

Kantvikin koulu Hiilijalanjälkitarkastelu

JOONAS RYYNÄNEN, OSKARI LOIKKANEN, OSSI KUJALA

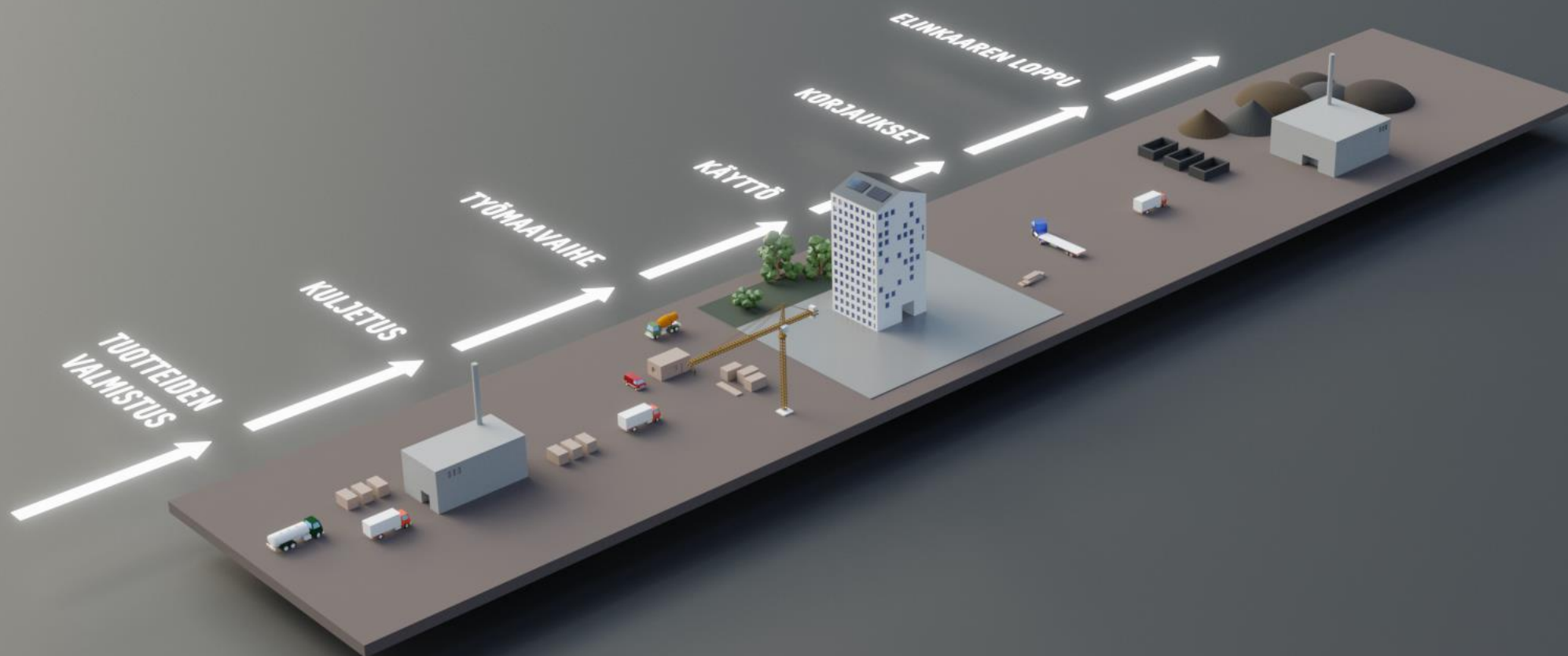
21.02.2025

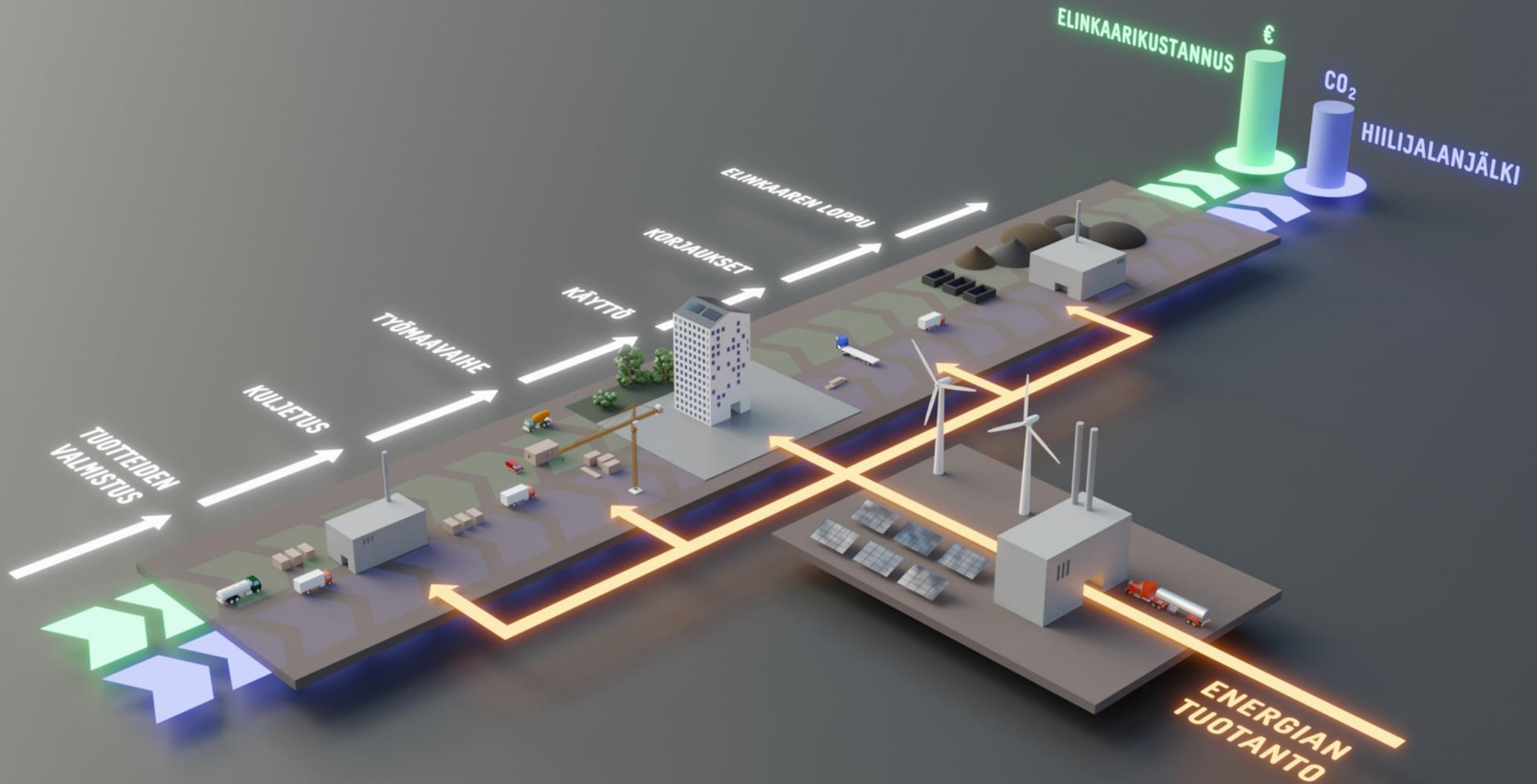
Sisällysluettelo

- Yleistä hiilijalanjälkilaskennasta.....3
- Vertailun lähtökohdat.....9
- Tulokset.....17

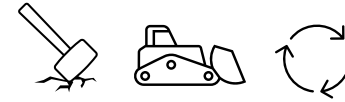
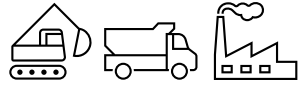
YLEISTÄ HIILIJALANJÄLKILASKENNASTA

RAKENNUKSEN ELINKAAREN VAIHEET



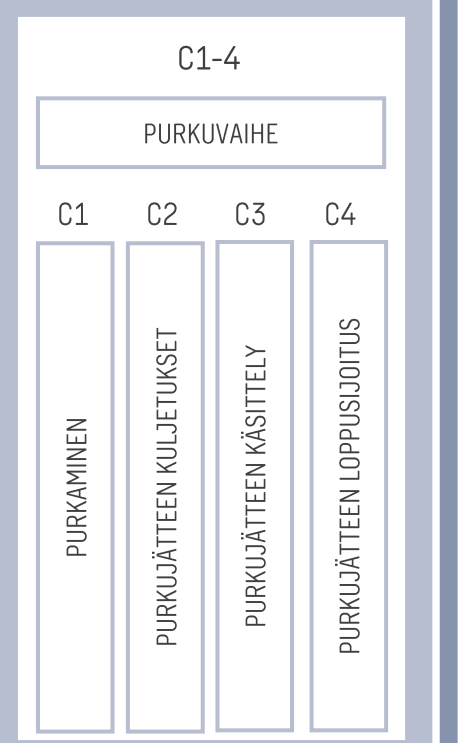
