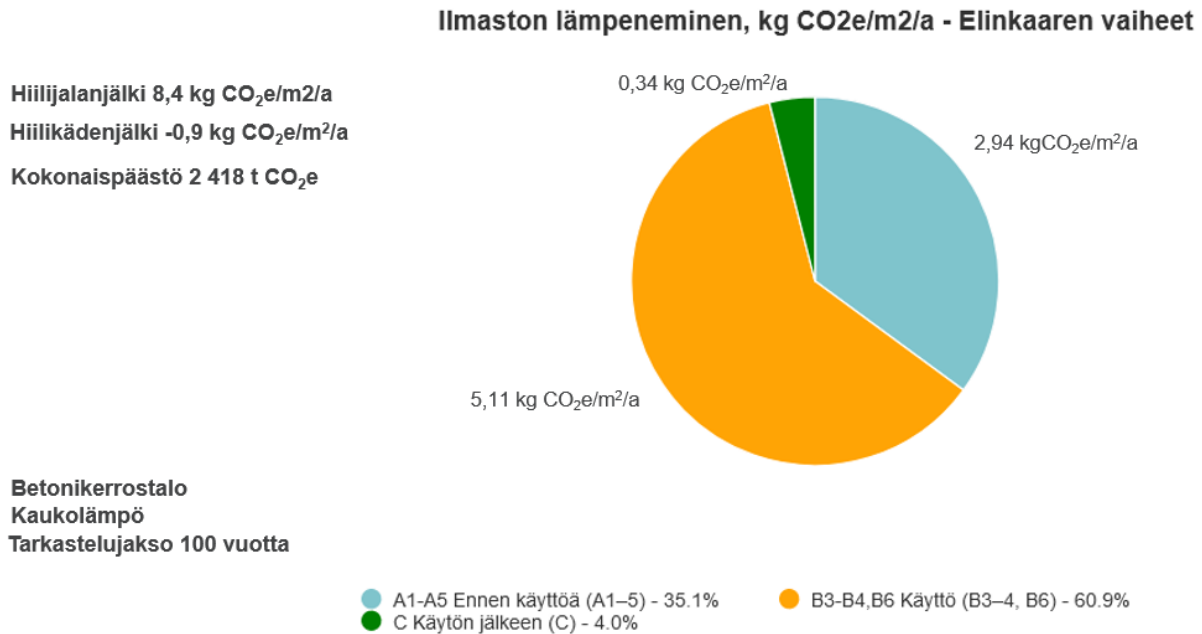
Tuloksista nähdään, että hiilijalanjälki lähes kaksinkertaistuu ja rakennuksen käytönaikainen osuus on lähes 75 % kokonaispäästöistä.

## Kerrostalo 100 vuoden tarkastelujaksolla

Laskentajakson pituudella on merkittävä vaikutus hiilijalanjälkeen, koska laskentamenetelmän mukaisesti energiankulutuksen päästöt pienenevät vuosikymmenittäin ja hiilijalanjälki saadaan jakamalla kokonaispäästöt laskentajakson pituudella ja lämmitetyllä nettoalalla. Laskentajakson loppupuolella päästöjä tulee hyvin vähän, mutta jakaja suurenee.

Tässä tarkastelussa laskentajakson pituus muutettiin 100 vuodeksi. Tarkasteltava rakennus oli betonirakenteinen kaukolämmöllä lämmitettävä kerrostalo. Mahdollisia korkeamman käyttöiän vaatimia rakenteellisia muutoksia ei ole tässä huomioitu, vaan ainoastaan käytönaikainen osuus, johon sisältyy

energiankulutus ja rakennusosien vaihdot. Tulokset on esitetty kuvassa 12. Vertailu alkuperäiseen rakennukseen on esitetty taulukossa 14.

