

KEKRI – Kestävät kriteerit rakennusten
vähähiilisyden arviointiin

Pientalojen hiilijalanjälkitarkastelut

Ympäristöministeriön Rakennusten vähähiilisyden arviointimenetelmällä 6/2021;
luonnos lausuntokierrosta varten

3.12.2021

Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| Tausta ja tarkoitus | 2 |
| Vertailuratkaisut ja toteutus | 3 |
| Rakennustyyppit..... | 3 |
| Rakeneratkaisut..... | 3 |
| Lämmitys- ja talotekniikkaratkaisut..... | 4 |
| Laskentaohjelmistot..... | 5 |
| Arviointimenetelmä ja lähtötiedot..... | 5 |
| Tulokset | 7 |
| 1-kerroksinen pientalo..... | 7 |
| Puuranka..... | 8 |
| Hirsi..... | 9 |
| Kevytsoraharkko..... | 10 |
| Betoniharkko..... | 11 |
| Kennotiili..... | 12 |
| Runkoratkaisuvaihtoehdot vertailtuna..... | 13 |
| 2-kerroksinen pientalo..... | 15 |
| Puuranka..... | 15 |
| Hirsi..... | 16 |
| Kevytsoraharkko..... | 17 |
| Betoniharkko..... | 19 |
| Kennotiili..... | 20 |
| Runkoratkaisuvaihtoehdot vertailtuna..... | 21 |
| Rakennustyyppit vertailtuna..... | 23 |
| Yhteenveto | 25 |

Tausta ja tarkoitus

Lähivuosina rakennuksen vähähiilisyyden arviointi on tulossa osaksi Suomen rakentamismääräyksiä. Ympäristöministeriö julkaisi rakennuksen ilmastaselvityksen asetusluonnoksen perustelumuistioineen lausuntokierrokselle aiemmin vuodesta 2021. Asetusluonnoksen mukaan ilmastaselvitys laadittaisiin uudisrakennuksille rakennuslupaa haettaessa arvioiden rakennuksen hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki elinkaaren vaiheiden ajalta.

Asetusluonnoksen julkaisun yhteydessä julkaistiin päivitettyä luonnosversiona rakennuksen vähähiilisyyden arviointimenetelmä 2021. Päivitetyn arviointimenetelmän rinnalla käytettäväksi kehitettiin kansallinen päästötietokanta, joka tarjoaa Suomessa tyypillisesti käytettäville rakennusmateriaaleille geneerisiä päästötietoja. Luonnosversioinen, tässä tarkastelussa hyödynnetty arviointimenetelmä tullaan ajantasaistamaan Ympäristöministeriön lopullisen vähähiilisyyden arvioinnin asetuksen tullessa voimaan.

Tässä raportissa on tarkoitus tarkastella kyseisen arviointimenetelmän ja päästötietokannan päästötietojen tuottamia hiilijalanjäljen tuloksia ja toimivuutta erilaisille runkorakennusratkaisuille ja lämmitysmuodoille erilaisilla pientalotyypeillä. Tarkoitus on myös selvittää ne tekijät, joilla lopulta on keskeinen merkitys hiilijalanjäljen muodostumiseen ja suuruuteen.

Huomioitavaa on, että nämä tarkastelut eivät edusta tyypillisiä markkinoilla olevia pientaloja. Päästöt on laskettu keskimääräisillä, rakennusmääräykset täyttävillä tuotteilla ja ratkaisuilla.

Vähähiilisyyden arviointiin liittyvät tekijät tulevat kuitenkin jatkuvasti päivittymään ja tarkentumaan arviointimenetelmän kehittyessä. Tässä tarkastelussa on käytetty laskentahetkellä käytössä olevia päästötietoja ja arviointimenetelmiä.

Arviointimenetelmän mukaisesti rakennuksen vähähiilisyyden arvioinnissa tulokset ilmoitetaan hiilijalanjäljelle ja hiilikädenjäljelle, sekä erikseen rakennukselle ja rakennuspaikalle. Hiilikädenjäljen arviointi on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle. Laskennassa keskitytään rakennuksen hiilijalanjälkeen ja sen vertailuratkaisujen tuloksiin. Rakennuspaikan hiilijalanjäljen rakennuspaikkakohtaisista eroavaisuuksista sekä arviointimenetelmän tulkinanvaraisen laskentaperusteiden määrittämisestä johtuen, rakennuspaikalle on laskettu yksi rakennustyyppikohtainen hiilijalanjälki. Rakennuspaikan pinta-alana on käytetty vertailun helpottamiseksi samaa lämmitettyä nettoalaa kuin rakennuksessa.

Vertailuratkaisut ja toteutus

Rakennustyyppit

Hiilijalanjäljen arviointi toteutettiin kahdelle erilaiselle rakennukselle. Rakennustyypeiksi pyrittiin valitsemaan sellaiset rakennukset, jotka omaavat Suomen rakennuksille tyypillisiä ominaisuuksia. Rakennuksina toimivat yhden asunnon pientalot, 1- kerroksinen ja 2-kerroksinen. Rakennuksissa ei ole yhteydessä esimerkiksi autokatoksia tai erillisiä varastoja. Rakennuksien kaikki rakenteet ovat maanpäällisiä, pois lukien perustukset.

1-kerroksisen omakotitalon lämmitetty nettoala on 116m². Rakennuksessa on kolme makuuhuonetta, olohuone, keittiö, kylpyhuone saunalla ja WC-tilalla sekä erillinen WC. Rakennuksessa on myös tekninen tila / varasto omalla sisäänkäynnillä. Tässä rakennuksessa on tasainen yläpohja ja sen yläpuolella kylmä tuulettuva ilmatila. Ikkunapinta-alaa rakennuksessa on 16,1m².

2-kerroksinen omakotitalo on lämmitetyltä nettoalaltaan 171m². Rakennuksessa on neljä makuuhuonetta, olohuone, keittiö, kylpyhuone saunalla sekä kaksi erillistä WC:tä. Tässä rakennuksessa yläpohja on puolestaan harjan myötäisesti vino, joten päädyt ovat lämpimät vesikattoon saakka. Välipohjassa aukon muodostaa porrasaukko. Ikkunapinta-alaa rakennuksessa on 22,5m².

Rakenneratkaisut

Arviointi toteutettiin viidelle eri ulkoseinän rakenneratkaisulle. Rakenneratkaisut ovat puuranka, hirsi, kevytsoraharkko, betoniharkko ja kennotiili. Laskennassa puurakenneratkaisujen julkisivuissa oletettiin olevan ulkomaali ja rankaratkaisussa lisäksi erillinen puu-ulkoverhous. Kivirunkoisissa ratkaisuissa julkisivuissa on rappaus.

Puurankarakenteena käytettiin tyypillistä puurunkoista ulkoseinää lasivillaeristeellä. Laskennassa puurankaulkoseinän U-arvona on 0,16 W/m²K. Hirsirakenteena käytettiin lamellihirsiulkoseinää (*päästötietokanta: lamellihirsiseinä*), jonka paksuus on 204mm ja U-arvo 0,53 W/m²K.

Kevytsoraharkkona puolestaan käytettiin muurattavaa eristettyä kevytsoraharkkoa (*päästötietokanta: betoniharkko, kevytrunkoaine, eristetty, U 0,17 W/m²K*), jonka paksuus on 350mm ja U-arvo 0,17 W/m²K. Betoniharkkona laskennassa hyödynnettiin ladottavaa eristettyä betoniharkkoa (*päästötietokanta: betoniharkko, eristetty, U 0,17 W/m²K*), jonka paksuus on 400mm ja U-arvo 0,17 W/m²K. Betoniharkkorunkorakenteessa harkon lisäksi huomioitiin harkon onteloiden betonivalu rakentamisvaiheessa.

Kennotiilirakenteessa käytettiin kennotiiltä, jonka paksuus on 490mm ja U-arvo 0,16 W/m²K. Kennotiilen päästötietoja ei ollut raportointihetkellä saatavilla päästötietokannassa, joten

laskennassa hyödynnettiin Suomessa käytettävien avokennoharkkojen, Poroton-kennotiilen ympäristöselostetta.

Sekä alapohja-, että yläpohjarakenne vakioitiin kaikkiin vertailuratkaisuihin. Alapohjarakenteena käytettiin tavanomaista maanvaraista alapohjaa betonilaatalla. U-arvo alapohjalle on 0,12 W/m²K. Yläpohjarakenteena käytettiin teräspeltikatteellista puurakenteista yläpohjaa, jossa on 500mm puhallettavaa selluvillaeristettä. U-arvo yläpohjalle on 0,08 W/m²K.

2-kerroksisen pientalon välipohjarakenteena käytettiin sekä puuranka-, että hirsirakenteisessa vertailuratkaisussa puuvälipohjaa. Puurakenteisena välipohjana käytettiin tyypillistä LVL-palkillista rakennetta, jossa on lisäksi mm. pintabetoni, puukuitulevy ja lasivillaeriste 100mm.

Ontelolaattarakenteista välipohjaa käytettiin puolestaan kaikissa kivirunkoisissa 2-kerroksisissa vertailuratkaisuissa. Ontelolaattarakenne koostuu ontelolaatan lisäksi pintabetonista ja täydentävistä pienimassaisista rakennusmateriaaleista.

Muut rakennuksen täydentävät rakenteet on pidetty laskennassa vakiona, alkuperäisten rakennusten mukaisina. Esimerkiksi väliseinät ovat puurakenteiset, sillä alun perin pientalot ovat olleet puurankarakenteiset.

Rakenneratkaisut on pyritty valitsemaan siten, että ne edustaisivat toteutettavissa olevia tyypillisiä Suomessa käytettäviä pientaloratkaisuja. Valinta on pohjautunut myös sille, että lämpöhäviövaatimukset täyttyisivät kullakin runkorakenneratkaisulla sekä mahdolliset energia- ja lämpöhäviöihin vaikuttavat parannukset olisivat minimissään.

Lämmitys- ja talotekniikkaratkaisut

Vertailuratkaisut on tarkasteltu runkoratkaisujen lisäksi kolmella erilaisella lämmitysmuodolla. Nämä lämmitysmuodot ovat maalämpö, suora sähkö ja kaukolämpö. Sekä maalämpö-, että kaukolämpöratkaisussa lämmönjakotapana on vesikiertoinen lattialämmitys. Suorasähköllä lämmönjakotapana puolestaan on sähköinen lattialämmitys.

Maalämpöpumppu käyttää ostoenergianaan sähköä, kuitenkin hyödyntäen suurimman osan lämmitysenergian tarpeesta maalämmöstä. Suora sähkölämmitys hyödyntää sananmukaisesti ostoenergianaan sähköä. Kaukolämpö hyödyntää lämmitykseen ostoenergian muotona kaukolämpöä ja lisäksi rakennuksen teknisten järjestelmien ostoenergiana sähköä.

Energialaskentaan vaikuttavat talotekniset ja ilmanvaihdolliset (esim. ilmanvuotoluku ja IV-kone) arvot on pyritty valitsemaan siten, että ne edustavat tyypillistä ja toteutettavissa olevaa pientaloratkaisua. Nämä on vakioitu kaikille vertailuratkaisuille. Poikkeuksena kuitenkin ovat mahdolliset parannukset, joita laskennassa oli tehtävä energiatehokkuusvaatimusten täyttymiseksi. Nämä parannukset mainitaan myöhemmin kyseisiä vertailuratkaisuja tarkastellessa.