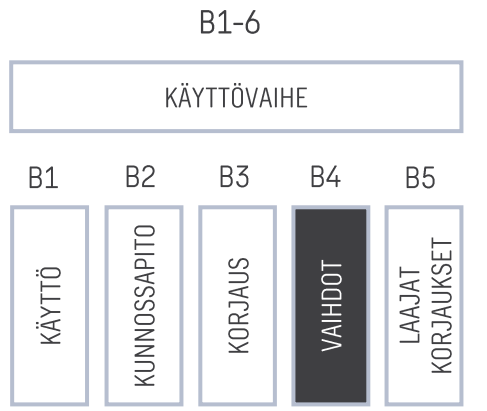
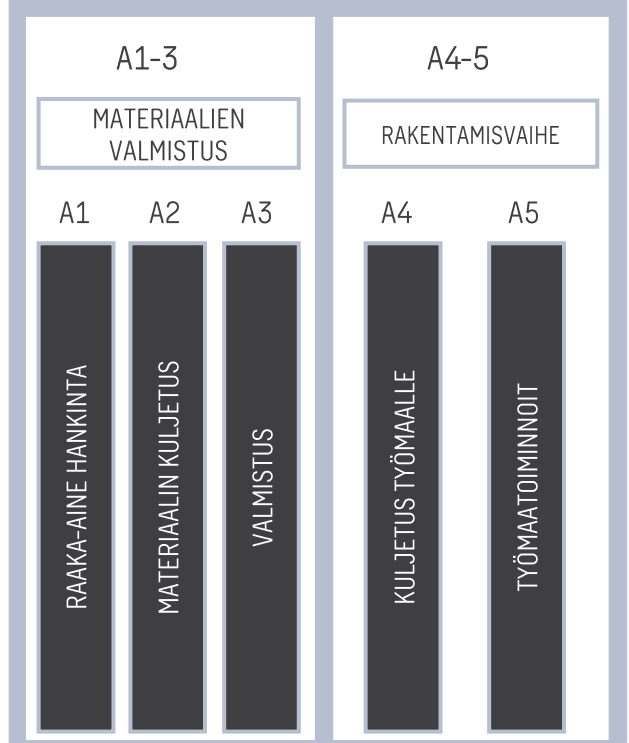


ELINKAAREN AIKAISET PÄÄSTÖT



Elinkaaren aikaiset päästöt

Tuotesidonnaiset päästöt



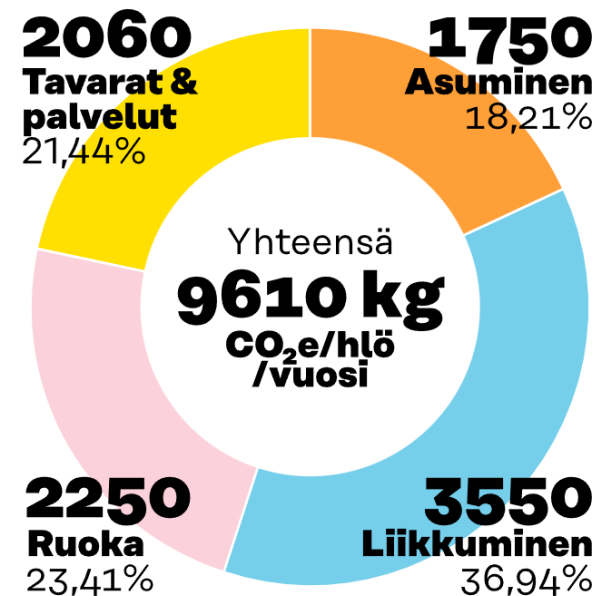
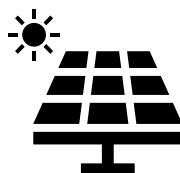
Elinkaaren aikaiset päästöt = Tuotesidonnaiset päästöt + Käytösidonnaiset päästöt



Hiilijalanjälki = Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan ihmisen toiminnan aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä.

