

Vastaanottaja
Combient Pure, NCC & Stora Enso

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
13.5.2022

COMBIENT PURE VÄHÄHIILISEN RAKENTAMISEN PÄÄSTÖVERTAILULASKELMAT - ASUINKERROSTALO



**COMBIENT PURE
VÄHÄHIILISEN RAKENTAMISEN
PÄÄSTÖVERTAILULASKELMAT - ASUINKERROSTALO**

Projekti **Vähähiilisen rakentamisen päästövertailulaskelma - asuinkerrostalo**
Vastaanottaja **CombiEnt Pure, NCC & Stora Enso**
Asiakirjatyyppi **Hiilijalanjäljen laskentareportti**
Versio **13.5.2022**
Laatija **Henna Näsänen**
Tarkastaja **Sanni Reijonen**
Kuvaus **Rakennuksen ilmast selvitys – Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmä (versio 2021)**

Ramboll
PL 25
Itsehallintokuja 3
02601 ESPOO

P +358 20 755 611
F +358 20 755 6201
<https://fi.ramboll.com>

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	2
1.1	Arviointikohteen perustiedot	3
2.	Rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2021	4
2.1	Elinkaaren vaiheet ja systeemirajaus	4
3.	Rakennuksen elinkaaren ilmastovaikutukset – Tulokset	8
3.1	Betonikerrostalo	8
3.1.1	Tulosten tulkinta – betonikerrostalo	11
3.2	Puukerrostalo, konversio	11
3.2.1	Tulosten tulkinta – puukerrostalo, konversio	13
3.3	Puukerrostalo, optimoitu	13
3.3.1	Tulosten tulkinta – puukerrostalo, optimoitu	15
3.4	Yhteenveto asuinkerrostalon eri rakennustyyppien hiilijalanjäljen tuloksista	15
	Liite 1 - Käytetyt ympäristöselosteet	18

1. JOHDANTO

NCC, Stora Enso, Combient Pure ovat tehneet yhteistyötä puurakentamisen kehittämiseksi. Osana kehitystyötä laskettiin hiilijalanjäljet Espoossa sijaitsevan betonielementeistä rakennetun asuinkerrostalokohteen hiilijalanjäljelle sekä kohteesta mukautetulle CLT-betoni-puurakenteiselle kohteelle. Lisäksi laskettiin hiilijalanjälki alusta asti suunnitellulle puurakenteiselle kerrostalolle. Myös tässä ratkaisussa on betonirakenteinen ensimmäinen kerros, mutta ratkaisuun viitataan raportilla puurakenteisena ratkaisuna eri suunnittelutapausten erottelemiseksi. Raportissa käydään läpi lasketut ilmastovaikutukset kaikille kolmella eri suunnitteluratkaisulla (teräsbetonirakenteinen, puurakenteinen (konversio) ja puurakenteinen (optimoitu)). Betonirakenteisen sekä molempien puurakenteisen asuinkerrostalon pinta-ala, laskennan laajuus ja sisällytettävät rakenneosat ovat arvioinneissa samat vertailun mahdollistamiseksi.

Ilmastovaikutukset arvioitiin elinkaariarviointimenetelmällä (LCA, Life Cycle Assessment) hyödyntäen Ympäristöministeriön julkaisemaa rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmää (versio 2021). Laskennan käyttötarkoituksen ja käytettävissä olevien lähtötietojen takia laskennan rajausta mukautettiin tarvittavin osin menetelmän mukaisesta. Kyseinen menetelmä pohjautuu Euroopan komission laatimaan Level(s)-menetelmään sekä kestäväää rakentamista koskeviin standardeihin (mm. EN 15643, EN 15978, EN 15804 ja EN ISO 14067).

Rakennuksen elinkaaren ilmastovaikutukset arvioitiin OneClickLCA-laskentatyökalulla. Elinkaariarviointimenetelmän lopputuloksena saatiin, että betonirakenteisen asuinkerrostalon rakennuksen elinkaaren ilmastovaikutukset 50 vuoden arviointiajanjaksolla ovat lämmitettyyn nettoalaan ja arviointiajanjaksoon suhteutettuna 12,37 kgCO₂e/m²/a. Puurakenteisen asuinkerrostalon (konversio) rakennuksen hiilijalanjälki on vastaavalla ajanjaksolla 10,43 kgCO₂e/m²/a. Puukerrostalon (optimoitu) hiilijalanjälki on 9,81 kgCO₂e/m²/a. Eri vaihtoehtojen rakennuspaikan hiilijalanjälki tontin pinta-alaan ja arviointiajanjaksoon suhteutettuna on 0,16 kgCO₂e/m²/a, mutta laskennassa huomioitiin rakennuspaikan hiilijalanjälkeen kuuluvia rakennusosia vain valikoiduin osin ja näiden oletettiin pysyvän samana suunnitteluratkaisusta riippumatta.

1.1 Arviointikohteen perustiedot

Arviointikohteen perustiedot tarkastelluissa tapauksissa on koottu taulukkoon 1. Betonirakennus on tyypillinen teräsbetonirakenteinen rakennus, jossa ulkoseinät ovat betonisandwich-elementtejä, väli- ja yläpohjat ontelolaattarakenteisia, alapohja maanvarainen teräsbetonilaatta sekä kantavat seinät teräsbetonisia. Puukerrostalon (konversio) runkorakenteet ovat CLT-laattarakenteita, ensimmäinen kerros on vastaava kuin betonikerrostalossa. Optimoidun puukerrostalon runkorakenteet ovat CLT-laattarakenteisia, ulkoseinät puurankarakenteisia ja ensimmäinen kerros on vastaava kuin betonikerrostalossa. Kaikissa tapauksissa lämmitysmuotona on maalämpö.

Taulukko 1. Arviointikohteen perustiedot.

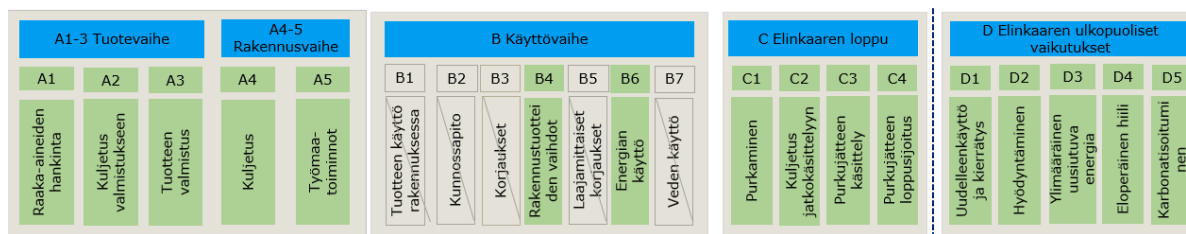
Rakennuskohteen nimi	
Rakennustunnus	-
Osoite	-
Rakennustyyppi	Asuinkerrostalo
Rakennusvuosi	2022
Bruttoala	
Kerrosala	2500 m ²
Lämmitetty nettoala	3008 m ²
Kerrostien lukumäärä	6
Kellarikerrostien lukumäärä	1
Runkorakenteiden käyttöikä	Betonikohde:100 vuotta Puukohde (konversio & optimoitu): oletettu 100 vuotta
Pääasiallinen runkomateriaali	Betonikohde: teräsbetonirakenteinen Puukohde (konversio & optimoitu): CLT (1.krs betonirakenteinen)
Lämmitysmuoto	Maalämpö
Perustus	Anturaperustus
Julkisivu	Betonikohde: Betonisandwich Puukohde, konversio: CLT + Rappauslevy Puukohde, optimoitu: Puuranka+ Rappauslevy
Energialuokka	A
Laskennallinen ostoenergian kulutus	Sähkö: 187 MWh
Tontin pinta-ala	3789 rp-m ²
Arvioinnin laatija	
Nimi	Henna Näsänen
Koulutus	DI
Ilmastaselvityksen laadinnan pvm	28.3.2022, päivitetty 13.5.2022
Ilmastaselvityksen päivityksen pvm	-
Arvioinnissa käytetyt tiedot	
Tieto missä laskennan kohdissa on käytetty taulukkoarvoja ja missä tehty tarkka laskenta	Esitetty taulukossa 2.
Käytetyt ympäristöselosteet	Käytetty ensisijaisesti rakentamisen päästötietokannan tyypillisiä GWP-arvoja. Materiaalit, joille on käytetty tuotekohtaisia EPD-selosteita, on esitetty liitteessä 1.
Arvioinnin tekovaihe (rakennuslupa / käyttöönotto)	Rakennuslupa (betoniratkaisu).
Käytetty laskentaohjelmisto	OneClickLCA
Mahdolliset tietojen luotettavuutta koskevat huomiot	Laskenta rajattiin koskemaan rakenteet perustuksista ylöspäin.