Energiatehokkuuden parannuksista on kuitenkin poissuljettu varaava tulisija, joka pienentäisi huomattavasti sähkö- ja kaukolämpöostoen tarvetta. Varaava tulisija hyödyntää ostoenenergianaan uusiutuvaa polttoainetta, puuta, jolle ei päästötietokannan mukaisesti lasketa hiilidioksidipäästöjä energiankulutuksessa. Vertailtavuuden vuoksi varaava tulisija on siis jätetty energiatehokkuuden parannustoimenpiteiden ulkopuolelle. Yleisesti sähkölämmitteisissä pientaloissa varaava tulisija parantaa e-lukua, mutta esimerkiksi maalämpöpumpun tapauksessa varaava tulisija huonontaisi e-lukua maalämmöstä hyödyksi käytettävän osuuden pienentyessä ja ostoenenergioiden määrän suurentuessa.

Laskentaohjelmistot

Vertailuratkaisujen hiilijalanjäljen laskenta suoritettiin OneClickLCA-ohjelmistolla. Energialaskenta hiilijalanjäljen arviointia varten suoritettiin Laskentapalvelut.fi-energialaskentaohjelmistolla.

Arviointimenetelmä ja lähtötiedot

Laskelmien määrätiedot on arvioitu kohteiden rakennuslupavaiheen pääpiirustuksista ja rakennetyypeistä. Vertailuratkaisujen rakennetyyppejä muodostaessa laskentaan, pinta-alat vakioitiin ja massat muokattiin vastaamaan kutakin rakenneratkaisua.

Hiilijalanjäljen arvioinnissa käytettiin *Ympäristöministeriön Rakennuksen vähähiilisuuden arviointimenetelmä 6/2021, luonnos lausuntokierrokselle*, mukaista menetelmää.

Päästötietoina rakennusmateriaaleille on käytetty kansallisen päästötietokannan tyypillisiä arvoja. Rakennusmateriaalin tyypillinen arvo tarkoittaa sitä, että tässä hiilijalanjäljen laskenta ei sisällä konservatiivisen arvon (rakentamisluvan hakeminen) kerrointa 1,2. Päästötietokannasta saadaan materiaaleille päästötietoja elinkaaren vaiheille rakennusmateriaalien valmistukseen (A1-A3) ja rakennustuotteiden vaihtoihin arviointijakson aikana (B4). Työmaalla syntyvälle materiaalihävikille (A5) on hyödynnetty laskentaohjelmiston tarjoamat tiedot.

Joillekin rakennusmateriaaleille päästötietokanta ei laskentahetkellä tarjonnut arvioinnissa hyödynnettävää päästötietoa, joten näissä tapauksissa on käytetty materiaalin vastaavan tuotteen voimassa olevaa ympäristöselostetta tai laskentaohjelmistosta löytyvää geneeristä arvoa. Tällaisia rakennusmateriaaleja ovat mm. yläpohjan aluskate, märkätilojen laattojen kiinnityslaasti, maalämpöpumppu ja palontorjuntalaitteisto. Näiden massojen päästöt ovat hyvin pieni osa vertailuratkaisujen kokonaispäästöistä.

Talotekniikan (vesijohtojärjestelmä, sähköasennukset ja kaapeloinnit, ilmanvaihtojärjestelmä, lämmönjakokeskus) osalta laskennassa on käytetty aiemman Ympäristöministeriön vähähiilisuuden arviointimenetelmän mukaisia neliöperäisiä taulukkoarvoja. Näille materiaaleille kansallinen päästötietokanta ei laskentahetkellä tarjonnut kattavaa pientalolle vertailukelpoista arviointiratkaisua päästötietoineen.

Päästötietokannan päästötietoja on käytetty elinkaaren vaiheille rakennustyömaan toiminnot (A5) ja purkutyömaan toiminnot (C1). Muille arvioitaville elinkaaren vaiheille, eli kuljetukset työmaalle (A4) ja jatkokäsittelyyn (C2) sekä jätteenkäsittely ja loppusijoitus (C3-4) on käytetty aiemman arviointimenetelmän mukaisia taulukkoarvoja. Päästötietokanta tarjoaa näille elinkaaren vaiheille erityisiä hankekohtaisia arviointitapoja, joita ei tässä arvioinnissa ole tarkasteltu.

Kullekin vertailuratkaisulle suoritettiin energialaskenta voimassa olevien määräysten mukaisesti, mistä saatiin ostoenergian määrä ja energiamuoto vähähiilisyden arviointiin. Käytönaikaisen energiankulutuksen päästökertoimina on käytetty kansallisen päästötietokannan hyödynjakomenetelmän arvoja ja laskentamenetelmää. Energiankulutuksen päästöt on laskettu alkavaksi vuodesta 2022.

Arviointimenetelmän mukaisesti laskennan arviointijakso on 50 vuotta.

Tulokset

Arviointimenetelmän mukaisesti tulokset jaotellaan erikseen sekä rakennukselle, että rakennuspaikalle. Tulosten tarkastelussa on huomioitu vain rakennuksen hiilijalanjälki rakennuspaikan hiilijalanjäljen ollessa oletetusti vakio kullekin vertailuratkaisulle.

Kokonaishiilijalanjälki muodostuu rakennuksen elinkaaren eri vaiheista. Elinkaaren vaiheiden päästöjen osuudet muodostuvat sekä vertailuratkaisujen materiaalien ja rakenneratkaisujen hankekohtaisista päästöistä, että yleisistä taulukkoarvoista päästöille. Näiden lähtötiedot on mainittu tarkemmin aiemmin tekstissä. Tuloksissa kullekin vertailuratkaisulle muodostuu samansuuruiset päästöt seuraavista elinkaaren vaiheista (taulukkoarvo): kuljetus työmaalle (A4), uudisrakennustyömaan toiminnot (A5-YM), korjausten energiankulutus (B3-4) sekä purkutyömaan toiminnot, jatkokäsittelyn kuljetus ja jätteenkäsittely ja loppusijoitus (C1-4). Nämä elinkaaren osuudet eivät siis aiheuta eroja eri vertailuratkaisujen välillä.

Energialaskennan yhteydessä huomattiin, että sähkölämmitysratkaisu ei täytä energiatehokkuusvaatimuksia millään runkovertailuratkaisuista. Vertailtavuuden vuoksi sähkölämmitysratkaisuihin tehtiin taloteknisiä lisäyksiä ja parannuksia vaatimusten täyttymiseksi. Kullekin runkoratkaisulle on pyritty löytämään kustannustehokkain ja käytännön tasolla toteutettavissa oleva parannusratkaisu. Huomioitavaa on, että eri lämmitysmuotojen lämmöntuotannon laitteet tuottavat oman osuutensa päästöistä, joten nämä itsessään aiheuttavat pientä vaihtelua lämmitysratkaisujen materiaali-päästöjen osalta.

Energialaskennan ostoenergian kulutukseen eroja eri runkoratkaisujen välillä aiheuttavat ulkoseinärakenteiden U-arvon lisäksi mm. rakennuksen sisäpuolisen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvot ja viivamaisen kylmäsillan aiheuttamat lisäkonduktanssit rakenneliitoksissa.

1-kerroksinen pientalo

Vähähiilisyiden arvioinnissa yksikerroksisen pientalon lämmitettynä nettoalana on 116m² ja arviointijakson pituus on arviointimenetelmän mukaisesti 50 vuotta.

1-kerroksisen pientalon rakennuspaikan hiilijalanjälki on tässä 1,39 kg CO₂e/m²/a. Tarkastelu on tehty tavanomaisilla pientalon perusteilla, eli betonianturalla ja -sokkelilla täydentävine rakennusmateriaaleineen. Rakennuspaikan hiilijalanjälki sisältää lisäksi maa- ja pohjarakentamisesta aiheutuvien päästöjen taulukkoarvon kansallisen päästötietokannan mukaisesti. Rakennuspaikan pinta-alana on rakennuksen lämmitetty nettoala ja arviointijakson pituutena 50 vuotta.

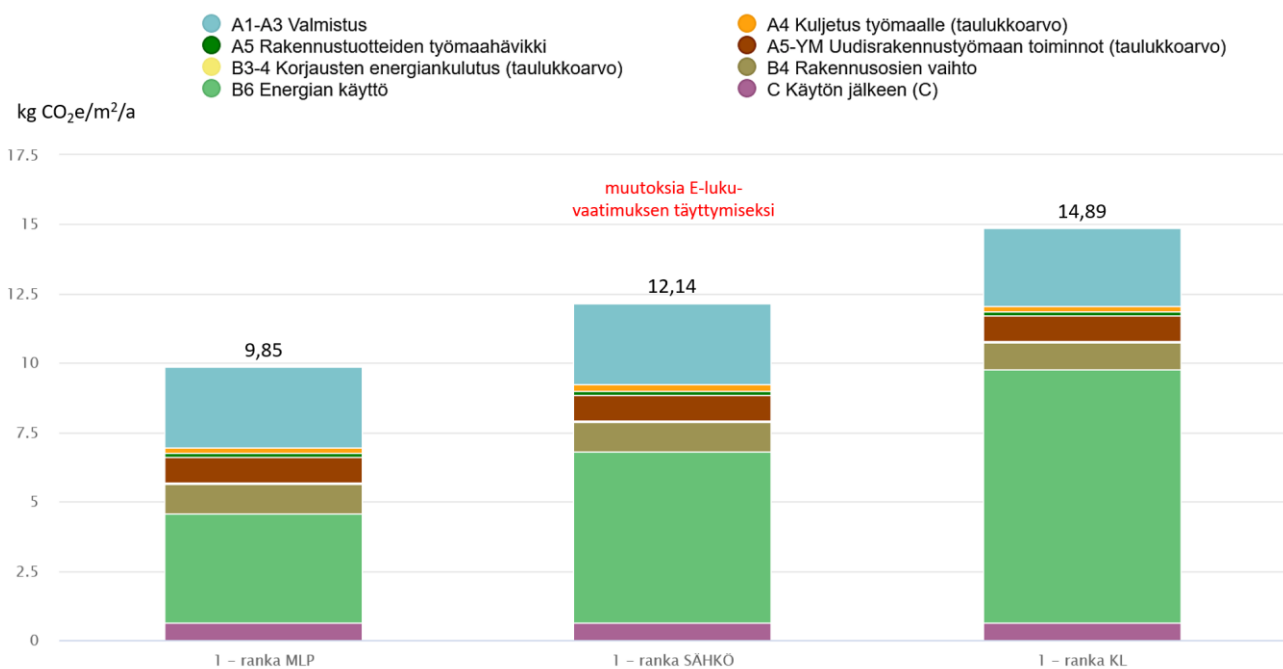
Puuranka

Rankarunkoisen 1-kerroksisen pientalon rakenteet koostuvat puurankaukoseinästä ($U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$) ja vakioiduista ala- ja yläpohjarakenteista. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

Energiatehokkuusvaatimusten täyttymiseksi sähkölämmitteiseen vertailuratkaisuun lisättiin ilmalämpöpumppu ja käyttövesiverkoston vakio paineventtiili. Nämä toimenpiteet pienensivät sähkölämmitteisen vertailuratkaisun ostoenergian määrää 3141 kWh/vuosi.

Toimenpiteiden jälkeen sähkölämmitysratkaisun ostoenergian määrä on 12 059 kWh/vuosi. Maalämpölämmitteisellä pientalolla ostoenergian määrä puolestaan on 7694 kWh/vuosi ja kaukolämpölämmitteisellä 3739 kWh/vuosi (sähkö) sekä 12121 kWh/vuosi (kaukolämpö).

Alla olevassa diagrammissa on esitetty puurankarunkoisen 1-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Vertailuratkaisuja tarkastellessa voidaan huomata, että ostoenergian määrän suurentuessa ja sekä energiamuodon muuttuessa kaukolämmöksi, käytönaikaisen energiankulutuksen merkitys kasvaa.