Hiilijalanjälki lasketaan arvona kgCO_2e (hiilidioksidiekvivalentteina) eli kaikki kasvihuonekaasut muutetaan vastaamaan hiilidioksidia.

Rakennuksen elinkaarenaikaiset hiilidioksidipäästöt vaihtelevat välillä $500 - 1\,000 \text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$ (50 v)



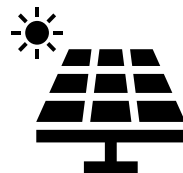
Keskivertosuomalaisen hiilijalanjälki (2023). Lähde: Sitra.



Kädenjälki = rakennuksen elinkaaren aikana saavutetut ilmastohyödyt, joita ei syntyisi ilman rakennushanketta.

Hiilikädenjälkeä ei vähennetä hiilijalanjäljestä.

Hiilikädenjälki ilmoitetaan negatiivisina hiilidioksidiekvivalentteina (- kgCO₂e).



D1

Kierrätys ja uudelleenkäyttö

D2

Materiaalien hyödyntäminen energiana

D3

Ylimääräinen uusiutuva energia

D4

Hiilivarastot

D5

Karbonatisoituminen

VERTAILUN LÄHTÖKOHDAT

Hiilijalanjätkilaskennan lähtökohdat

- Laskenta on tehty ympäristöministeriön rakennusten vähähiilisuuden arviointimenetelmää noudattaen.
- Laskenta-jaksona on käytetty 50 vuotta
- Käyttöönottovuotena laskennassa on käytetty vuotta 2028
- Laskennassa on huomioitu kaikki elinkaaren vaiheet (A-D), niiltä osin kuin OneClickLCA ohjelmistosta saa oletuksena tuloksia
- Laskenta on suoritettu kansallisen päästötietokannan tiedoilla
- Rakentamisen, purkamisen ja talotekniikan osalta on käytetty kansallisen päästötietokannan pinta-alaan perustuvia taulukkoarvoja
- Uudisrakennusten laskenta on suoritettu Carbon Designer 3D:llä, jonka tuloksia on skaalattu ulkovaipan osalta vastaamaan paremmin Kantvikin koulun uudisrakennuksen pohjaluonnoksia
- Hiilijalanjälki on laskettu kolmelle rakennusvaihtoehdolle, usealla eri energiajärjestelmällä tai niiden yhdistelmällä

Uudisrakennusten perustiedot

- Rakennuksen bruttoala on 4 441 brm² ja lämmitetyksi nettoalaksi on arvioitu 4 037 m² bruttoalan perusteella. Molempien runkovaihtoehtojen laskennassa on käytetty samaa lämmitettyä nettoalaa.
- Uudisrakennusten perustukset ovat laskettu referenssikohteen perusteella

Betonivaihtoehdon rakennusosat

- Perustamistapa: Sokkeli- ja anturaperustus
- Runko: Kantavat teräsbetoniseinät
- Ulkoseinät: Betonielementtiseinä rappauksella
- Vesikatto: Peltikate
- Yläpohja: Ontelolaatta
- Alapohja: Tuulettuva teräsbetonialapohja
- Välipohjat: Ontelolaatta

Puuvaihtoehdon rakennusosat

- Perustamistapa: Sokkeli- ja anturaperustus
- Runko: Kantavat CLT seinät
- Ulkoseinät: CLT seinä rappauksella
- Vesikatto: Peltikate
- Yläpohja: Puupalkki
- Alapohja: Tuulettuva teräsbetonialapohja
- Välipohjat: Puupalkki

Korjaus- ja laajennusvaihtoehdon perustiedot

- Vuoden 1992 rakennus korjataan ns. betonirunkoon asti, pois lukien yläpohja.
- Ulkoseinien ja yläpohjan osalta eristystä lisätty laskelmissa niin, että saavutetaan uudisrakentamisen vertailuarvot
- Korjausvaihtoehdossa on tarkasteltu samoja rakennusosia kuin uudisrakennuksissa, jotta tulokset olisivat vertailukelpoiset keskenään
- Laajennuksen osalta on oletettu betonirunkoinen rakennus, jonka ala on laskettu niin, että peruskorjatun (1 675 brm²) ja laajennuksen (2 766 brm²) yhteenlaskettu ala vastaa uudisrakennuksen alaa (4 441 brm²)

Korjauksessa huomioidut rakennusosat

- Sokkelin pinnoitus
- Ulkoseinä betoniin asti, ulko-ovet ja ikkunat
- Väliseinät ja väliovet
- Yläpohjan korjaus (25 %) ja lisäeristys
- Alakatot
- Talotekniikka

Energiatarkastelun lähtötiedot – Uudisrakennusversiot

- **Lähtökohdat ja oletukset**
 - Hiililaskentaa varten Kantvikin koulun uudisrakennuksen ostoenergiantarve on arvoitu lähes vastaavan laajuisen koulurakennuksen referenssikohteen energiamallin avulla
 - Tulokset on skaalattu Kantvikin koulun laajuuteen
 - Kantvikin koulun lämpimäksi nettoalaksi on arvioitu 4 037 m² (bruttoalan perusteella)
 - Ostoenergiantarpeen arviointi nykyisten energiamääräysten E-lukulaskennan laskentasääntöjen mukaisesti
 - Ikkuna-aukotuksen osuus energiamallissa on 21 % julkisivuista
- Laskennan lähtökohtana määritetään mikä on saavutettavissa olevan perusratkaisun (VE1, kaukolämpö ilman aurinkopaneeleita) E-luku energia- ja kustannustehokkailla realistisilla ratkaisuilla
- VE2-vaihtoehdossa perusratkaisuun lasketaan tarvittava määrä aurinkopaneeleita, jotta Tilaajalta saatu E-lukutavoite 63 kWh_E/m²v saavutetaan
- Maalämpöratkaisu lasketaan vastaavilla teknisillä ratkaisuilla kuin perusratkaisu ilman aurinkopaneeleita (VE3)
 - Vaihtoehtoinen tapa olisi heikentää korkeampien investointikustannusten maalämpövaihtoehtoa muilta energiatehokkuuteen vaikuttavilta ratkaisuilta siten, että se vastaisi E-luvultaan VE1 tasoa
- VE4-vaihtoehdossa aiempaan maalämpöratkaisuun lisätään vastaava määrä aurinkopaneeleita kuin (VE2)