2. RAKENNUKSEN VÄHÄHIILISYYDEN ARVIOINTIMENETELMÄ 2021

Laskennassa käytetty Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä määrittää laskennassa käytetyt rajaukset ja oletukset (versio 2021). Arvioinnissa huomioidaan koko rakennus, tontin rakenteet sekä taloteknisten järjestelmien pääosat. Arviointiin ei sisällytetä tontilla olevaa kasvillisuutta, maaperää tai rakentamisen aikaisia väliaikaisia telineitä ja suojauksia. Arviointimenetelmästä poiketen tarkasteluun sisällytettiin tontin rakenteista vain alapohja ja perustukset.

2.1 Elinkaaren vaiheet ja systeemirajaus

Arviointi tehdään rakennuksen koko elinkaaren ajalle huomioimalla alla kuvassa 1 esitetyt elinkaaren vaiheet. Arviointiajanjakson pituus on 50 vuotta.



Kuva 1. Rakennuksen elinkaaren vaiheet.

Tuotteiden valmistus A1-A3

Hiilijalanjälkilaskennassa tuotteiden valmistusvaihe koostuu rakentamisessa käytettävien tuotteiden, materiaalien ja kokoonpanojen valmistamisen päästövaikutuksista. Laskentaan sisällytetyt materiaalivirrät pohjautuvat betonikerrostalon yhdistelmämalliin, rakennetyyppeihin sekä NCC:n raudoite- ja betonimääräarviointiin. Puukerrostalon (konversio) materiaalivirrät pohjautuvat alustaviin puurakennuksen rakennetyyppeihin ja tietomalliin. Optimoidun puukerrostalon materiaalivirrät pohjautuvat rakennetyyppeihin ja alustavaan tietomalliin. Päästötiedot on valittu seuraavin periaattein:

1. Ensisijaisesti käyttämällä tuotekohtaista ympäristöselostetta niille materiaaleille, joille valittava materiaali ja valmistaja on tiedossa (Stora Enso CLT, Stora Enso sahatavara ja väliseinän mineraalivillaeriste Paroc).
2. Toissijaisesti ja laskentatapauksessa pääasiallisesti, koska tarkat tuotevalinnat eivät ole tiedossa, kansallisen rakentamisen päästötietokannan (co2data.fi) tyypillisin GWP-arvoin (kgCO₂e/kg).
3. Muutamissa poikkeuksissa, kun ensisijaista tai toissijaista tietoa ei ollut saatavilla, on lisäksi käytetty vastaavien tuotteiden ja tietokantojen ympäristötietoa (Väliseinärangat Aulis Lundell, betonikerrostalon deltapalkit ja ontelolaattakannakkeet Peikko)

Käytetyt päästötiedot on esitetty tarkemmin Liitteessä 1.

Kuljetukset työmaalle A4

Kuljetusmatkojen etäisyyksiä ei arvioitu erikseen tuotteittain. Kuljetusten vaikutus hiilijalanjälkeen on arvioitu käyttämällä kansallisen päästötietokannan rakennuksen lämmitettyyn nettoalaan suhteutettua arvoa 27 kg CO₂e/m².

Työmaan toiminnot A5

Työmaan päästöt aiheutuvat rakentamisen ja aputoimintoihin energiakäytöstä. Päästöjä ei ole arvioitu todellisen kulutuksen mukaan vaan työmaan vaikutukset on arvioitu kansallisen päästötietokannan mukaisesti, joka on asuinkerrostalolle 46 kg CO₂e/m². Osana työmaa toimintaa on arvioitu materiaaleista työmaalla syntyvä ylijäämä ja hukka rakentamisen päästötietokannan mukaisina prosentuaalisina osuuksina materiaalin määrästä.

Rakennustuotteiden vaihdot B4

Tarkasteluun on sisällytetty tuotteiden vaihdot elinkaaren aikana perustuen rakenneosien arviotuihin käyttöikiin. Tuotteiden käyttöiät on arvioitu rakentamisen päästötietokannan käyttöikäoletuksin. Tuotteet oletetaan vaihdettavan käyttöiän päässä, jos käyttöikä on koko rakennuksen suunniteltua käyttöikää lyhyempi. Päästöt arvioidaan samoin kuin rakentamisvaiheessa (vaihe A1-A3).

Energian käyttö B6

Energiankulutus rakennuksen käyttöjaksolla on arvioitu hankkeen energiaselvityksen mukaisesti. Energian tuotannon päästöt on laskettu rakentamisen päästötietokannan esittämän hyödynjakomenetelmälaskennan mukaisina (SYKE). Laskennassa käytetyt energian yksikköpäästöt on esitetty Taulukossa 2. Tietokannassa eri vuosina käytetyllä energialla on määritetty oma yksikköpäästönsä. Päästötietokannan kertoimissa on huomioitu fossiilisten polttoaineiden polton hiilidioksidipäästöjen lisäksi polttoaineiden polton metaani- ja typpidioksidipäästöt sekä polttoaineiden tuotannon ja voimalaitosten rakentamisessa syntyvät hiilidioksidi-, metaani- ja typpidioksidipäästöt.

Taulukko 2. Energialähteiden päästöskenaariot (Rakentamisen päästötietokanta, 02/2022).

kgCO ₂ e/MWh	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080
Sähkö	153	89	59	45	34	22	15
Kaukolämpö	147	114	82	54	29	21	15
Kaukojäähdytys	42	26	18	13	10	7	5

Elinkaaren loppu C1-C4

Purkamisen (C1) vaikutuksia ei ole arvioitu hankekohtaisesti vaan sille on käytetty kansallisen päästötietokannan neliöpohjaista arviota, joka on asuinkerrostalolle 7 kg CO₂e/m². Elinkaaren loppuvaiheen kuljetukset (C2) on arvioitu oletetuilla kuljetustyypeillä ja -etäisyyksillä hyödyntäen rakentamisen päästötietokannan yksikköpäästötietoja. Jätteenkäsittelyn (C3) ja loppusijoituksen (C4) päästöt pohjautuvat päästötietokannan jätteenkäsittelyn ja loppusijoituksen prosessien yksikköpäästöjen arvoihin materiaalityypeittäin.

D muut vaikutukset

Arviointiin sisällytetään rakennuksen elinkaaren arviointirajauksen ulkopuolisia nettomääräisiin ilmastohyötyihin vaikuttavia tekijöitä, joita ei ilman hanketta syntyisi. Hiilikädenjäljen laskentaan luetaan seuraavat:

- Rakennusosien uudelleenkäytön tai materiaalien kierrätyksen kautta vältetyt päästöt (D1):
 - Betoni, metallit, sora ja laastit: kierrätyshyöty
 - CLT: uudelleenkäyttö ja kierrätyshyöty
- Materiaalien hyödyntäminen kierrätyspolttoaineena tai energiana (D2):
 - EPS-eriste, bitumikatteet: muovin poltto
 - Kiintokalusteet, ovet: puun poltto
 - CLT: energiana hyödyntäminen
- Rakennuksessa tai sen tontilla tuotettu ylimääräinen uusiutuva energia (D3). Ei ylimääräistä uusiutuvan energiantuotantoa tässä hankkeessa

- Pitkäaikaisten rakennustuotteiden sisältämä eloperäinen hiili tai tekninen hiili (D4, puupohjaisiin materiaaleihin varastoitunut hiili). Arviointiin voidaan sisällyttää vain ne rakennusosat ja -tuotteet, jotka on suunniteltu pysyväksi rakennuksessa (vähintään 100 vuoden käyttöikä).
- Sementtipohjaisiin tuotteisiin karbonatisoitumisen kautta sitoutuva ilmakehä hiilidioksidi (D5). Karbonatisoitumista ei huomioida tässä hankkeessa, koska betonin sisältämän sementin määrä ja tulevat hyötykäyttöprosessit eivät ole tiedossa.