Maalämpöratkaisussa materiaali-kohtaiset vaiheet (A1-3, A5, B4) muodostavat 42% rakennuksen kokonaishiiilijalanjäljestä, energiankulutuksen ollessa 40%. Maalämpöratkaisussa, jossa energiankulutuksen osuus on pieni, runkoratkaisulla on korostunut merkitys. Muilla lämmitysratkaisuilla energiankäytön osuus on selkeästi materiaali-kohtaisten vaiheiden osuutta suurempi. Sähkölämmitysratkaisulla vaiheet A1-3, A5 ja B4 muodostavat 34% kokonaishiiilijalanjäljestä ja energiankulutus 51%. Kaukolämpöratkaisulla puolestaan materiaalin

osuus on 27% ja energiankulutuksen 61%.

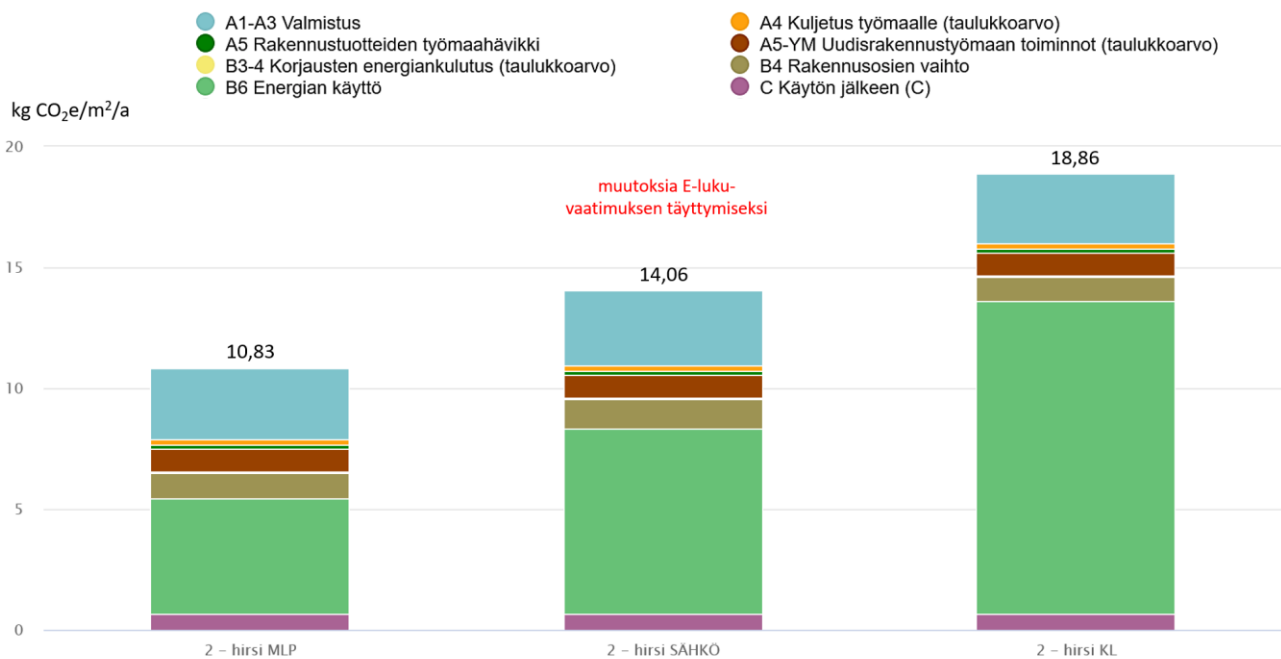
Hirsi

Hirsirunkoisen 1-kerroksisen pientalon rakenteet koostuvat lamellihirsiulkoseinästä ($U=0,53$ W/m^2K) ja vakioiduista ala- ja yläpohjarakenteista. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

Energiatohokkuusvaatimusten täyttymiseksi toteutustehokkaimpana vaihtoehtona sähkölämmitysratkaisuun lisättiin kaksi ilmalämpöpumppua ja käyttövesiverkoston vakiopaineventtiili. Lisäksi ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhde nostettiin arvoon 83% (arvosta 78%).

Tämän seurauksena sähkölämmitteisen vertailuratkaisun ostoenergian määrä pieneni 5838 kWh/vuosi ja lopullinen määrä on 15025 kWh/vuosi. Maalämpöpumpulla puolestaan ostoenergian määrä on 9405 kWh/vuosi ja kaukolämmöllä 3738 kWh/vuosi (sähkö) sekä 18624 kWh/vuosi (kaukolämpö).

Alla olevassa diagrammissa on esitetty hirsirunkoisen 1-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla elinkaaren vaiheineen.



Vertailuratkaisuja tarkastellessa voidaan havaita, että myös hirsirunkoisessa vertailuratkaisussa rakennuksen hiilijalanjälki nousee ostoenergian määrän suurentuessa ja sekä energiamuodon muuttuessa kaukolämmöksi. Maalämpöpumppuratkaisussa materiaalikohtaisten vaiheiden (A1-3, A5, B4) osuus on 39% ja käytönaikaisen energiankulutuksen 44%. Sähkölämmitysratkaisussa

materiaalien vaiheiden osuus on 33% ja energiankulutuksen puolestaan 54%. Kaukolämmitteisessä hirsitalossa materiaalikohtaiset päästöt tuottavat 22% kokonaishiilijalanjäljestä ja energiankulutuksen osuus on 69%.

Kaukolämmön energiankulutuksen suurentuneet hiilidioksidipäästöt ovat seurausta sekä kaukolämmön päästökertoimista, että suuremmasta ostoenergiankulutuksesta vuodessa verrattuna sähköostoenergiaratkaisuihin. Kaukolämpöä tarvitaan lämmitykseen yksiköllisesti enemmän, tuoton hyötysuhteen ollessa sähköenergiaa pienempi. Hirsirunkoisessa pientalossa tämä korostuu entisestään lamellihirsiseinän U-arvosta johtuen, jolloin energiankulutuksen määrä on myös suurentunut.

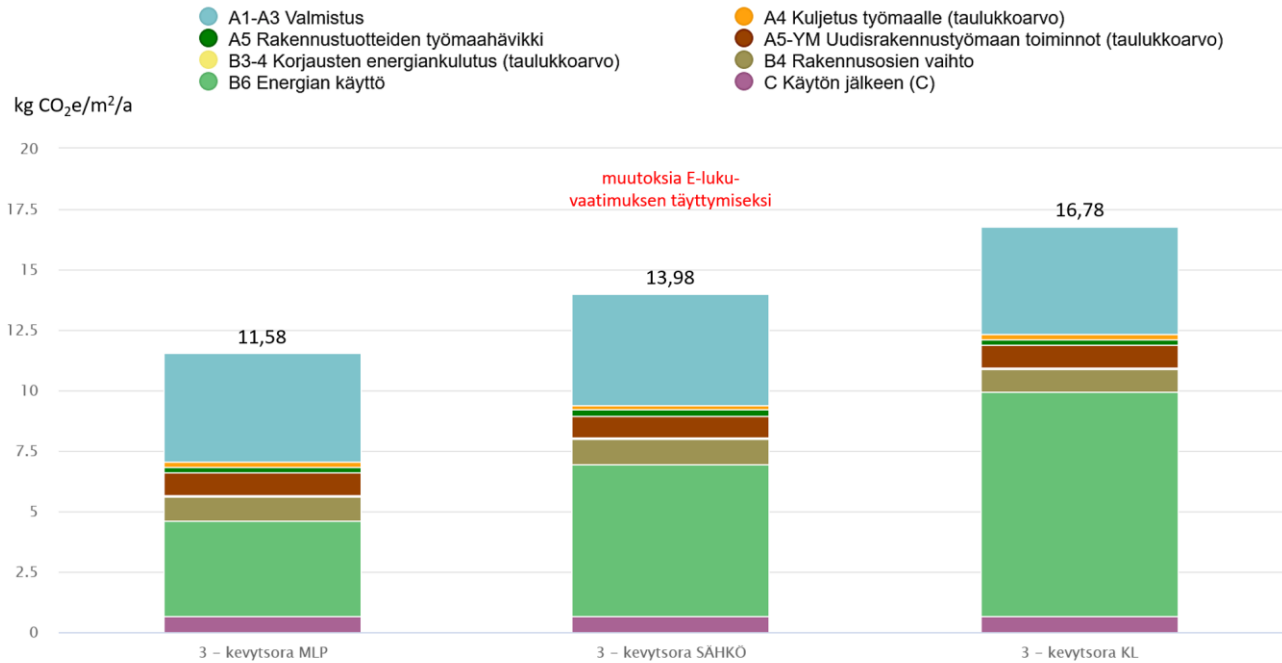
Kevytsoraharkko

Kevytsoraharkkorunkoisen 1-kerroksisen pientalon rakenteet koostuvat muurattavasta kevytsoraharkkoulkoseinästä ($U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$) ja vakioiduista ala- ja yläpohjarakenteista. Eristetyn kevytsoraharkon paksuus on 350mm. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

Energiatohokkuusvaatimusten täyttymiseksi sähkölämmitysratkaisuun lisättiin energiatohokkuutta parantavia tekijöitä. Nämä lisäykset ovat ilmalämpöpumppu ja käyttövesiverkoston vakiopaineventtiili. Parannukset pienensivät sähkölämmitysratkaisun ostoenergian määrää 3140 kWh/vuosi.

Toimenpiteiden jälkeen sähkölämmitteisen ratkaisun ostoenergian määrä on 12362 kWh/vuosi. Maalämpöpumppuratkaisun ostoenergian määrä puolestaan on 7786 kWh/vuosi ja kaukolämmöllä 3739 kWh/vuosi (sähkö) sekä 12479 kWh/vuosi (kaukolämpö).

Alla olevassa diagrammissa on esitetty kevytsoraharkkorunkoisen 1-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Vertailuja tarkastellessa, kevytsorarunkoratkaisussa materiaaliikohtaisten vaiheiden (A1-3, A5, B4) merkitys on suhteellisen suuri maalämpöratkaisussa. Maalämpöratkaisussa sen osuus kokonaishiilijalanjäljestä on 50% ja energiankulutuksen osuus on puolestaan 34%. Sähkölämmitysratkaisussa materiaalien osuus kokonaishiilijalanjäljestä on 42% ja energiankulutuksen 45%. Kaukolämpöratkaisussa materiaaliikohtaisten päästöjen osuus on 34% ja energiankulutuksen taasen 55%. Käytönaikaisen energiankulutuksen merkitys kasvaa ostoenergian määrän suurentuessa ja energiamuodon muuttuessa sähköstä kaukolämmöksi.