Energiatarkastelun lähtötiedot – Uudisrakennusversiot

- Keskeisimmät lähtötiedot ja oletukset perustapauksessa (kaukolämpö, ilman aurinkopaneeleita)
 - Tuloilman viilennys huomioitu (perustapauksessa kompressoripohjainen ratkaisu, EER 3,0)
 - Ilmatiiveys q50-luku $1,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$
 - Rakennetyyppien U-arvot uudisrakentamisen vertailuarvojen mukaisesti
 - Ulkoseinän U-arvo sekä puu- että betonirakenteisessa rakennetyypissä $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Ikkunoiden ja ovien U-arvot $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Ikkunat auringonsuojalasia, g_g -arvo oletuksena 0,38
 - Ilmanvaihdon energiatehokkuus
 - Keskimääräinen LTO-vuosihyötysuhde 75 %
 - Ominais sähkötehokkuus (SFP-luku) mitoitustilanteessa $1,6 \text{ kW/m}^3/\text{s}$
 - Tarpeenmukainen ilmanvaihto huomioitu 70 % oletetulla kattavuudella kohteen tiloista
 - Tarpeenmukaisuuden vaikutus E-lukuun huomioitu YM-laskentaoppaan mukaisesti
 - Lämmin käyttövesi
 - Käyttöveden kiertojohdon keskimääräiset lämpöhäviöt 6 W/m
 - Keskimääräinen eristepaksuus 1,5 X halkaisija
 - Valaistus
 - Tehontiheys 8 W/m^2 ja lisäksi huomioitu ohjaus oletetulla keskimääräisellä ohjauskertoimella 0,75
- Keskeisimmät lähtötiedot maalämpöcaseissa
 - Maalämmön lämmitysenergianpeitto 95 %, loput 5 % sähkökattilalla
 - Maalämpöpumpun keskimääräisen vuosihyötysuhteen arvio 3,5

Energiatarkastelun lähtötiedot – Korjaus- ja laajennusversio

- Laajennusosuuuden energiatehokkuus arvioitu samoilla tiedoilla kuin uudisrakennusversio
- Korjattavan osuuden keskeisimmät lähtötiedot ja oletukset (kaukolämpö, ilman aurinkopaneeleita)
 - Korjattavan osuuden E-luvuksi saavutetaan $100 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$, v seuraavilla lähtötiedoilla:
 - Tuloilman viilennys huomioitu (kompressoripohjainen ratkaisu, EER 3,0)
 - Ilmatiiveys q50-luku $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$
 - Rakennetyyppien U-arvot uudisrakentamisen vertailuarvojen mukaisesti
 - Ulkoseinän U-arvo sekä puu- että betonirakenteisessa rakennetyypissä $0,17 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
 - Ikkunat ja ovet $1,0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
 - Ikkunat auringonsuojalasia, g_g -arvo oletuksena 0,38
 - Ilmanvaihdon energiatehokkuus
 - Keskimääräinen LTO-vuosihyötysuhde 75 %
 - Ominais sähkötehokkuus $1,8 \text{ kW}/\text{m}^3/\text{s}$
 - Tarpeenmukaisuutta ei huomioitu
 - Valaistus
 - Tehontiheys $8 \text{ W}/\text{m}^2$ ja lisäksi huomioitu ohjaus oletetulla keskimääräisellä ohjauskertoimella 0,75
 - Lämmin käyttövesi
 - Käyttöveden kiertojohtojen keskimääräiset lämpöhäviöt $10 \text{ W}/\text{m}$
 - Keskimääräinen eristepaksuus 0,5 X halkaisija