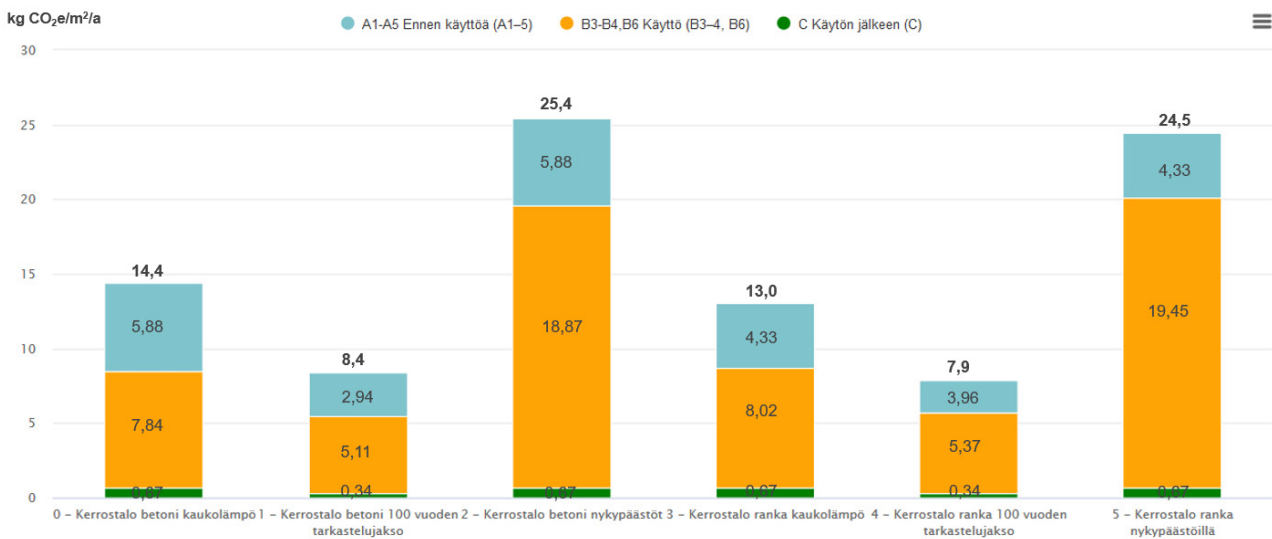


*Kuva 12 Betonikerrostalo 100 vuoden tarkastelujaksolla.*

Tuloksista nähdään, että hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki putosivat melkein puoleen alkuperäisestä. Valitulla laskentajaksolla on merkittävä vaikutus hiilijalanjälkeen.

Taulukossa 14 on vertailu, jossa on hiilijalanjälki alkuperäisestä betonikerrostalosta sekä rankarakenteisesta kerrostalosta ja nämä molemmat laskettuna nykyisillä päästöillä sekä 100 vuoden tarkastelujaksolla.





*Taulukko 14 Laskennan tarkastelujakson ja energian päästökertoimien vaikutus laskentatuloksiin.*

Taulukosta nähdään, että hiilijalanjäljen kannalta on ratkaisevan merkityksellistä, mitä käytönaikaista energian päästökertoiminta käytetään. Myös laskentajakson pituudella on todella suuri merkitys hiilijalanjälkeen.

## Yhteenveto

Merkittävimmät hiilijalanjälkilaskennan tuloksiin vaikuttavat tekijät ovat käytettävät energiantuotannon päästökertoimet, laskentajakson pituus ja lämmitysmuoto. Kaikki nämä vaikuttavat käytönaikaisen energiankulutuksen kautta.

Rakennusmateriaaleilla on vaikutusta ja eri materiaaleilla tulee erilaisia tuloksia. Erilaisilla runkoratkaisuilla on nähtävissä linja, jonka mukaan päästöt voidaan asettaa järjestykseen. Tämän tarkastelun tuloksena eri runkoratkaisuilla oli kuitenkin jopa yllättävän pieni ero keskenään. Millä tahansa tarkastelluilla ratkaisuilla on mahdollista päästä samaan suuruusluokkaan.

Selvityksissä oli alun perin tarkoitus tarkastella hiilijalanjälkeä erilaisilla rakennuksilla. Laskennan edetessä havaittiin tarve ottaa mukaan myös muita parametreja. Kun hiilijalanjälki otetaan rakentamista ohjaavaksi elementiksi, ei saa unohtaa energialaskentaa eikä sisäilmaolosuhteita ja sitä miten valitut ratkaisut vaikuttavat kokonaisuuteen. Vähähiilisyden tavoittelu ei saa vaarantaa terveellisyyttä ja turvallisuutta. Tämä olisi syytä muistaa myös kun asetetaan rajoja ja vaatimuksia.