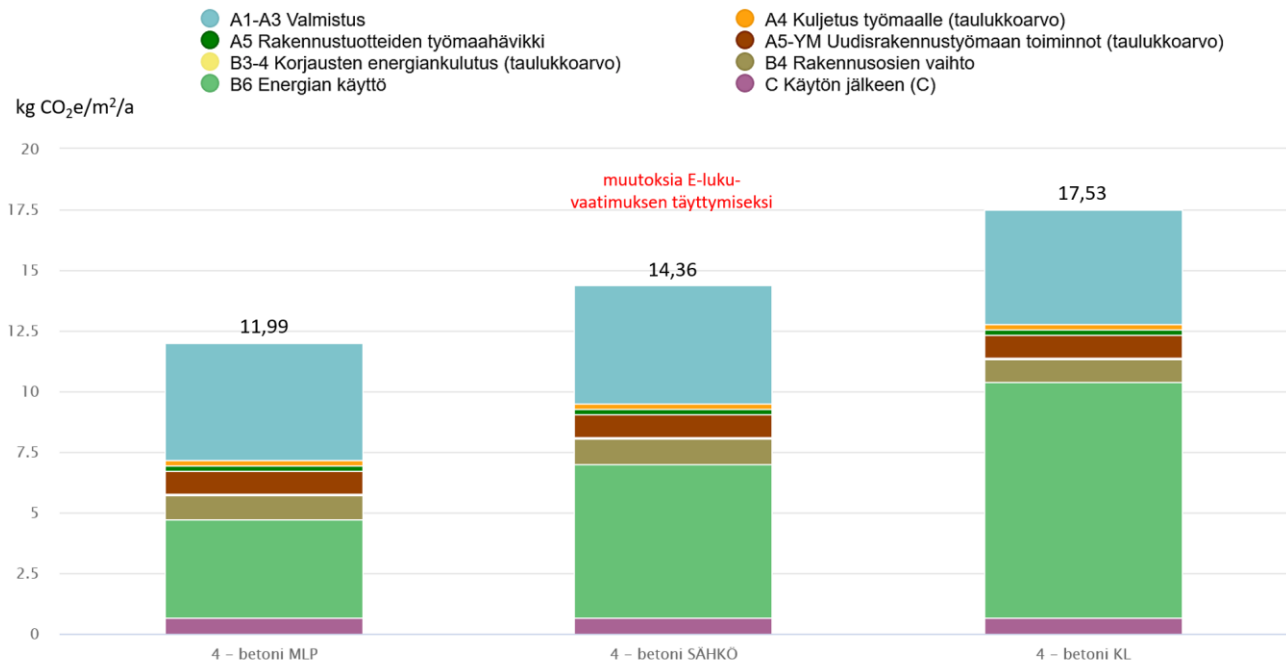
Betoniharkko

Betoniharkkorunkoisen 1-kerroksisen pientalon ulkoseinärakenne koostuu eristetyistä ladottavista betoniharkkoista ($U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$), jossa harkko on 400mm paksu ja sen ontelot valetaan betonilla rakentamisvaiheessa. Ylä- ja alapohjarakenteet ovat vakioidun mukaiset. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

E-lukuvaatimuksen täyttämiseksi sähkölämmityksen vertailuratkaisuun lisättiin ilmalämpöpumppu ja käyttövesiverkoston vakioipaineventtiili. Lisäksi ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhde nostettiin arvoon 83% (arvosta 78%) ja ilmanvuotoluku laskettiin arvoon 0,5 (arvosta 1,0).

Toimenpiteiden seurauksena sähkölämmitteisen ratkaisun ostoenergian määrä pieneni 3626 kWh/vuosi. Lopullinen ostoenergian määrä kyseisellä ratkaisulla on 12508 kWh/vuosi. Maalämpölämmitteisen ratkaisun vaatima ostoenergian määrä on 7976 kWh/vuosi ja kaukolämmitteisen 3739 kWh/vuosi (sähkö) sekä 13208 kWh/vuosi (kaukolämpö).

Alla olevassa diagrammissa on esitetty betoniharkkorunkoisen 1-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Vertailuratkaisuja tarkastellessa voidaan huomata, että maalämpöratkaisussa rakennusmateriaalikohtaisten vaiheiden (A1-3, A5, B4) osuus kokonaishiilijalanjäljestä on suurin. Maalämpöratkaisussa materiaalien vaiheiden osuus on 51% ja energiankulutuksen osuus on 34%. Sähkölämmitysratkaisussa puolestaan rakennusmateriaalien elinkaaren vaiheiden osuus on 43% ja energiankulutuksen 44%. Kaukolämpöratkaisussa puolestaan materiaalien osuus on 34% kokonaishiilijalanjäljestä ja energiankulutuksen 56%. Maalämpöpumppuratkaisussa materiaalikohtaisten vaiheiden päästöt ovat merkitykseltään suurimmat, energiankulutuksen ollessa pienin.

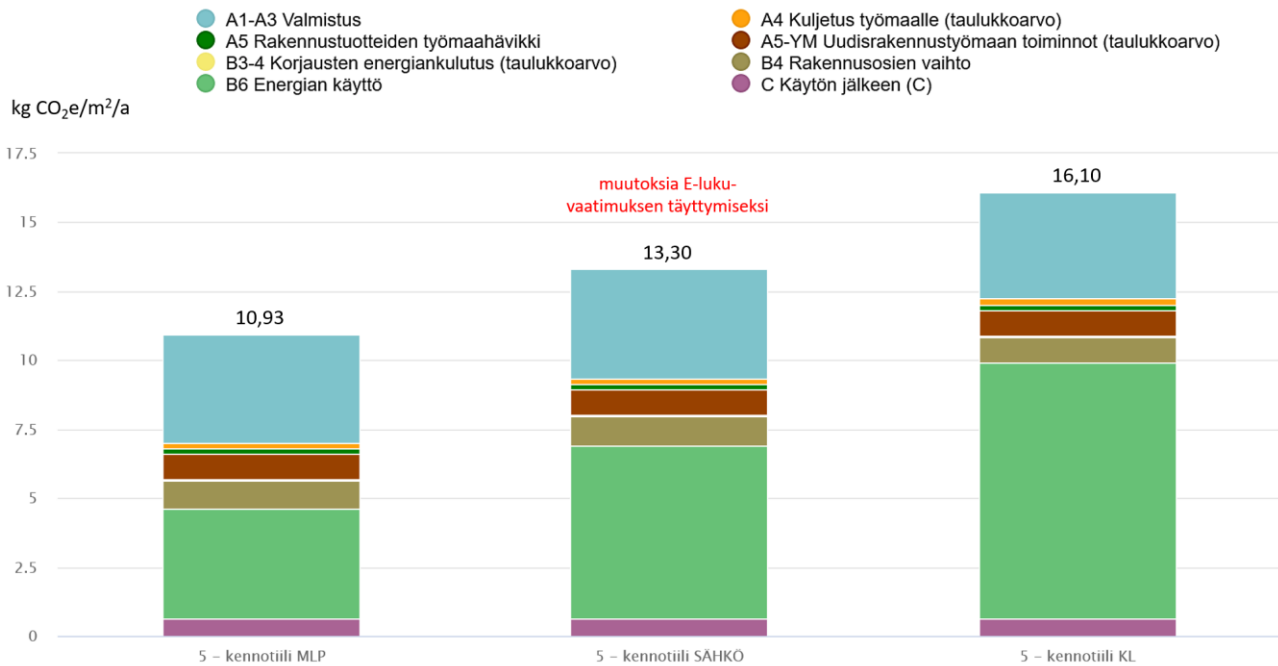
Kennotiili

Kennotiilirunkoisen 1-kerroksisen pientalon rakenteet koostuvat 490mm paksusta avokennoharkkoulkoseinästä ($U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$) ja vakioiduista ala- ja yläpohjarakenteista. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

Energiatohokkuusvaatimusten täyttymiseksi sähkölämmitteiseen vertailuratkaisuun lisättiin ilmalämpöpumppu ja käyttövesiverkoston vakio paineventtiili. Toimenpiteet pienensivät vertailuratkaisun ostoenergian määrää 3140 kWh/vuosi.

Muutosten jälkeen sähkölämmitysratkaisun ostoenergian määrä on 12278 kWh/vuosi. Maalämpölämmitteisen vertailuratkaisun ostoenergia puolestaan on 7760 kWh/vuosi sekä kaukolämpitteisen 3739 kWh/vuosi (sähkö) ja 12383 kWh/vuosi (kaukolämpö).

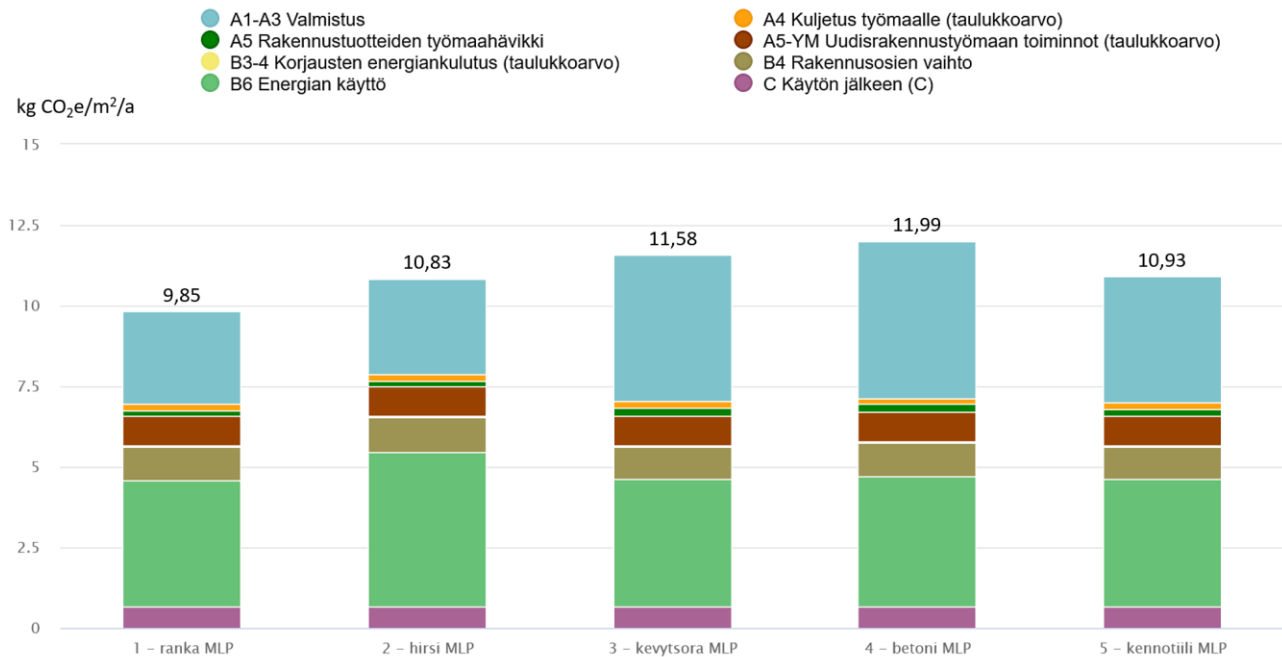
Alla olevassa diagrammissa on esitetty kennotiilirunkoisen 1-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Kennotiilirunkoisen pientalon maalämpöratkaisussa rakennusmateriaalien elinkaaren vaiheiden (A1-3, A5, B4) osuus on 47% kokonaishiilijalanjäljestä ja energiankulutuksen puolestaan 36%. Sähkölämmitysratkaisussa materiaalien osuus kokonaishiilijalanjäljestä on 39% ja energiankulutuksen osuus 47%. Kaukolämpitteisessä ratkaisussa rakennusmateriaalien vaiheiden osuus on sen sijaan 31% ja energiankulutuksen 58% kokonaishiilijalanjäljestä. Ostoenergian määrän kasvaessa ja energiamuodon muuttuessa sähköstä kaukolämmöksi, kasvaa kokonaishiilijalanjälki.

Runkoratkaisuvaihtoehdot vertailtuna

Alla olevassa diagrammissa on esitetty 1-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset elinkaaren vaiheineen aiemmin mainituilla runkoratkaisuilla. Kaikissa runkovertailuratkaisuissa lämmitysmuotona on maalämpöpumppu.



Diagrammia tarkastellessa voidaan havaita, että sekä puuranka-, että kivrunkoisilla 1-kerroksisilla pientaloilla käytönaikaisen energiankulutuksen aiheuttaman päästöt ovat hyvin samansuuruiset. Hirsirunkoisella pientalolla energiankulutuksen aiheuttamien päästöjen merkitys on suurempi johtuen runkorakenteen suuremmasta U-arvosta ja täten suuremmasta lämmityksen energiantarpeesta.