Taulukossa 3 esitetään betoni- ja puukerrostalon (konversio ja optimoitu) arviointiin sisällytetyt rakenneosat ja niiden kuvaukset. Kaikkia arviointimenetelmään lukeutuvia rakenneosia ei ole sisällytetty asuinkerrostalojen arviointiin, sillä laskennan tarkkuus ja laajuus haluttiin pysyvän samana betoni- ja puukohteilla ja ratkaisuja ei vielä ollut määritelty laskentoja tehdessä. Niiden ei myöskään arvioitu vaikuttavan ratkaisujen vertailtavuuteen ja pois rajattujen osien vaikutus kokonaisuuteen oli pieni. Laskennan ulkopuolelle on rajattu tontin rakenteet, IV-konehuone vesikatolla sekä tilapinnoista alas lasketut katot ja kattojen pintamateriaalit.

Taulukko 3. Laskennassa tarkasteltavat rakenneosat (harmaalla maalatut rakenneosat kuuluvat rakennuspaikan hiilijalanjälkeen, muut rakenneosat rakennuksen hiilijalanjälkeen).

Laskennassa tarkasteltavat rakenneosat (YM versio 2021)		Sisällytetty laskentaan	Betonikerrostalo	Puukerrostalo, konversio	Puukerrostalo, optimoitu
Tontin rakenteet	111 Maatyöt	-			
	112 Tuennat ja vahvistukset	-			
	113 Päällysteet	-			
	115 Alueen rakenteet	-			
Kantavat rakenteet	121 Perustukset	x	Betonisokkelit	Pidetty samana	Pidetty samana
	122 Alapohjat	x	Maanvarainen laatta	Pidetty samana	Pidetty samana
	1231 Väestönsuoja	x	Teräsbetoninen väestönsuoja	Teräsbetoninen väestönsuoja	Pidetty samana
	1232 Kantavat seinät	x	Teräsbetoni	CLT	CLT
	1233 Pilarit	x	Betonipilarit	-	Liimapuu
	1234 Palkit	x	Delta- ja betonipalkit	-	Liimapuu
	1235 Väli­pohjat	x	Ontelolaatta, porrashuoneet massiivilaatta	CLT-laatta	CLT-laatta
	1236 Yläpohjat	x	Ontelolaatta	CLT-laatta	CLT-laatta
	1237 Runkoportaat	x	Betoniporaat	CLT	CLT
	1241 Ulkoseinät	x	Sandwich-elementti	1.krs vastaava kuin betonikerrostalossa, muut kerrokset CLT-laatta.	Puuranka (ei-kantava), 1.krs vastaava kuin betonikerrostalo
	1242 Ikkunat	x	Puu-alumiini-ikkunat	Pidetty samana	Pidetty samana
	1243 Ulko-ovet	x	Metalli ulko-ovet	Pidetty samana	Pidetty samana
1250 Ulkotasot	x	Betoniset parvekelaatat ja -pielet	Parvekelaatat ja -pielet CLT-laattaa	CLT laatta ja liimapuupilarit	
1260 Vesikatot	x	Bitumikermi	Pidetty samana	Harjakatto	
Kevyet rakenteet	131 Tilan jako-osat	x	Teräsrankaväliseiniä, märkätilat kahiharkkoa	Pidetty samana	CLT
	132 Tilapinnat (lattiat, sisäkatot, seinät)	X (lattiat, seinät)	Alaslaskettuja kattoja ja kattojen pintamateriaaleja ei huomioitu arvioinnissa.	Pidetty samana	Pidetty samana
	1331 Kiintokalusteet	x	Keittiökäkalusteet, kaapistot	Pidetty samana	Pidetty samana
	134 Hormit ja tulisijat	x	Betonihormit	Pidetty samana	Puurakenteiset hormit
	135 Tilaelementit	x	Betoninen kylpyhuonemoduuli	Pidetty samana	Pidetty samana
Talo-tekniikka	Talotekniikka (LVIS)	x	Neliöpohjainen arvio talotekniikalle		Pidetty samana
	2511 Hissit	x	Lukumäärän perusteella arvioitu	Pidetty samana	Pidetty samana

3. RAKENNUKSEN ELINKAAREN ILMASTOVAIKUTUKSET – TULOKSET

3.1 Betonikerrostalo

Betonikerrostalon elinkaaren hiilijalanjälki on yhteensä 1 860 t CO₂e, kun arviointiajanjaksona on 50 vuotta ja arviointiin on sisällytetty Taulukossa 4 esitetyt rakenneosat. Taulukossa 4 esitetään betonikerrostalon elinkaaren ilmastovaikutukset rakennukselle ja rakennuspaikalle eriteltynä. Rakennuksen ja rakennuspaikan ilmastovaikutukset esitetään Ympäristöministeriön rakennuksen vähähiilisyden arviointimenetelmän (versio 2021) vertailulukuina, eli rakennukselle lämmitettyyn nettoalaan ja arviointiajanjaksoon suhteutettuna ja rakennuspaikalle rakennuspaikan pinta-alaan ja arviointiajanjaksoon suhteutettuna.

Hiilijalanjälki lasketaan moduulien A-C negatiivisten ilmastovaikutusten summana ja se kuvaa sitä, kuinka paljon rakennuksen elinkaaren aikana aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä hiilidioksidiekvivalenteina. Hiilikädenjäljellä taas tarkoitetaan sellaisia ilmastohyötyjä, joita rakennuksen elinkaaren aikana voidaan saavuttaa ja joita ei syntyisi ilman rakennushanketta ja siihen lasketaan yhteen moduulin D mukaiset tekijät. Hiilikädenjäljen laskentaa ei hankkeessa voitu toteuttaa kaikkien tekijöiden osalta tarkkojen lähtötietojen puuttuessa.

Taulukko 4. Elinkaaren ilmastovaikutuksen tulokset 50 vuoden arviointiajanjaksolla.

	Rakennus kg CO ₂ e/m ² /a*	Rakennuspaikka kg CO ₂ e/m ² /a**
A. Ennen käyttöä	7,52	0,14
B. Käytön aikana	4,36	0,00
C. Käytön jälkeen	0,49	0,01
Hiilijalanjälki yhteensä	12,37	0,16
D1 & D2 uudelleenkäyttö, kierrätys ja hyödyntäminen energiana	<i>Ei voitu määrittää</i>	<i>Ei voitu määrittää</i>
D3. Ylimääräinen uusiutuva energia	-	-
D4. Hiilivarastovaikutus	0	0
D5. Karbonatisoituminen	<i>Ei voitu määrittää</i>	<i>Ei voitu määrittää</i>
Hiilikädenjälki yhteensä	0	0

*Rakennuksen päästöt on suhteutettu rakennuksen lämmitettyyn nettoalaan (3008 m²) ja tarkastelujaksoon (50 vuotta)