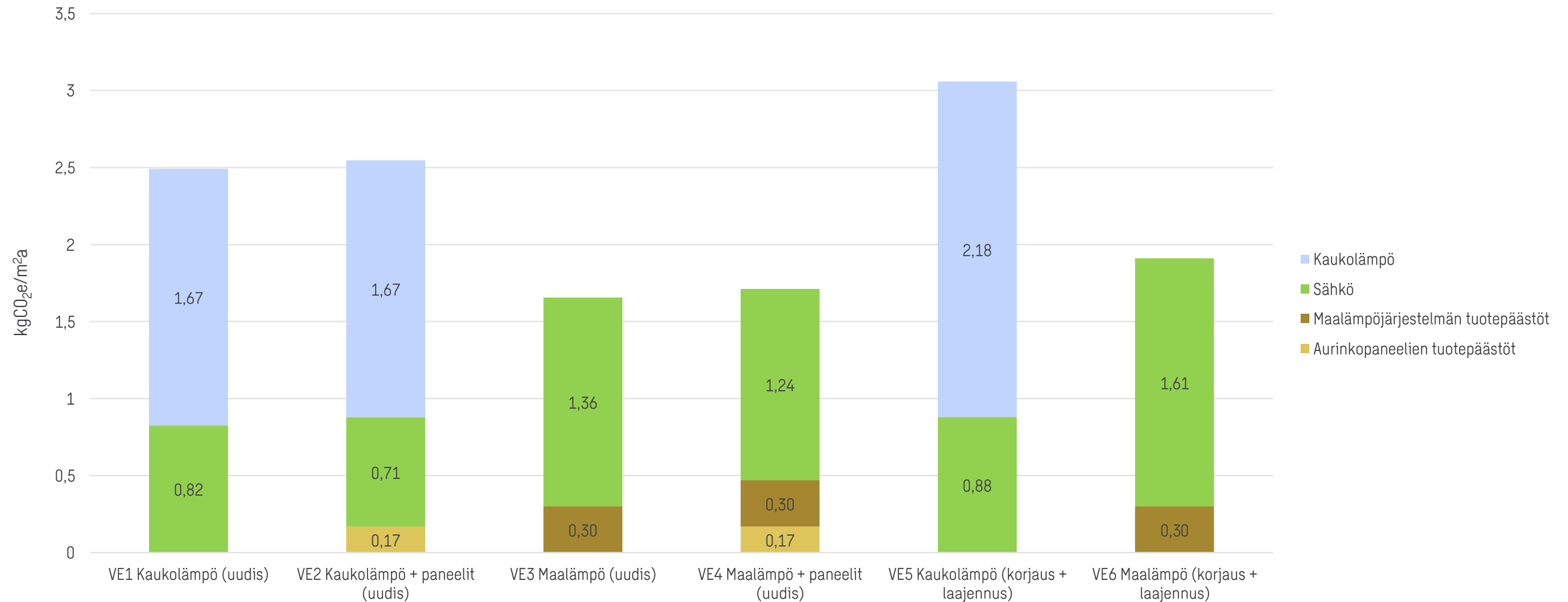
Energiatarkastelun ostoenergiantarpeet

- Uudisrakentamisen versiot
- **VE1 Basecase (kaukolämpö, ilman aurinkopaneeleita)**
 - E-luku $68 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Ostoenergiantarve
 - Kaukolämpö $251\,100 \text{ kWh/v}$
 - Sähkö $121\,900 \text{ kWh/v}$
- **VE2 Kaukolämpö ja aurinkopaneelit**
 - E-luku tavoitteen mukainen $63 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - E-lukutavoitteen saavuttamiseksi vaaditaan perusratkaisun lisäksi noin 20 kWp aurinkosähköjärjestelmä
 - Ostoenergiantarve
 - Kaukolämpö $251\,100 \text{ kWh/v}$
 - Sähkö $104\,900 \text{ kWh/v}$
- **VE3 Maalämpö, ilman aurinkopaneeleita**
 - E-luku $60 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Ostoenergiantarve
 - Sähkö $200\,650 \text{ kWh/v}$
- **VE4 Maalämpö ja aurinkopaneelit**
 - E-luku $55 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Vastaava 20 kWp aurinkosähköjärjestelmä huomioituna kuin VE2 vaihtoehdossa
 - Ostoenergiantarve
 - Sähkö $183\,650 \text{ kWh/v}$

- Korjausrakentamisen versio (1992 korjaus + laajennus)
- **VE5 Basecase (kaukolämpö, ilman aurinkopaneeleita)**
 - E-luku $80 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Korjattavan osuuden E-luku $100 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Laajennusosan E-luku $68 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Ostoenergiantarve yhteensä
 - Kaukolämpö $328\,200 \text{ kWh/v}$
 - Sähkö $130\,200 \text{ kWh/v}$
- **VE6 Maalämpö (ilman aurinkopaneeleita)**
 - E-luku $71 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Korjattavan osuuden E-luku $89 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Laajennusosan E-luku $68 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{v}$
 - Ostoenergiantarve yhteensä
 - Sähkö $238\,100 \text{ kWh/v}$

TULOKSET

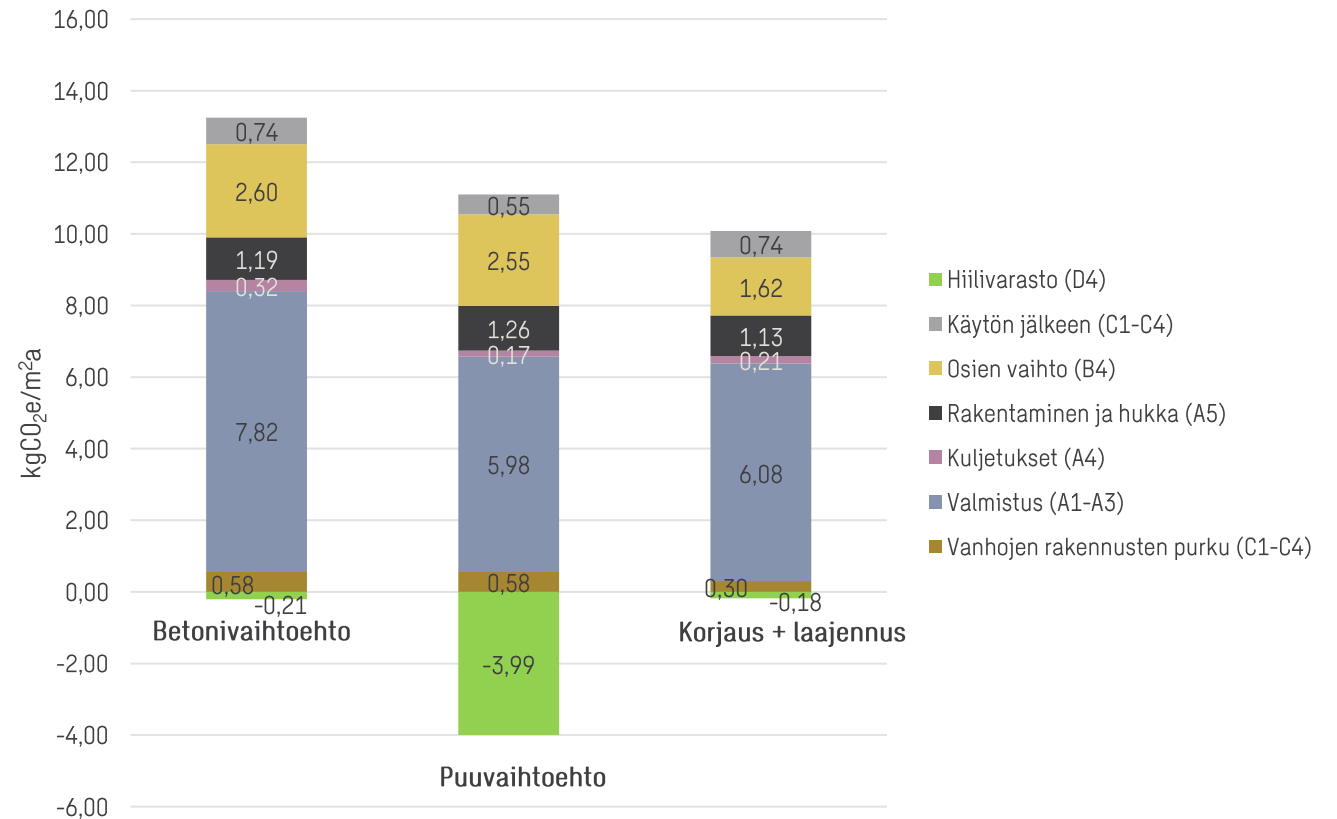
Energiajärjestelmien ja energiankäytön hiilijalanjälki (A-C)