Suurimmat erot tässä yhden lämmitysratkaisun vertailussa syntyvät rakennusmateriaalien valmistuksesta (A1-3). Valubetoniharkkoratkaisulla, jolla on suurin kokonaishiilijalanjälki tässä vertailussa, rakennusmateriaalien valmistus aiheuttaa 4,84 kg CO₂e/m²/a ja sen osuus on 40% hiilijalanjäljestä. Kevytsoraharkkorakenteella, jonka kokonaishiilijalanjälki on toiseksi suurin, materiaalien valmistus aiheuttaa päästöjä 4,53 kg CO₂e/m²/a ja sen osuus on 39% kokonaishiilijalanjäljestä. Betoniharkkorakenteella käytönaikainen energiankulutus tuottaa päästöjä 4,06 kg CO₂e/m²/a ja kevytsorarakenteinen sen sijaan 3,97 kg CO₂e/m²/a. Betoniharkkorungolla siis materiaalien valmistuksen ja käytönaikaisen energiankulutuksen päästöt ovat suuremmat kuin kevytsorarakenteisella ratkaisulla.

Kahden vähäpäästöisimmän runkoratkaisun, puurangan ja hirren välillä suurimman eron kokonaishiilijalanjäljessä aiheuttaa käytönaikaisen energiankulutuksen päästöt. Lamellihirsiseinällä on kuitenkin myös hieman suuremmat materiaalin valmistuksen aiheuttamat päästöt puurankarunkoon verrattuna. Hirsirunkoisien pientalon rakennusmateriaalien valmistus aiheuttaa päästöjä 2,96 kg CO₂e/m²/a ja puurankarunkoisien puolestaan 2,89 kg CO₂e/m²/a.

Kivrunkoisista pienimmän hiilijalanjäljen muodostaa kennotiili. Sekä käytönaikainen energiankulutus, että materiaalien vaiheiden päästöt ovat kivrunkoisista pienimmät. Laskennassa käytetyn avokennotiilen paksuus on 490mm. Huomionarvoista on kuitenkin se, että kennotiilen kohdalla käytettiin kyseisen tuotteen ympäristöselostetta, joka antaa tarkemmat ja mahdollisesti pienemmät materiaalin vaiheiden päästöt kuin geneerinen rakennusmateriaalien päästötieto, jota

muilla materiaaleilla käytettiin. Tämän lisäksi kennotiilen kuljetukset työmaalle on arvioitu samoin taulukkoarvoin muiden runkorakennusratkaisujen kanssa arvioinnin vajavaisten päästötietojen vuoksi. Täten, kennotiilen ollessa tuontituote, suurempia kuljetuksen päästöjä ei ole tässä huomioitu.

Pienimmän ja suurimman rakennuksen hiilijalanjäljen tuottavien runkoratkaisujen välillä oleva ero on 2,14 kg CO₂e/m²/a. Tämä on noin 18% kyseessä olevan vertailuratkaisun suurimmasta kokonaishiilijalanjäljestä.

2-kerroksinen pientalo

Tarkasteluissa kaksikerroksisen pientalon lämmitetty nettoala on 171m² ja arviointijakson pituus on arviointimenetelmän mukaisesti 50 vuotta.

2-kerroksisen pientalon rakennuspaikan hiilijalanjälki on tässä 0,94 kg CO₂e/m²/a. Tarkastelu on tehty tavanomaisilla pientalon perustuksilla, eli betonianturalla ja -sokkelilla täydentävine rakennusmateriaaleineen. Ulkoseinien lisäksi myös kantavien väliseinien alapuolelle on laskennassa oletettu perustukset. Rakennuspaikan hiilijalanjälki sisältää lisäksi maa- ja pohjarakentamisesta aiheutuvien päästöjen taulukkoarvon kansallisen päästötietokannan mukaisesti. Rakennuspaikan pinta-alana on rakennuksen lämmitetty nettoala ja arviointijakson pituutena 50 vuotta.

Puuranka

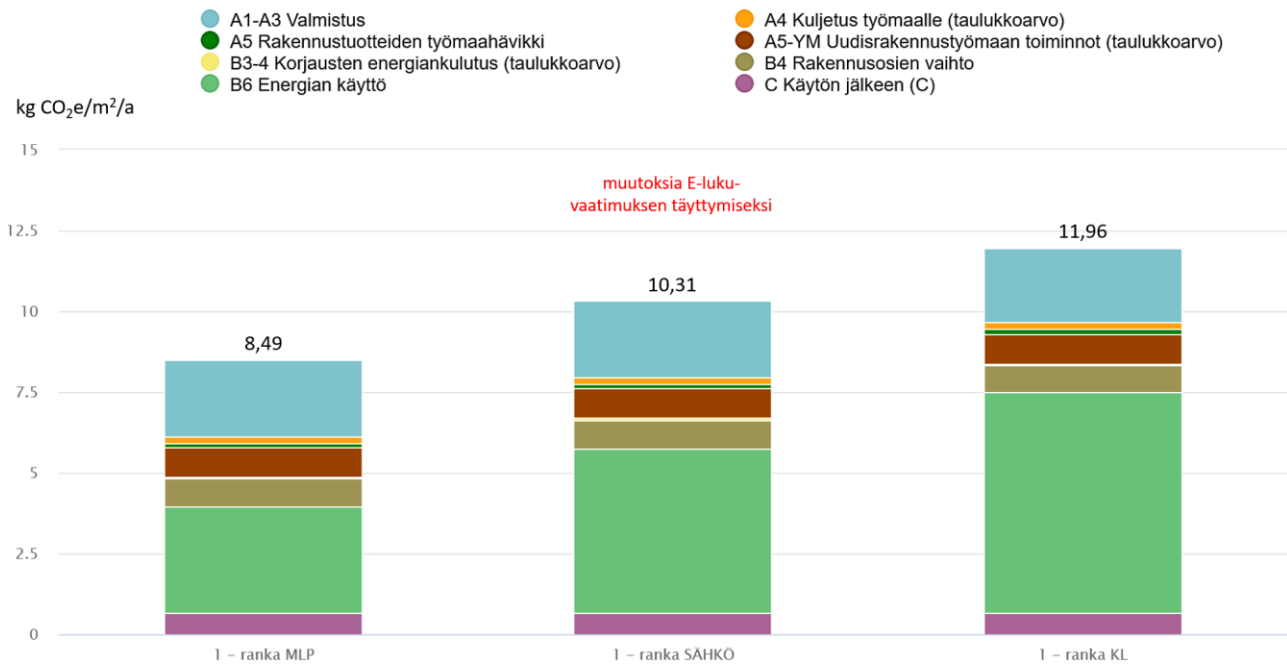
Puurankarunkoisen 2-kerroksisen pientalon rakenteet koostuvat puurankaulkoseinästä (U= 0,16 W/m²K), puurakenteisesta välipohjasta sekä vakioiduista ala- ja yläpohjarakenteista. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

Energiätehokkuuden vaatimusten täyttymiseksi sähkölämmitteiseen vertailuratkaisuun lisättiin ilmalämpöpumppu. Tämä toimenpide vähensi vertailuratkaisun ostoenergian kulutusta 2458 kWh/vuosi.

Näin sähkölämmitysratkaisun ostoenergian määrä on 14745 kWh/vuosi.

Maalämpöpumppuratkaisulla puolestaan ostoenergian määrä on 9522 kWh/vuosi ja kaukolämpöratkaisulla 5524 kWh/vuosi (sähkö) sekä 12269 kWh/vuosi (kaukolämpö).

Alla olevassa diagrammissa on esitetty puurankarunkoisen 2-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Hiilijalanjäljen arvioinnissa tässä maalämpöpumppuratkaisun rakennusmateriaalikohtaiset (A1-3, A5, B4) päästöt ovat 40% kokonaishiilijalanjäljestä ja energiankulutuksen osuus on 39%. Sähkölämmitysratkaisussa osuudet ovat materiaaleilla 33% ja käytönaikaisella energiankulutuksella 49%. Kaukolämpöratkaisussa taas materiaalien elinkaaren vaiheiden osuus on 28% ja energiankulutuksen 57%. Materiaalien elinkaaren vaiheiden merkitys kokonaishiilijalanjäljestä on suurin maalämpöpumppuratkaisulla, jossa ostoenergian määrä ja energiamuoto ovat vähäpäästöisimmät.

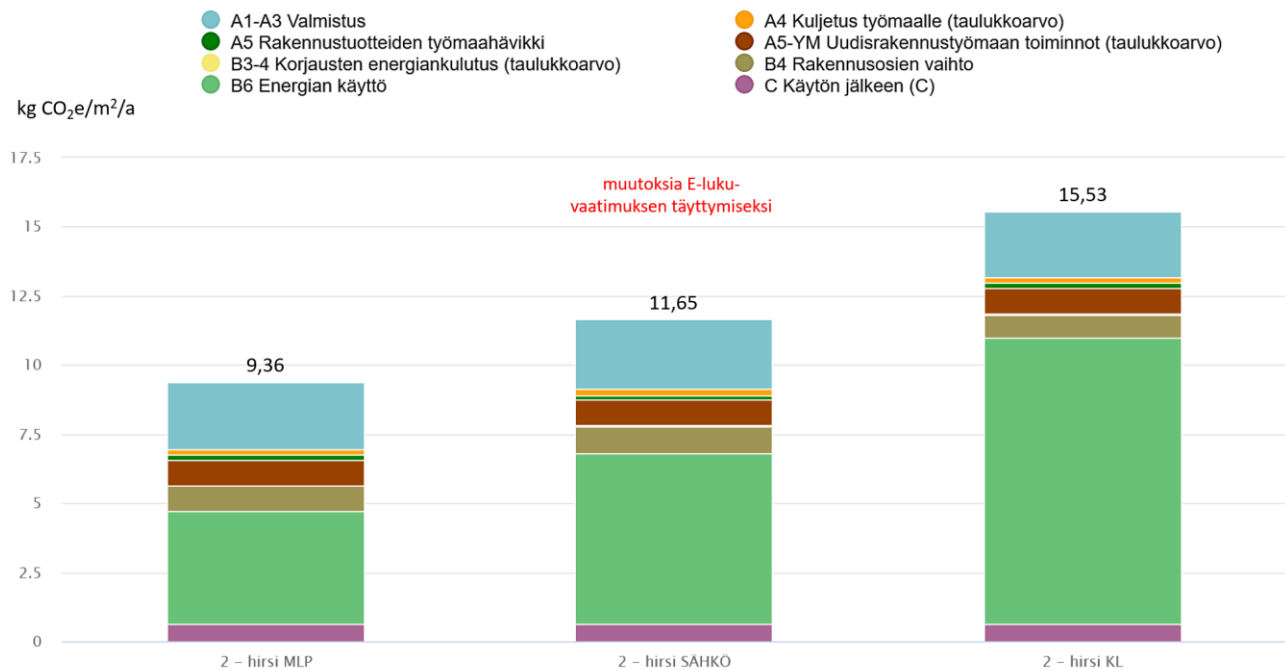
Hirsi

2-kerroksisen hirsirunkoisen pientalon rakenteet koostuvat lamellihirsiseinästä ($U = 0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$), puurakenteisesta välipohjasta sekä vakioiduista ylä- ja alapohjarakenteista. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

E-lukuvaatimuksen täyttämiseksi sähkölämmitysratkaisuun lisättiin kaksi ilmalämpöpumppua, käyttövesiverkoston vakio paineventtiili ja tyypitettiin lämminvesivaraaja varaajahäviöiden pienentämiseksi oletusarvoisesta. Lisäksi ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhde nostettiin arvoon 85% (arvosta 78%) ja ilmanvuotoluku laskettiin arvoon 0,3 (arvosta 1,0). Nämä toimenpiteet vähensivät ratkaisun ostoenergian kulutusta 7175 kWh/vuosi. On kuitenkin huomioitava, että nämä ilmanvaihdolliset arvot ovat toteutettavissa vain erityisellä suunnittelulla ja toteutuksella.