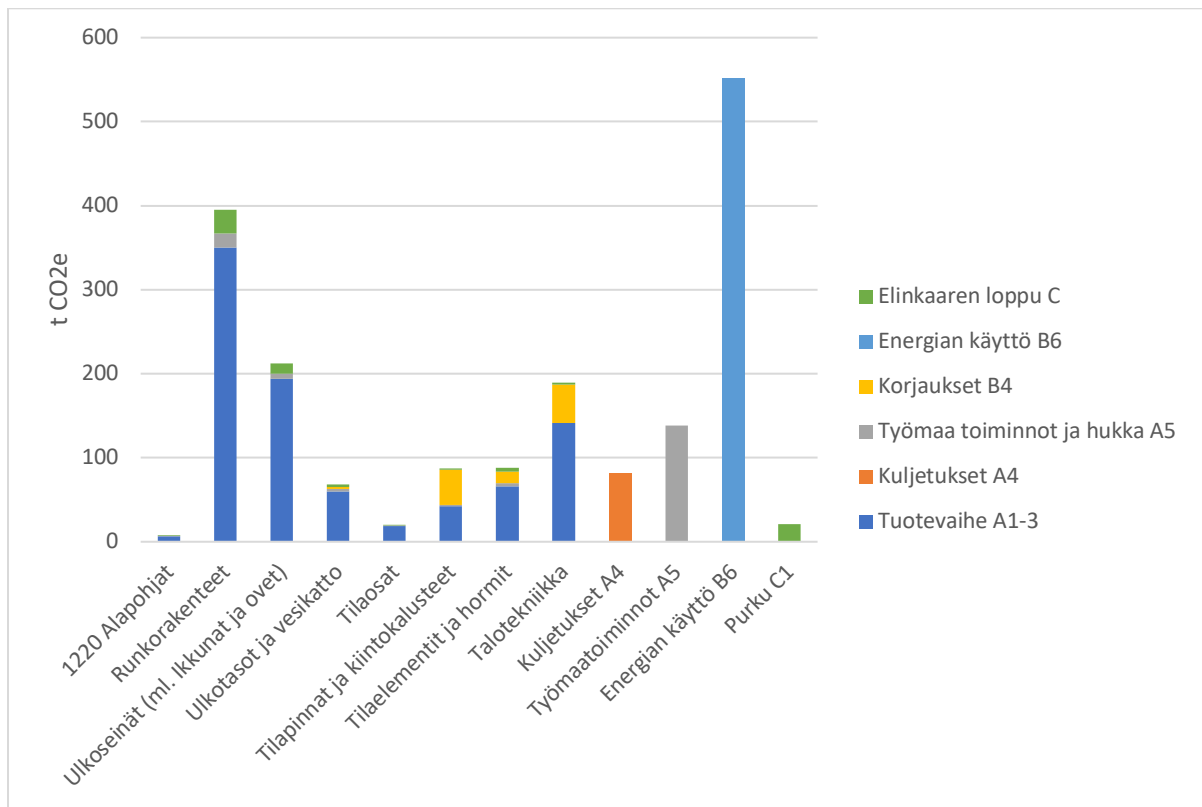
** Rakennuspaikan päästöt on suhteutettu rakennuspaikan pinta-alaan (3789 m²) ja tarkastelujaksoon (50 vuotta)

Taulukossa 5 ja kuvassa 2 esitetään betonikerrostalon elinkaaren ilmastovaikutukset, jotka aiheutuvat eri rakenteista, järjestelmistä ja energiamuodoista. Kuvassa 3 on esitetty tarkemmin alapohjan, runkorakenteiden ja ulkoseinien ilmastovaikutukset elinkaaren eri vaiheissa.

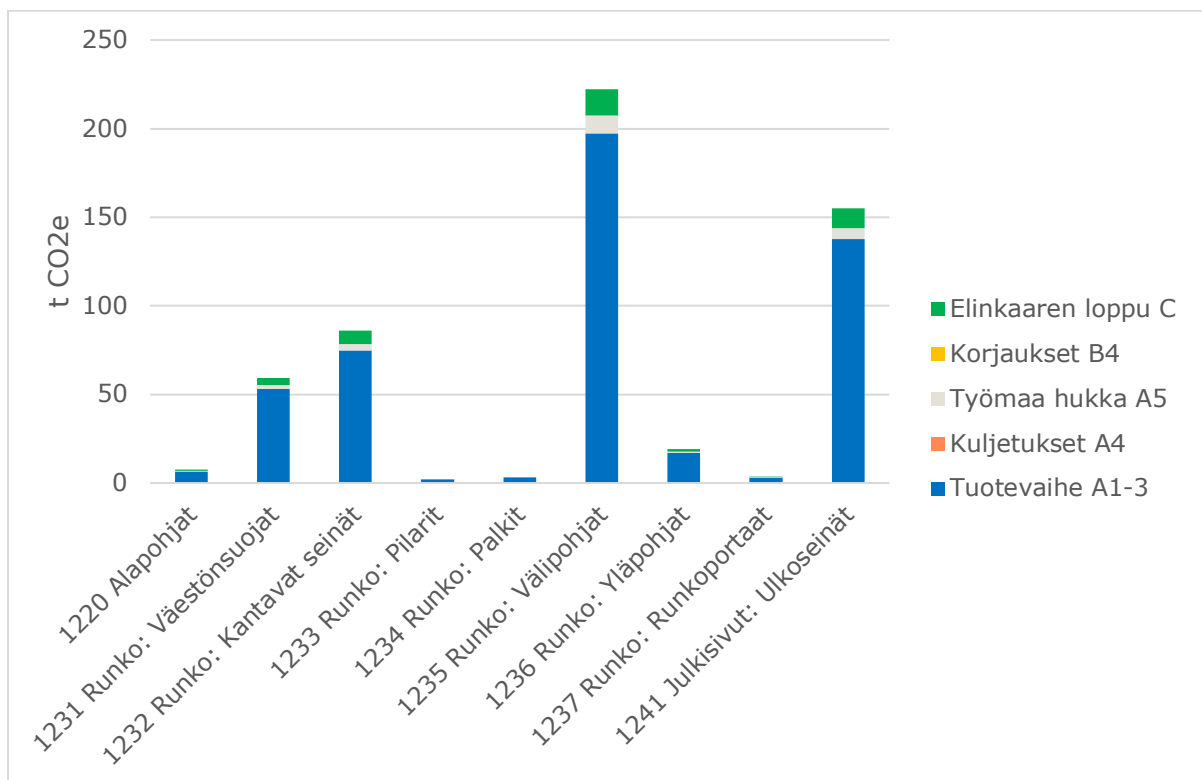
Taulukko 5. Betonikerrostalon elinkaaren ilmastovaikutukset eli hiilijalanjälki.

	Ennen käyttöä A1-A5	Käytön aikana B4 +B6	Käytön jälkeen C	Hiilijalanjälki kgCO ₂ e/m ² /a	Hiilijalanjälki tCO ₂ e
1210 Perustukset*	0,04			0,05	9
1211 Perustukset: Anturat*	0,10		0,01	0,11	21
Yhteensä rakennuspaikan hiilijalanjälki	0,14		0,01	0,16	30
Yhteensä rakennuksen hiilijalanjälki, t CO₂e	27		3		
1220 Alapohjat	0,05	0,00	0,00	0,05	8
1231 Runko: Väestönsuojat	0,37	0,00	0,03	0,39	59
1232 Runko: Kantavat seinät	0,52	0,00	0,05	0,57	86
1233 Runko: Pilarit	0,01	0,00	0,00	0,01	2
1234 Runko: Palkit	0,02	0,00	0,00	0,02	3
1235 Runko: Väliopohjat	1,38	0,00	0,10	1,48	222
1236 Runko: Yläopohjat	0,12	0,00	0,01	0,13	19
1237 Runko: Runkoportaat	0,02	0,00	0,00	0,02	3
1241 Julkisivut: Ulkoseinät	0,96	0,00	0,07	1,03	155
1242 Julkisivut: Ikkunat	0,34	0,00	0,01	0,35	52
1243 Julkisivut: Ulko-ovet	0,03	0,00	0,00	0,03	5
1250 Ulkotasot	0,19	0,00	0,02	0,20	31
1260 Vesikatot	0,23	0,02	0,00	0,25	37
1311 Väliseinät: Väliseinät	0,09	0,00	0,00	0,09	13
1315 Väliseinät: Väliovet	0,04	0,00	0,00	0,04	7
1321 Pintarakenteet: Lattiapintarak.	0,12	0,13	0,00	0,25	38
1325 Pintarakenteet: Seinäpintarak.	0,01	0,01	0,00	0,02	3
1351. Tilaelementit: Kylpyhuone	0,23	0,09	0,01	0,33	50
1355. Tilaelementit: Hormi	0,23	0,00	0,02	0,25	38
1331 Kiintokalusteet	0,16	0,14	0,01	0,3	46
Talotekniikka	0,89	0,25	0,02	1,15	172
2511. Hissit	0,06	0,06	0,00	0,11	17
A4 Kuljetus työmaalle (taulukkoarvo)	0,54			0,54	81
A5 Työmaa toiminnot (asuinkerrostalo)	0,92			0,92	138
C1 Purku (asuinkerrostalot)			0,14	0,14	21
Sähkön käyttö		3,67		3,67	552
Yhteensä rakennuksen hiilijalanjälki	7,52	4,36	0,49	12,37	1 861
Yhteensä rakennuksen hiilijalanjälki, tCO₂e	1131	656	74		
Osuus kokonaishiilijalanjäljestä	61 %	35 %	4 %		

*ilmastovaikutukset rakennuspaikan pinta-alaan ja lämmitettyyn nettoalaan suhteutettuna.