Rakennusten hiilijalanjälki elinkaarivaiheittain

Ei sisällä energian käyttöä eikä -tuotantojärjestelmiä

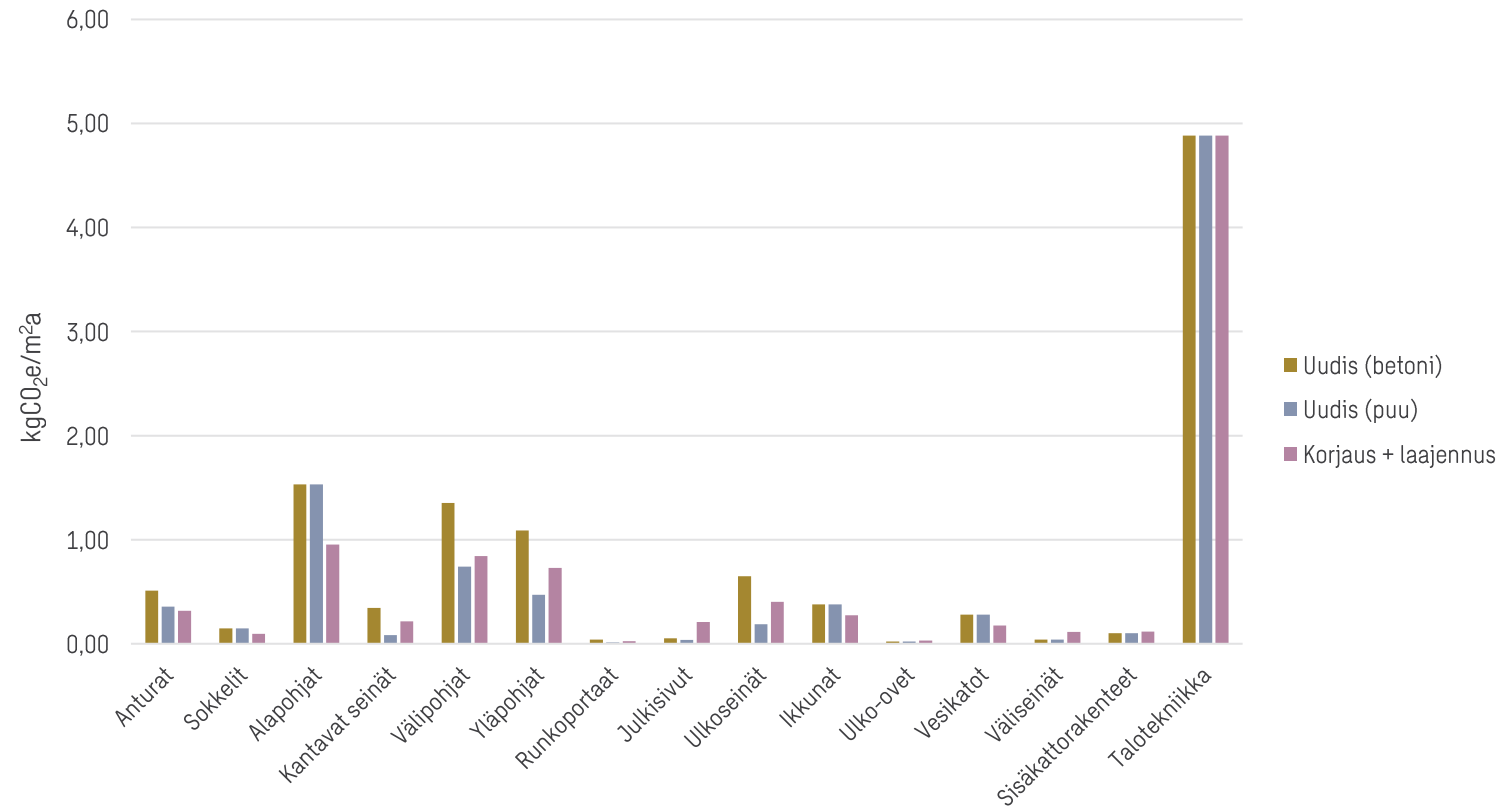
| Elinkaaren vaihe | Betoni [kgCO ₂ e/m ² a] | Puu [kgCO ₂ e/m ² a] | Kor. + laaj. [kgCO ₂ e/m ² a] |
|------------------------------------|--|---|--|
| Vanhojen rakennusten purku (C1-C4) | 0,58 | 0,58 | 0,30 |
| Valmistus (A1-A3) | 7,82 | 5,98 | 6,08 |
| Kuljetukset (A4) | 0,32 | 0,17 | 0,21 |
| Rakentaminen ja hukka (A5) | 1,19 | 1,26 | 1,13 |
| Osien vaihto (B4) | 2,60 | 2,55 | 1,62 |
| Käytön jälkeen (C1-C4) | 0,74 | 0,55 | 0,74 |
| Hiilivarasto (D4) | -0,21 | -3,99 | -0,18 |



Rakennusten hiilijalanjälki rakennusosittain (A-C)