Muutosten jälkeen sähkölämmitysratkaisun ostoenergian määrä on 17775 kWh/vuosi (sähkö). Maalämpöratkaisun ostoenergian määränä puolestaan on 11802 kWh/vuosi ja kaukolämmöllä 5524 kWh/vuosi (sähkö) sekä 20932 kWh/vuosi (kaukolämpö).

Alla olevassa diagrammissa on esitetty hirsirunkoisen 2-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Hirsirunkoisella maalämpöpumppuratkaisulla rakennusmateriaalien elinkaaren vaiheiden (A1-3, A5, B4) osuus kokonaishiilijalanjäljestä on 37% ja energiankulutuksen osuus 44%. Sähkölämmityksellä puolestaan materiaalien elinkaaren vaiheet muodostavat 32% ja energiankulutuksen 53% kokonaishiilijalanjäljestä. Kaukolämpöratkaisulla materiaalien osuus on 22% ja käytönaikaisen energiankulutuksen 67% kokonaishiilijalanjäljestä.

Kaukolämpöratkaisussa energiankulutuksen merkitys kokonaishiilijalanjäljestä on selkeästi suurentunut muihin lämmitysratkaisuihin verrattuna. Tämä johtuu kaukolämmön energian suurentuneesta tarpeesta hirsirakenteella. Lisäksi sähkölämmitysratkaisussa on huomioitava, että tässä talotekniikkaa ja ilmanvaihdollisia arvoja on muokattu merkittävästi E-lukuvaatimuksen täyttymiseksi, millä on ollut suuri vaikutus ostoenergian kulutuksen määrään.

Kevytsoraharkko

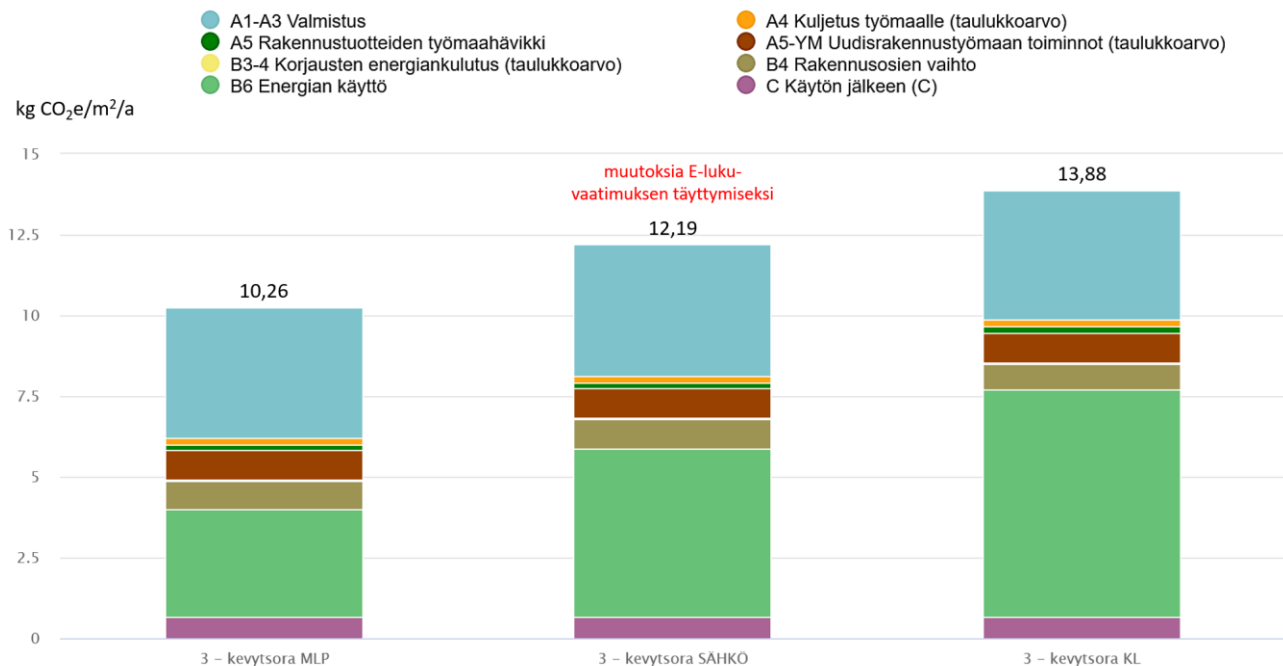
Kevytsoraharkkorunkoisen 2-kerroksisen pientalon rakenteet koostuvat muurattavasta kevytsoraharkkoulkoseinästä ($U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$), ontelolaattavälipohjasta sekä vakioiduista ala- ja

yläpohjarakenteista. Eristetyn kevytsoraharkon paksuus on 350mm. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

Energialaskennan yhteydessä kyseiseen sähkölämmitysratkaisuun tehtiin lisäyksiä talotekniikan osalta energiatehokkuusvaatimusten täyttymiseksi. Vaatimukset täyttyivät, kun ratkaisuun lisättiin ilmalämpöpumppu. Tämä toimenpide pienensi sähkölämmitysratkaisun ostoenergian kulutusta 2458 kWh/vuosi.

Muutoksen jälkeen sähkölämmitteisen ratkaisun ostoenergian määrä on 15160 kWh/vuosi. Maalämpöpumppuratkaisu kuluttaa ostoenergiaa 9645 kWh/vuosi ja kaukolämpöratkaisu puolestaan 5524 kWh/vuosi (sähkö) sekä 12731 kWh/vuosi (kaukolämpö).

Alla olevassa diagrammissa on esitetty kevytsoraharkkorunkoisen 2-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Kevytsoraharkkorunkoisella maalämpöratkaisulla kokonaishiilijalanjäljestä 50% muodostuu materiaaliikohtaisista elinkaaren vaiheiden (A1-3, A5, B4) päästöistä ja 32% energian käytöstä. Sähkölämmitysratkaisulla puolestaan materiaalien vaiheiden osuus on 42% ja energiankulutuksen 43%. Rakennusmateriaalien elinkaaren vaiheiden osuus kaukolämmitteisellä ratkaisulla on 33% kokonaishiilijalanjäljestä ja energiankulutuksen 51%.

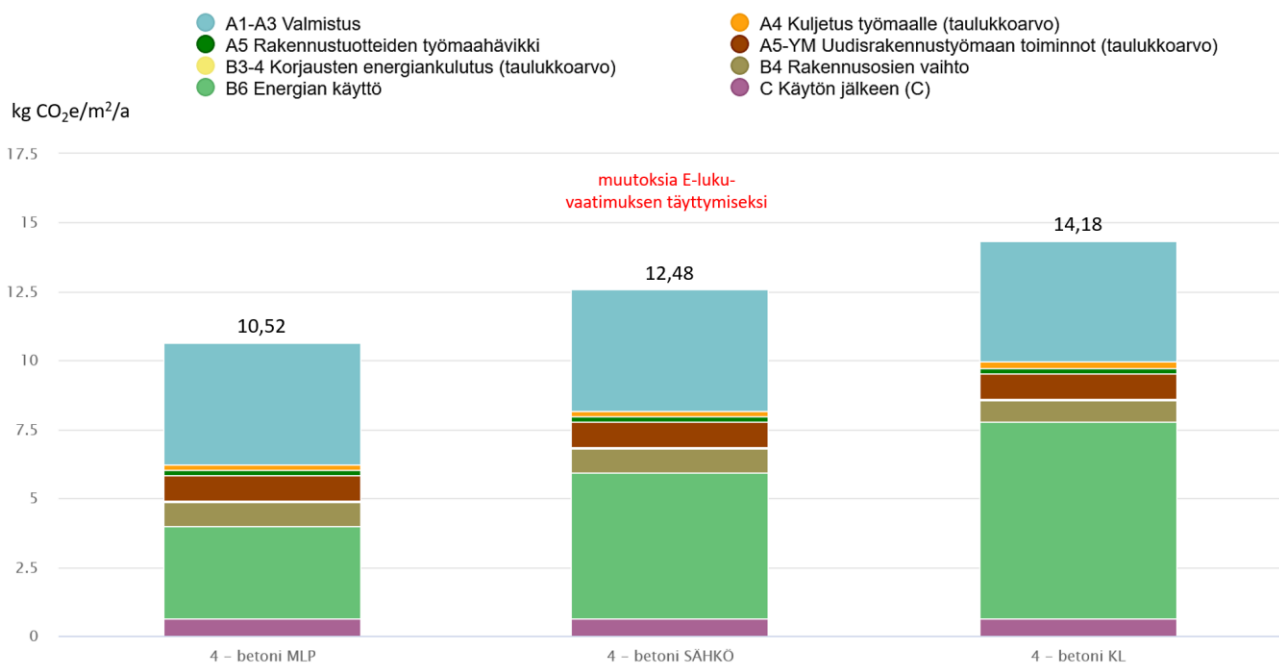
Betoniharkko

2-kerroksisen betoniharkkorunkoisen pientalon rakenteet koostuvat 400mm paksusta eristetyistä betoniharkkoseinistä ($U = 0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$), ontelolaattaväli- ja vakioalajärjestelmästä sekä vakioalajärjestelmästä. Betoniharkkoseinä rakennetaan ladontatekniikalla ja harkkojen ontelot täytetään valubetonilla.

E-lukuvaatimuksen täyttämiseksi sähkölämmitysratkaisuun lisättiin ilmalämpöpumppu. Ilmalämpöpumpun lisääminen kyseiseen ratkaisuun vähensi ostoenergian kulutusta 2458 kWh/vuosi.

Toimenpiteen jälkeen sähkölämmitysratkaisun ostoenergian määrä on 15300 kWh/vuosi. Maalämpöpumppuratkaisun ostoenergian kulutus on 9686 kWh/vuosi ja kaukolämmön puolestaan 5524 kWh/vuosi (sähkö) sekä 12890 kWh/vuosi (kaukolämpö).

Alla olevassa diagrammissa on esitetty betoniharkkorunkoisen 2-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Maalämpöratkaisussa rakennusmateriaalien elinkaaren vaiheiden (A1-3, A5, B4) aiheuttamien päästöjen osuus on 51% ja energian käytön 32% kokonaishiilijalanjäljestä. Sähkölämmitteisellä ratkaisulla nämä osuudet ovat puolestaan materiaalien kohdalla 43% ja energiankulutuksen 42%. Kaukolämmön vertailuratkaisussa materiaalien vaiheiden päästöt muodostavat 37% ja energiankulutus 50% kokonaishiilijalanjäljestä.