Kuva 2. Betonikerrostalon rakennuksen elinkaaren ilmastovaikutukset (ei sisällä rakennuspaikan päästöjä).



Kuva 3. Betonikerrostalon runkorakenteiden ilmastovaikutukset elinkaaren eri vaiheissa.

3.1.1 Tulosten tulkinta – betonikerrostalo

Arvioinnin perusteella betonikerrostalon rakennusmateriaalien valmistaminen aiheuttaa merkittävän osan elinkaaren ilmastovaikutuksista (47 %). Suurin vaikutus valmistamisen päästöihin on rakennuksen runkorakenteilla (22 % elinkaaren ilmastovaikutuksista), ulkoseinillä (12 %) ja talotekniikalla (10 %). Runkorakenteiden ja ulkoseinien ilmastovaikutuksia kasvattavat käytetyt betoni- ja terästuotteet, joiden valmistaminen on hiili-intensiivistä. Talotekniikan päästöjä kasvattaa osaltaan laitteissa käytettävien terästuotteiden hiili-intensiivinen valmistaminen.

Käyttövaiheen päästöjen osuus on yhteensä 35 % elinkaaren ilmastovaikutuksista. Merkittävä osa käyttövaiheen päästöistä aiheutuu energiankäytöstä (30 %). Käyttövaiheen päästöissä on huomioitu energiasektorin vähähiilistyminen tulevaisuudessa. Käyttövaiheessa päästöjä aiheutuu myös korjauksista ja osien vaihdoista, mutta näiden osuus jää energiankäytön päästöihin verrattuna vähäiseksi (noin 6 %).

Kuljetusten, työmaatoimintojen ja elinkaaren loppuvaiheen päästöt jäävät edellä esitettyihin vaiheisiin verrattuna vähäisiksi. Rakentamisen päästötietokannan arvioihin pohjautuvassa työmaavaiheen laskennassa uudistyömaan toimintojen osuus hiilijalanjäljestä on kuitenkin yllättävän suuri yli 7 %.

3.2 Puukerrostalo, konversio

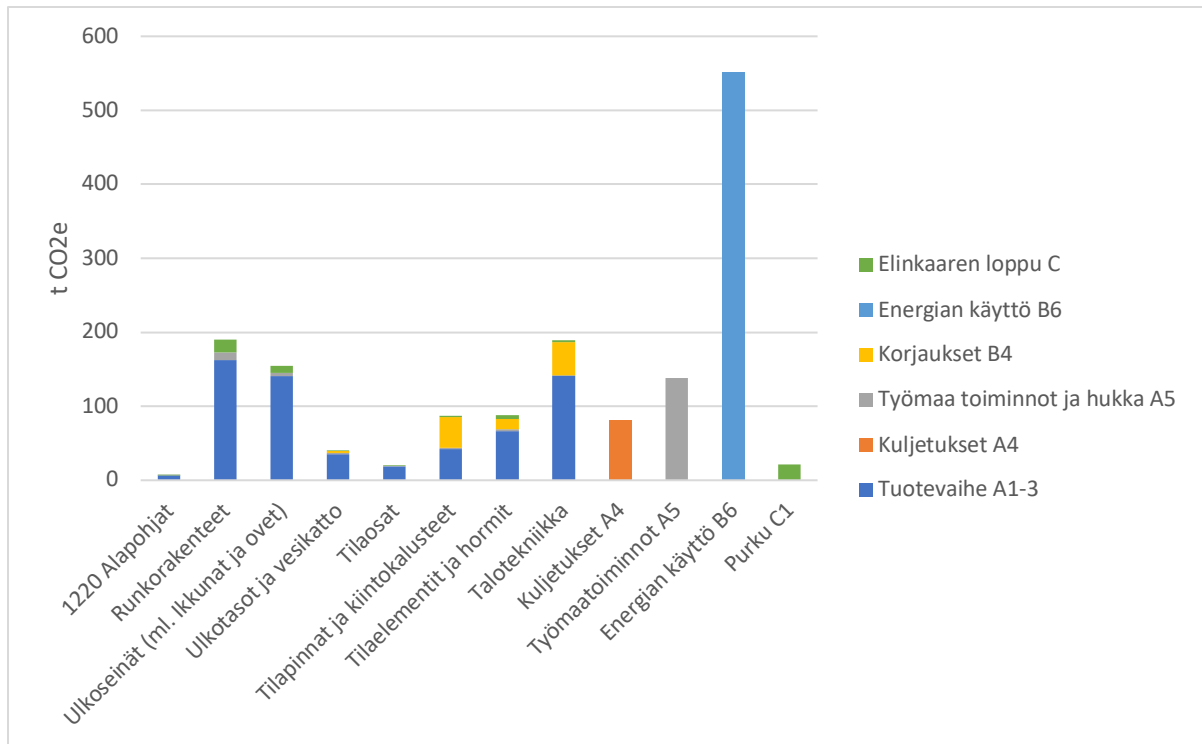
Puukerrostalon (konversio) elinkaaren ilmastovaikutukset esitetään rakennukselle ja rakennuspaikalle eriteltynä taulukossa 6. Kuvassa 4 on esitetty konversoidun puukerrostalon ilmastovaikutukset rakenteittain, järjestelmittäin ja energiankäyttöittäin. Kuvassa 5 on esitetty tarkemmin runkorakenteiden elinkaaren ilmastovaikutukset. Taulukossa 8 on esitetty ilmastovaikutusten jakautuminen Talo2000-nimikkeistön mukaisesti niille rakenneosille, jotka poikkeavat betonikerrostalon rakenneosista.

Taulukko 6. Puukerrostalon (konversio) elinkaaren ilmastovaikutusten tulokset 50 vuoden arviointiajanjaksolla.

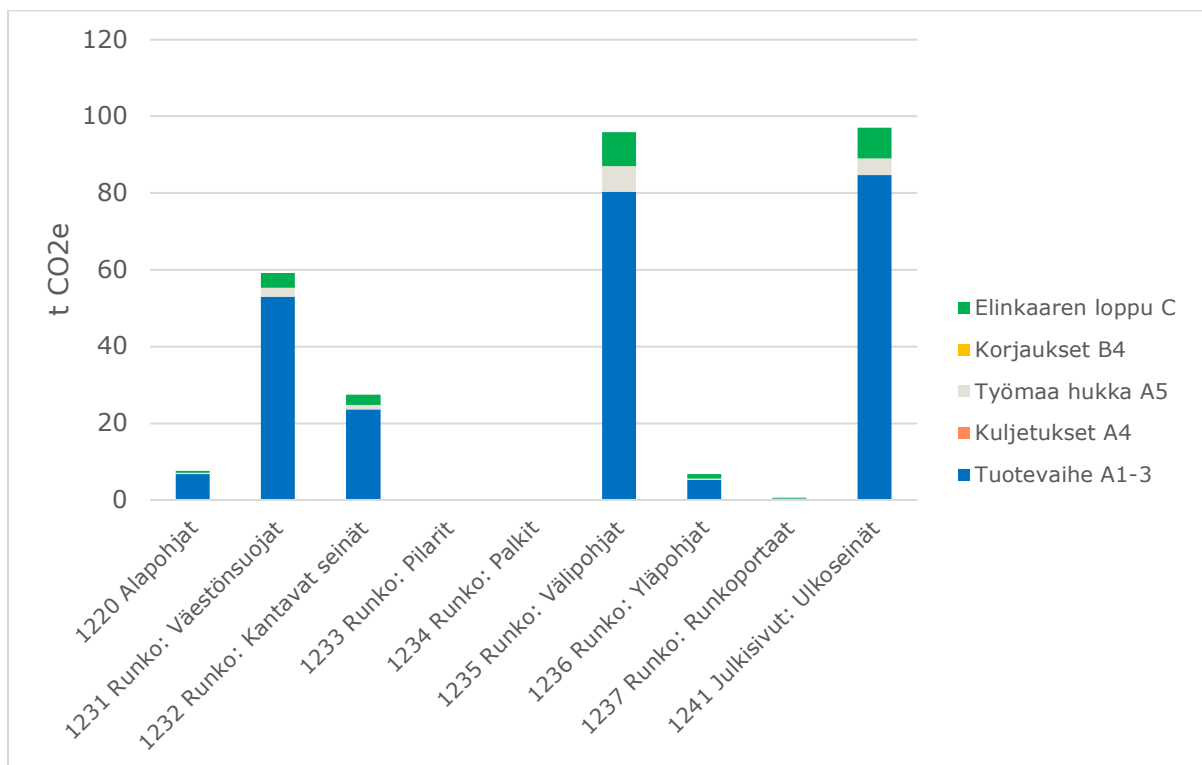
	Rakennus kgCO ₂ e/m ² /a*	Rakennuspaikka kgCO ₂ e/m ² /a**
A. Ennen käyttöä	5,69	0,14
B. Käytön aikana	4,36	
C. Käytön jälkeen	0,38	0,01
Hiilijalanjälki yhteensä	10,43	0,16
D1 & D2 uudelleenkäyttö, kierrätys ja hyödyntäminen energiana	<i>Ei voitu määrittää</i>	<i>Ei voitu määrittää</i>
D3. Ylimääräinen uusiutuva energia	-	-
D4. Hiilivarastovaikutus	-4,76	0
D5. Karbonatisoituminen	<i>Ei voitu määrittää</i>	<i>Ei voitu määrittää</i>
Hiilikädenjälki yhteensä	-4,76	0