Ei sisällä energian käyttöä eikä -tuotantojärjestelmiä

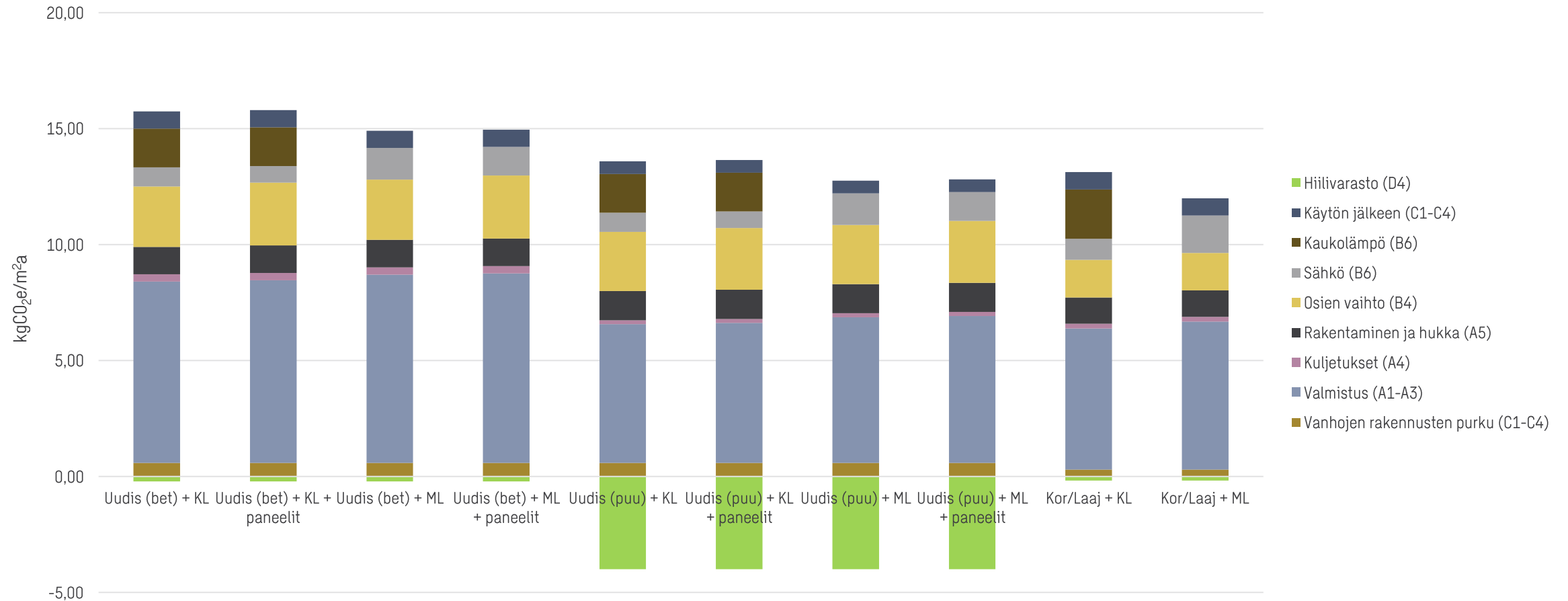
| Rakennusosa | Betoni [kgCO ₂ e/m ² a] | Puu [kgCO ₂ e/m ² a] | Kor. + laaj. [kgCO ₂ e/m ² a] |
|--------------------|--|---|--|
| Anturat | 0,51 | 0,36 | 0,32 |
| Sokkelit | 0,15 | 0,15 | 0,10 |
| Alapohjat | 1,53 | 1,53 | 0,95 |
| Kantavat seinät | 0,34 | 0,08 | 0,21 |
| Välipohjat | 1,35 | 0,74 | 0,84 |
| Yläpohjat | 1,09 | 0,47 | 0,74 |
| Runkoportaat | 0,04 | 0,01 | 0,03 |
| Julkisivut | 0,05 | 0,04 | 0,21 |
| Ulkoseinät | 0,65 | 0,19 | 0,40 |
| Ikkunat | 0,38 | 0,38 | 0,27 |
| Ulko-ovet | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Vesikatot | 0,28 | 0,28 | 0,17 |
| Väliseinät | 0,04 | 0,04 | 0,11 |
| Sisäkattorakenteet | 0,10 | 0,10 | 0,12 |
| Talotekniikka* | 4,88 | 4,88 | 4,88 |



*Talotekniikan suuret päästöarvot määräytyvät kansallisen päästötietokannan käyttötarkoitukseluokkakohtaisen neliöpohjaisen päästöarvon perusteella.

Rakennus- ja energiavaihtoehtojen elinkaaren hiilijalanjälki (A-C)

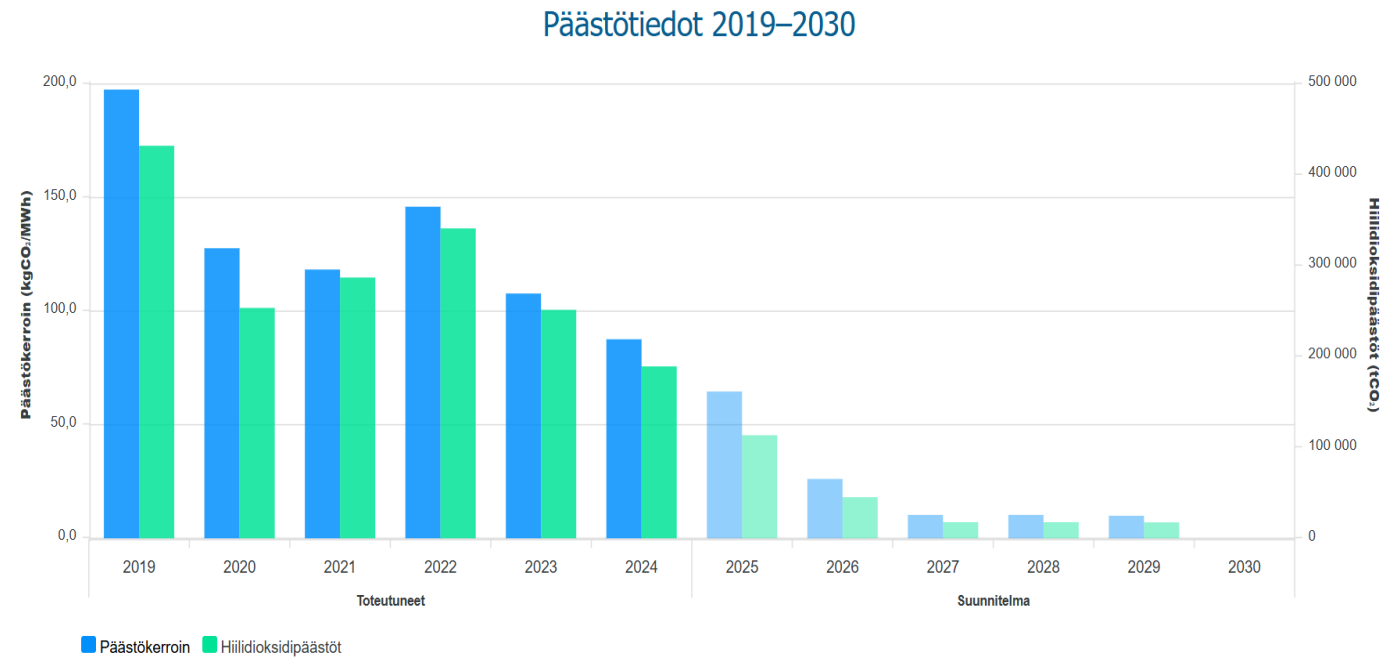
YM-energiaskenaarion mukaisilla energiapäästökertoimilla