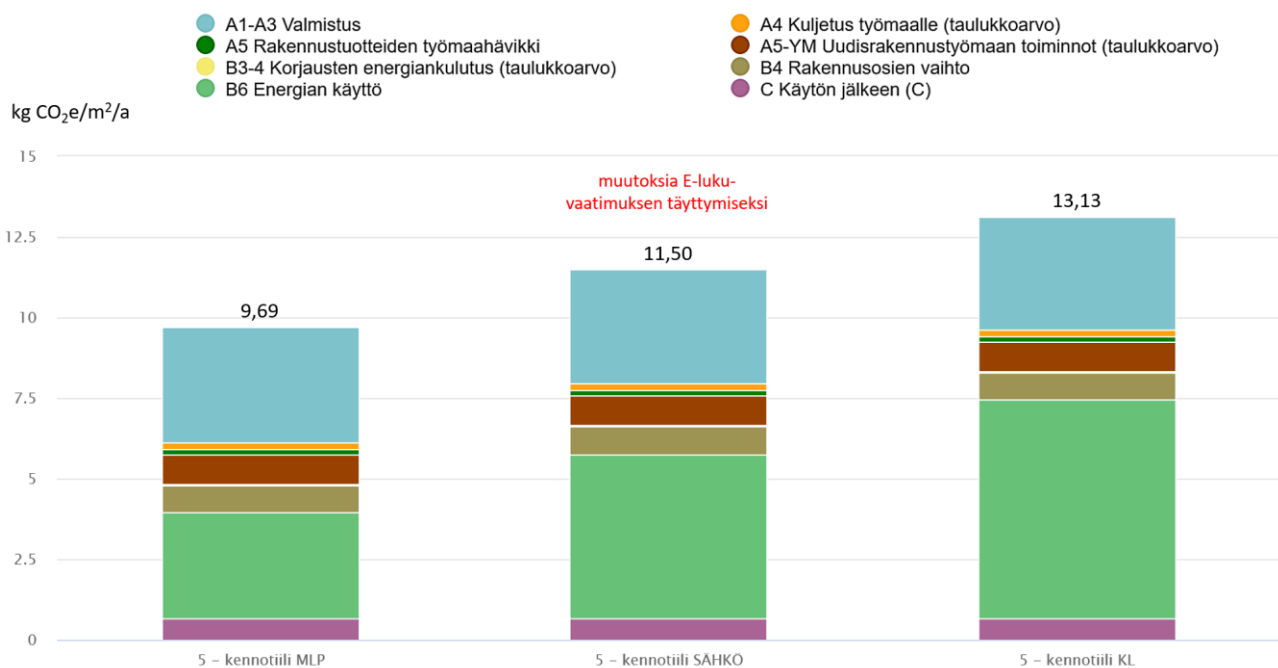
Kennotiili

2-kerroksisen kennotiilirunkoisen pientalon rakenteet muodostuvat 490mm paksusta kennoharkkoulkoseinästä ($U= 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$), ontelolaattavälipohjasta sekä vakioiduista ala- ja yläpohjarakenteista. Tarkastelut on tehty kolmelle eri lämmitysmuodolle; maalämpöpumppu, suora sähkö ja kaukolämpö.

Sähkölämmitysratkaisuun lisättiin ilmalämpöpumppu energiatehokkuusvaatimusten täyttämiseksi. Tällä toimenpiteellä kyseisen ratkaisun ostoenergian kulutus pieniä 2458 kWh/vuosi.

Muutoksen jälkeen sähkölämmitysratkaisun kuluttaman ostoenergian määrä on 14684 kWh/vuosi. Maalämpöpumppuratkaisulla ostoenergia on sen sijaan 9505 kWh/vuosi ja kaukolämpöratkaisulla 5524 kWh/vuosi (sähkö) sekä 12192 kWh/vuosi (kaukolämpö).

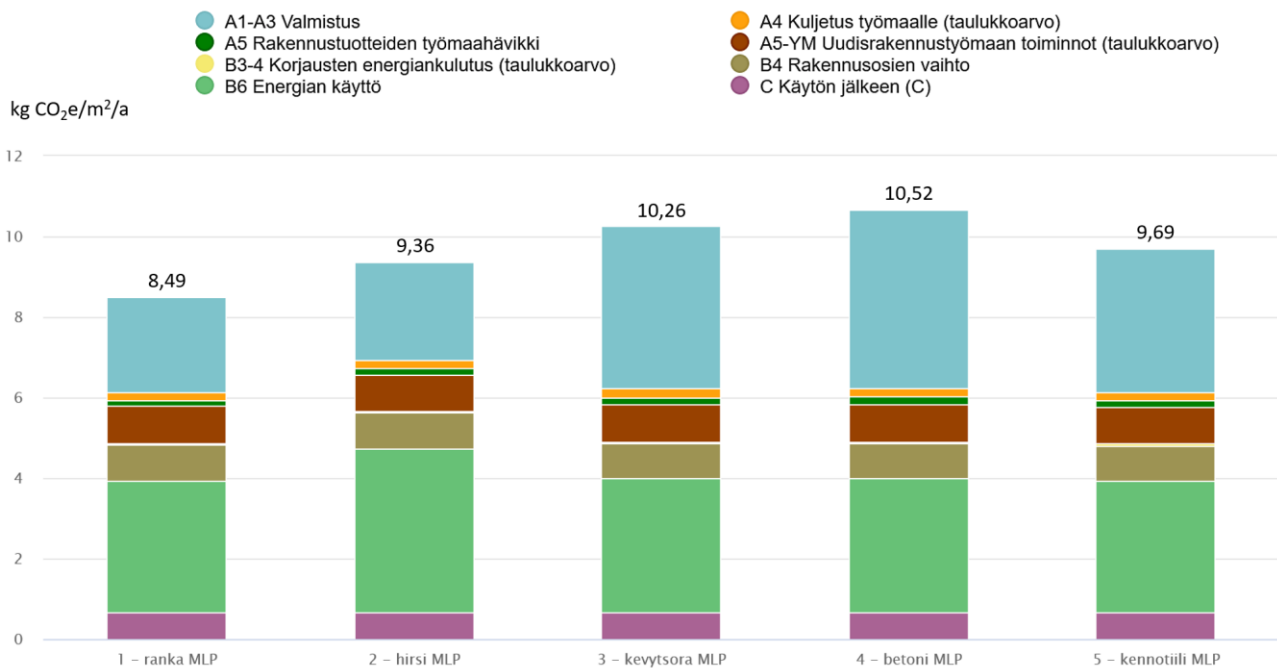
Alla olevassa diagrammissa on esitetty kennotiilirunkoisen 2-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset eri lämmitysratkaisuilla ja näiden elinkaaren vaiheiden osuudet.



Tässä maalämpöpumppuratkaisun materiaalien vaiheiden osuus kokonaishiilijalanjäljestä on 47% ja energian käytön 34%. Materiaalien elinkaaren vaiheiden aiheuttamat päästöt ovat sähkölämmitysratkaisulla 40% kokonaishiilijalanjäljestä ja taasen energiankulutuksen osuus on 44%. Kaukolämpöratkaisussa materiaalien päästöt muodostavat 34% ja käytönaikainen energiankulutus 52% kokonaishiilijalanjäljestä.

Runkoratkaisuvaihtoehdot vertailtuna

Alla olevassa diagrammissa on esitetty 2-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset elinkaaren vaiheineen aiemmin mainituilla runkoratkaisuilla. Kaikissa runkovertailuratkaisuissa lämmitysmuotona on maalämpöpumppu.



Diagrammia tarkastellessa voidaan nähdä, että energiankulutuksen osalta eri vertailuratkaisujen päästöt ovat hyvin samaa suuruusluokkaa. Hirsirunkorakenteen käytönaikaisen energiankulutuksen osuus on kuitenkin hieman suurentunut muihin verrattuna. Tämä johtuu hirsirunkorakenteen suuremmasta lämmitysenergian tarpeesta.

Suurimmat erot kokonaishiilijalanjälkeen aiheutuvat rakennusmateriaalien valmistuksesta (A1-3). Valubetoniharkkoratkaisu, joka tuottaa suurimman kokonaishiilijalanjäljen tässä vertailussa, rakennusmateriaalien valmistuksen osuus hiilijalanjäljestä on noin 41% ja aiheuttaa päästöjä 4,29 kg CO₂e/m²/a. Kevytsoraharkkoratkaisussa materiaalien valmistuksen osuus kokonaishiilijalanjäljestä on 39% ja niiden aiheuttamat päästöt ovat 4,04 kg CO₂e/m²/a. Kevytsoraharkkorakenne tuottaa toiseksi suurimman kokonaishiilijalanjäljen maalämpöpumppuvertailuista. Betoniharkkoratkaisun sekä materiaalien valmistus, että käytönaikainen energiankulutus aiheuttaa hieman suuremmat päästöt kevytsorarunkoratkaisuun verrattuna.

Kivirunkoisista pienimmän hiilijalanjäljen muodostaa kennotiili. Sekä käytönaikainen energiankulutus, että materiaalien vaiheiden päästöt ovat kivirunkoisista pienimmät. Laskennassa käytetyn avokennotiilen paksuus on 490mm. Huomionarvoista on kuitenkin se, että kennotiilen kohdalla käytettiin kyseisen tuotteen ympäristöselostetta, joka antaa tarkemmat ja mahdollisesti pienemmät materiaalin vaiheiden päästöt kuin generinen rakennusmateriaalien päästötieto, jota

muilla materiaaleilla käytettiin. Tämän lisäksi kennotiilen kuljetukset työmaalle arvioitiin samoin taulukkoarvoin muiden runkorakenneratkaisujen kanssa arvioinnin vajavaisten päästötietojen vuoksi. Täten, kennotiilen ollessa tuontituote, suurempia kuljetuksen päästöjä ei ole tässä huomioitu.