*Rakennuksen päästöt on suhteutettu rakennuksen lämmitettyyn nettoalaan (3008 m²) ja tarkastelujaksoon (50 vuotta)

** Rakennuspaikan päästöt on suhteutettu rakennuspaikan pinta-alaan (3789 m²) ja tarkastelujaksoon (50 vuotta)



Kuva 4. Puukerrostalon (konversio) rakennuksen elinkaaren ilmastovaikutukset (ei sisällä rakennuspaikan päästöjä).



Kuva 5. Puukerrostalon (konversio) runkorakenteiden ilmastovaikutukset elinkaaren eri vaiheissa.

3.2.1 Tulosten tulkinta – puukerrostalo, konversio

Puukerrostalon hiilijalanjälkeä on pienennetty betonikerrostalon hiilijalanjälkeen verrattuna vähemmän hiili-intensiivisen materiaalin eli puun käytöllä. Merkittävin vaikutus hiilijalanjäljen pienentämiseksi on ontelolaattarakenteisten välipohjien korvaaminen CLT-rakenteisilla välipohjilla. Tällä saadaan 7 % vähennys betonikerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen verrattuna. Lisäksi kantavien seinien ja ulkoseinien korvaaminen CLT:llä vähentää merkittävästi päästöjä betonikerrostalon koko elinkaaren hiilijalanjälkeen verrattuna (- 6 % vähennys betonikerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen). Yläpohjan sekä parvekelaattojen ja -pielien korvaaminen CLT:llä vähentää myöskin päästöjä betonikerrostalon hiilijalanjälkeen verrattuna, mutta vaikutus ei ole niin merkittävä kuin edellä esitetyillä rakenteilla. Energiankulutuksen päästöt on oletettu molemmissa kohteissa pysyvän samana. Kokonaisuudessaan puukerrostalon elinkaaren ilmastovaikutukset ovat 16 % pienemmät kuin betonikerrostalon elinkaaren ilmastovaikutukset ovat.

3.3 Puukerrostalo, optimoitu

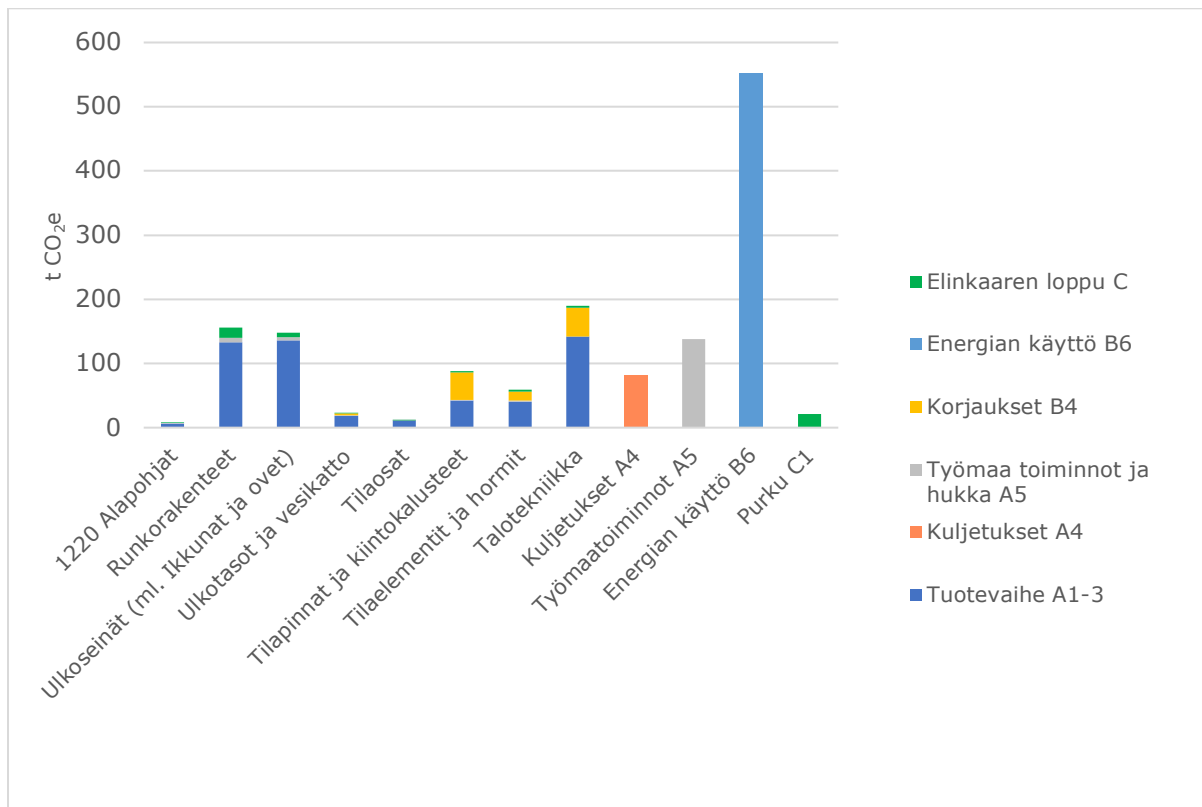
Optimoidun puukerrostalon elinkaaren ilmastovaikutukset esitetään rakennukselle ja rakennuspaikalle eriteltyinä taulukossa 7. Kuvassa 6 on esitetty optimoidun puukerrostalon ilmastovaikutukset rakenteittain, järjestelmittäin ja energiankäyttöittäin. Kuvassa 7 on esitetty tarkemmin runkorakenteiden elinkaaren ilmastovaikutukset.

Taulukko 7. Puukerrostalon (optimoitu) elinkaaren ilmastovaikutusten tulokset 50 vuoden arviointiajanjaksolla.