Tulokset huomioituna Fortumin kaukolämmön päästöskenaariolla

- Lähtökohdat

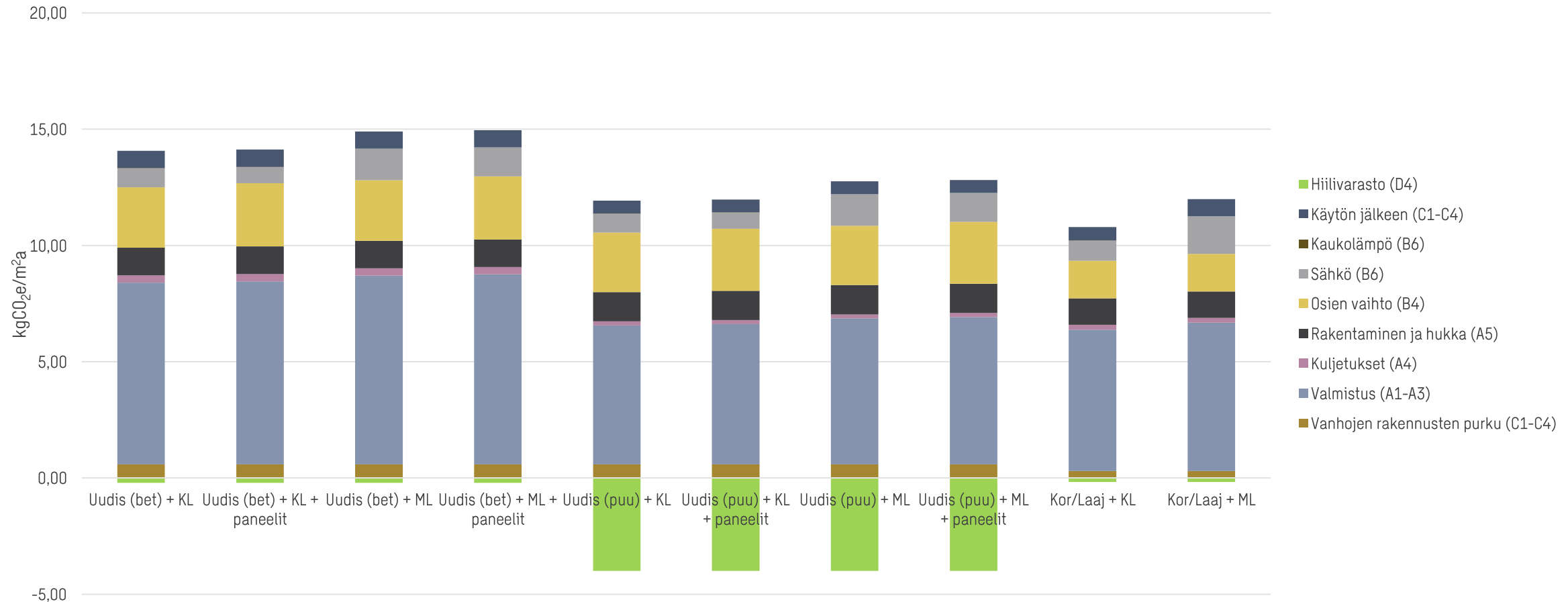
- Fortumin kaukolämmön päästöskenaariossa on huomioitu keskimääräinen kaukolämmön päästökerroin vuosille 2028-2077 perustuen Fortumin investointisuunnitelmien mukaisiin arvioihin Espoon, Kirkkonummen ja Kauniaisten kaukolämpöverkoston päästökertoimen kehityksestä
- Lähteenä on käytetty Paikallisvoiman kaukolämmön päästölaskurissa esitettyä suunnitelmaa tulevaisuuden päästökertomista
- Keskimääräinen kaukolämmön päästökerroin vuosille 2028-2077 on 0,404 kg CO₂e/MWh



Fortumin kaukolämmön päästötoteuma 2019-2024 sekä tulevaisuuden ennuste (2025-2030).
Lähde: Energiateollisuus & Paikallisvoima ry

Rakennus- ja energiavaihtoehtojen elinkaaren hiilijalanjälki (A-C)

Fortumin kaukolämpöverkon energiapäästöskenaariolla*



*Fortumin kaukolämmön päästöskenaario huomioitu Paikallisvoiman kaukolämpölaskurissa esitetyn suunnitelman mukaisesti

Johtopäätökset

- Kansallisen päästötietokannan mukaisilla energiapäästökertoimilla pienimmät energiajärjestelmien ja energiankäytön päästöt saavutetaan maalämpöratkaisuilla
 - Mikäli verrataan energiankäytön päästöjä tilanteeseen, jossa kaukolämmön päästöt perustuvat Fortumin ennustettuun päästökerroinskenaarioon ja sähkönkäytön päästökertoimet edelleen kansallisen päästötietokannan mukaisiin arvoihin, on kaukolämpöratkaisu jopa pienempi energiankäytön päästöiltään
 - Aurinkopaneelit kasvattavat elinkaaren hiilijalanjälkeä, kun verrataan paneelien elinkaaresta aiheutuvia päästöjä verrattuna vuotuisen sähkönkäytön päästösäästöön päästötietokannan mukaisella päästökerroinskenaariolla
 - Korjausrakentamisen vaihtoehdon energiankäytön ja energiajärjestelmien päästöt ovat noin 20 % suuremmat verrattuna uudisrakentamisen vaihtoehtoihin johtuen heikommasta energiatehokkuudesta
- Verrattaessa elinkaaren hiilijalanjälkeä ilman energian osuutta, on uudisrakentamisen puurunkoinen vaihtoehto noin 16 % pienempi hiilijalanjäljeltään verrattuna betonirunkoiseen vaihtoehtoon
 - Puurunkoisen vaihtoehdon hiilikädenjälki on lähes 20 kertainen betonivaihtoehtoon verrattuna
 - Korjausrakentamisen vaihtoehto on hiilijalanjäljeltään noin 23 % pienempi verrattuna betonirunkoiseen uudisrakennusvaihtoehtoon ja noin 9 % pienempi verrattuna uudisrakentamisen puurunkoiseen vaihtoehtoon
- Koko elinkaaren hiilijalanjäljen osalta pienimmän tason saavuttaa korjausrakentamisen vaihtoehto maalämmöllä
 - Jos tarkastelu huomioidaan Fortumin ennustetulla kaukolämmön päästökerroinskenaariolla, on korjausrakentamisen vaihtoehto kaukolämmöllä pienin elinkaaren hiilijalanjäljeltään
 - Vastaavasti jos huomioitaisiin myös ostettu sähkö nollapäästöisenä vihreänä sähkönä, olisi tällöin korjausrakentamisen maalämpövaihtoehto taas pienin elinkaaren hiilijalanjäljeltään
- Tulee huomioida, että uudisrakentamisessa tuote- ja rakentamisvaiheesta aiheutuva piikki tarkastelujakson alkupuolella on suurempi korjausrakentamisvaihtoehtoon verrattuna, kun taas korjausrakentamisvaihtoehdossa elinkaaren kokonaispäästöt jakautuvat koko elinkaaren ajalle hieman tasaisemmin ja energiankäytön vuotuiset päästöt ovat hieman uudisrakentamisvaihtoehtoa suuremmat

SWECO