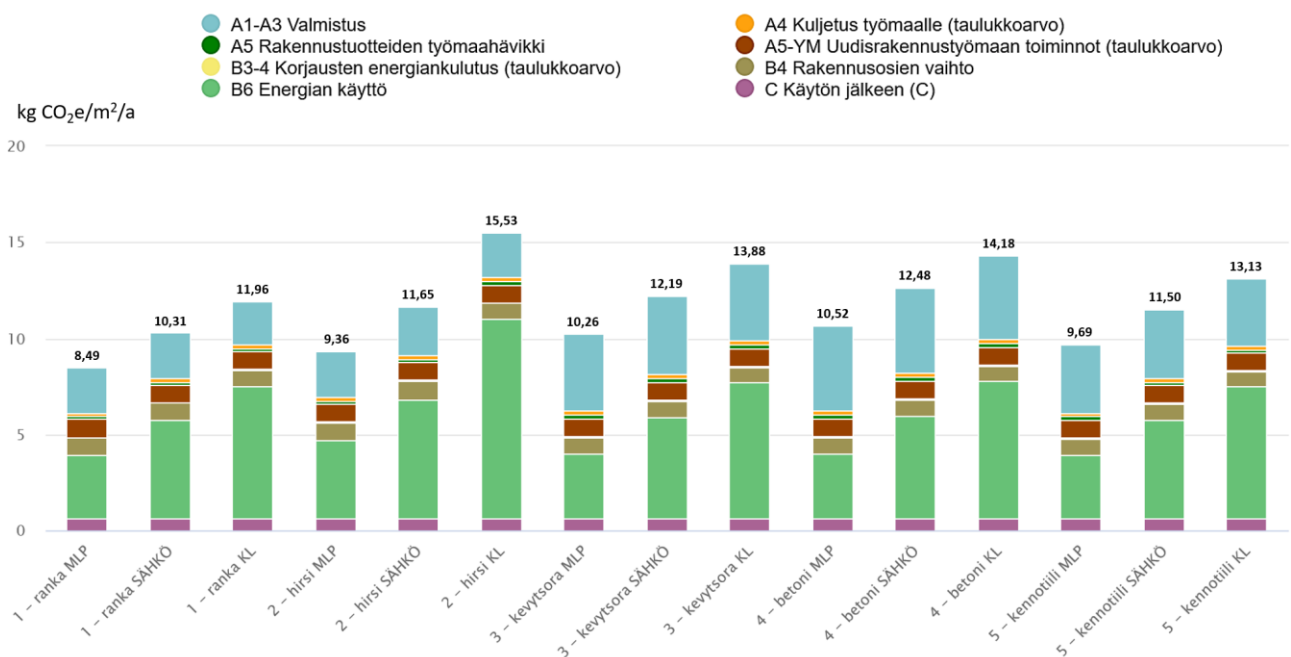
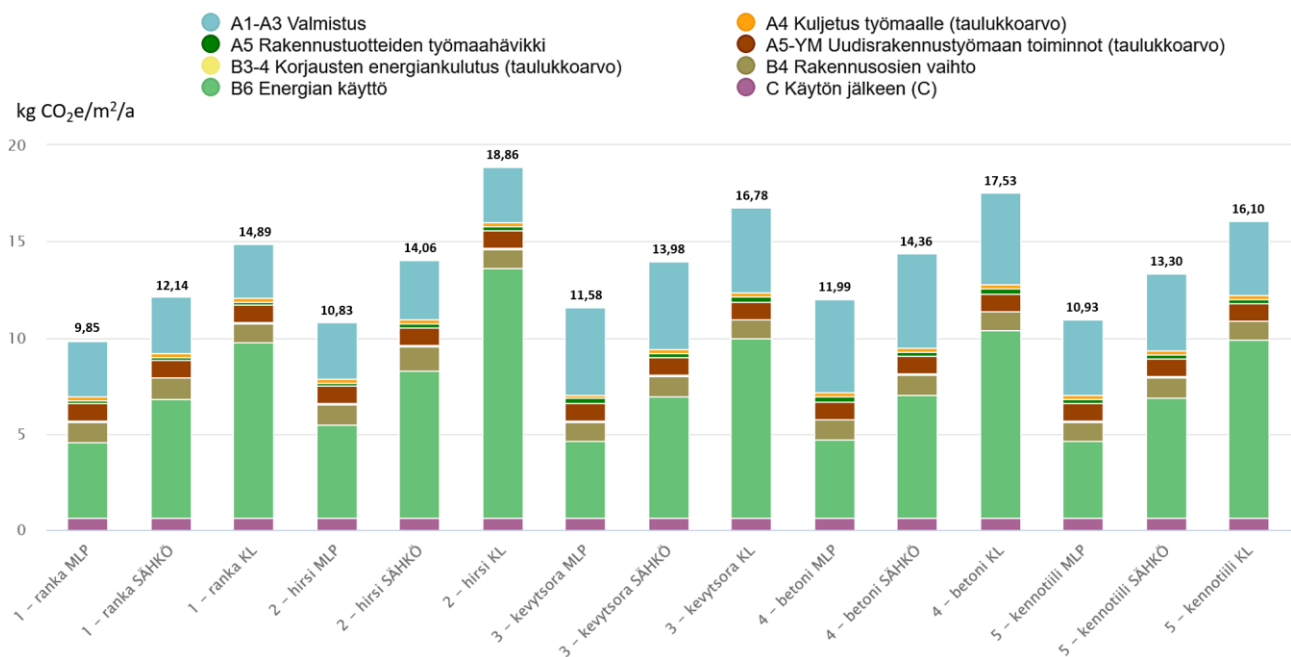
Puuranka- ja hirsirunkoratkaisun hiilijalanjäljen välillä suurimman eron aiheuttaa käytönaikainen energiankulutus. Hirsirunkoratkaisulla on kuitenkin myös hieman suuremmat materiaalien valmistuksen aiheuttamat päästöt. Hirsirunkoisen ratkaisun materiaalipäästöt ovat 2,41 kg CO₂e/m²/a ja puurankarunkoisen 2,35 kg CO₂e/m²/a. Nämä edellä mainitut runkovertailuratkaisut, hirsi ja puuranka, tuottavat tässä lämmitysratkaisussa pienimmät hiilijalanjäljet.

Pienimmän ja suurimman hiilijalanjäljen muodostavien runkoratkaisujen välillä ero on 2,03 kg CO₂e/m²/a, mikä on noin 19% maalämpöratkaisujen suurimmasta hiilijalanjäljestä.

Rakennustyyppit vertailtuna

Alla olevissa diagrammeissa on esitetty 1- ja 2-kerroksisen pientalon hiilijalanjäljen arvioinnin tulokset elinkaaren vaiheineen kaikilla vertailuratkaisuilla. Ylempi diagrammi kuvaa yksikerroksista pientaloa ja alempi puolestaan kaksikerroksista.

Huomionarvoista on, että nämä tarkastelut eivät edusta tyypillisiä markkinoilla olevia pientaloja. Laskennassa päästöjen arvioinnissa on käytetty keskimääräisiä, rakennusmääräykset täyttäviä tuotteita ja ratkaisuja. Laskennan tarkoituksena on ollut selvittää yleisellä tasolla rakennuksen määräävät päästöt rakennuksen elinkaaren aikana.



Diagrammeja tarkastellessa voidaan havaita, että kaksikerroksisella pientalolla on pienempi hiilijalanjälki lämmitettyä nettoalaa kohti vuodessa kaikilla vertailuratkaisuilla verrattuna yksikerroksiseen. Mikäli hiilijalanjälki muunnettisiin kokonaispäästöiksi (yksikkönä kg CO₂e), huomattaisiin kaksikerroksisen kuitenkin tuottavan suuremman elinkaaren kokonaispäästöt.

1-kerroksinen pientalo muodostaa tässä suuremman hiilijalanjäljen lämmitettyä nettoalaa kohti vuodessa suurilta osin siitä syystä, että käytönaikainen energiankulutus on suhteessa suurempi yksikerroksisessa. Energiankulutuksen ero rakennustyypeille muodostuu tässä lähinnä rakenteiden pinta-alojen suhteesta toisiinsa ja ulkoilmaan. Siitä huolimatta, että 2-kerroksisella rakennuksella on suurempi lämmitetty nettoala, lasketaan sen tarvitsevan vakioidulla käytöllä vähemmän lämmitysenergiaa lämmitettyä nettoalaa kohden.

1-kerroksisessa pientalossa on myös enemmän suurimpia materiaalipäästöjä tuottavia rakenteita, kuten ulkoseinien ja vesikatton materiaaleja suhteessa lämmitettyyn nettoalaan. Verrattaessa 1- ja 2-kerroksisen pientalon hiilijalanjälkiä, on huomioitava se, että pientalotyyppien rakennusmateriaalien massojen määrällä on keskeinen merkitys hiilijalanjäljen muodostumisessa.

Lämmitysratkaisuista kaukolämpö muodostaa suurimman hiilijalanjäljen kaikilla runkoratkaisuilla sekä 1-, että 2-kerroksisella pientalolla. Kaukolämmöllä on energiamuotona suuremmat päästökertoimet sähköön verrattuna. Voidaan huomata, että kaksikerroksisen pientalon kohdalla kyseessä olevassa runkovertailuratkaisussa kaukolämmön hiilijalanjäljen ero sähkölämmitteisiin ratkaisuihin ja sähkölämmitteisten ero maalämpöpumppuratkaisuihin on pienempi kuin 1-kerroksisella. Tämä johtuu pienemmistä energiankulutuksen eroista eri lämmitysratkaisuilla lämmitettyä nettoalaa kohden.

On havaittavissa, että samoin tapahtuu myös runkovertailuratkaisuille verrattaessa niitä keskenään. 2-kerroksisella pientalolla, esim. maalämpölämmityksellä on pienemmät eroavaisuudet hiilijalanjäljessä runkovertailuratkaisujen kesken, kuin 1-kerroksisella. Tämä puolestaan on seurausta sekä pienentyneistä energiankulutuksen eroista, että rakennusmateriaalien pienentyneistä massoista ja aiheuttamista päästöistä suhteessa lämmitettyyn nettoalaan.

Sekä yksikerroksisen, että kaksikerroksisen pientalon vertailuratkaisujen hiilijalanjäljet noudattavat yhteneväistä linjaa siitä, että käytönaikaisen energiankulutuksen päästöjen ollessa pienemmät, rakennusmateriaalien päästöt muodostavat merkittävämmän osan hiilijalanjäljestä.

Yhteenveto

Tämän raportin tarkastelut eivät edusta markkinoilla olevia pientaloja, vaan päästöt on laskettu keskimääräisillä rakennusmääräykset täyttävillä tuotteilla ja ratkaisuilla. Raportin ja tarkasteluiden tavoitteen mukaisesti selvitetään yleisellä tasolla päästöjen jakautuminen ja niiden määräävyys rakennuksen elinkaaren vaiheittain.

Suurin vaikutus rakennuksen hiilijalanjäljen muodostumiseen on käytönaikaisella energiankulutuksella. Käytönaikaisen energiankulutuksen päästöihin vaikuttaa merkittävästi ostoenergian määrä ja muoto. Energiamuodon päästöt muodostuvat päästötietokannan mukaisista energian päästökertoimista, jotka ovat suuremmat kaukolämmöllä verrattuna sähköenergiaan.

Rakennuksen materiaaleilla on myös vaikutusta hiilijalanjäljen muodostumiseen. Käytönaikaisen energiankulutuksen päästöjen muuttuessa vuosi vuodelta pienemmiksi, rakennusmateriaalien merkitys kasvaa. Eri runkovertailuratkaisujen tuottamat hiilijalanjäljen tulokset eroavat toisistaan kuitenkin kohtalaisen vähän. Tuloksista voidaan huomata, että kullakin runkovertailuratkaisulla voidaan päästä samoihin suuruusluokkiin kiinnittämällä huomioita lämmitysratkaisuun.

Rakennustyyppien kohdalla, pientalon ollessa 1- tai 2-kerroksinen, hiilijalanjäljen muodostuminen noudattaa yhteneväistä linjaa aiempien vaikutustekijöiden kanssa. Verratessa rakennustyyppejä keskenään, havaitaan rakennusten rakenteiden ja massojen pinta-alojen suhteiden olevan huomattava tekijä rakennustyyppikohtaisen hiilijalanjäljen muodostumisessa. Tällä on vaikutusta niin käytönaikaisen energiankulutuksen päästöjen kuin materiaalipäästöjen kehittymiseen.

Kansallisen päästötietokannan päästötietojen hyödyntäminen pientalojen hiilijalanjäljen arvioinnissa on kohtalaisen kattavaa, mutta tietokantaan tarvittaisiin entistä laajemmin päästötietoja sekä tietoja tulisi päivittää säännöllisesti. Huomionarvoista on se, että tässä tarkastelussa päästötietokannan materiaalitiedoista on käytetty tyypillisiä arvoja, jotka eivät siis sisällä konservatiivisen arvon kerrointa 1,2. Mikäli materiaaleina käytettäisiin tuotteiden ympäristöselosteisiin perustuvia päästötietoja, voisi sillä olla merkittävää vaikutusta hiilijalanjälkeen, erityisesti runkoratkaisuissa käytettävissä materiaaleissa, joissa on suuri massa.

On joitain keskeisiä pientalon rakentamisen massoja, kuten talotekniikka, joille päästötietokanta ei tarjoa selkeästi vertailukelpoisia päästötietoja. Lisäksi eri elinkaaren vaiheiden taulukkoarvojen hyödyntäminen jättää hankkeelle suurentuneen vastuun vaiheiden ominaisuuksien tarkastelussa. Lisäksi elinkaaren vaiheiden arvioinnissa päästötietokannan tarjoamat oletusarvot mm. kuljetusten osalta ovat puutteelliset yksityiskohtaisemman yleispätevän arvioinnin suorittamiseksi. Yleisesti päästötietokannan hyödyntäminen hiilijalanjäljen arvioinnissa tarkoituksenmukaisesti edellyttää huolellista perehtymistä päästötietokannan taustaraportteihin.

Rakennuksen hiilijalanjälki muodostuu useasta eri elinkaaren vaiheesta ja niihin sisältyvistä tekijöistä. Näillä hiilijalanjäljen arvioinnin hankekohtaisesti valituilla tekijöillä ja niiden

ominaisuuksilla on merkittävä vaikutus hiilijalanjäljen kehittymiseen ja täten lisää arviointiin vaikuttavien epävarmuustekijöiden määrää.