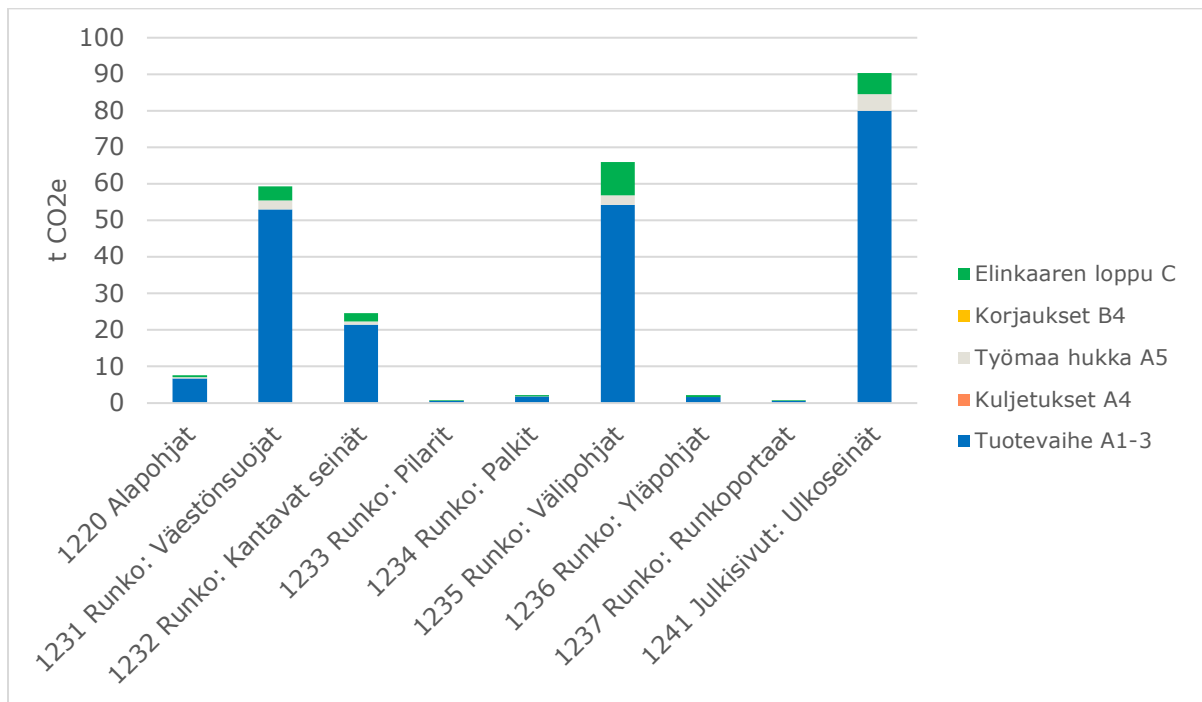
	Rakennus kgCO ₂ e/m ² /a*	Rakennuspaikka kgCO ₂ e/m ² /a**
A. Ennen käyttöä	5,08	0,14
B. Käytön aikana	4,37	0,00
C. Käytön jälkeen	0,35	0,01
Hiilijalanjälki yhteensä	9,81	0,16
D1 & D2 uudelleenkäyttö, kierrätys ja hyödyntäminen energiana	<i>Ei voitu määrittää</i>	<i>Ei voitu määrittää</i>
D3. Ylimääräinen uusiutuva energia	-	-
D4. Hiilivarastovaikutus	-3,84	0
D5. Karbonatisoituminen	<i>Ei voitu määrittää</i>	<i>Ei voitu määrittää</i>
Hiilikädenjälki yhteensä	-3,84	0

*Rakennuksen päästöt on suhteutettu rakennuksen lämmitettyyn nettoalaan (3008 m²) ja tarkastelujaksoon (50 vuotta)

** Rakennuspaikan päästöt on suhteutettu rakennuspaikan pinta-alaan (3789 m²) ja tarkastelujaksoon (50 vuotta)



Kuva 6. Puukerrostalon (optimoitu) rakennuksen elinkaaren ilmastovaikutukset (ei sisällä rakennuspaikan päästöjä).



Kuva 7. Puukerrostalon (optimoitu) runkorakenteiden ilmastovaikutukset elinkaaren eri vaiheissa.

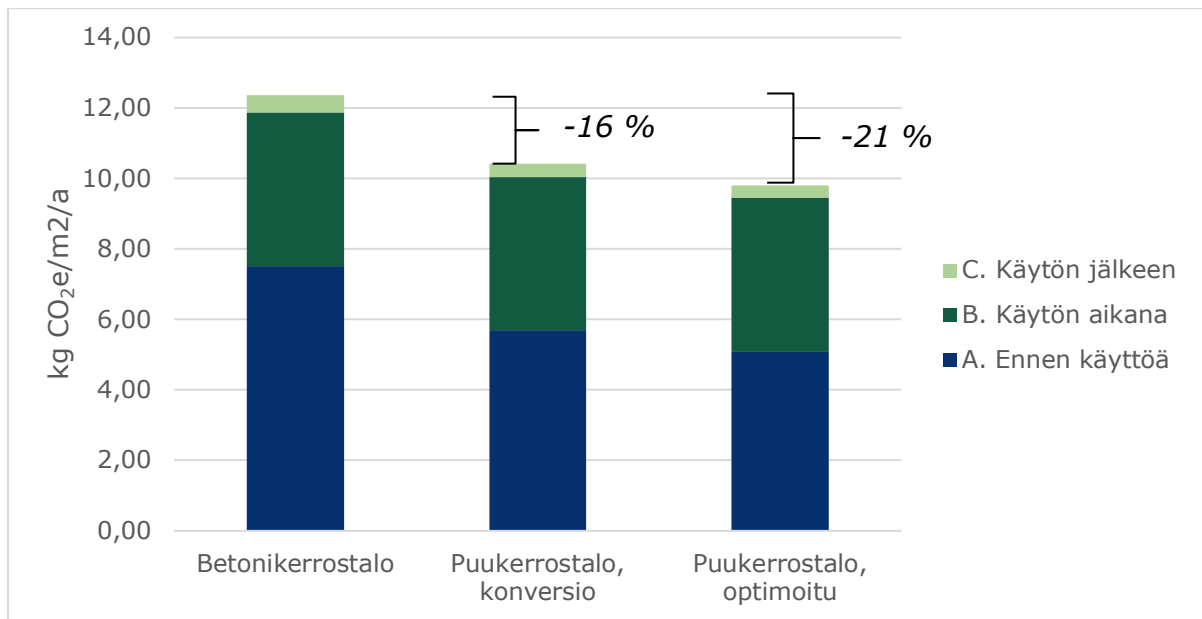
3.3.1 Tulosten tulkinta – puukerrostalo, optimoitu

Optimoidun puukerrostalon hiilijalanjälki on arvioitu kohteelle, joka on suunniteltu alusta alkaen puurakenteiseksi. Puukerrostalon hiilijalanjälkeä on pienennetty betonikerrostalon hiilijalanjälkeen verrattuna vähemmän hiili-intensiivisen materiaalin eli puun käytöllä. Optimoidun puukerrostalon hiilijalanjälkeä vähentää merkittävästi betonikerrostalon hiilijalanjälkeen verrattuna ontelolaattaranteisten välipohjien korvaaminen CLT-rakenteisilla välipohjilla (-8 % vähennys betonikerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen verrattuna). Puurankarakenteisilla (ei-kantavilla) ulkoseinillä voidaan vähentää hiilijalanjälkeä -3 % betonikerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen verrattuna. CLT-rakenteisilla kantavilla seinillä voidaan vähentää -3 % hiilijalanjälkeä verrattuna betonirakenteisen asuinkerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen. Yläpohja- ja vesikattorakenteet vähentävät myöskin päästöjä, näiden vaikutus on -2 % betonikerrostalon hiilijalanjälkeen verrattuna. Puukerrostalon osalta on hyvä huomioida, että väliseinäjakauma huoneistoissa ei vastannut täysin betonikerrostaloa. Puukerrostalon energian päästöt on laskennassa oletettu betonikerrostalon energian päästöjä vastaavaksi. Puukerrostalon energian päästöt voivat kuitenkin poiketa betonikerrostalon energianpäästöistä johtuen muun muassa ulkoseinän paremmasta u-arvosta betonikerrostaloon verrattuna. Kokonaisuudessaan puurakenteisen kerrostalon elinkaaren ilmastovaikutukset ovat -21 % pienemmät kuin betonikerrostalon elinkaaren ilmastovaikutukset ovat.

Optimoidun puukerrostalon välipohjaratkaisulla voidaan vähentää -2 % päästöjä verrattuna konversoidun puukerrostalon hiilijalanjälkeen. Molemmissa laskentakohteissa välipohjissa kantavana rakenteena on CLT, konversoidun puukerrostalon välipohjarakenteessa on kuitenkin sementtipohjaisen tasoitteen paksuus optimoidun puukerrostalon plaanovalua paksumpi. Lisäksi konversoidussa puukerrostalossa välipohjarakenne sisältää 100 mm paksuisen sorakerroksen, jota ei taas optimoidun puurakenteisen kerrostalon välipohjarakenteessa ole. Optimoidun puukerrostalon hiilijalanjälkeä vähentää konversoidun puukerrostalon hiilijalanjälkeen verrattuna välipohjarakenteen lisäksi yläpohjarakenne (n. 1 % vähennys). Yläpohjarakenteessa kantavana rakenteena on CLT (80 mm) ja vesikatolla eristeenä mineraalivilla. Vastaavasti konversoidussa puukohteessa yläpohjan kantavana rakenteena on CLT (240 mm) ja vesikattorakenteessa mineraalivillan sijaan on käytetty kevytsoraa. Optimoidun puukerrostalon CLT-rakenteisilla kantavilla ja ei-kantavilla seinillä voidaan vähentää hiilijalanjälkeä prosentin verran konversoidun puukerrostalon hiilijalanjälkeen verrattuna. Molemmissa kohteissa kantavat väliseinät ovat CLT-rakenteisia, kantavan ja ei-kantavan väliseinän laajuus jakautuu kohteissa kuitenkin eri tavalla, optimoidun puukerrostalon ei-kantavien seinien määrä on konversoidun puukerrostalon ei-kantavien seinien määrää pienempi. Kokonaisuudessaan optimoidun puukerrostalon hiilijalanjälki on noin 6 % konversoidun puukerrostalon hiilijalanjälkeä pienempi.

3.4 Yhteenveto asuinkerrostalon eri rakennustyyppien hiilijalanjäljen tuloksista

Betoni- sekä puukerrostalojen (konversio ja optimoitu) rakennuksen koko elinkaaren hiilijalanjälki on esitetty kuvassa 8. Puukerrostalon (konversio) hiilijalanjälki on -16 % ja optimoidun puukerrostalon -21 % pienempi verrattuna betonikerrostalon elinkaaren hiilijalanjälkeen. Kun tarkastellaan pelkästään ennen käyttöä vaiheen päästöjä, on konversoidun puukerrostalon hiilijalanjälki -24 % ja optimoidun puukerrostalon -32 % pienempi verrattuna betonikerrostalon ennen käyttöä vaiheen päästöihin.



Kuva 8. Betoni-, puu- ja puusuinkerrostalon rakennuksen hiilijalanjälki elinkaaren eri vaiheissa (ei sisällä rakennuspaikan hiilijalanjälkeä).

Taulukossa 8 on esitetty tarkemmin eroavien rakenteiden hiilijalanjälki jakaen rakenteet Talo2000-nimikkeistön mukaisesti. Konversoidun puukerrostalon hiilijalanjälki on arvioitu kohteelle, joka on mukautettu betonikerrostalosta CLT-rakenteiseksi asuinkerrostaloksi. Optimoitu puukerrostalo on alusta asti suunniteltu puurakenteiseksi, ja jonka rakenteet poikkeavat konversoidun puukerrostalon ja betonirakenteisen kerrostalon rakenteista. Eroavia rakenteita olivat muun muassa erilaiset välipohja- ja yläpohjarakenteet, väli- ja ulkoseinärakenteet sekä optimoidussa puukerrostalossa puurakenteiset hormit.

Taulukko 8. Betoni- sekä konversoidun ja optimoidun puukerrostalon hiilijalanjäljen tulokset sekä puukerrostalojen hiilijalanjäljen prosentuaalinen ero betonikerrostaloon verrattuna.

Talo2000 -nimikkeistö	Betonikerrostalo	Puukerrostalo, konversio	%-ero	Puukerrostalo, optimoitu	%-ero
1220 Alapohjat	8	8		8	
1231 Runko: Väestönsuojat	59	59		59	
1232 Runko: Kantavat seinät	86	27	-68 %	25	-71 %
1233 Runko: Pilarit	2		-100 %	1	-69 %
1234 Runko: Palkit	3		-100 %	2	-25 %
1235 Runko: Välipohjat	222	96	-57 %	66	-70 %
1236 Runko: Yläpohjat	19	7	-65 %	2	-89 %
1237 Runko: Runkoportaat	3	1	-82 %	1	-77 %
1241 Julkisivut: Ulkoseinät	155	97	-37 %	90	-42 %
1242 Julkisivut: Ikkunat	52	52		52	
1243 Julkisivut: Ulko- ovent	5	5		5	
1250 Ulkotasot	31	3	-89 %	3	-89 %
1260 Vesikatot	37	37		20	-46 %
1311 Väliseinät: Väliseinät	13	13		5	-63 %
1315 Väliseinät: Väliovet	7	7		7	
1321 Pintarakenteet: Lattiapintarak.	38	38		40	4 %
1325 Pintarakenteet: Seinäpintarak.	3	3		2	-23 %
1351. Tilaelementit: Kylpyhuone	50	50		50	
1355. Tilaelementit: Hormi	38	38		9	-77 %
1331 Kiintokalusteet	46	46		46	
Talotekniikka	172	172		172	
2511. Hissit	17	17		17	
A4 Kuljetus työmaalle (taulukkoarvo)	81	81		81	
A5 Työmaa toiminnot (asuinkerrostalo)	138	138		138	
C1 Purku (asuinkerrostalot)	21	21		21	
Sähkön käyttö	552	552		552	
Rakennuksen hiilijalanjälki	1861	1569		1475	
kg CO2e/m2/a	12,37	10,43		9,81	
%-ero		-16 %		-21 %	

LIITE 1 - KÄYTETYT YMPÄRISTÖSELOSTEET

Betonikerrostalon sekä konversoidun ja optimoidun puukerrostalojen elinkaaren ilmastovaikutusten arvioinnissa on käytetty rakentamisen päästötietokannan kertoimia poikkeuksena taulukossa 9, 10 ja 11 esitetyt materiaalit, joiden osalta laskennassa käytettiin tuotekohtaisia ympäristöselosteita.

Taulukko 9. Käytetyt ympäristöselosteet betonikerrostalon ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Betonikerrostalon laskennassa käytetyt EPD:t	EPD	EPD-numero
Petra - ontelolaattakannakkeet	Steel brackets, for hollow core slab, 7850 kg/m ³ , linear mass 15.3-41.8 kg/m, PETRA® Green (Peikko)	RTS_106_21
Teräs – deltapalkki	Slim-floor composite steel beam, DELTABEAM (Peikko, Lahti and Kralova nad Vahom plants)	RTS EPD 10
Väliseinät – teräsrankaseinät	Galvanized steel joists for drywall, Steel type: X51D+ Z 100 g/m ² , steel sheet: 0.5 mm, Gypsteel ELPR, ELR, GK, GKC, SLIM, SK, SKP, SKF, SKE, SKT, ATR, XR. (Lundell)	NEPD-1904-8332-EN
Väliseinät – Paroc Sonus	Stone wool insulation, 36 mm, 29.5 kg/m ³ , 1.06 kg/m ² (for R=1 Km ² /W), Lambda=0.036 W/(m.K), eXtra (Paroc)	NEPD-2392-1128-EN

Taulukko 10. Käytetyt ympäristöselosteet puukerrostalon (konversio) ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Puukerrostalon (konversio) laskennassa käytetyt EPD:t	EPD	EPD-numero
Sahatavara	EPD Classic Sawn by Stora Enso	S-P-02150
CLT-rakenteet	EPD CLT (Cross Laminated Timber)	S-P-02033
Väliseinät – teräsrankaseinät	Galvanized steel joists for drywall, Steel type: X51D+ Z 100 g/m ² , steel sheet: 0.5 mm, Gypsteel ELPR, ELR, GK, GKC, SLIM, SK, SKP, SKF, SKE, SKT, ATR, XR. (Lundell)	NEPD-1904-8332-EN
Väliseinät – Paroc Sonus	Stone wool insulation, 36 mm, 29.5 kg/m ³ , 1.06 kg/m ² (for R=1 Km ² /W), Lambda=0.036 W/(m.K), eXtra (Paroc)	NEPD-2392-1128-EN

Taulukko 11 Käytetyt ympäristöselosteet puukerrostalon (optimoitu) ilmastovaikutusten arvioinnissa.

Puukerrostalon (optimoitu) laskennassa käytetyt EPD:t	EPD	EPD-numero
Sahatavara	EPD Classic Sawn by Stora Enso	S-P-02150
CLT-rakenteet	EPD CLT (Cross Laminated Timber)	S-P-02033
LVL-ranka	EPD LVL (Stora Enso)	S-P-01730
Väliseinät – akustinen jousiranka	EPD Gyproc Steel Profiles and Accessories, ver. 2	S-P-00782, ver.2
Ulkoseinäeriste	EPD ISOVER RKL-31 Facade 50 mm	
Parveke vedeneriste – Protan G	EPD Protan G 1.5 Protan AS	NEPD-1747-723-NO